

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

На правах рукописи

Смирнова Мария Андреевна

ПОЧВЕННЫЕ КАТЕНЫ КАРСТОВЫХ ВОРОНОК

25.00.23 - физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов

диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
д.г.н., проф. Геннадиев А.Н.

Москва – 2015

Оглавление

Введение.....	5
 Глава 1. Существующие представления о почвообразовании в карстовых областях.....	 9
1.1. Факторы почвообразования в карстовых областях.....	9
1.2. Особенности почв и почвенного покрова карстовых областей.....	13
 Глава 2. Методологические основы и методика исследования.....	 23
2.1. Классификации катен.....	23
2.2. Существующие подходы к оценке латеральной дифференциации почв в пределах катен.....	28
2.3. Методика полевых и лабораторных исследований.....	32
 Глава 3. Объекты исследования и их физико-географическая характеристика.....	 35
3.1. Участки «Голубино», «Придорожный», «Супесчаный», «Филипповский» Юго-Востока Беломорско-Кулойского плато (заповедник «Пинежский»).....	39
3.2. Участки «Кунгур», «Камаи» Среднего Приуралья (памятник природы «Ледяная гора» и заказник «Предуралье»).....	44
3.3. Участок «Капова» западного макросклона Южного Урала (заповедник «Шульган-Таш»).....	46
3.4. Участок «Луговской» Южного Приуралья (Кзыладырское карстовое поле).....	48

Глава 4. Почвенные катены карстовых воронок.....	49
4.1. Северотаежные ландшафты.....	49
4.1.1. Катены на супесчаных моренных отложениях.....	49
4.1.2. Катены на двучленных моренных отложениях.....	54
4.1.3. Катены на дериватах красноцветных пород.....	66
4.1.4. Почвенные катены карстовых воронок северотаежных ландшафтов.....	73
4.2. Широколиственно-лесные ландшафты.....	76
4.2.1. Катены на элювии и элюво-делювии красноцветных пород Среднего Приуралья.....	76
4.2.2. Катены на элювии и элюво-делювии глинистых сланцев Западного макросклона Южного Урала.....	81
4.2.3. Почвенные катены карстовых воронок широколиственно-лесных ландшафтов.....	87
4.3. Лесостепные ландшафты.....	90
4.4. Сухостепные ландшафты.....	95
 Глава 5. Твердофазная миграция вещества почв на склонах карстовых воронок.....	 102
5.1. Методика оценки механической миграции вещества в пределах склонов карстовых воронок.....	102
5.1.1. Метод магнитного трассера.....	102
5.1.2. Отбор образцов.....	103
5.1.3. Расчет темпов механической миграции вещества.....	105
5.2. Сканирующая электронная микроскопия магнитной фракции почв.....	107
5.3. Баланс миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв в пределах карстовых воронок и скорость механической миграции почвенного материала.....	108

Глава 6. Сравнительная характеристика почвенных катен карстовых воронок, формирующихся в разных биоклиматических и топо-литологических условиях.....	113
6.1. Общие и специфические особенности латеральной и радиальной дифференциации почв.....	113
6.2. Катенарные связи между почвами карстовых воронок.....	117
6.3. Гетерогенность состава почвенных катен и факторы, ее обуславливающие.....	119
6.4. Полиэкоморфизм почв в пределах катен.....	123
Заключение.....	126
Список литературы.....	129
Приложение 1.....	147
Приложение 2.....	153
Приложение 3.....	168

Введение

Почвенный покров карстовых областей весьма своеобразен и представляет большой интерес с географо-генетической точки зрения. На этих территориях наблюдается резкая и зачастую контрастная смена почв, обусловленная большим разнообразием почвообразующих пород и высокой интенсивностью геодинамических процессов. Основное внимание исследователей карстовых районов уделялось почвам автономных позиций, формирующихся на разных почвообразующих породах, и выявлению значения литологического фактора в изменчивости почв. Несмотря на то, что воронки являются наиболее распространенными поверхностными формами рельефа карстовых областей, почвы склонов воронок остаются практически неизученными. С.В. Горячкиным (2010) выявлены общие закономерности изменения почв в пределах катен воронок северотаежных ландшафтов и приведены данные о морфологических и химико-аналитических свойствах некоторых почв катен. В сухостепных ландшафтах А.И. Климентьевым и соавт. (2007) подробно исследованы свойства гипсо-петроземов и черноземов текстурно-карбонатных, формирующихся на склонах воронок. Авторами подчеркивается, что в формировании почвенных катен карстовых воронок важную роль играют эрозионные процессы, однако количественная оценка темпов механической миграции вещества на склонах не производилась. Почвы карстовых воронок других ландшафтов не исследованы. Между тем высокая компактность почвенных сопряжений на склонах карстовых воронок (первые десятки метров) и хорошо выраженная гетерогенность состава этих катен делают данные объекты заслуживающими исследовательского внимания не только для познания сущности почвообразования в карстовых районах, но и в качестве удобной модели катенарных связей почв.

В этой связи, **целью** данного исследования явилось выявление особенностей состава и формирования почвенных катен карстовых воронок в различных физико-географических условиях и их региональной

специфичности. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Установить морфологические, химические, физические и физико-химические свойства почв катен и определить их классификационное положение
2. Охарактеризовать изменения свойств почв на склонах карстовых воронок и провести анализ их латеральной и радиальной дифференциации
3. Провести сопоставление почвенных катен карстовых воронок, развивающихся в разных литолого-геоморфологических и биоклиматических условиях и выявить факторы, определяющие характер гетерогенности состава почвенных катен
4. Оценить скорости и объемы латеральной миграции твердофазного вещества почв в пределах склонов карстовых воронок

Материалы и методы исследования: В основу работы положено изучение 24 катенарных сопряжений почв (86 почвенных разрезов) карстовых воронок на 8 ключевых участках. Объектами исследования служили катенарные сопряжения почв карстовых воронок - северотаежных ландшафтов юго-восточной оконечности Беломорско-Кулойского плато (заповедник «Пинежский»: ключевые участки «Придорожный», «Филипповский», «Голубино» и «Супесчаный»), широколиственно лесных и лесостепных ландшафтов Среднего Приуралья (заказник «Предуралье»: ключевой участок «Камаи» и памятник природы «Ледяная гора», ключевой участок «Кунгур»), широколиственно лесных ландшафтов западного макросклона Южного Урала (заповедник «Шульган-Таш»: ключевой участок «Капова») и сухостепных ландшафтов Южного Приуралья (Кзыладырское карстовое поле: ключевой участок «Луговской»). Основными методами исследования являлись сравнительно-географический и ландшафтно-геохимический метод, комплекс химико-аналитических методов, статистический анализ. Оценка латеральной механической миграции

твердофазного вещества почв проводилась методом магнитного трассера на склонах карстовых воронок ключевых участков «Камаи» и «Кунгур».

Новизна работы: В работе решена важная для географии почв и геохимии ландшафтов задача - выявлены особенности состава и формирования почвенных катен карстовых воронок в различных физико-географических условиях. Впервые освещен характер изменения свойств почв в пределах катен карстовых воронок широколиственно-лесных, лесостепных и сухостепных ландшафтов. Проведено ранжирование почвенных катен карстовых воронок, формирующихся в различных биоклиматических и топо-литологических условиях. Дана оценка темпов и объемов латеральной механической миграции твердофазного вещества почв на склонах карстовых воронок.

Личный вклад автора: Автор принимал непосредственное участие в постановке цели и задач исследования, организации и проведении полевых работ. Автором выполнены все химико-аналитические определения (около 1600 определений), проведена статистическая обработка данных и интерпретация полученных результатов.

Практическая значимость: Полученные данные о почвах карстовых воронок могут быть использованы при инженерно-географических изысканиях и разработке экологических прогнозов. Они могут быть полезны для крупномасштабного почвенного картографирования, в том числе цифрового. Выявленные в ходе работы представления об особенностях формирования почв в пределах склонов карстовых воронок могут быть включены в учебные курсы по географии почв, структурам почвенного покрова. Результаты исследований внедрены в отчеты по грантам РФФИ 14-05-31507-мол_а «Почвенные катены на склонах карстовых воронок» и 13-05-00098-а «Факторы и темпы латеральной миграции твердофазного вещества продуктов почвообразования и ее влияние на состояние почвенного покрова (метод магнитного трассера)».

Апробация работы: Основные положения диссертации докладывались на заседаниях кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова; результаты исследований были представлены в докладах на следующих конференциях, съездах и форумах: Международном молодежном научном форуме «ЛОМОНОСОВ-2010» (Москва, 2010), Докучаевских молодежных чтениях (Санкт-Петербург, 2011, 2012), Научной конференции «Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской)» (Москва, 2012), VI Международной конференции EUROSOL (Бари, Италия, 2012), 32^{ом} Международном географическом конгрессе (Кельн, Германия, 2012), Молодежной школе-семинаре «Природно-антропогенные геосистемы: мировой и региональный опыт исследований» (Курск, 2012).

Публикации: По материалам диссертационной работы опубликовано 15 работ, в том числе 4 статьи в перечне журналов, рекомендованных ВАК.

Благодарности: Автор глубоко признателен научному руководителю - доктору географических наук, профессору А.Н. Геннадиеву за консультации и всестороннюю помощь на каждом этапе работы; доктору географических наук С.В. Горячкину, доктору биологических наук, профессору М.И. Герасимовой за обсуждение материалов диссертации. Автор выражает благодарность заведующему кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв, академику РАН Н.С. Касимову и коллективу кафедры за внимательное отношение и конструктивные замечания к работе. Автор признателен М.П. Завадской, С.Н. Жевненко, И.Н. Семенову, Т.С. Кошовскому, сотрудникам «Пинежского» заповедника и заповедника «Шульган-Таш» за помощь в проведении полевых исследований.

Глава 1. Существующие представления о почвообразовании в карстовых областях

1.1. Факторы почвообразования в карстовых областях

Отличительной особенностью районов с широким развитием поверхностного карста от окружающих их «некарстовых» областей является сложный и сильно расчлененный рельеф, значительная пространственная неоднородность почвообразующих пород, и, как следствие, наблюдаемая смена почв и растительного покрова на небольших расстояниях (Строганова, Урусевская, 1975; Гвоздецкий, 1981; Павлейчик, 1996; Kufmann, 2003; Parise et al., 2009; Горячкин, 2010). Влияние рельефа на процессы почвообразования в районах с широким развитием поверхностного карста заключается не только в перераспределении тепла и влаги между компонентами почвенного покрова, но и в формировании пространственно-дифференцированной литогенной основы почвообразования (Андрейчук, 2007; Горячкин, 2010). Преобладание склоновых поверхностей с большими углами наклонов вызывает протекание комплекса эрозионных, обвально-осыпных, оползневых и солифлюкционных процессов в карстовых районах (Drew, 1983; Waltham et al., 2005; Ford, Williams, 2007; Waele et al., 2009; Parise et al., 2009). Суммарный эффект склоновых процессов может являться причиной пространственной дифференциации почв и почвообразующих пород по гранулометрическому составу (Peng, Wang, 2012; Li et al., 2007), приводить к выходу на поверхность плотных карстующихся пород и образованию останцов (Горячкин, 2010), обуславливать разновозрастность почв.

Геодинамические процессы препятствуют поселению древесной растительности в пределах склонов карстовых форм рельефа. Поэтому, например, в таежной и широколиственнолесной природных зонах преобладающими растительными ассоциациями в пределах склонов карстовых форм рельефа являются мохово-кустарничковые и

травянистые ассоциации (Пучнина, 2002; Андрейчук, 2007; Тетерюк, Денева, 2011). В северной тайге на длинных склонах южных экспозиций могут встречаться высокотравные луга с богатым видовым составом (Структура и динамика..., 2000), в пределах днищ карстовых воронок и котловин часто присутствуют неморальные виды (Пучнина, 2010).

В карстовых районах проявляются экспозиционные различия - затененность склонов северной экспозиции и повышенная теплообеспеченность склонов южной экспозиции, а также неравномерность высоты снежного покрова – накопление снега в днищах карстовых форм рельефа и его снос с выровненных пространств и склонов (Тетерюк, Денева, 2008; Титова, 2008; Елсаков, Тетерюк, 2012; Тетерюк и соавт., 2012). Неравномерность высоты снежного покрова обуславливает максимальную глубину промерзания почв плакоров и верхних частей склонов, минимальную – днищ карстовых форм рельефа (Андрейчук, 2007).

Специфичность почвообразующих пород в областях с широким развитием поверхностного карста заключается в выходе на поверхность или неглубоком залегании к поверхности карстующихся пород, а именно карбонатов, сульфатов и легко растворимых солей. На выходах карбонатов и гипсов произрастает специфическая кальцефильная и петрофильная растительность. Так, в северотаежных условиях на выходах гипсов встречаются арктические и аркто-альпийские виды (Структура и динамика..., 2000; Пучнина, 2002). Кроме того, для карстовых районов характерно наличие разветвленной системы трещин и пустот, пронизывающей карстующиеся массивы. Трешиноватость пород способствует преобладанию подземного стока над поверхностным в условиях голого карста, улучшению дренажа в условиях покрытого и перекрытого карста (Polemio et al, 2009; Li et al, 2007). Согласно В.Н. Дублянскому (Кунгурская ледяная..., 2005) недоступность для растений значительной части дождевых вод из-за их быстрой фильтрации по

трещинам карстующихся массивов и накопление снега в пределах днищ карстовых форм рельефа, обусловило сохранение реликтовой островной Кунгурской лесостепи в лесной зоне Среднего Приуралья.

Наиболее распространенными поверхностными карстовыми формами рельефа являются карстовые воронки, представляющие собой конусо- и чашеобразные отрицательные формы рельефа. Размеры карстовых воронок, в среднем, изменяются от 5 до 100 м в диаметре и от 2 до 15 метров в глубину (Waltham et al., 2005). В геологии существует целый ряд генетических классификаций карстовых воронок (Гвоздецкий, 1981; Waltham et al., 2005; Gutierrez et al., 2008; Ezersky et al., 2009), различия между которыми, на наш взгляд, касаются скорее терминологических тонкостей, нежели сути протекания процессов воронокообразования. Ниже приведена генетическая классификация карстовых воронок, разработанная Н.А. Гвоздецким (1981). В соответствии с генезисом объектов им были выделены следующие типы карстовых воронок:

1. Воронки поверхностного выщелачивания или коррозионные. Образуются за счет выноса выщелоченной на поверхности породы через подземные каналы в растворенном состоянии
2. Провальные воронки, или гравитационные. Образуются путем обвала свода подземной полости, возникшей за счет выщелачивания карстующихся пород на глубине и выноса вещества в растворенном состоянии
3. Воронки просасывания, или коррозионно-суффозионные. Образуются путем вымывания и проседания рыхлых покровных отложений в колодцы и полости карстующегося цоколя, выноса вещества в подземные каналы и удаление через них во взмученном и взвешенном состоянии.
4. Переходный тип между 2 и 3.

На европейской территории России и Южном Урале наиболее распространенными генетическими типами воронок являются воронки просасывания и воронки переходного типа, в формировании которых

важную роль играет обвал свода подземной полости и последующее проседание рыхлых покровных отложений (Гвоздецкий, 1981; Максимович, Горбунова, 1958).

В силу своего морфологического строения карстовые воронки выступают в роли «ловушек» для материала, сносимого с межвороночных пространств (Waltham et al., 2005, Андрейчук, 2007; Anchuela et al., 2009). Кроме того, соединение склоновых поверхностей у центра воронки обуславливает постепенное соединение миграционных потоков веществ, имеющих место в пределах разных склонов по направлению от верхних частей склонов к нижним. Данная особенность карстовых воронок как форм рельефа может обуславливать различие площадей, занимаемых элювиальными и транзитными элементарными ландшафтами, и площадей, занимаемых аккумулятивными ландшафтами.

К днищам некоторых карстовых воронок приурочен понор – вертикальный канал, связывающий поверхностную карстовую форму рельефа с подземной полостью. Размеры подземной полости определяют последующую эволюцию карстовой воронки – возможности ее увеличения в диаметре, углубления и формирования вторичных карстовых форм рельефа в пределах склонов, например, просадок. При заполнении подземной полости твердофазным материалом развитие непосредственно самой карстовой формы рельефа прекращается, а основными процессами, формирующими современный облик карстовой воронки, являются склоновые процессы. После заполнения подземной полости, поверхность склонов карстовой воронки постепенно выравнивается, склоны выполаживаются и воронка приобретает чашеобразную форму. Последующая аккумуляция материала, сносимого с межвороночных пространств в карстовую воронку, может привести к ее полному заполнению. (Гвоздецкий, 1981; Mancini et al, 2009; Anchuela et al., 2009).

В условиях избыточного атмосферного увлажнения в карстовых воронках и котловинах с закольмотированным понором могут образовываться водоемы. Эволюция почвенного покрова таких карстовых воронок часто приводит к формированию торфяников перегнойного и верхового типа в пределах днищ карстовых воронок в северной тайге (Горячкин, 2010).

Проведенный краткий обзор физико-географических условий карстовых районов позволяет выявить следующие особенности факторов почвообразования этих территорий: 1) наличием широкого спектра карстующихся пород и перекрывающих их наносов; 2) преобладание склоновых поверхностей с большими углами наклона, где возрастает роль латеральной механической миграции вещества и внутрипочвенного стока; 3) наличие резких экспозиционных различий; 4) повышенный дренаж; 5) разная продолжительность процессов почвообразования и омоложение субстратов; 6) резкая и зачастую контрастная смена факторов почвообразования на коротких расстояниях.

1.2. Особенности почв и почвенного покрова карстовых областей

Области с широким развитием поверхностного карста в почвенном отношении являются уникальными природными территориями, для которых характерна высокая степень разнообразия почв и их резкая и зачастую контрастная смена в пределах небольших участков. Специфичность почвообразования в районах с широким развитием поверхностного карста проявляется в практически полном отсутствии в составе почвенного покрова гидроморфных почв, а также почв с дифференцированным профилем на выходах карстующихся пород - карбонатов и гипсов. Кроме того, почвенный покров карстовых территорий характеризуется сложной структурой и мелкоконтурностью, обусловленной разнообразием материнских пород и обилием поверхностных карстовых форм рельефа (Горячкин, 1987; Структура и динамика..., 2000; Applegarth, Dahms, 2001; Kufmann, 2003; Спиридонова, 2007).

Наиболее исследованными карстовыми регионами мира в почвенном отношении являются карстовые районы таежных ландшафтов европейской территории России (Гагарина и соавт., 1964, 1965; Строганова, Урусевская, 1975; Горячкин, 1987; Горячкин и соавт., 2003, 2004, Маряхина и соавт., 2009), Европы (Liszkowski, 1975; Verges, 1985; Kufmann, 2003; Dazzi, Monteleone, 2007; Lopez et al, 2009; Roje-Bonacci et al, 2009; Cuniglio et al., 2009), тропических областей Юго-Восточной Азии (Guo et al., 2008; Li et al., 2005; Lu et al., 2012; Liu et al, 2013) и Северной Америки (Rutherford, 1971; Applegarth, Dahms, 2001; Mendoza-Vega, Messing, 2005; Beach et al, 2006, 2008; Bautiste et al., 2011). Основное внимание исследователей было привлечено к формированию почв на специфических субстратах – карбонатах и гипсах, преимущественно в автономных условиях почвообразования. Несмотря на разницу в биоклиматическом потенциале среды перечисленных карстовых регионов, почвы, формирующиеся на данных субстратах, имеют много общего по своему морфологическому строению и свойствам. Почвенный профиль, в основном, состоит из горизонта аккумуляции органического вещества – это может быть как полностью органогенный горизонт (торфяной или перегнойный), так и органо-минеральный горизонт (гумусово-аккумулятивный), залегающий непосредственно на элювии почвообразующих пород. Мощность почвенных профилей варьирует от десятка сантиметров до полуметра, как правило, почвы щебнисты. Таким образом, при близком залегании к дневной поверхности известняков, доломитов, карбонатной озерной гжи - формируются перегнойно- и дерново-карбонатные почвы, или рендзик лептосоли по терминологии WRB (IUSS Working Group WRB, 2007), моллисолс рендолс и моллисолс хапрендолс по терминологии Soil Taxonomy (Keys to soil..., 2010), на выходах гипсов – гипсовые или сульфатные рендзины, дерновые почвы, сульфурендзины грубогумусовые и гипсо-петроземы (Горячкин, Макеев, 1991; Структура и динамика..., 2000, Климентьев и соавт., 2007). Отметим, что непосредственно на плотных гипсах (как бескарбонатных, так и окаربонатенных) почвы встречаются достаточно

редко, в отличие от почв, формирующихся на выходах карбонатов. Особые «двухэтажные» почвы формируются на специфических двучленных субстратах – рыхлых отложениях, часто карбонатных, близко подстилаемых плотным гипсом. Подробный обзор свойств этих почв, формирующихся в условиях северной тайги, приведен в работе С.В. Горячкина (2010).

Исследователи почв карстовых районов сходятся во мнении, что почвы и почвенный покров этих территорий обладает низким потенциалом восстановления, а использование почв в хозяйственных целях может привести к катастрофическим и, в ряде случаев, необратимым последствиям (Andriani, Walsh, 2009; Daessle et al., 2009; Parise et al., 2009; Podobnikar et al., 2009; Gabrovsek et al., 2011). К примеру, на территории современной Словении (Gains, 1987), где активное уничтожение естественной растительности и последующая распашка склонов происходили 2-2,5 тыс. лет назад и вызвали резкое увеличение темпов эрозии почв, до сих пор существуют обширные пространства абсолютно голых, практически не затронутых процессами почвообразования, изрытых каррами карбонатных толщ. Отмеченная специфичность почвенного покрова карстовых районов обусловила высокий интерес исследователей к оценке риска деградации почв, в первую очередь, за счет эрозионных процессов. В настоящее время исследованы темпы и особенности механической миграции вещества в пределах крупных карстовых регионов (Vrieling, 2006; Geissen et al., 2007; Zhou et al., 2008; Kheir et al. 2006, 2008) и локальных карстовых форм рельефа (Turnage et al., 1997; Palacio-Aponte et al., 2011; Dong et al., 2012; Tao, Wang, 2012; Navas et al., 2013). В работах по данной тематике расчеты темпов эрозионных процессов основаны, по большей части, на косвенных методах (A. Vrieling, 2006; Geissen et al., 2007; Zhou et al., 2008; Kheir et al. 2006, 2008), реже – на прямых методах - комплексе традиционных почвенно-геоморфологических и геоморфологических методов (Palacio-Aponte et al., 2011; Dong et al., 2012), в ряде случаев на методе маркеров – радиоизотопов техногенного происхождения (Turnage et al., 1997; Navas et al., 2013).

Скорости эрозии сельскохозяйственных почв в карстовых районах достигают 108 т/га/год (Navas et al., 2013), ненарушенных почв - 4 т/га/год (Turnage et al., 1997). Отметим, что оценка скоростей эрозионных процессов в пределах склонов карстовых воронок не проводилась.

Непосредственно в качестве почвообразующего материала элювий карстующихся пород выступает редко. Как правило, карстующиеся породы перекрыты плащом четвертичных отложений. Автоморфное почвообразование на рыхлых субстратах, перекрывающих карстующиеся породы, во многом несет на себе отпечаток «зональных трендов», при этом направление почвообразования во многом определяется минералогическим и гранулометрическим составом почвообразующих пород (Kufmann, 2003; Горячкин, 2010). В большинстве случаев для верхних горизонтов почв карстовых районов, как правило, характерно большее содержание оснований, чем для аналогичных горизонтов почв прилегающих «некарстовых территорий», даже в условиях залегания карстующихся пород на глубине более 1 м. Ряд исследователей (Rudzianskaite, Sukys, 2009, Маряхина и соавт., 2009) связывают эту особенность с биологическими процессами вовлечения химических элементов в круговорот веществ, входящих в состав карстующихся пород, а так же с капиллярным поднятием почвенных вод, насыщенных продуктами выветривания карстующихся отложений.

В пределах бореальных таежных карстовых областей Европейской России карстующиеся толщи перекрыты отложениями ледникового и водно-ледникового генезиса. К ним относятся двучленные наносы: супесчаные отложения, перекрываемые на глубине от 20 до 50 см суглинистыми (часто карбонатными в нижней части), собственно суглинистые и супесчаные отложения. В северотаежных ландшафтах в автономных условиях на двучленных почвообразующих породах формируются подзолистые почвы с микропрофилем подзола, на суглинистых породах – подзолистые почвы, на супесчаных почвообразующих породах формируются иллювиально-железистые подзолы. На склонах воронок формируются абраземы,

серогумусовые, грубогумусовые почвы и псаммоземы (Горячкин, 2010). Помимо отложений ледникового и водно-ледникового генезиса, в качестве почвообразующих пород, перекрываемых карстующие породы в бореальных таежных областях, могут выступать дериваты пермских красноцветных пород, на которых в автономных условиях почвообразования формируются буроземы грубогумусированные иллювиально-глинистые железометаморфические (Водяницкий и соавт., 2003, Лесовая и соавт. 2005). Исследования почв на склонах воронок, облекаемых красноцветными отложениям, не проводились.

Работ, посвященных почвенному покрову и закономерностям его пространственной организации в карстовых районах, по сравнению с работами, посвященными отдельным почвам районов с широким развитием поверхностного карста, значительно меньше. Характерной особенностью почвенного покрова карстовых районов является его сложная структура, мелкоконтурность, специфичность рисунка пространственной организации (Гагарина и соавт., 1964, 1965; Строганова, Урусевская, 1975; Kufman, 2003; Lopez et al., 2009; Bautista et al., 2011). Как правило, в работах освещено изменение почв при изменении фактора почвообразующих пород (главным образом, изменение глубины залегания карбонатных пород). Например, в карстовых районах полуострова Юкатан на маломощном элювии известняков (менее 50 см) в пределах крутых склонов формируются лептосоли, сменяемые в нижних частях склонов (при увеличении мощности рыхлого субстрата) камбисолями в условиях хорошего дренажа или глееосолями в условиях затрудненного оттока избыточной влаги (Bautista et al. 2011). И.С. Урусевской и соавт. (1975) был проведен корреляционный анализ для почв Ижорской возвышенности между глубиной залегания известняковой плиты и типом почв. Было установлено, что границей между дерново-карбонатными и дерново-подзолистыми почвами служит глубина залегания известняковой плиты в 1 м. При мощности моренного наноса более одного метра, перекрывающего карбонатную породу, развивается дерново-подзолистая

почва. В обратном случае происходит формирование дерново-карбонатной (выщелоченной или оподзоленной) почвы. Отметим, что в таежных областях процесс выщелачивания карбонатов из почвенного профиля требует сравнительно немного времени для своей реализации при условии благоприятной литологической обстановки. Результаты исследования курганных насыпей Ижорской возвышенности свидетельствуют о том, что минимальные значения pH_{HCl} автономных почв курганной насыпи 800-летнего возраста (глубина залегания известняковой плиты 120-140 см) составляют 4,4-4,7, в то время как минимальные значения pH_{HCl} фоновых почв (глубина залегания известняковой плиты 60-70 см) составляют 5,6-5,7 (Геннадиев, 1990).

Наиболее полными исследованиями характера почвенного покрова карстовых регионов, его эволюции и устойчивости во времени являются работы, выполненные под руководством С.В. Горячкина на территории Беломорско-Кулойского плато (Горячкин, 1987; Горячкин, Шаврина, 1997; Горячкин и соавт., 2003, 2004, Горячкин, 2010). Особую роль в формировании почвенного покрова карстовых областей автор отводит степени трещиноватости карстовых массивов, определяющей, в свою очередь, степень расчлененности рельефа и специфичность карстовых форм.

В областях слабой трещиноватости основными процессами, осуществляющими связь между почвенными компонентами, являются процессы поверхностного и внутрипочвенного передвижения влаги. Структуры почвенного покрова представлены округло-пятнистыми сочетаниями подзолистых, торфяно-подзолисто-глеевых, торфяно-глееземов и торфяных эутрофных и олиготрофных почв переходных и верховых болот.

В областях средней трещиноватости, основными факторами, дифференцирующими почвенных покров, являются, в первую очередь, процессы механической миграции вещества в пределах склонов карстовых форм рельефа, а так же неравномерность увлажнения, экспозиционные различия. Почвенный покров образуют линейно-эрозионные и

экспозиционные звездообразные сочетания и ташеты подзолов, серогумусовых оподзоленных почв, псаммоземов и стратоземов. С.В. Горячкин (2010) подчеркивает, что в формировании данного типа почвенного покрова менее всего участвуют собственно карстовые процессы растворения и выноса материала карстующихся пород, а данный тип почвенного покрова является достаточно устойчивым во времени.

Почвенный покров областей сильной трещиноватости карстовых массивов наиболее разнообразен и сложен. Основными механизмами дифференциации почвенного покрова здесь являются механизмы увлажнения, плоскостной эрозии, а также механизмы литогенной дифференциации почвенного покрова (обусловленные высокими темпами плоскостной эрозии, полностью смывшей четвертичный чехол), осыпи. В почвенном покрове появляется много «специфических почв» - гипсодробоземов, органо-латерально-аккумулятивных почв, перегнойно-сухоторфяных почв, пелоземов, абраземов, делювиальных почв и др. Сочетания, сочетания-мозаики и мозаики являются наиболее распространенными структурами почвенного покрова данных территорий.

Результаты исследования С.В. Горячкина (2010) показали, что степень трещиноватости карстовых массивов и, как следствие, степень расчленения рельефа, играет важную роль в соотношении влияния химической и механической миграции веществ при формировании почвенного покрова. При неглубоком расчленении рельефа генетическая связь между компонентами почвенного покрова осуществляется преимущественно за счет латеральной миграции вещества в растворенном виде. Роль механической миграции веществ в формировании почвенного покрова постепенно увеличивается при увеличении степени расчлененности рельефа.

Несмотря на преобладание карстовых воронок среди других поверхностных форм рельефа, исследований, посвященных почвам этих форм рельефа крайне мало. Результаты исследования почв карстовых воронок встречаются в работе С.В. Горячкина (2010) в разделе, посвященном

почвенному покрову карстовых равнин северной тайги и А.И. Климентьева и соавт. (2007), исследовавшим почвы Кзыладырского карстового поля. Остановимся более подробно на обзоре этих работ.

В работе С.В. Горячкина (2010) почвы карстовых воронок рассматриваются с точки зрения их вклада в формировании мезоструктур почвенного покрова карстовых равнин. Согласно С.В. Горячкину (2010), в случае карстовых воронок с обводненным или заболоченным дном областей слабой трещиноватости карстовых массивов на двучленных моренных отложениях почвенные катены образуют следующие почвы: подзолистые контактно-осветленные почвы с микропрофилем подзола межвороночных пространств, торфяно-подзолисто-глеевые железо-гумусово-сегрегационные почвы склонов, торфяно-глееземы и торфяные эутрофные или олиготрофные почвы подчиненных позиций (нижних частей склонов и дном). Катены «сухих» карстовых воронок областей средней и сильной трещиноватости, облекаемых песками и супесями, формируют подзолы межвороночных пространств, серогумусовые оподзоленные грубогумусированные, абраземы или псаммоземы гумусированные (часто оподзоленные) на склонах воронок, стратоземы светлые дном. На двучленных моренных отложениях – дерново-палево-подзолистые контактно осветленные межвороночных пространств, абраземы текстурно-дифференцированные и поверхностно-подзолистые почвы склонов карстовых воронок и стратоземы светлые дном. Кроме того, в областях сильной трещиноватости при близком залегании к поверхности плотных гипсов в пределах межвороночных пространств встречаются пелоземы, на дном сходящихся карстовых воронок формируются делювиальные почвы. Отдельно в работе С.В. Горячкина (2010) приведены морфологические описания почв узких глубоких карстовых воронок (без описаний почв склонов). В них формируются органогенно-латерально-аккумулятивные почвы, специфичность которых заключается в наличии мощного органо-аккумулятивного горизонта, формирующегося за счет латерального гравитационного или эолового

привноса органического вещества (стволов упавших деревьев, мха, хвои и т.д.), слабо разлагающегося в условиях затененных и холодных днищ карстовых воронок.

Таким образом, в работе С.В. Горячкина (2010) даются общие характеристики почв в пределах катен карстовых воронок северотаежных ландшафтов. Склоновые сопряжения почв карстовых воронок северотаежных ландшафтов образуют оторфованные почвы в случае заболоченных или обводненных воронок; в случае «сухих» воронок - слаборазвитые или сильно эродированные почвы транзитных позиций и стратоземы или стратифицированные почвы подчиненных позиций. К сожалению, автором приведены результаты морфологических и химико-аналитических свойств не всех почв, образующих катены и не приведены данные о морфологических характеристиках исследованных карстовых воронок.

В работе Климентьева и соавт. (2007) приведены описания и химико-аналитические свойства черноземов текстурно-карбонатных солонцеватых насыщенных сульфатно-засоленных гипсосодержащих – почв северных пологих склонов карстовых воронок, а так же гипсо-петроземов, образующих почвенную катену (от северного склона к днищу и южному склону) одной исследованной карстовой воронки. Акцент в работе сделан на уникальности отдельных исследованных почв, а не на изменении свойств почв в пределах катен и факторах дифференциации свойств почв в пределах латеральных сопряжений.

Анализ существующих представлений о почвах карстовых районов показал, что отличительной особенностью почв и почвенного покрова областей с широким развитием поверхностного карста является практически полное отсутствие гидроморфных почв, сложность и мелкоконтурность почвенного покрова, высокая роль латеральной механической и химической миграции вещества в процессах формирования и функционирования почв. Автономные почвы, формирующиеся в карстовых районах на рыхлых четвертичных отложениях мощностью более 2 м, практически не отличаются

от почв, формирующихся на прилегающих «некарстовых» территориях на аналогичных почвообразующих породах в условиях автономного почвообразования. Наиболее специфичными почвенными образованиями в пределах областей с широким развитием поверхностного карста являются почвы, формирующиеся на дочетвертичных почвообразующих породах, а также почвы, приуроченные к крутым склонам и днищам карстовых форм рельефа вне зависимости от литологических особенностей почвообразующих пород.

Отметим, что, несмотря на распространенность карстовых воронок среди других поверхностных карстовых форм рельефа, почвы, формирующихся на их склонах, остаются практически неисследованными. С.В. Горячкиным (2010) выявлены общие тренды изменения почв в пределах катен воронок северотаежных ландшафтов и приведены данные о морфологических и химико-аналитических свойствах некоторых почв катен. В сухостепных ландшафтах (Климентьев и соавт., 2007) подробно исследованы морфологические и химико-аналитические свойства двух типов почв, формирующихся на склонах воронок, и показана их уникальность. Почвы карстовых воронок других ландшафтов не исследованы. Не выявлены пространственные изменения свойств почв в пределах склоновых катен воронок и не проведен анализ их латеральной и радиальной дифференциации. Несмотря на то, что согласно литературным данным в формировании почв карстовых воронок важную роль играет механическая миграция вещества, оценка ее характера и темпов не произведена. Не выявлены общие и специфические тренды почвообразования в пределах катен карстовых воронок в условиях различных биоклиматических и литолого-геоморфологических характеристик. Поэтому основной целью представленной работы и является выявление особенностей состава и формирования почвенных катен карстовых воронок в различных физико-географических условиях и их региональной специфичности.

Глава 2. Методологические основы и методика исследований

2.1. Классификации катен

Термин «катена» впервые был использован Милном и соавторами в работе: «Provisional Soil Map of East Africa...» (1936) как картографическая единица, объединяющая сопряженные по рельефу почвы. Приблизительно в это же время французские исследователи предложили термин «почвенные цепи» (Lafforge et al., 1936) – аналогичный понятию «катена» и обозначающий топографически связанный ряд почв. Согласно М.А. Глазовской (1969), катена является каскадной ландшафтно-геохимической системой нулевого порядка, то есть парагенетической системой элементарных ландшафтов, связанной потоками вещества, энергии, информации от верхних гипсометрических уровней рельефа к нижним. В литературе термин катена наиболее часто используется по отношению к сопряженным по рельефу почвам, растительным ассоциациям, элементарным ландшафтам. Отметим, что катена подразумевает под собой не только топографически сопряженный ряд природных объектов, но и отражение латеральных процессов и явлений, взаимодействие которых обуславливает целостность системы. Термины «почвенные сочетания» и «вариации», используемые в теории структур почвенного покрова и предложенные В.М. Фридландом (1972), «геохимические сопряжения» Б.Б. Польшова (1956) и А.И. Перельмана (1961) являются близкими по значению к термину «катена».

Разнообразие сочетаний факторов, формирующих катены, их пространственная неоднородность усложняют разработку единых подходов к классификации катен и их номенклатуре. В роли критериев могут выступать отдельные факторы формирования катен, структура катен, особенности миграции веществ в пределах сопряжений, факторы дифференциации природных объектов в пределах катен и степень их контрастности. Как правило, при классификации катен используется сочетание перечисленных критериев. К примеру, систематика катен, выполненная И.С. Урусевской (1990) в работе: «Почвенные катены Нечерноземной зоны РСФСР», включает

в себя семь таксономических уровней. Классы и подклассы катен выделены на основании ведущих факторов дифференциации почв в пределах катен, к которым относятся литологическая специфичность почвообразующих пород, условия увлажнения и перераспределения поверхностных вод, комплекс эрозионных процессов. Группы выделены на основании положения в пределах катены гидроморфных почв: автономно-гидроморфные, подчиненно-полугидроморфные и т.д. Типы катен определены по составу компонентов почвенного покрова, образующего сопряжение; например, подзолисто-альфегумусово-болотные катены, болотно-глееподзолистые катены, черноземно- «овражно балочные» катены и другие. Деление катен на разновидности производится согласно литологическому составу пород, образующих катены, разряды – согласно генетическому типу рельефа. Отдельно И.С. Урусевской (1990) была произведена группировка типов катен, являющаяся примером использования факторного подхода к систематизации объектов. В качестве независимых факторов, к сочетанию которых приурочены почвенные катены, выступают тип рельефа и почвообразующие породы. Всего И.С. Урусевской (1990) было выделено 8 типов катен северотаежных ландшафтов, 13 типов катен среднетаежных ландшафтов, 11 типов катен южнотаежных ландшафтов, 4 типа катен широколиственнолесных и 2 типа катен лесостепных ландшафтов. Отметим, что при составлении указанной систематики типов катен карстовый рельеф не учитывался - по-видимому, в силу слабой изученности катенарной специфичности карстовых регионов и относительно небольших территорий, относящихся к данному типу рельефа.

Принципы, сформулированные В. М. Фридландом (1984) для классификации структур почвенного покрова (СПП) - более широкого понятия, чем понятие «катена», в некотором роде могут быть использованы в качестве подходов к систематизации катен. В целом, переложение данного подхода к классификации катен позволит в терминологии СПП охарактеризовать состав почвенных катен (сочетаний и вариаций), дать

оценку контрастности почв и обозначить основные механизмы дифференциации почв в катенах. Предложенный подход скорее направлен на выявление общих особенностей СПП разных ландшафтных зон и геоморфологических условий, и поэтому не позволяет в должной мере подчеркнуть уникальность СПП карстовых воронок в сравнении с другими объектами.

Рассмотренная выше классификация катен И.С. Урусевской (1990) классификации СПП (Фридланд, 1982) по своему содержанию являются, преимущественно, ландшафтно-почвенными. Классификации, выполненные А.И. Перельманом (1961), М.А. Глазовской (1969), Н.С. Касимовым и А.И. Перельманом (1992), Н.С. Касимовым и О.А. Самоновой (2004), в свою очередь, являются примерами ландшафтно-геохимического подхода к систематизации катен. Последние две классификации во многом обобщают подходы А.И. Перельмана (1961) и М.А. Глазовской (1969) и отражают в своей структуре наиболее значимые характеристики катен. В классификации Н.С. Касимова и О.А. Самоновой (2004) группы и подгруппы катен выделяются согласно биоклиматическим характеристикам исследуемых территорий (таблица 2.1). Выделение разрядов, типов и подтипов производится на основании структурно- и литолого-геоморфологических параметров катен. Семейство, класс, род, вид и разновидность катены определяется по миграционной структуре катены и по особенностям выноса и накопления химических элементов в пределах катены.

Таблица 2.1.

Географо-геохимическая систематика катен (Касимов, Самонова., 2004)

Таксон	Критерии выделения
Группа	Принадлежность к ландшафтной зоне
Подгруппа	Сочетание автономных и подчиненных ландшафтов в пределах каждой группы
Разряд	Положение в речном бассейне (автохтонное, аллохтонное, порядок бассейна)
Тип	Монолитность или гетеролитность
Подтип	Литогеохимические особенности почвообразующих

	отложений в пределах типа
Семейство	Миграционная структура, обусловленная строением рельефа, литологией, характером поверхностного, внутрипочвенного и грунтового стока
Класс	Дифференциация щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условий в системе автономный-подчиненный ландшафт
Род	Степень геохимической контрастности катен
Вид	Соотношение литогеохимической и латерально-миграционной дифференциации элементов (сопряженное, дивергентное, конвергентное)
Разновидность	Характер распределения химических элементов по катене (транзитно-аккумулятивный, аккумулятивно-элювиальный и т.д.)

Напомним, что уникальность карстовых областей заключается в сильно расчленённом рельефе и наличии разветвленной системы трещин и пустот в толще карстующихся пород, вместе обуславливающих повышенную роль латерального и подземного стока в карстовых ландшафтах (Polemio et al, 2009; Li et al, 2011) и, кроме того, для карстовых воронок характерно объединение миграционных потоков от автономных позиций к подчиненным. Поэтому в рамках данной систематики наиболее яркое отражение специфичности катен карстовых областей должно проявляться на уровне семейства. В качестве названий семейств Н.С. Касимовым и О.А. Самоновой (2004) предложено использование названий типов геохимических сопряжений М.А. Глазовской (1964). В зависимости от путей миграции веществ в пределах катен М.А. Глазовской (1964) были выделены 5 типов геохимических сопряжений с преобладанием химического стока (водно-поверхностно-почвенный, водно-грунтовой, водно-поверхностно-почвенный-потускулярный, водный поверхностно-почвенный-грунтовой и водный поверхностно-грунтовой) и 4 типа геохимических сопряжений с преобладанием механического сноса (водный почвенно-солифлюкционный, водно-почвенно-эрозионный, гравитационно-осыпной, дефляционный). Почвенные катенны карстовых воронок, описанные в работах М.А. Смирновой и А.Н. Геннадиева (2011, 2012), по-видимому, относятся к водно-

почвенно-эрозионному семейству и в данном случае объединяются с катенами оврагов и балок некарстовых, преимущественно, аридных областей (Глазовская, 1964). Отметим, что катены карстовых воронок принципиально отличаются от катен оврагов и балок. Главное отличие заключается в том, что для катен карстовых воронок характерно объединение миграционных потоков по направлению от верхних автономных позиций к подчиненным (о чем было сказано выше) и, кроме того, карстовые воронки с закольматированным понором являются, в отличие от оврагов и балок, закрытыми системами. Таким образом, предложенная номенклатура не позволяет в полной мере отразить специфичность катен карстовых районов. Классификационное положение катен карстовых областей на более низких таксономических уровнях так же не позволяет отделить их от катен «некарстовых областей».

Интересный подход к систематизации катен, основанный на анализе поведения вещества в катене (выносе, аккумуляции или трансформации), представлен в работе М. Зоммера и Э. Шлихтинга (1997). В соответствии с балансовыми расчетами содержания вещества в катене (отдельных химических элементов, соединений, коллоидных частиц и т.д.) ими были выделены три архитипа катен: трансформационные катены (наблюдается только перераспределение вещества в пределах катены), катены выщелачивания (наблюдается вынос вещества за пределы катен) и катены аккумуляции (наблюдается аккумуляция вещества в катенах). На следующем таксономическом уровне катены разделяются в соответствии с формами миграции вещества (растворенная форма вещества, тверда фаз); далее – в соответствии с пространственными особенностями проявления процессов перераспределения вещества в катене.

Типизация почвенных склоновых сопряжений по проявлению процессов механической миграции вещества почв европейской территории России и Среднего Запада США, выполненная А.Н. Геннадиевым и А.П. Жидкиным (2012), в некотором роде реализует подходы, изложенные М.

Зоммером и Э. Шлихтингом (1997). Она основана на анализе характера протекания процессов латеральной миграции твердофазного вещества почв в пределах катен. Согласно предложенной типизации, к одному типу относятся катены с близкими скоростями механической миграции вещества в пределах сопряжения, сходной долей вещества почв, выносимого за его пределы и катены, характеризующиеся одинаковым расположением зон аккумуляции веществ в пределах склона. Отметим, что карстовые воронки с закольматированным понором выступают в роли «ловушек» материала и доля вещества почв, выносимого за пределы почвенных катенарных сопряжений таких карстовых воронок должна быть близка к нулю. Подсчет баланса вещества, участвующего в процессах массопереноса в пределах карстовых воронок, по-видимому, позволит выделить новую градацию в предложенной систематике – «закрытые почвенные склоновые сопряжения».

Таким образом, анализ существующих представлений о систематике катен показал, что существующие подходы в геохимии ландшафтов и географии почв к систематике почвенных сопряжений не позволяют в необходимой мере отразить специфичность катен карстовых воронок и отделить их от катен прилегающих некарстовых областей, несмотря на всю уникальность почв и почвообразования в районах широкого развития поверхностного карста.

2.2. Существующие подходы к оценке латеральной дифференциации почв в пределах катен

Для сопоставимой оценки латеральной дифференциации почв в пределах различных катен необходимо использование специальных критериев, которые могут выражаться как в качественном, так и в количественном (численном) виде. Анализ существующих подходов к оценке латеральной дифференциации почв в пределах катен, показывает, что почвы транзитных позиций (склонов) при оценке, как правило, не учитываются, а выводы о контрастности почв сопряжений часто делаются на основании сопоставления почв автономных и подчиненных позиций. Такой

подход к оценке степени латеральной контрастности может привести к ошибочной интерпретации данных, характеризующих миграционные процессы, особенно в пределах катен ландшафтов с недостаточным увлажнением. К примеру, в почвенных комплексах полупустынных ландшафтов Прикаспийской низменности максимальные содержания карбонатов характерны для почв микросклонов, в то время как в сопряженных почвах микроповышений и микропонижений наблюдаются меньшие содержания карбонатов (Большаков, Боровский, 1937; Гребенников, Дмитриев, 1983).

Примером количественной оценки латеральной дифференциации почв в пределах катены является широко используемый в геохимии ландшафтов латеральный анализ (L-анализ), заключающийся в подсчете коэффициента латеральной дифференциации (L), равного отношению содержания химического элемента в подчиненном ландшафте к содержанию элемента в автономном ландшафте. Как правило, для оценки используется содержание элемента в верхнем минеральном горизонте почвы или в слое опробования (латерально-миграционный анализ) и содержание элемента в почвообразующей породе (литогеохимический анализ). В соответствии с полученными значениями катены делятся на аккумулятивные ($L > 1,3$), монотонные ($0,7 < L < 1,3$) и транзитные ($L < 0,7$). Подчеркнем, что использование данных коэффициентов при изменении характера первого минерального горизонта в пределах катен или при анализе катен на двучленных отложениях при небольшой мощности верхнего субстрата и, таким образом, полностью вовлеченного в процесс почвообразования, является достаточно условным и в ряде случаев неверным. Добавим, что в зависимости от факторов, определяющих латеральную миграцию элементов, катены могут быть аккумулятивными по отношению к одной группе химических элементов и транзитными или монотонными по отношению к другой группе (Гаврилова, Касимов, 1989; Касимов и соавт., 1989; Касимов, Самонова, 2004).

В качестве критериев латеральной дифференциации почвенных катен могут выступать различия в таксономической принадлежности почв, входящих в почвенные сопряжения. Чем выше таксономический уровень различий почв, входящих в сопряжения, тем выше контрастность почв (Маландин, 1934).

Для более детального анализа латеральной дифференциации может быть проведен анализ степени выраженности и набора почвообразовательных процессов в пределах почвенных профилей (наиболее контрастными являются почвы, для которых характерен разный набор почвообразовательных процессов либо существенные различия в выраженности почвообразовательных процессов (Фридланд, 1984; Геннадиев, 1990)). В качестве критерия оценки разнообразия почв в катнах широко используется индекс Шеннона (Shannon, Weaver, 1949), рассчитываемый согласно формуле (1), где p_i – часть катены, занятая типом почв i , выраженная в долях от единицы, n – количество почв в катене. Чем больше значение индекса Шеннона, тем больше разнообразие почв. В случае отсутствия смены почв индекс Шеннона равен нулю.

$$SHDI = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i \quad (1)$$

Интересным подходом к решению вопроса о степени латеральной и радиально дифференциации почвенных катен является оценка контрастности условий миграции химических элементов в ее пределах. В соответствии с формированием в пределах катен того или иного вида контрастности (табл. 2.2.), определяемом на качественном уровне, Н.С. Касимовым и соавт. (1989) были выделены четыре степени контрастности: от слабой, до очень сильной. Жирным шрифтом в таблице 2.2. выделены облигатные виды контрастности, определяющие уровень контрастности катены; остальные виды контрастности являются факультативными. Биогенной контрастности совместно с текстурной или испарительной

присваивается балл 1-2. Кроме того, авторами предлагается отображение структуры ландшафтно-геохимической дифференциации катен с использованием следующей формулы: $R(a_n t_n g_n) L_n$, где R – радиальная дифференциация в катене, а – автономной элементарной ландшафтно-геохимической системе (ЭЛГС), t – транзитной ЭЛГС, g – гетерономной ЭЛГС, L – латеральная дифференциация, n – степень дифференциации (от 1 до 4 баллов), определяемая согласно таблице 2.2. Применение обозначенного подхода к оценке контрастности возможно не только по отношению ко всей ЭЛГС, но и к отдельному компоненту ЭЛГС – почвам.

Таблица 2.2.

Геохимическая контрастность катен (Касимов, Геннадиев, Лычагин, 1989)

Степень контрастности	Вид контрастности
Слабая (1 балл)	Биогенная
Средняя (2 балла)	Щелочно-кислотная
	Текстурная
	Испарительная
	Биогенная
Сильная (3 балла)	Окислительно-восстановительная кислородно-глеевая
	Щелочно-кислотная
	Текстурная
	Испарительная
	Биогенная
Очень сильная (4 балла)	Окислительно-восстановительная кислородно-сульфидная
	Щелочно-кислотная
	Текстурная
	Испарительная
	Биогенная

Использование рассмотренных подходов к оценке латеральной дифференциации почв в пределах катен позволит на качественном уровне определить степень латеральной дифференциации почвенных сопряжений, а так же сопоставить по степени дифференциации почвенные катены карстовых воронок, формирующиеся в разных биоклиматических и литолого-геоморфологических условиях.

2.3. Методика полевых и лабораторных исследований

Исследование почвенных катен карстовых воронок проводилось на 8 ключевых участках. В пределах каждого ключевого участка были исследованы почвы межвороночных пространств и склонов карстовых воронок разного размера. В соответствии с размерами исследованных карстовых воронок нами были выделены малые воронки диаметром до 10м, средние воронки диаметром от 10 до 20 м и большие карстовые воронки диаметром более 20м. Заложение почвенных катен проводилось на склонах восточных экспозиций карстовых воронок каждого диаметра. Исследование почв на склонах восточных экспозиций было обусловлено тем, что склоны восточной экспозиции характеризуются наиболее близкими темпами латеральной механической миграции вещества почв к средним значениям аналогичных показателей в пределах малых водосборов ландшафтов Европейской территории России (Иванов, 1979; Лидов, 1981; Иванов и соавт. 2004). Напомним, что латеральная механическая миграция вещества является одним из ведущих факторов дифференциации почв в пределах катен карстовых воронок (Горячкин, 2010; Смирнова, Геннадиев, 2011, 2012)). Почвенные разрезы закладывались на межвороночном пространстве (на расстоянии менее 15 метров от склона воронки) и на склонах воронок. На склонах малых карстовых воронок было заложено два разреза, склонах средних воронок - от двух до трех разрезов, склонах больших воронок - от трех до четырех разрезов. Для расчета индекса Шеннона было принято допущение, что каждый разрез, заложенный в катене, характеризует почвы равных по размерам долей катены. Например, если в катене было заложено три разреза, то каждый разрез характеризует почвы $\frac{1}{3}$ части катены, четыре разреза – каждый разрез характеризует почвы $\frac{1}{4}$ части катены, и так далее.

Описание почвенных разрезов проводилось погоризонтно. Индексация горизонтов почв и последующая классификация производилась на основе «Классификации и диагностика почв России»

(2004) и «Полевого определителя почв России» (2008). После детального описания почвенного профиля из общей массы каждого горизонта отбирался средний почвенный образец для химико-аналитических определений (всего было отобрано 395 образцов). Из гумусово-аккумулятивных горизонтов почв участков «Камаи» и «Кунгур» буром Качинского были отобраны образцы для определения плотности почв.

В лабораторных условиях были выполнены следующие виды анализов почвенных образцов: определение pH водной суспензии в 395 образцах, общего содержания органического углерода в 276 образцах, группового состава гумуса в 31 образце, магнитной восприимчивости в 385 образцах, гранулометрического состава почв в 126 образцах, валового содержания Si, Al, Fe, Ca, Mg, Ti, K, P, Mn в 178 образцах, оксалатнорастворимого железа в 37 образцах, CaCO_3 в 43 образцах, содержания легкорастворимых солей, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} в водной вытяжке в 43 образцах. Для расчета запасов гумуса в почвах плотность горизонтов W, E, BF участков «Супесчаный», «Голубино», «Придорожный» принималась равной $1,5 \text{ г/см}^3$, плотность горизонтов AY, AEL участков «Голубино» и «Филипповский» - $1,3 \text{ г/см}^3$, плотности горизонтов AY и RU участка «Капова» - $1,2 \text{ г/см}^3$ и $1,0 \text{ г/см}^3$ соответственно, горизонтов AJ и RU участка «Луговской» - $1,3 \text{ г/см}^3$ и $1,1 \text{ г/см}^3$ (величины плотности почв были выбраны в соответствии с данными А.Д. Воронина (1986)).

Определение pH водной суспензии, отражающего активность ионов водорода, производилось в соотношении почва:раствор 1:2,5 прибором фирмы Hanna. Содержание органического углерода определялось методом бихроматного окисления (мокрого озоления по Тюрину (Аринушкина, 1970)) с использованием двухлучевого спектрофотометра «Specord M40». Определение группового состава гумуса проводилось по ускоренному методу М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой (Аринушкина, 1970). Определение магнитной восприимчивости почвенных образцов проводилось при помощи прибора

Magnetic susceptibility balance фирмы Johnson Matthey. Определение оксалатрастворимого железа в вытяжке реактива Тамма проводилось на спектрофотометре фирмы Odyssey (модель DR/2400). Содержание легкорастворимых солей, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} определялось в водной вытяжке титрованием (Аринушкина, 1970), содержание CaCO_3 в почвах определялось газовольюметрическим методом (Кречетов, Дианова, 2009). Гранулометрический состав почв определялся при помощи лазерного гранулометра «FritschAnalysette 22». Определение валовых форм химических элементов проводилось рентген-флуоресцентным методом на приборе «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV». Полученные в ходе аналитических работ данные обрабатывались в пакете Statistica 6,0 и Excel.

Количественная оценка латерального переноса твердофазного вещества почв в пределах карстовых воронок проводилась методом магнитного трассера (Jones R.L., Olson, 1990; Olson et. al 2002, Геннадиев и соавт. 2004). Параметры пробоотбора и методика подсчета скоростей механической миграции вещества почв приведена в главе 5.

Глава 3. Объекты исследования и их физико-географическая характеристика

В соответствии с целью и задачами настоящей работы были выбраны 24 почвенных катены карстовых воронок на 8 ключевых участках. Объектами исследования служили почвенные катены карстовых воронок - северотаежных ландшафтов юго-восточной оконечности Беломорско-Кулойского плато (заповедник «Пинежский»: ключевые участки «Придорожный», «Филипповский», «Голубино» и «Супесчаный»), широколиственно-лесных и лесостепных ландшафтов Среднего Приуралья (заказник «Предуралье»: ключевой участок «Камай» и памятник природы «Ледяная гора», ключевой участок «Кунгур»), широколиственно-лесных ландшафтов западного макросклона Южного Урала (заповедник «Шульган-Таш»: ключевой участок «Капова») и сухостепных ландшафтов Южного Приуралья (Кзыладырское карстовое поле: ключевой участок «Луговской») (рис.3.1).

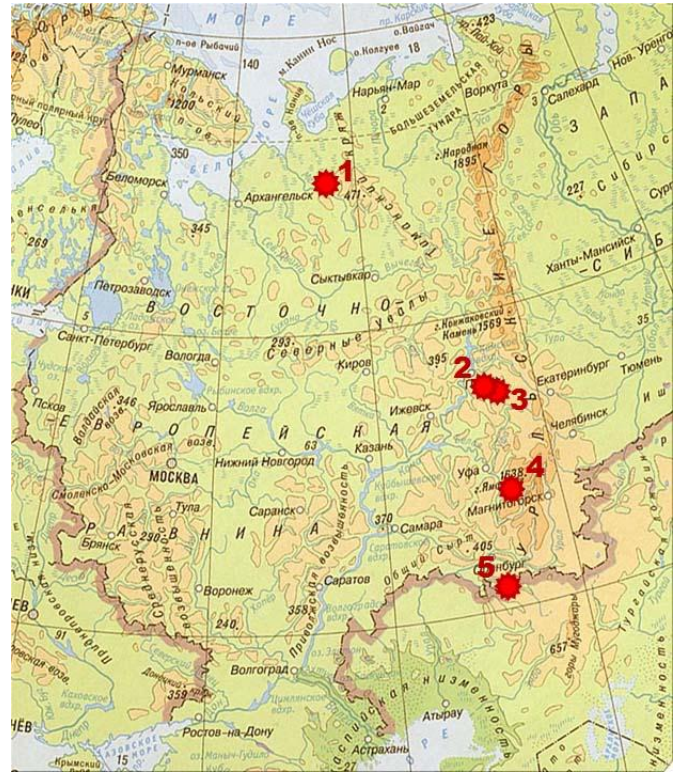


Рис.3.1. Расположение районов исследования. 1- заповедник «Пинежский»; 2- памятник природы «Ледяная гора»; 3- заказник «Предуралье»; 4- заповедник «Шульган-Таш»; 5- Кзыладырское карстовое поле

Главной особенностью исследуемых районов является близкое к поверхности залегание (менее 10 м от поверхности) – карбонатных и/или сульфатных пород пермского возраста. В качестве карстующихся пород в заповеднике «Пинежский» преимущественно выступали гипсы и ангидриты с

прослоями доломитов и красноцветных карбонатных песчаников и алевроитов соткинской свиты (Структура и динамика..., 2000). Карбонатные отложения артинского яруса и сульфатные отложения кунгурского яруса залегают в непосредственной близости к дневной поверхности на территории памятника природы «Ледяная гора» (Кунгурская Ледяная..., 2005)) и Кзыладырского карстового поля. Известняки и доломиты артинского яруса выступают в качестве карстующихся пород на территории заказника «Предуралье» (Особо охраняемые..., 2002) и заповедника «Шульган-Таш» (Летопись природы..., 1986).

Значительную роль в эволюции и генезисе карстового рельефа юго-востока Беломоско-Кулойского плато сыграла серия плейстоценовых оледенений, а современный облик территории, во многом, обусловлен поздневалдайским материковым оледенением и его деградацией (Николаев, 1987; Малков и соавт., 2001). Характер залегания четвертичного чехла на исследованной территории свидетельствует об одновременном (или более позднем) его образовании с карстовыми формами рельефа (Горячкин, Шаврина, 1997). Эволюция и генезис карстового рельефа исследованных областей Приуралья и Южного Урала, расположенных вне зоны распространения плейстоценовых оледенений, связаны с изменением уровня базиса эрозии – Каспийского моря, главным образом, во время плейстоценовых и голоценовых трансгрессий; то есть возраст карстового рельефа составляет десятки тысяч лет (Вахрушев, 1972; Мартин, Лерман, 1978; Горбунова и соавт., 1992; Мартин и соавт, 1993; Кунгурская ледяная..., 2005).

Повсеместное распространение карстующихся пород на исследованных территориях привело к формированию широкого спектра поверхностных карстовых форм рельефа. Наиболее распространенными карстовыми формами рельефа изученных территорий являются карстовые воронки, представляющие собой конусовидные, чашевидные или блюдцеобразные углубления с резкой бровкой и, как правило, симметричными склонами,

плавно сходящимися к центру. На исследованных территориях преобладают воронки средних размеров с диаметрами 15-25 м, глубиной 3-5 м. Морфологические характеристики исследованных карстовых воронок приведены в таблице 3.1..

Таблица 3.1.

Морфологические характеристики исследованных карстовых воронок

Ключевой участок	воронка	Диаметр воронки (м)	Глубина воронки (м)	длина склона (м)	угол наклона склона воронки(градусы)
Северотаежные ландшафты					
«Придорожный»	СТ-Pr1	6	3	3,5	22
	СТ-Pr2	16	4,5	9,5	30
	СТ-Pr3	26	7	13	26
«Филипповский»	СТ-Fi1	5	3	3	26
	СТ-Fi2	13	4,5	8	35
	СТ-Fi3	24	7	14	30
«Голубино»	СТ-Go1	8	2,5	5	29
	СТ-Go2	14	3,5	8	25
	СТ-Go3	27	7	15	23
«Супесчаный»	СТ-Su1	7	2	4	32
	СТ-Su2	12	4,5	7,5	36
	СТ-Su3	32	9	18	29
Широколиственно-лесные ландшафты					
«Камаи»	ШЛ-Km1	7,5	1.5	4	24
	ШЛ-Km2	17	4	9,5	25
«Капова»	ШЛ-Kp1	7	3,5	4,5	35
	ШЛ-Kp2	13	5	8,5	36
	ШЛ-Kp3 ₁	31	13,5	21	38
	ШЛ-Kp3 ₂	28	9	16	33
Лесостепные ландшафты					
«Кунгур»	ЛС-Ku1	6	2	3,5	31
	ЛС-Ku2	12	4,5	7	32
	ЛС-Ku3	32,5	11	19,5	33
Сухостепные ландшафты					
«Луговской»	СС-Lu1	8	2	5	33
	СС-Lu2	14	4	10	32
	СС-Lu3	28	12	24	34

Все исследованные карстовые воронки имеют конусообразную форму. Поверхность склонов воронок участков «Придорожный», «Филипповский», «Голубино» и «Камаи» - слабоволнистая. Для участков «Супесчаный», «Кунгур», «Капова», «Луговской» характерны более ровные очертания в

профиле, прямые склоны. Конусообразная форма воронок, симметричные склоны и относительно выровненная поверхность склонов позволяет предположить, что исследованные воронки имеют коррозионно-суффозионное происхождение и относятся, в терминологии Н.А. Гвоздецкого (1981), к воронкам просасывания. Днища карстовых воронок среднего и большого диаметров ключевого участка «Кунгур», днища всех карстовых воронок ключевых участков «Капова» и «Луговской» осложнены понором. Отличительной особенностью карстовых воронок участка «Придорожный» является заполнение днищ воронок водой.

Климатические характеристики, растительный покров и почвообразующие породы ключевых участков различны и приведены ниже. В таблице 3.2. приведена краткая характеристика почвообразующих пород и растительных ассоциаций на ключевых участках.

Таблица 3.2.

Почвообразующие породы и растительные ассоциации на ключевых участках

Участок	Почвообразующие породы		Растительные ассоциации	
			межвороночных пространств	склонов воронок
«Супесчаный»	Супесчаные моренные		сосняки чернично-зеленомошные	чернично-зеленомошные и зеленомошные ассоциации
«Голубино»	Двуучастные моренные	супеси-легкие суглинки, подстилаемые на глубине 20 см тяжелыми суглинками	лиственнично-осиновый с примесью ели и сосны чернично-зеленомошный лес	чернично-зеленомошные и чернично-бруснично-зеленомошные
«Придорожный»		супеси-легкие суглинки, подстилаемые на глубине 50 см средним-тяжелым суглинком		
«Филипповский»	Суглинистые дериваты красноцветных пород пермского возраста		ельник с осинкой и лиственницей чернично-бруснично-майничково-кисличный	чернично-майничково-папоротниковые, чернично-зеленомошные и чернично-бруснично-зеленомошные

			ассоциации
«Камаи»	Суглинистый элювий и элюво-делювий красноцветных пород пермского возраста	липово-еловый с примесью березы и осины аконитово-снытево-кисличный лес	аконитово-снытево-кисличные и снытево-кисличные ассоциации
«Капова»	Суглинистый элювий и элюво-делювий глинистых сланцев пермского возраста	дубово-еловый с примесью осины и березы папоротниково - злаково-разнотравный лес	папоротниково - злаково-разнотравные и злаково-разнотравные ассоциации
«Кунгур»	Суглинистый элювий и элюво-делювий известняков пермского возраста	типчаково-ковыльная степь	типчаково-ковыльные ассоциации
«Луговской»	Суглинистый элювий и элюво-делювий карбонатных конгломератов пермского возраста	типчаково-ковыльно-полынная степь	типчаково-ковыльно-полынные ассоциации

3.1. Участки «Голубино», «Придорожный», «Супесчаный», «Филипповский» Юго-Востока Беломорско-Кулойского плато (заповедник «Пинежский»)

Среднемноголетняя годовая температура воздуха района исследований составляет +0,2 °С. Сезоны года выражены ясно. Холодная зима продолжительностью более полугода при средней январской температуре - 14,5°С (абсолютный минимум, зарегистрированный в окрестностях пос. Пинега, составляет -50,2°С), определяет продолжительный зимний перерыв в процессах почвообразования. Безморозный период здесь длится всего 85-95 дней. Глубина сезонного промерзания почв колеблется от 30 до 134 см. Средняя величина снежного покрова составляет 45-60 см (максимальный до 95-105 см). Запас воды в снеге, составляющий 150-200 мм к концу зимнего периода, определяет полное промачивание почвенной толщи в весенне-летний период. Активное снеготаяние начинается в середине апреля, среднемноголетняя дата схода снежного покрова 22 мая (Голубинский заказник, 2003).

Лето короткое умеренно-теплое и пасмурное со средней июньской температурой $+14,0^{\circ}\text{C}$. Температурный максимум, зафиксированный в июле, составляет $+34,5^{\circ}\text{C}$. Сумма активных температур равняется 1100°C . На летние месяцы приходится максимум осадков ($69,8-63,5$ мм/мес.) при их среднем многолетнем количестве 652 мм. Минимальное количество осадков приходится на февраль – март ($28,4-27,2$ мм/мес.) Район расположен в условиях повышенного атмосферного увлажнения с коэффициентом увлажнения, превышающим $1,8$ (Структура и динамика..., 2000).

Микроклиматические исследования в районах развития поверхностного карста свидетельствуют о наличии существенного температурного градиента по высоте. Так, средние температуры почв на глубине 20 см в летнее время в днищах карстовых воронок и на межворонковых пространствах отличаются друг от друга, в среднем, на 5°C (Структура и динамика..., 2000).

Покров четвертичных отложений развит на юго-востоке Беломорско-Кулойского плато практически повсеместно, однако, покровные отложения крайне неоднородны по своей мощности и составу. Мощность четвертичных отложений варьирует от $0-10$ м на северо-востоке и до $25-30$ м на юго-западе юго-восточной оконечности Беломорско-Кулойского плато. Невыдержанность мощности отложений связана с сильной расчлененностью кровли коренного рельефа. Отложения представлены ледниковыми и озёрно-ледниковыми суглинками, глинами, супесями и песками. В качестве почвообразующих пород на ключевых участках «Голубино» и «Придорожный» выступали двучленные моренные отложения осташковского горизонта. Эти отложения представляют собой супеси–легкие суглинки, подстилаемые на глубине от 15 до 60 см средними-тяжелыми суглинками. В составе отложений встречается небольшое количество гальки и щебня. Мощность верхней супесчано-легкосуглинистой толщи варьирует: наблюдается увеличение ее мощности на $10-15$ см от межвороночных пространств к нижним частям склонов карстовых воронок. В составе средне-

тяжелосуглинистых отложений с глубины порядка 50-80 см часто присутствуют обломки карбонатных пород, при этом мелкозем при взаимодействии с 10% HCl не вскипает (Структура и динамика..., 2000; Шаврина, 2002).

Супесчаные моренные отложения выступают в роли почвообразующих пород для почв участка «Супесчаный». Эти отложения, в целом, однородны в своей верхней части, однако с глубины 70-90 см в их толще могут встречаться линзы и прослои пермских красноцветных супесчаных пород. В верхней части супесчаных отложений может встречаться щебень, на глубине больше полуметра его количество сокращается (Структура и динамика..., 2000).

Дериваты красноцветных пород пермского возраста, являющиеся почвообразующими породами для почв участка «Филипповский», представляют собой выщелоченные от карбонатов аргилиты и алевролиты, переотложенные и перемешанные с моренными отложениями. Соотношение моренного материала и материала красноцветных пород в дериватах варьирует как в радиальном, так и в латеральном направлениях. Как правило, общее содержание моренного материала постепенно уменьшается с глубиной. Дериваты красноцветных пород характеризуются яркой красной окраской материала за счет относительно высокого унаследованного содержания гематита в породах (Лесовая и соавт., 2005). В верхней части дериватов красноцветных пород встречаются галька и щебень. С глубины около 50 см в отложениях часто присутствуют обломки карбонатных пород. В верхней и центральной частях склонов воронок карбонатные породы залегают наиболее близко к дневной поверхности по сравнению с межвороночными пространствами и нижними частями склонов воронок. Почвы малой карстовой воронки формируется в условиях более глубокого залегания обломков карбонатных пород, чем почвы средней и большой воронок, и большей примеси моренного суглинка в почвообразующем материале.

Растительные ассоциации плакорных участков, приуроченных к местам распространения двучленных моренных отложений (ключевые участки «Голубино» и «Придорожный»), отличаются относительно большим видовым разнообразием. Верхний ярус здесь, как правило, образуют несколько древесных пород: осина (*Populus tremula* L), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb), ель обыкновенная и ель сибирская (*Picea abies* и *Picea obovata*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Подлесок разрежен, в нем чаще всего встречаются рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*), иногда шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl). Среди кустарничков преобладают *Vaccinium myrtillus*- черника и *Vaccinium vitis-idaea* – брусника. Отличительной чертой данных ассоциаций является присутствие в растительном покрове злаковых и бобовых видов (бора развесистого (*Milium effusum*), луговика извилистого (*Deschampsia flexuosa*), чины лесной (*Lathyrus sylvestris*) и др.). В моховом покрове преобладает *Pleurozium schreberi*. В целом, степень проективного покрытия кустарничково-травянистого яруса составляет около 55%. Для растительных ассоциаций центральных частей склонов рассматриваемого типа воронок характерен разреженный подлесок (сомкнутость подлеска менее 0,1) из можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis*). Кустарничково-травянистый и моховой ярусы, в целом, аналогичны по видовому составу соответствующим ярусам плакорных участков. В нижних частях склонов развивается чернично-зеленомошные и чернично-бруснично-зеленомошные ассоциации. Степень общего проективного покрытия кустарничково-травянистого и мохового ярусов на склонах воронок составляет около 85%. В нижних частях склонов воронок ключевого участка «Придорожный» степень проективного покрытия мохового яруса несколько больше, чем аналогичный показатель в нижних частях склонов воронок участка «Голубино».

Для относительно выровненных поверхностей, примыкающих к склонам карстовых воронок, ключевого участка «Филипповский» так же

характерно доминирование нескольких видов в древесном ярусе. Ярус представлен: осиной (*Populus tremula* L), лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb), елью обыкновенной и елью сибирской (*Picea abies* и *Picea obovata*); сомкнутость крон около 0,5. В кустарниковом ярусе встречаются рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis*), шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl). В травянистом покрове часто встречаются княжек сибирский (*Atragene sibirica*), борец северный (*Aconitum septentrionale*), преобладают кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.) и майник двулистный (*Maianthemum bifolium*). Кустарничковый ярус представлен *Vaccinium myrtillus* и *Vaccinium vitis-idaea*. Степень проективного покрытия травянисто-кустарничкового яруса около 60%. В моховом покрове преобладает *Pleurozium schreberi*. Верхние и центральные части склонов карстовых воронок заняты чернично-папоротниково-майниковыми, чернично-зеленомошными, чернично-бруснично-зеленомошными ассоциациями. Степень проективного покрытия травянисто-кустарничкового и мохового ярусов составляет около 70%.

Сосняки рябиново-можжевельниковые черничные зеленомошные с примесью осины и березы в древостое являются характерными растительными ассоциациями для почв, формирующихся на супесчаных моренных отложениях (ключевой участок «Супесчаный»). Около 20% поверхности почвы как на плакорах, так и на склонах воронки, покрыто лишайниками из рода *Cladonia*. В верхних и центральных частях склонов карстовых воронок, как правило, формируются кустарничково-зеленомошные ассоциации (чернично-зеленомошные) с редким подлеском из можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis*). В нижних частях склонов данные ассоциации сменяются зеленомоховыми с преобладанием *Pleurozium schreberi*. Степень проективного покрытия кустарничкового и мохового ярусов, в среднем, составляет около 60%.

На межвороночных пространствах на двучленных моренных отложениях, в зависимости от мощности верхнего более легкого субстрата, формируются текстурно-подзолистые почвы или подзолы. На супесчаных моренных отложениях в условиях автономного почвообразования формируются подзолы (Структура и динамика..., 2000); на дериватах красноцветных пород, в зависимости от гранулометрического состава, минералогического состава илистой фракции и глубины залегания карбонатных пород, формируются подзолистые почвы или буроземы (Лесовая и соавт., 2005).

3.2. Участки «Кунгур», «Камаи» Среднего Приуралья (памятник природы «Ледяная гора» и заказник «Предуралье»)

В пределах среднего Приуралья расположен самый северный участок лесостепных ландшафтов Европы – Кунгурская островная лесостепь. Первые описания Кунгурской лесостепи были выполнены П.Н. Крыловым и опубликованы в работе: «Материалы к флоре Пермской губернии» (1878). Интересно, что на основании ботанических исследований данного региона им впервые в научную литературу был введен термин «лесостепь». Почвенные катены карстовых воронок Кунгурской островной лесостепи были исследованы на территории памятника природы «Ледяная гора», расположенного на восточной границе г. Кунгур в селе Филипповка (ключевой участок «Кунгур»). В 30 км к юго-востоку были исследованы почвенные катены широколиственно-лесных ландшафтов заказника «Предуралье» (ключевой участок «Камаи»).

По данным метеостанции «Кунгур» (Кунгурская Ледяная..., 2005), среднемноголетняя температура воздуха составляет 1,8°C. Средняя температура июня +21,6°C, (абсолютный максимум +37,5°C), средняя температура января – 11,2°C (абсолютный минимум -45 °C). Продолжительность безморозного периода составляет 115 дней. Среднегодовое количество осадков составляет 532 мм, на холодный период (октябрь-март) приходится около 176 мм. Высота снежного покрова

равняется 60 см (запас воды в снеге составляет 130 мм). Устойчивый снежный покров сохраняется около 170 дней. Глубина промерзания почв колеблется от 65 до 80 см.

Растительность ключевого участка «Кунгур» представлена реликтовой степью с ковылем перистым (*Stipa pennata*), типчаком (*Festuca valesiaca*), мятликом луговым (*Poa pratensis*), лабазником шестилепестным (*Filipendula vulgaris*), клевером ползучим (*Trifolium repens*) кровохлебкой лекарственной (*Sanguisorba officinalis*), мордовником обыкновенным (*Echinops ritro*), некоторыми видами полыней, астрагалов и др. Степень проективного покрытия травянистого яруса увеличивается от 65% на межвороночных пространствах до 80% в пределах нижних частей склонов. По направлению к нижним частям склонов воронок в растительных ассоциациях уменьшается доля злаковых видов и увеличивается доля бобовых и разнотравья. Почвообразующими породами являются элювий и элюво-делювий известняково-доломитовой пачки Иренской свиты Кунгурского яруса (Максимович, Горбунова, 1958; Вологжанина, 1980). Породы щебнисты, вскипают при реакции с 10-% HCl. По гранулометрическому составу мелкоземистая толща легкосуглиниста, ее мощность, как правило, не превышает 50 см. Известняково-доломитовые отложения на глубине около 10-15 метров подстилаются гипсово-ангидритовыми отложениями. На таких почвообразующих породах в условиях автономного почвообразования формируются дерново-карбонатные почвы (Вологжанина, 1980).

В отличие от ключевого участка «Кунгур», ключевой участок «Камаи» расположен в пределах широколиственно-лесных ландшафтов. По мнению И.М. Крашенинникова (1951) наличие резкой ландшафтной границы между лесостепными и широколиственно-лесными ландшафтами здесь обусловлено замещением нижнепермских карбонатно-сульфатных отложений кунгурского яруса Иренской свиты (Кунгурская лесостепь) карбонатными отложениями артинского яруса Иренской свиты (широколиственно-лесные ландшафты). При смене карбонатно-сульфатных карстуемых пород на карбонатные

происходит закономерное уменьшение плотности карстовых форм рельефа и, соответственно, ухудшение дренажных условий.

Отметим, что ключевой участок «Камаи» расположен вблизи северной границы распространения широколиственно-лесных ландшафтов Европейской территории России (Кадетов, 2012), что накладывает свой отпечаток как на растительность ключевого участка, так и на протекание процессов почвообразования. Древесный ярус участка «Камаи» представлен липой сердцевидной (*Tilia cordata*), осиной (*Populus tremula* L), березой повислой (*Betula pendula*), елью обыкновенной (*Picea abies*), сомкнутость крон около 0,6. В травянистом ярусе преобладающими видами являются *Aegopodium podagraria* и *Oxalis acetosella*. Склоны карстовых воронок покрыты травянистыми ассоциациями с преобладанием *Aegopodium podagraria*, *Aconitum*, *Oxalis acetosella*, *Stellaria*; древесная растительность отсутствует. Степень проективного покрытия травянистого яруса по направлению от межвороночных пространств к нижним частям склонов карстовых воронок увеличивается от 35% до 45%. Почвообразующими породами являются красноцветные породы, подстилаемые на глубине более двух метров, карбонатными отложениями, выступающих в качестве карстующихся пород. Красноцветные породы имеют среднесуглинистый гранулометрический состав, при реакции с 10-% HCl не вскипают. На глубине более 0,5 метров могут встречаться обломки карбонатных пород диаметром до 5 см. В условиях автономного почвообразования на этих породах могут формироваться как дерново-подзолистые почвы, так и буроземы (Добровольский и соавт., 1992; Водяницкий, Васильев, 1994; Водяницкий и соавт., 2003).

3.3. Участок «Капова» западного макросклона Южного Урала (заповедник «Шульган-Таш»)

Среднемноголетняя годовая температура воздуха окрестностей заповедника «Шульган-Таш» положительна и составляет +2,0. Средняя июльская температура воздуха +16°C, средняя январская -14°C. Количество

осадков, выпадающих на территорию заповедника, неустойчиво; оно может колебаться от 270 до 730 мм и, в среднем, составляет 535 мм/год. Высота снежного покрова колеблется от 40 до 60 см. Глубина сезонного промерзания почв составляет 1,2м (Летопись природы...,1986).

В качестве почвообразующих пород для почв участка выступают элювий и элюво-делювий глинистых сланцев. Эти отложения представляет собой достаточно однородный по гранулометрическому составу средне-тяжелосуглинистый - темно-бурый материал. Как правило, на глубине около 1,5-2 метров в толще сланцевого наноса встречаются крупные обломки (диаметром около 30-50см) подстилающих карбонатных пород. Мелкозем при взаимодействии с 10% HCl не вскипает. Глинистые сланцы характеризуются высоким содержанием пирита (Вахрушев, 1959)

Осиновые и березово-осиновые злаковые и папоротниково-злаковые леса с примесью дуба черешчатого (*Quercus robur L.*), клена остролистного (*Acer platanoides*) – являются характерными растительными ассоциациями относительно выровненных участков, примыкающих к склонам карстовых воронок. Сомкнутость древостоя, как правило, не превышает 0,5. В подлеске часто встречаются рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia L.*) и черемуха обыкновенная (*Padus avium Mill*). В травостое преобладают бор развесистый (*Milium effusum L.*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), ежа сборная (*Dactylis glomerata L.*), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*), володушка длиннолистная (*Bupleurum longifolium*), подмаренник душистый (*Galium odoratum (L.) Scop.*), гравилат алеппский (*Geum aleppicum*). Центральные и нижние части склонов воронок заняты травянистыми ассоциациями. В центральных частях склонов, как правило, формируются злаково-разнотравные и папоротниково-злаковые ассоциации; в нижних частях склонов - крапивно-злаковые и собственно злаковые ассоциации. Согласно региональным описаниям (Летопись природы..., 1986; Хазиев и соавт., 1995; Почвы..., 2011) на исследованной территории в автономных условиях почвообразования формируются серые лесные почвы.

3.4. Участок «Луговской» Южного Приуралья (Кзыладырское карстовое поле)

В климатическом отношении территория Кзыладырского карстового поля характеризуется жарким летом со среднеиюльской температурой $+22^{\circ}\text{C}$ (абсолютный максимум $+41^{\circ}\text{C}$) и холодной зимой со среднеянварской температурой -14°C (абсолютный минимум -44°C). Среднегодовая температура воздуха составляет $+2,5^{\circ}\text{C}$, безморозный период длится 130 дней. Глубина промерзания почв не превышает 1 м. Среднегодовое количество осадков составляет около 320 мм, режим выпадения осадков неустойчив. Высота снежного покрова неравномерна: в понижениях рельефа – в днищах оврагов и карстовых воронок высота снежного покрова может достигать 3-5 метров, в то время как на выровненных пространствах она, в среднем, составляет от 20 до 30 см (Климентьев и соавт., 2007).

Почвообразующие породы участка представлены элювием и элюво-делювием карбонатных конгломератов. Породы неоднородны и щебнисты с поверхности. Мелкозем вскипает при реакции с 10% HCl (Павлейчик, Самсонов, 1997; Климентьев и соавт., 2007).

Растительность представлена типчаково-полынно-ковыльными степями, степень проективного покрытия на межвороночных пространствах не превышает 30%. В пределах склонов карстовых воронок по направлению от верхних к нижним частям склонов происходит постепенное увеличение степени проективного покрытия травянистого яруса до 40–50%, увеличивается видовое разнообразие, появляется тимьян ползучий (*Thymus serpyllum*), кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*), копеечник разумовского (*Hedysarum razumovianum*), василек русский (*Centaurea ruthenica*) и другие виды растений.

На выровненных слабонаклонных участках Кзыладырского карстового поля под типчаково-полынно-ковыльными растительными ассоциациями И.А. Климентьевым и соавт. (2007) были описаны черноземы текстурно-карбонатные солонцеватые.

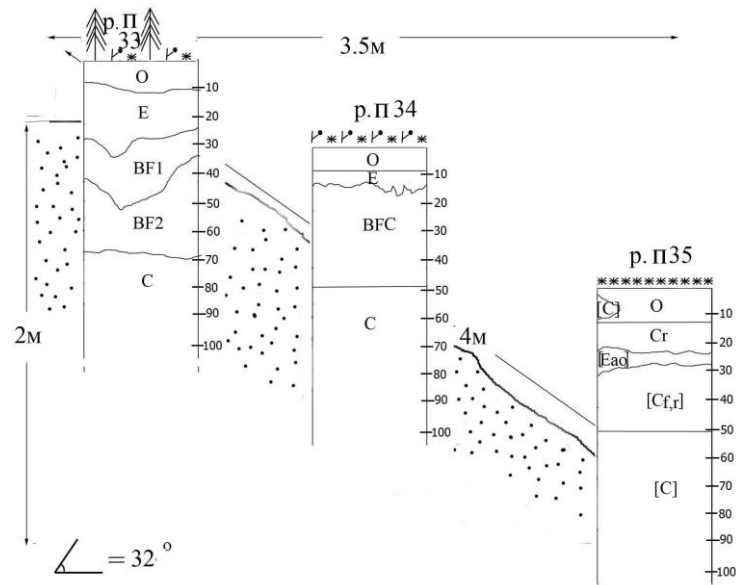
Глава 4. Почвенные катены карстовых воронок

4.1. Северотаежные ландшафты

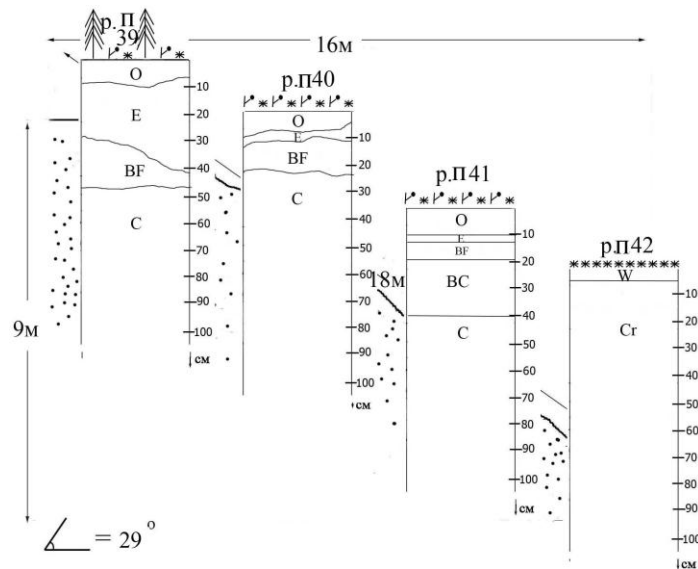
В пределах северотаежных ландшафтов было исследовано 12 почвенных катен карстовых воронок на 4 ключевых участках. Почвообразующими породами для почв катен являлись супесчаные моренные отложения (ключевой участок «Супесчаный»), двучленные моренные отложения (участки «Голубино» и «Придорожный») и дериваты красноцветных пород (участок «Филипповский»). Морфологические описания некоторых почв катен ключевых участков приведены в Приложении 1 и опубликованы работах «Почвы карстовых воронок юго-востока Беломорско-Кулойского плато» (Смирнова, Геннадиев, 2011) и «Почвенные катены на склонах карстовых воронок» (Геннадиев, Смирнова, 2012). Остановимся более подробно на строении почвенных катен и особенностях изменения свойств почв в латеральном направлении.

4.1.1. Катены на супесчаных моренных отложениях

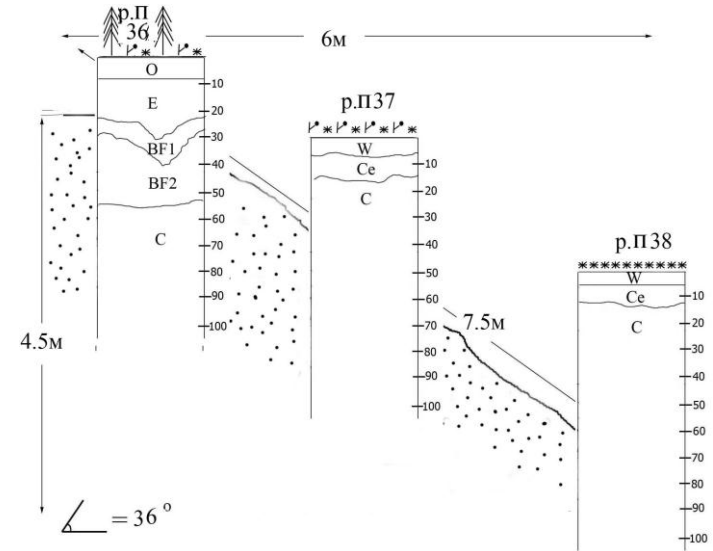
На ключевом участке «Супесчаный» от межвороночных пространств к средним и нижним частям склонов карстовых воронок происходит следующая смена почв (рис. 4.1): подзолы иллювиально-железистые глубоко (разрезы П33, П39) и неглубоко (разрез П 36) осветленные межвороночных пространств сменяются подзолами мелкоосветленными (разрезы П34, П40, П41) в средних частях склонов воронок малого и большого диаметров и псаммоземам гумусовым оподзоленным (разрез П37) в средней части воронки среднего диаметра; в нижних частях склонов формируются псаммоземы стратифицированные (разрез П35; малая карстовая воронка), псаммоземы гумусовые оподзоленные (разрез П38; средняя карстовые воронки), псаммоземы гумусовые стратифицированные (разрез П42; большая карстовая воронка). Индексы SHDI малой и средней воронок составляет 0,64, большой – 1.



а



в



б

Рис. 4.1. Почвенные катены карстовых воронок на супесчаных моренных отложениях участка «Супесчаный»
а- малая воронка; б-средняя воронка; в- большая воронка.

Условные обозначения

Почвообразующие и подстилающие породы
 - супеси разноразмерные косослоистые с гравием, галькой, мелкими валунами

Растительные ассоциации

 -сосняки чернично-зеленомошные
 -чернично-зеленомошная ассоциация
 -зеленомошная ассоциация

Главной особенностью почвенных катен является резкое сокращение мощностей профилей почв по направлению от межвороночных пространств к нижним частям склонов воронок, в основном, за счет уменьшения мощности подзолистого и иллювиально-железистого горизонтов почв. В подзолах межвороночных пространств мощность подзолистого горизонта составляет около 20 см, иллювиально-железистого горизонта - около 10-15 см. На склонах воронок мощность этих горизонтов не превышает 5 см, в ряде случаев (как на склоне воронки среднего диаметра; разрез П37), иллювиально-железистый горизонт в почвенном профиле отсутствует, а подзолистый горизонт распадается на небольшие (в диаметре не превышающие нескольких сантиметров) светло-серые линзы. На фоне сокращения мощности и целостности горизонтов наблюдаются изменения в цвете горизонтов: к белесому цвету подзолистого горизонта примешиваются серые тона, иллювиально-железистый горизонт теряет буровато-охристый цвет. В нижних частях склонов подзолистый и иллювиально-железистый горизонты отсутствуют, в почвенном профиле могут встречаться признаки оподзоливания в виде расплывчатых осветленных пятен. Кроме того, материал почв нижних частей склонов воронок слоистый, в профилях почв могут встречаться погребенные горизонты (разрез П35, рис. 4.2)

Характер верхнего горизонта в почвах катен воронок практически не меняется – он представлен подстильно-торфянистым горизонтом мощностью около 8-10 сантиметров. В ряде случаев, как, например, на склоне карстовой воронки среднего диаметра или в нижней части склона карстовой воронки большого диаметра, подстильно-

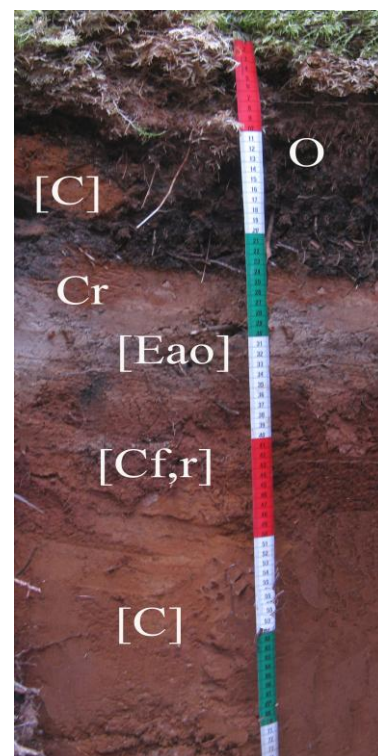


Рис. 4.2. Псаммозем стратифицированный, разрез П35

торфянистый горизонт сменяется гумусовым слабо развитым горизонтом (мощность горизонта от 5 до 10 см).

Для почв катен участка «Супесчаный» характерно увеличение содержания органического углерода по направлению к нижним частям склонов воронок от 0,1 – 0,2% до 2-4% органического углерода (см. табл.1 приложения 2). При этом, увеличения запасов гумуса в почвах в латеральном направлении, как правило, не происходит, поскольку увеличения содержания органического углерода сопровождается резким уменьшением мощности почвенных горизонтов. Кроме того, в пределах катен изменяется характер распределения органического углерода – от недифференцированного на межвороночных пространствах (разрезы ПЗЗ, ПЗ6, ПЗ9; различия в содержании органического углерода между горизонтами не превышают 0,05% при среднем содержании в 0,14%) к аккумулятивному (разрезы ПЗ4, П41) или элювиально-иллювиальному (разрезы ПЗ5, ПЗ7, ПЗ8, П40, П42) на склонах воронок.

Почвы катен характеризуются сильно кислой или кислой реакцией среды (см. табл.1 приложения 2), изменение значений pH в радиальном направлении не существенно (коэффициенты вариации pH не превышают 10%). В латеральном направлении изменения pH могут, как увеличиваться, так и уменьшаться, но не более, чем на единицу. В целом, щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия миграции химических элементов в пределах катен участка «Супесчаный» однородны, формула катенарной дифференциации выглядит следующим образом: $R(a_1t_1g_1)L_1$.

Радиальное распределение валовых форм полуторных оксидов становится более равномерным по направлению от межвороночных пространств к нижним частям склонов воронок. Для почв межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов воронок максимальное процентное содержание SiO_2 наблюдается в подзолистом горизонте (до 95%), вниз по профилю оно уменьшается, в среднем, на 5% (см. табл.2 приложения 2). Характер распределения Al_2O_3 и Fe_2O_3 противоположен характеру

распределения SiO_2 в пределах профиля – минимальные содержания элементов наблюдаются в подзолистом горизонте, максимальные – в иллювиальных горизонтах и почвообразующей породе. Элементный состав почв нижних частей склонов однороден и похож на элементный состав иллювиальных горизонтов и почвообразующих пород почв межвороночных пространств (см. табл.2 приложения 2). В латеральном направлении для верхних минеральных горизонтов почв катен характерна аккумуляция Fe, Ca, Mn, P, Ti по направлению к нижним частям склонов, наблюдаемая на фоне монотонного распределения этих элементов в почвообразующих породах. Данная особенность может быть обусловлена специфичностью опробованного верхнего минерального горизонта; в автономных почвах верхний минеральный горизонт представлен подзолистым горизонтом, в почвах нижних частей склонов – гумусовым слабо развитым.

Почвы катен характеризуются очень низкими значениями магнитной восприимчивости (см. табл.1 приложения 2), значения χ редко превышают $5 \times 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$, что, по-видимому, обусловлено низким содержанием в породах магнитных минералов. Для подзолов межвороночных пространств и склонов характерна очень высокая вариабельность изменения значений магнитной восприимчивости в пределах профилей почв (коэффициент вариации в ряде случаев превышает 100%) из-за практически нулевых значений магнитной восприимчивости в подзолистых горизонтах. Максимум значений магнитной восприимчивости обнаруживается в горизонте BF. Для почв так же характерны низкие значения содержания оксалатно-растворимого железа (см. табл.1 приложения 2), обусловленные, по-видимому, бедностью пород полуторными оксидами (см. табл.2 приложения 2).

Таким образом, выявленные нами особенности строения почвенных катен карстовых воронок на супесчаных моренных отложениях согласуются с результатами, опубликованными С.В. Горячкиным (2010) о характере пространственного изменения почв на склонах воронок, облекаемых песками и супесями в северной тайге. Почвы межвороночных пространств сильно

отличаются от почв склоновых сопряжений по степени выраженности результатов почвообразовательных процессов. В пределах катен происходит смена полнопрофильных радиально-дифференцированных почв на маломощные слабо дифференцированные почвы. По-видимому, низкая степень проективного покрытия почв растительностью, большие углы наклона (около 32°) и небольшое количество органических и органо-минеральных соединений в почвах вполне могут обуславливать преобладание смыва над процессами радиальной дифференциации почв. В итоге, почвы межвороночных пространств от почв центральных частей склонов воронок малого и большого диаметров отличаются на видовом уровне, а от почв центральной части склона воронки среднего диаметра и от почв нижних частей склонов воронок – на типовом. Латеральные процессы химической миграции вещества проявляются в повышенных концентрациях органического углерода в почвах нижних частей склонов.

4.1.2. Катены на двучленных моренных отложениях

Исследования почв на двучленных моренных отложениях проводилось на участках «Голубино» и «Придорожный». Согласно литературным данным (Апарин, Рубилин, 1975; Орлова, 1980; Целищева, 1985; Кашанский и соавт., 1988; Сидорова, Василевская, 1993; Гаврилова, Горбунова, 2002; Алексеева и соавт., 2007, Тонконогов, 2010), направление почвообразования на двучленных отложениях, в целом, контролируется контрастностью двучленных отложений и мощностью верхнего субстрата; в северной тайге на супесчано-легкосуглинистых отложениях, подстилаемых на глубине менее 35 см средне-тяжелосуглинистыми отложениями, как правило, формируются подзолистые почвы (рис. 4.3а), а при увеличении мощности верхнего супесчано-легкосуглинистого субстрата формируются подзолы (рис. 4.3 б).

Почвообразующие породы, слагающие катены на склонах воронок ключевых участков, характеризуются разной мощностью верхнего субстрата и гранулометрической контрастностью отложений. В большинстве исследованных катен участка «Голубино» супесь-легкий суглинок подстилался тяжелым суглинком (разрезы П23, П24, П25, П27, П28), реже – средним-тяжелым суглинком (разрез П26); в воронке большого диаметра легкосуглинистые отложения подстилались тяжелым суглинком (разрезы П21, П22, П23). Мощность вышележащего субстрата в катенах участка «Голубино» изменялась от 10 до 38 см и, в среднем, составляла около 20 см. Для двучленных моренных отложений участка «Придорожный» характерна большая мощность верхнего супесчано-легкосуглинистого субстрата (в среднем, около 50 см), подстилаемого средним-тяжелым суглинком. Кроме того, днища карстовых воронок ключевого участка «Придорожный» покрыты водой. Остановимся более подробно на характере изменения свойств почв катен «сухих» (участок «Голубино») и «обводненных» (участок «Придорожный») карстовых воронок.

Ключевой участок «Голубино»

Состав почвенных катен воронок слабо контрастен – почвы катен, как правило, относятся к одному и тому же типу. Почвенные катены малой и средней воронок образуют (рис. 4.4): подзолистые почвы с вложенным

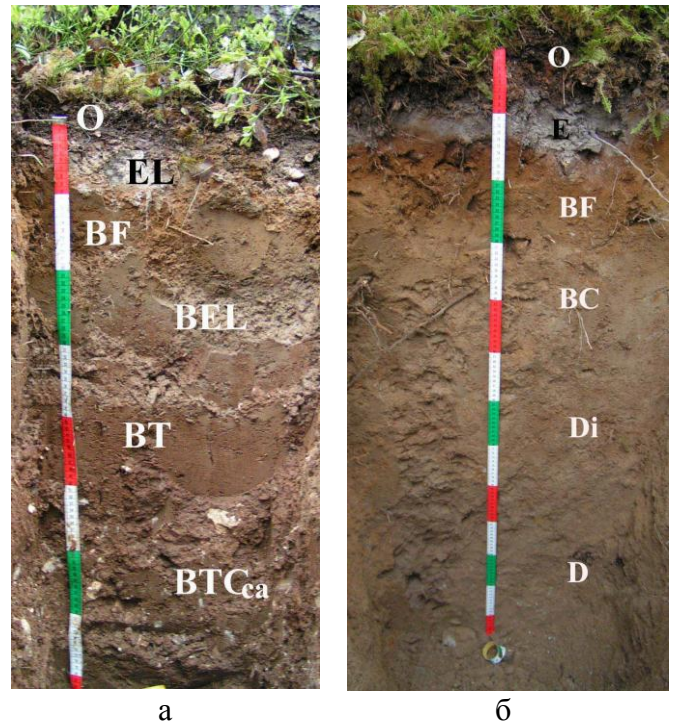


Рис.4.3. Почвы межвороночных пространств на двучленных моренных отложениях: а – подзолистая почва с вложенным микропрофилем подзола остаточно-карбонатная, разрез П26; б – подзол иллювиально-железистый глинисто-иллювиированный, разрез П6

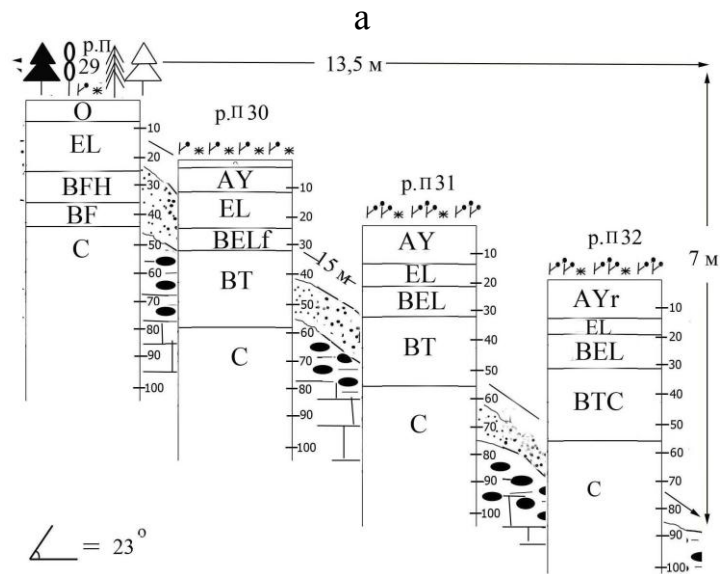
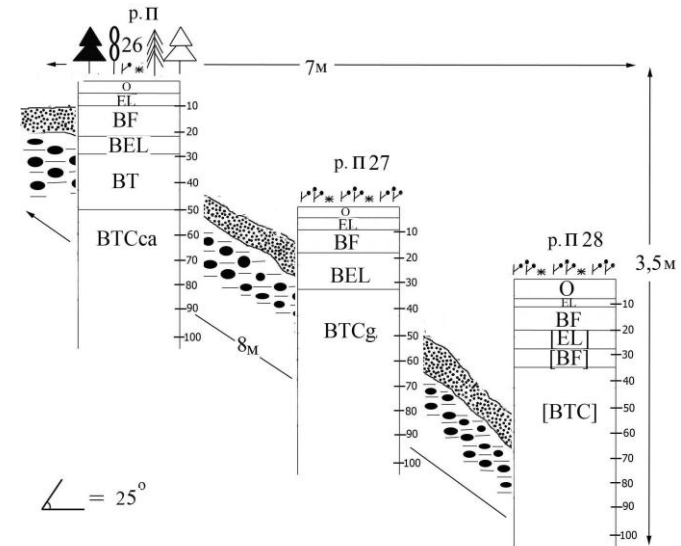
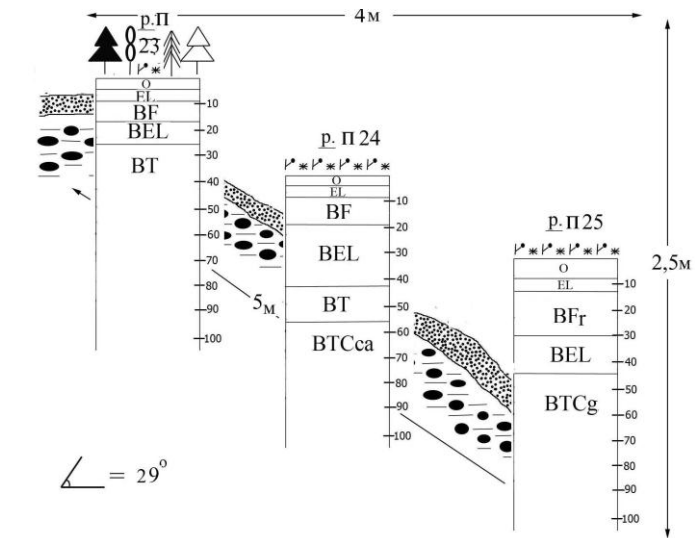
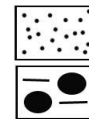


Рис. 4.4. Почвенные катены карстовых воронок на двучленных моренных отложениях участка «Голубино»
а- малая воронка; б-средняя воронка; в- большая воронка.

Условные обозначения

Почвообразующие и подстилающие породы



- супеси разнотерные

-валунные суглинки



- известняки

Растительные ассоциации



- лиственный-осиновый с примесью ели и сосны
чернично-зеленомошный лес



-чернично-зеленомошная ассоциация



- чернично-бруснично - зеленомошная ассоциация

микропрофилем подзола (иногда остаточно-карбонатные) межвороночных пространств (разрезы П23, П26), подзолистые почвы с вложенным микропрофилем подзола остаточно-карбонатные (разрез П24) или глееватые (разрез П27) средних частей склонов и подзолистые почвы с вложенным микропрофилем подзола стратифицированные (разрез П28) и стратифицированные глееватые (разрез П25) нижних частей склонов воронок. Для катены большой карстовой воронки характерна следующая смена почв: подзолы иллювиально-железистые межвороночного пространства (разрез П29) сменяются дерново-подзолистой ожелезненной почвой (разрез П30) в верхней части склона воронки, дерново-подзолистой типичной (разрез П31) в средней и дерново-подзолистой стратифицированной в нижней части склона воронки. Индексы SHDI малых воронок равны нулю, большой – 0,59.

Основные изменения морфологических свойств почв катен заключаются в мощности почвенных горизонтов и степени их выраженности. Совокупный анализ сопряженных подзолистых почв малой и средней воронок свидетельствует об увеличении мощности подстильно - торфянистого горизонта, микропрофиля подзола и субэлювильного горизонта BEL по направлению от почв межвороночных пространств к почвам нижних частей склонов. Мощность горизонта O увеличивается практически в два раза – с 3-4 см на межвороночных пространствах до 7-8 см в нижних частях склонов воронок. Увеличение мощности микропрофиля подзола происходит, в основном, за счет увеличения мощности иллювиально-железистого горизонта, мощность элювиального горизонта практически не изменяется в пределах катен. Для горизонта BEL характерно увеличение мощности с 10 до, приблизительно, 20 см. На фоне отмеченного увеличения мощности минеральных горизонтов происходит ослабление их морфологической выраженности – цвет горизонтов EL BEL приобретает серые тона, горизонт BF теряет охристый цвет. По направлению к нижним частям склонов воронок переходы между горизонтами становятся

постепенными, границы – менее четкими. Кроме того, в пределах верхней супесчано-легкосуглинистой толщи почв нижних частей склонов воронок встречается материал погребенных горизонтов (разрезы П25, П28).

Для текстурных горизонтов, формирующихся в пределах подстилающей тяжелосуглинистой толщи, характерно, наоборот, уменьшение мощности по направлению к нижним частям склонов воронок вплоть до полного выпадения горизонта ВТ из почвенного профиля и формирования переходного к почвообразующей породе горизонта ВТС. На склонах воронок горизонты ВТ или ВТС часто приобретают признаки оглеения – цвет горизонтов характеризуется оливковым оттенком, в горизонтах встречаются охристо-рыжие пятна, примазки и редкие конкреции. Иногда в материале горизонтов могут встречаться обломки карбонатных пород. Добавим, что увеличение мощности субэлювиального горизонта, расположенного над горизонтом ВТ/ВТС, по-видимому, обуславливает преобладание скелетан в горизонтах ВТ/ВТС почв нижних частей склонов (разрезы П25, П28) над буровато-палевыми кутанами, преобладающими в почвах межвороночных пространств и почв центральных частей склонов (разрезы П23, П24, П26, П27).

Для склонового сопряжения почв большой воронки участка «Голубино», представленного дерново-подзолистыми почвами, характерно постепенное увеличение мощности серогумусового горизонта (с 6 до 10 см) и субэлювиального горизонта ВЕL (с 6 до 11 см), наблюдаемое на фоне уменьшения мощности и нарушения целостности элювиального горизонта по направлению к нижним частям склона воронки. В пределах нижних частей склонов воронок горизонт ВТ сменяется переходным к почвообразующей породе горизонтом ВТС.

Таким образом, для почв катен характерно некоторое увеличение мощности почвенного профиля от почв межвороночных пространств к почвам нижних частей склонов воронок за счет увеличения мощности вложенного микропрофиля подзола (в случае подзолистых почв с вложенным

микропрофилем подзола) или серогумусовго горизонта АУ (в случае дерново-подзолистых почв), а также горизонта ВЕL.

Почвы катен характеризуются низким содержанием органического углерода (см. табл.3 приложения 2), в среднем, чуть менее 1%, но, иногда достигающим 5,4% (разрез П26), с аккумулятивным типом распределения органического вещества в пределах почвенного профиля.

Значения pH в радиальном направлении в почвах катен, как правило, изменяются от кислых в верхнем более легком субстрате, до слабокислых в подстилающем субстрате (см. табл.3 приложения 2). Включения обломков карбонатных пород в материал почвенных горизонтов (разрезы П24, П26), несколько повышают значения pH горизонтов, однако, реакция остается слабокислой. Коэффициент вариации значений pH в радиальном направлении не превышает 18%. Изменение щелочно-кислотных условий в латеральном направлении слабо выражено, однако, в некоторых случаях (при наличии обломков карбонатных пород в горизонтах ВТ и ВТС) повышенные значения pH в пределах катен могут наблюдаться в почвах межвороночных пространств и средних частей склонов воронок, что обуславливает формирование щелочно-кислотного вида контрастности в этих катенах. Формула катенарной дифференциации условий миграции химических элементов в пределах катен выглядит следующим образом: $R(a_{1-2}t_{1-2(3)}g_3)L_2$.

Для почв катен характерно увеличение магнитной восприимчивости в радиальном направлении, в среднем, от 3 до $18 \times 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$ (см. табл.3 приложения 2) и контрастное изменение значений величины χ (коэффициент вариации значений χ по профилям почв составляет 45%). Столь сильное изменение значений магнитной восприимчивости может быть обусловлено двучленностью почвообразующих пород, протеканию процессов кислотного гидролиза в верхних частях профиля, способствующего разрушению магнитных минералов. Отметим, что для горизонтов ВЕL характерны относительно высокие значения магнитной восприимчивости (в среднем, около $15 \times 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$; табл. 4.8). Эта особенность, по-видимому,

свидетельствует об отсутствии процессов длительного застаивания влаги на границе двух литологически неоднородных толщ даже в почвах относительно выровненных участков межвороночных пространств. Можно предположить, что разрушение первичных и вторичных минералов на контакте двух разных толщ и формирование горизонта BEL вызвано, главным образом, воздействием на минеральную массу почв органических кислот (быстро просачивающихся сквозь супесчаный нанос (Грабовская, Роде, 1934; Пономарева, 1964)), а не процессами поверхностного оглеения (Розанов, 1957; Долгова, 1963; Зайдельман, 2010).

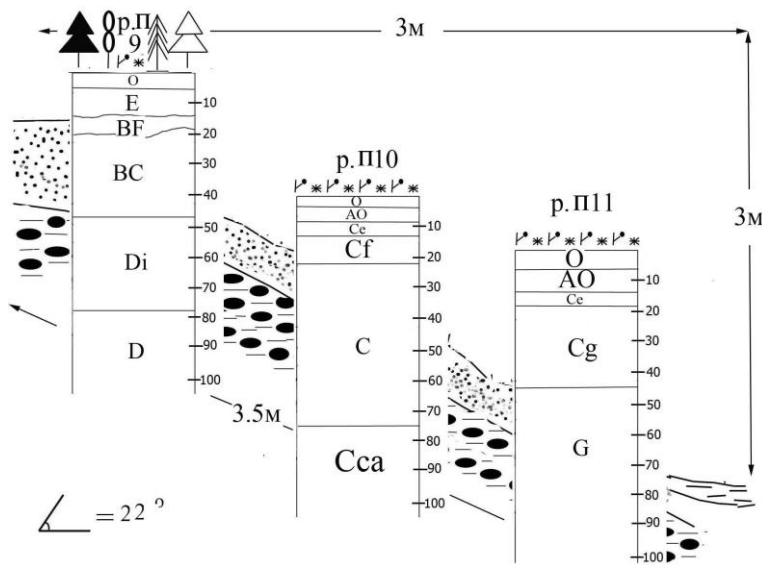
По содержанию полуторных оксидов и кремния вышележащий более легкий субстрат значительно отличается от нижележащего более тяжелого субстрата: в среднем, вышележащий субстрат характеризуется более высоким содержанием SiO_2 (на 7-12 %) и более низким содержанием Al_2O_3 (на 3-5%) и Fe_2O_3 (на 1,5-3%), чем нижележащий субстрат. Содержание других исследованных элементов в радиальном направлении слабо дифференцировано (см. табл.4 приложения 2).

Почвам карстовых воронок свойственно относительно высокое содержание оксалатно-растворимого Fe – около 1,2% в горизонте BT (см. табл.3 приложения 2), в сравнении с аналогичными почвами других районов таежных областей (Орлова, 1980; Целищева, 1985; Кашанский и соавт., 1988; Гаврилова, Горбунова, 2002; Алексеева и соавт., 2007). Радиальное распределение оксалатно-растворимого Fe имеет элювиально-иллювиальный тип. В латеральном направлении небольшой максимум приурочен к почвам средних частей склонов воронок. Вероятно, в пределах средних частей склонов происходит аккумуляция Fe, привнесенного с латеральными потоками вещества. В то же время, в нижних частях склонов воронок возможен вынос оксалатно-растворимого железа за пределы почвенного профиля в силу периодического изменения окислительно-восстановительного режима материала почвенных горизонтов.

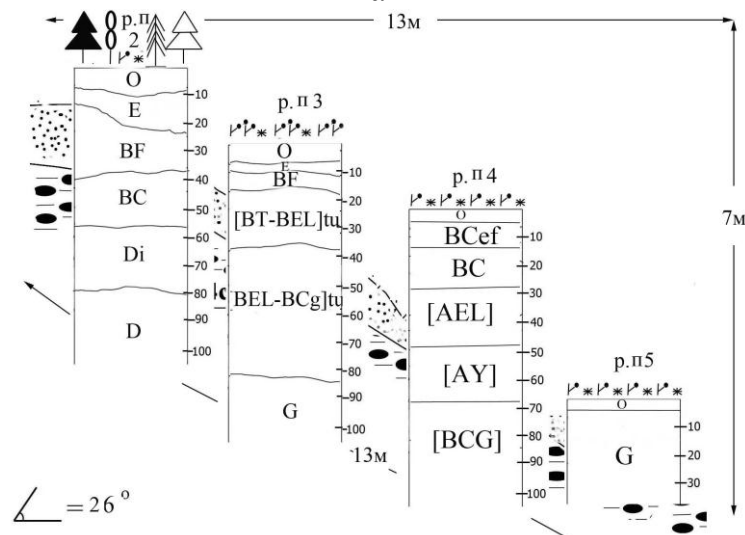
Таким образом, полученные нами результаты дополняют существующие представления о формировании почв в пределах склонов воронок и показывают, что в условиях столь специфичного рельефа возможно формирование не только слаборазвитых или эродированных почв, как это было показано С.В. Горячкиным (2010), но и полнопрофильных радиально-дифференцированных почв. Почвообразование на склонах воронок близко к автономному, а проявление латеральных процессов массопереноса и преобладание латеральной составляющей миграции вещества в растворах над радиальной, способствует только ослаблению радиальной элювиально-иллювиальной и текстурной дифференциации профиля в пределах склонов, но не приводит к их исчезновению. Процессы латеральной миграции проявляются в максимумах оксалатно-растворимого железа в средних частях склонов и наличии погребенных горизонтов в нижних частях склонов воронок.

Ключевой участок «Придорожный»

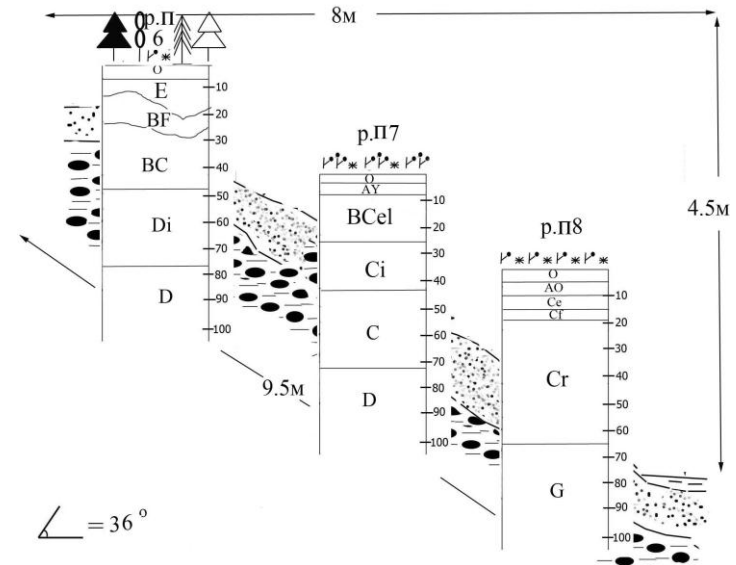
В пределах катен участка «Придорожный» наблюдается резкая и контрастная смена почв – от автоморфных полнопрофильных радиально-дифференцированных подзолов к маломощным глееватым органо-аккумулятивным почвам и глееземам. В состав почвенных катен входят (рис. 4.5) подзолы иллювиально-железистые глинисто-иллювиированные межвороночных пространств (разрезы П2, П6, П9), подзол турбированный глеевый (разрез П3), серогумусовая элювиированная глинисто-иллювиированная (разрез П7), грубогумусовая элювиированная глинисто-иллювиированная (разрез П10)) верхних и средних частей склонов воронок и грубогумусовые оподзоленные (глееватые (разрез П11), ожелезненные стратифицированные на погребенных подзолах глееватых (разрез П8) или на погребенных серогумусовых глееватых почвах (разрез П4)), глееземы (разрез П5) нижних частей склонов воронок. Индексы SHDI равны 0,64 для катены малой воронки, 1,1 для катены средней воронки и 1,0 для катены большой воронки.



а



б



в

Рис. 4.5. Почвенные катены карстовых воронок на двучленных моренных отложениях участка «Придорожный»
а- малая воронка; б-средняя воронка; в- большая воронка.

Условные обозначения

Почвообразующие и подстилающие породы

- супеси разнотермические



-валунные суглинки



- известняки

Растительные ассоциации



- лиственнично-осиновый с примесью ели и сосны
чернично-зеленомошный лес



-чернично-зеленомошная ассоциация



- чернично-бруснично - зеленомошная ассоциация

Морфологические свойства почв склонов, а именно наличие погребенных и турбированных горизонтов (рис.4.6), свидетельствуют об активном протекании эрозионно-аккумулятивных и турбационных процессов.

Природа турбированных горизонтов в почвах участка «Придорожный», по нашему мнению, обусловлена неравномерным промерзанием/оттаиванием материала горизонтов почв в силу их гранулометрической неоднородности, застоя влаги на литологическом контакте разных по гранулометрическому составу толщ и повышенному увлажнению нижних частей почв. Совокупный эффект эрозионно-аккумулятивных и турбационных процессов

обуславливает нарушение общего строения почвенных профилей и препятствует формированию срединных почвенных горизонтов в почвах на склонах карстовых воронок. В итоге элювиальный и иллювиальный горизонты, мощные и хорошо выраженные в почвах межвороночных пространств, на склонах воронок, как правило, исчезают, проявление элювиально-иллювиальной дифференциации почвенных профилей здесь наблюдается только на уровне признаков в виде легкого осветления почвообразующей породы, сменяемого в радиальном направлении легким побурением материала.

Органогенные горизонты, формирующиеся на поверхности почвы, как правило, характеризуются уменьшением мощности по направлению к

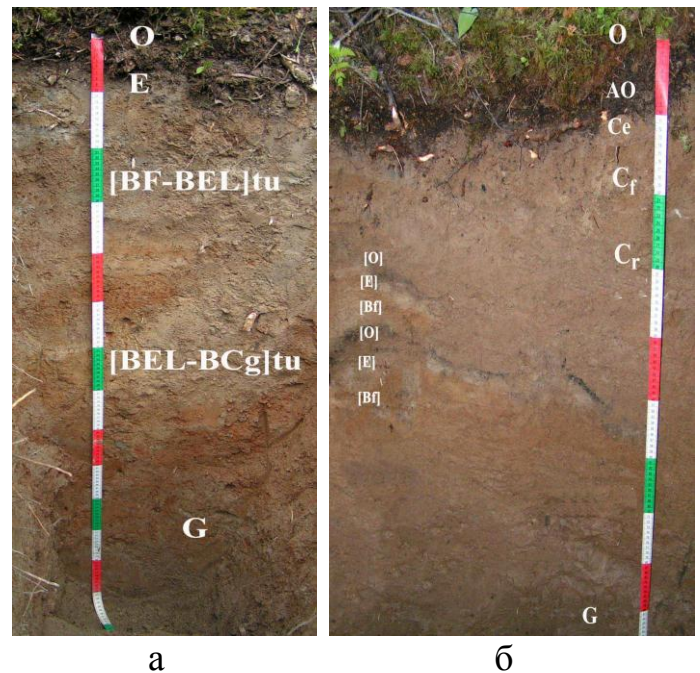


Рис.4.6 Почвы участка «Придорожный»: а- подзол турбированный глубокоглееный, разрез ПЗ, б- грубогумусовая оподзоленная ожелезненная стратифицированная почва на погребенных подзолах глубокоогленных, разрез П8

нижним частям склонов воронок. На склонах средней и малой воронок под подстильно-торфяным горизонтом формируются серогумусовый или, чаще, грубогумусовые горизонты, для которых характерно увеличение мощности по направлению к нижним частям склонов. Суммарная мощность органогенных и органо-минеральных горизонтов почв в латеральном направлении, может, как уменьшаться (катена большой воронки), так и увеличиваться (катены малой и средней воронок) и не превышает 13 см. Формирование специфического горизонта на контакте двух литологически разных толщ в почвах катен участка «Придорожный», в отличие от почв катен участка «Голубино», не происходит. Причина этого, по-видимому, заключается в исходной большой мощности супесчаного субстрата в почвах катен участка «Придорожный», выступающего в качестве изолирующей толщи для нижележащего суглинистого материала и ослабляющего действие вымывающихся из подстилки органических кислот на минеральную массу подстилаемого субстрата (Целищева, 1985). Признаки иллювиально-текстурной дифференциации нижних частей профиля почв катен проявляются только в почвах межворночных пространств и выражены в наличии тонких кутан на гранях плохо оструктуренных педов горизонтов Di. На склонах карстовых воронок участка «Придорожный» нижние горизонты почв, как правило, оглеены, кроме того, в них могут встречаться обломки карбонатных пород (в почвах верхних и средних частей склонов воронок). Таким образом, основными почвообразовательными процессами для склоновых почв являются аккумуляция органического вещества, образование серо – (разрез П7) или грубогумусового горизонтов (разрез П4, П8, П10, П11). По направлению к почвам нижних частей склонов воронок все большую роль в формировании почв играет процесс оглеения.

Почвы катен участка «Придорожный» характеризуются низким содержанием органического углерода, как правило, не превышающим 1% (см. табл.5 приложения 2). Для почв межворночных пространств характерно элювиально-иллювиальное распределение органического углерода,

наибольшее содержание наблюдается в горизонте BF и составляет, в среднем, 0,7%, что практически в два раза превышает содержание органического углерода в выше- и нижележащих горизонтах. Почвы склонов воронок характеризуются аккумулятивным типом распределения органического углерода, иногда нарушаемым погребенными гумусовыми горизонтами.

Для почв характерна слабокислая реакция верхних почвенных горизонтов, вниз по профилю происходит постепенное уменьшение кислотности горизонтов (см. табл.5 приложения 2), реакция становится слабокислой или нейтральной в случае наличия обломков карбонатных пород в материале почвенных горизонтов. По условиям латеральной миграции химических элементов почвенные катены участка «Придорожный» сильно контрастны - окислительная обстановка автономных почв сменяется восстановительной обстановкой гетерономных почв. Кроме того, в латеральном направлении, как правило, наблюдается небольшое увеличение значений pH. Формула катенарной дифференциации миграции химических элементов в пределах катен выглядит следующим образом: $R(a_{1-2}t_{1-2(3)}g_3)L_3$.

Элементный состав почв по направлению от межвороночных пространств к нижним частям склонов становится более однородным. Если для почв межвороночных пространств характерно уменьшение содержания Si и увеличение содержания Al и Fe в радиальном направлении, то в нижних частях склонов содержание этих элементов в пределах всего почвенного профиля выравнивается (см. табл.6 приложения 2).

Наиболее контрастные изменения магнитной восприимчивости в радиальном направлении характерны для почв межвороночных пространств (коэффициенты внутрипрофильной вариации значений магнитной восприимчивости изменяются от 34 до 47%). В почвах склонов воронок коэффициенты внутрипрофильной вариации не превышают 21%.

Таким образом, ведущими факторами катенарной дифференциации почв являются механическая миграция вещества и аповышенной увлажнение

почв подчиненных позиций. Отсутствие срединных горизонтов в почвах верхних и средних частей склонов, обусловлено периодическим разрушением верхних почвенных горизонтов и перемещением их материала вниз по склону воронок. Физические, химические и физико-химические свойства почв верхних и средних частей склонов продиктованы особенностями почвообразующих пород, поскольку процессы педогенной трансформации почвенного материала слабо выражены. Педогенная дифференциация почв нижних частей склонов лимитируется периодической аккумуляцией минерального вещества на поверхности почв. Наличие в профилях почв погребенных горизонтов диагностируется как морфологическими, так и химическим (отмечаются вторые максимумы содержания органического вещества в погребенных горизонтах) методами исследований.

Напомним, что согласно С.В. Горячкину (2010) склоновые сопряжения почв обводненных и заболоченных карстовых воронок образуют оторфованные почвы и торфяники. В исследованных нами почвах склонов обводненных карстовых воронок признаков формирования торфяных горизонтов не прослеживается. По-видимому, заполнение днищ исследованных карстовых воронок водой произошло относительно недавно.

Сопряженный анализ почвенных катен карстовых воронок участков «Голубино» и «Придорожный», облекаемых двучленными моренными отложениями и характеризующимися сходными морфологическими параметрами воронок, показывает, что обводненность днищ воронок приводит к увеличению латеральной дифференциации почв.

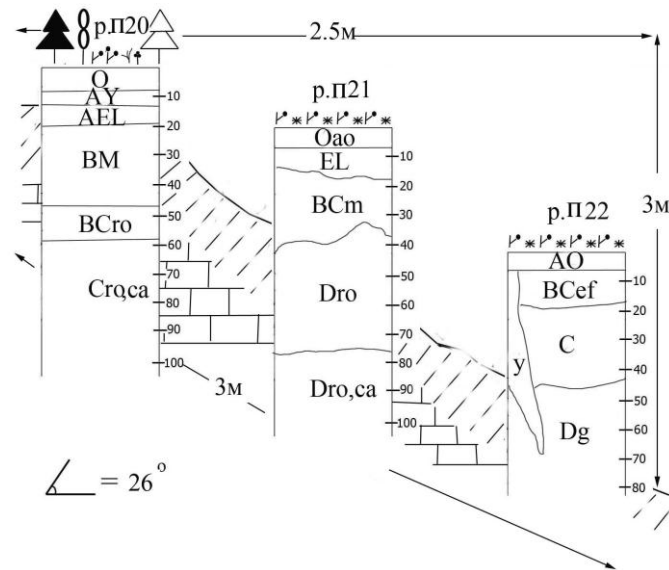
4.1.3. Катены на дериватах красноцветных пород

Дериваты красноцветных пород, облекающие карстовые воронки ключевого участка «Филипповский», являются весьма специфичным субстратом для почвообразования. Их специфичность обусловлена, во-первых, высоким унаследованным содержанием гематита, определяющего яркую красную окраску отложений; во-вторых, неоднородностью

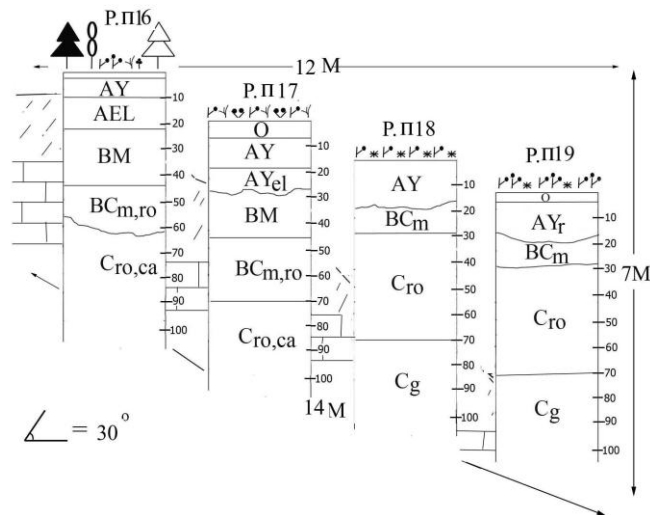
почвообразующих пород, связанной с изменением соотношения моренного суглинка и материала красноцветных пород в породах как в радиальном, так и в латеральном направлениях; в-третьих, наличием в общей массе отложений обломков карбонатных пород.

Исследованные почвенные катены большой и средней карстовых воронок (рис.4.7 б, в) образуют серые метаморфические краснопрофильные остаточно-карбонатные почвы межвороночных пространств (разрезы П12, П16), буроземы элювиированные краснопрофильные остаточно-карбонатные верхних и средних частей склонов воронок (разрезы П13, П17), серогумусовые метаморфизованные краснопрофильные глееватые (разрез П14), стратифицированные глееватые (разрез П15, П18), стратифицированные (разрез П19)) почвы нижних частей склонов и днищ. Почвенную катену малой карстовой воронки (рис. 4.7 а) формируют серые метаморфические краснопрофильные остаточно-карбонатные почвы межвороночных пространств (разрез П20), элювизем грубогумусированный метаморфизованный (разрез П21) средней части склона и грубогумусовая оподзоленная языковатая ожелезненная краснопрофильная почва нижней части склона воронки (разрез П22). Индексы SHDI катены малой воронки равняются 1,1, средней и большой воронок – 1,0.

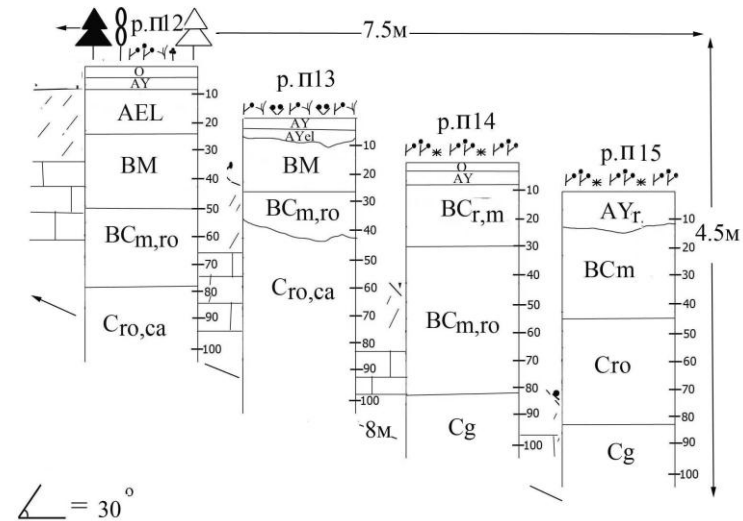
Основной чертой почв катен средней и большой воронок является наличие цветовой и структурной дифференциации почвенных профилей, проявляющейся в переходе буровато-желтого комковатого или ореховато-комковатого горизонта (BM/BCm) в красновато-бурый плохо оструктуренный горизонт (BCm,ro/Cro). Считается (Водяницкий и соавт., 2003), что морфологически наблюдаемое явление может быть обусловлено как двучленностью пород, залеганием моренного буровато-желтого суглинка на красновато-бурых отложениях, так и процессами преобразования вторичных минералов почвообразующей породы - постепенного перехода



а



б



в

Рис. 4.7. Почвенные катены карстовых воронок на дериватах красноцветных пород участка «Филипповский»
а- малая воронка; б-средняя воронка; в- большая воронка.

Условные обозначения

Почвообразующие и подстилающие породы

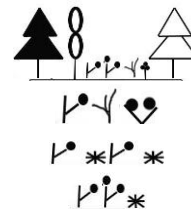


- дериваты красноцветных пород
с гравием, галькой



- известняки

Растительные ассоциации



- ельник осиново-лиственничный чернично-
брусничный майниково-кисличный

-чернично-майниково-папоротниковая ассоциация

-чернично-зеленомошная ассоциация

- чернично-бруснично - зеленомошная ассоциация

исходного гематита, характеризующегося красной окраской, в желтый гетит. Наиболее явно процессы цветовой и структурной дифференциации прослеживаются в пределах верхних и средних частей склонов воронок, где формируются буроземы. Данная особенность может быть связана, в частности, с лучшими условиями аэрации почв на склонах воронок, чем на межвороночных пространствах и в нижних частях склонов воронок, и более близким здесь уровнем залегания карбонатных пород. В пределах нижних частей склонов и днищ карстовых воронок цветовая и структурная дифференциация почвенных профилей выражена слабо, здесь формируется горизонт ВСм. Следовательно, по направлению к днищам воронок метаморфический горизонт ВМ выпадает, а наибольшая степень выраженности структурно-метаморфического горизонта характерна для верхних и средних частей склонов воронок.

Для катен большой и средней воронок характерно увеличение мощности серогумусового горизонта с 5-7 до 15-20 см и улучшение его оструктуренности. Серогумусовый горизонт почв нижних частей склонов и днищ воронок часто приобретает признаки слоистости, что, по-видимому, обусловлено латеральным привносом гумусированного материала с более высоких гипсометрических позиций. В то же время, гумусово-элювиальный светло-серый горизонт с комковатой структурой и признаками горизонтальной делимости, залегающий под серогумусовым горизонтом в почвах межвороночных пространств, в пределах склоновых сопряжений отсутствует. Признаки элювиирования в почвах верхних и средних частей склонов проявляются в наличии рассеянных осветленных минеральных зерен в метариале гумусового горизонта. В почвах нижних частях склонов воронок и днищ морфологические признаки элювиирования не выражены. В этих почвах с глубин около 50-70 см прослеживаются признаки периодического застоя влаги и смены окислительно-восстановительного режима, в виде неоднородной охристо-бурой окраски горизонтов, с глубиной приобретающей сизоватый оттенок (рис. 4.8).

Для склонового сопряжения почв малой карстовой воронки отмеченные тенденции, а именно, улучшение степени выраженности гумусово-аккумулятивного процесса и ослабление процессов элювиирования по направлению к днищу воронки, проявление процессов периодического изменения окислительно-восстановительного режима в почвах нижних частей склонов тоже характерны. Отличие в наборе почв, образующих склоновые сопряжения большой и средней воронок от набора почв склонового

сопряжения малой воронки, по-видимому, обусловлено различиями в почвообразовательном материале, слагающем катены, а не размером воронок. Склоновое сопряжение малой воронки формируется в условиях более глубокого залегания обломков карбонатных пород, чем катены средней и большой воронок, и большей примеси моренного суглинка в почвообразовательном материале. Существующие представления о северотаежном почвообразовании на дериватах красноцветных пород (Паршевников, 1966; Кашенко, Яшин, 1983; Горячкин, 1987; Горячкин, Макеев, 1991; Лесовая и соавт., 2005, Лесовая, 2006; Горячкин, 2010), подтверждают, что при увеличении примеси моренного суглинка в материал красноцветных пород и увеличении залегания глубины карбонатных пород, в почвах происходит, преимущественно, формирование элювиальных и текстурных горизонтов, а не метаморфических.

Для почв катен участка «Филипповский» характерен аккумулятивный тип распределения органического вещества в пределах почвенного профиля с высоким содержанием органического углерода и запасов гумуса (см. табл.7 приложения 2). Содержание органического углерода в гумусовых горизонтах

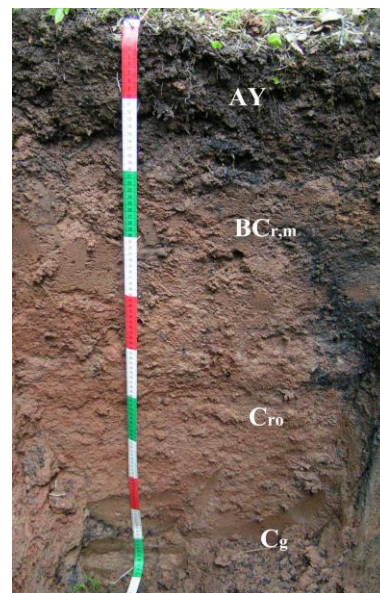


Рис.4.8. серогумусовая метаморфизованная краснопрофильная стратифицированная глееватая, разрез П15

почв межвороночных пространств варьирует от 2 до 4% (запасы гумуса от 5,7 до 25,6 кг/м²), отношение Сгк/Сфк около 0,2. В верхних и средних частях склонов средней и большой воронок содержание органического углерода увеличивается на 1%, для почв характерно несколько большее содержание гуминовых кислот (отношение Сгк/Сфк около 0,3). В нижних частях склонов воронок процентное содержание органического углерода падает до 1,5-2,5% (отношение Сгк/Сфк менее 0,1) однако, по запасам гумуса эти почвы сопоставимы и иногда превышают запасы гумуса сопряженных по катене почв (за счет большей мощности гумусового горизонта в почвах нижних частей склонов).

Почвы катен характеризуются супесчано-легкосуглинистым гранулометрическим составом, они дифференцированы по содержанию ила и физической глины в пределах почвенного профиля (см. табл.8 приложения 2). Максимальные содержания ила и физической глины (в среднем, 4,7 % и 28% соответственно), как правило, наблюдаются в горизонтах ВМ, DCm,го, минимальные – в гумусово-аккумулятивных горизонтах (в среднем 2,3 % ила и 14,3 % физической глины). В пределах склонов воронок характерно уменьшение содержания физической глины в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв с 14% в верхних частях склонов до 11% в средних частях склонов и ее увеличение в почвах нижних частей склонов воронок до 16%.

Значения рН почв катен участка «Филипповский» в радиальном направлении изменяется от кислых и слабокислых значений до нейтральных и слабощелочных (см. табл.7 приложения 2). Почвы средних частей склонов характеризуются наибольшими значениями рН в пределах катен. Формула катенарной дифференциации может быть записана как $R(a_2t_2g_3)L_2$.

Почвы нижних частей склонов карстовых воронок характеризуются максимальным содержанием оксалатно-растворимого железа в пределах катен (см. табл.7 приложения 2). Содержание оксалатно-растворимого железа в переходном к почвообразующей породе горизонте ВС этих почв более 1%, что практически в два раза превышает содержание оксалатно-растворимого

железа в срединных горизонтах ВМ и ВС_{т,го} сопряженных по склону буроземов и сопоставимо с содержанием оксалатно-растворимого железа в гумусовом горизонте и горизонте ВМ межвороночных почв. Данная особенность может свидетельствовать о латеральном выносе оксалатно-растворимого железа из почв верхних и средних частей склонов воронок и его аккумуляции в почвах нижних частей склонов, днищ воронок. Отметим, что по направлению к нижним частям склонов воронок наблюдается увеличение не только оксалатно-растворимых, но и валовых форм железа.

По элементному составу (см. табл.9 приложения 2) почвы катен характеризуются аккумулятивно-элювиально-иллювиальным и элювиально-иллювиальным распределением Fe_2O_3 и Al_2O_3 с максимальными содержаниями в горизонтах ВМ, ВС_{т,го} и иногда в гумусово-аккумулятивных горизонтах; уменьшением содержания SiO_2 и увеличением содержания CaO , MgO в почвообразующей породе, по сравнению с вышележащими горизонтами (по видимому, за счет наличия обломков карбонатов в материале почвообразующей породы). По содержанию других элементов почвы слабо дифференцированы. По направлению к центру воронок для катен характерно уменьшение содержания Ca и Mn , как в гумусовых горизонтах, так и в почвообразующей породе, равномерное содержание Si , Al , Ti , K , P , увеличение содержания Fe и Mg в гумусовых горизонтах на фоне увеличения содержания Fe и равномерного содержания Mg в почвообразующей породе.

Значения магнитной восприимчивости в пределах профилей почв катен постепенно увеличиваются в радиальном направлении вплоть до почвообразующей породы, где происходит снижение значений, по-видимому, за счет включений здесь обломков карбонатных пород, характеризующимися низкими значениями магнитной восприимчивости (Геологический словарь, 1978). Почвы нижних частей склонов характеризуются наименьшими магнитной восприимчивости в пределах катен, вероятно в силу периодического застоя влаги в горизонтах ВС и С,

растворению в почвенных растворах магнитных минералов (Вадюнина, Смирнов, 1976; Бабанин и соавт., 1995).

Таким образом, основной тенденцией изменения свойств почв в пределах катен по направлению к почвам нижних частей склонов и днищ воронок является усиление процессов аккумуляции органического вещества. Практически во всех почвах нижних частей склонов и днищ карстовых воронок происходит формирование глеевых горизонтов, несвойственных почвам межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов. Для почв подчиненных позиций характерно повышенное содержание оксалатно-растворимого железа (по-видимому, за счет латерального привноса вещества с более высоких гипсометрических позиций, а так же повышенной увлажненности, препятствующей кристаллизации железа).

4.1.1. Почвенные катены карстовых воронок северотаежных ландшафтов

Почвенные катены карстовых воронок, описанные нами в северотаежных ландшафтах в условиях специфического карстового рельефа, уникальны и резко отличаются по своему составу от катен, описанных И.С. Урусевской (1990) в северной тайге на аналогичных породах в условиях гляциальных, моренных, флювиогляциальных и подгорных равнин. Для почв катен карстовых воронок, в целом, характерна меньшая степень гидроморфизма, чем для почв катен внекарстовых областей, где в пределах нижних частей склонов и часто в автономных позициях, формируются болотные почвы, в средних частях склонов – глееватые почвы и болотно-подзолистые почвы. Процессы латеральной механической и химической миграции вещества слабо отражаются в почвах катен внекарстовых областей, в то время как для катен карстовых воронок эти процессы часто определяют характер изменения свойств почв в латеральном направлении. Почвы нижних частей склонов всех исследованных карстовых воронок характеризуются слоистостью почвенного материала и/или присутствием погребенных горизонтов.

Проведенные нами исследования почвенных катен карстовых воронок северотаежных ландшафтов показывают, что, в пределах средних частей склонов карстовых воронок возможно формирование не только слаборазвитых, эродированных почв (Горячкин, 2010), но и полнопрофильных почв, близких по своим свойствам к почвам межворночных пространств. Лишь в условиях обводненных карстовых воронок и отчасти в условиях крутых, слабо задернованных и бедных почвенными структурами почв воронок, облекаемых супесчаными моренными отложениями, проявление процессов альфегумусовой и текстурной дифференциации осложнено интенсивными денудационно-аккумулятивными процессами. Обводненность почвообразующих пород и почв приводит к более интенсивному протеканию процессов массопереноса в силу увеличения пластичности грунта при увеличении влажности пород, а также смещения материала почвенных горизонтов, в том числе в латеральном направлении, в периоды промерзания/оттаивания грунта (Waltham et al., 2005).

Латеральные процессы механической миграции вещества почв могут приводить как к направленному уменьшению мощности почвенного профиля (участок «Супесчаный»), так и к его увеличению в пределах катен (участок «Голубино») по направлению от почв межворночных пространств к почвам нижних частей склонов. Процессы латеральной химической миграции вещества в почвах катен проявляются в увеличении содержания оксалатно-растворимого железа в почвах склонов воронок (по сравнению с межворночными пространствами) на двучленных моренных отложениях и дериватах красноцветных пород, а так же в повышенных концентрациях органического углерода в почвах нижних частей склонов воронок, по сравнению с почвами других катенарных позиций, в катенах на супесчаных моренных отложениях.

Сопряженный анализ почвенных катен воронок северотаежных ландшафтов показывает, что образование подстилки является единственным

почвообразующим процессом, имеющим место во всех без исключения исследованных почвах вне зависимости от их положения в пределах катены. Кроме того, по направлению к почвам подчиненных позиций происходит улучшение условий гумусонакопления и появление признаков переменного окислительно-восстановительного режима в нижних частях профилей почв (за исключением почв, развитых на супесчаных моренных отложениях ключевого участка «Супесчаный»). На фоне усиления отмеченных процессов по направлению к почвам нижних частей склонов происходит ухудшение выраженности процессов текстурной дифференциации почвенных профилей, а так же альфегумусовой дифференциации почв в пределах катен.

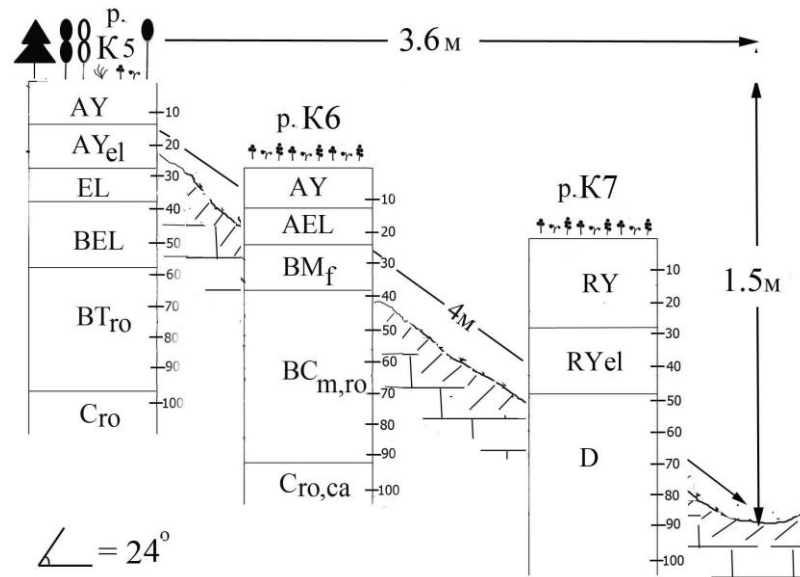
4.2. Широколиственно-лесные ландшафты

Исследование почвенных катен в широколиственно-лесных ландшафтах проводилось на двух ключевых участках – «Камаи» и «Капова», расположенных на значительном удалении друг от друга (около 1000 км). В качестве почвообразующих пород для почв катен первого участка выступали элювий и элюво-делювий красноцветных пород, второго – элювий и элюво-делювий глинистых сланцев. Остановимся более подробно на свойствах почв и особенностях их изменении в пределах катен.

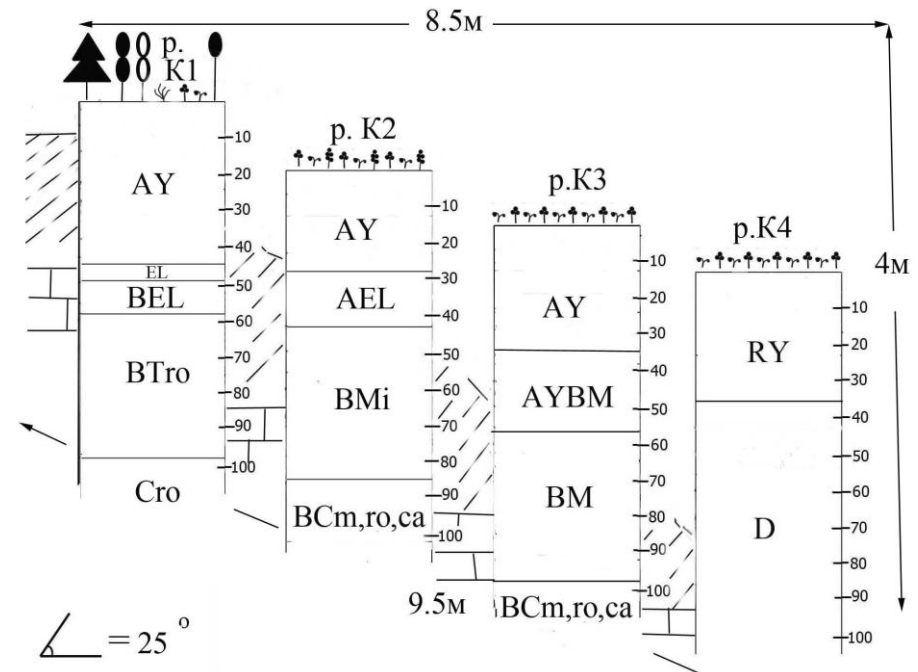
4.2.1. Катены на элювии и элюво-делювии красноцветных пород Среднего Приуралья

Почвенные катены карстовых воронок участка «Камаи» образуют (рис. 4.9) дерново-подзолистые почвы межвороночных пространств (разрезы K1, K5), серые метаморфические почвы верхней части склона средней воронки (разрез K2) и средней части склона малой воронки (разрез K6), бурозем средней части склона средней воронки (разрез K3) и стратоземы нижних частей склонов воронок (разрезы K4, K7). Индексы SHDI равны 1,1 для малой воронки и 1,4 для средней воронки. Морфологические описания почв катены средней воронки приведены в приложении 1.

Характерной чертой почвенных катен воронок является ослабление радиальной элювиально-иллювиальной дифференциации почв по направлению к нижним частям склонов воронок. Элювиальный горизонт EL дерново-подзолистых почв межвороночных пространств в верхних и средних частях склонов приобретает сероватый оттенок, теряет плитчатую структуру, здесь формируется гумусово-элювиальный горизонт AEL, характерный для серых метаморфических почв. В почвах нижних частей склонов могут встречаться отдельные минеральные зерна, лишённые красящих пленок, однако, наличие этих морфологических свойств недостаточно для выделения элювиальных или гумусово-элювиальных горизонтов в почвах нижних частей склонов воронок. Субэлювиальный горизонт BEL, формирующийся в почвах межвороночных пространств, на склонах воронок отсутствует.



а



б

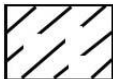
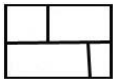
Рис. 4.9. Почвенные катены карстовых воронок на красноцветных породах Среднего Приуралья участка «Камаи»; а- малая воронка; б-средняя воронка;

Условные обозначения

Растительные ассоциации

-  - липово-еловый с примесью березы и осины
-  -аконито-снытево-кисличный лес
-  -аконито-снытево-кисличная ассоциация
-  -снытево-кисличная ассоциация

Почвообразующие и подстилающие породы

-  -красноцветные породы
-  -известняки

Вслед за ослаблением элювиальных процессов в почвах по направлению от межвороночных пространств к склонам воронок, происходит ослабление иллювиальных процессов; ореховато-призматический горизонт ВТ_{ro} с многопорядковой структурой переходит в ореховатый горизонт ВМ_i или ВМ_f в почвах верхних и средних частей склонов. Толстые темные матовые кутаны, обволакивающие грани педов горизонта ВТ_{ro} дерново-подзолистых почв межвороночных пространств, в горизонтах ВМ_i серых метаморфических почв склонов воронок становятся тонкими и прерывистыми, кроме того, на гранях педов исчезают скелетаны, хорошо развитые в верхней части горизонта ВТ_{ro}. На гранях структурных отдельностей горизонта ВМ_f наблюдаются редкие желтовато-охристые пленки, которые могут свидетельствовать о процессах внутрипочвенного выветривания (Лесовая, 2005). Формирование структурно-метаморфического горизонта в пределах катен лучше всего выражено в средней части склона средней карстовой воронки, где формируется бурозем (рис. 4.10). Для горизонтов ВМ бурозема характерна хорошо выраженная ореховатая структура. В отличие от горизонта ВМ серых метаморфических почв, признаков иллювиирования и ожелезнения на гранях педов бурозема не наблюдается.

Для гумусово-аккумулятивных горизонтов сопряженных почв участка «Камаи» характерно улучшение степени оструктуренности по направлению к нижним частям склонов воронок. Мощность горизонта может, как уменьшаться на некоторых участках катен, так и увеличиваться, или оставаться постоянной. Например, в катене средней воронки по направлению от межвороночного пространства

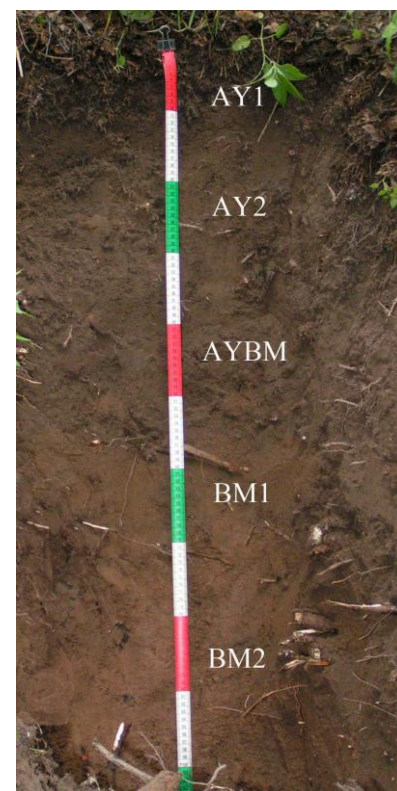


Рис. 4.10. Бурозем краснопрофильный остаточно-карбонатный, разрез КЗ

мощность горизонта сначала уменьшается на 5 см в верхней части склона, а затем увеличивается на 20 см в средней части склона; в катене малой воронки мощность серогумусового горизонта межвороночной почвы и почвы верхней части склона составляет 11 см. Однако максимальная мощность горизонтов наблюдается в нижних частях склонов воронок, мощность серогумусового стратифицированного горизонта может достигать 48 см.

Почвы катен характеризуются высоким содержанием органического углерода (см. табл.10 приложения 2). Среднее содержание органического углерода составляет около 4% в гумусовых горизонтах дерново-подзолистых и серых метаморфических почв и 6,5% в буроземах. Содержание органического углерода в стратифицированных горизонтах почв нижних частей склонов варьирует от 2 до 8%. В пределах склонов воронок происходит увеличение запасов гумуса в латеральном направлении.

Почвы карстовых воронок участка «Камаи» средне-тяжелосуглинистого гранулометрического состава (см. табл.11 приложения 2). Текстурные и структурно-метаморфические горизонты почв характеризуются наиболее высокими содержаниями физической глины (около 6,5 %) и ила (около 40,5 %) в пределах почвенного профиля. В латеральном направлении почвы становятся более однородны по гранулометрическому составу.

Реакция среды горизонтов почв карстовых воронок, как правило, слабокислая (см. табл. 10 приложения 2). Почвы верхних и средних частей склонов воронок характеризуются наибольшими значениями pH в пределах катен, реакция среды в этих почвах достигает нейтральных значений. Таким образом, катены характеризуются щелочно-кислотным видом контрастности. Несмотря на то, что исследованная территория относится к области избыточного увлажнения, проявление процессов периодического застоя влаги не выявлено даже в пределах нижних частей склонов воронок. Структура ландшафтно-геохимической дифференциации выглядит следующим образом: $R(a_{1-2}t_{2g_{1-2}})L_2$.

По элементному составу почвы межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов, как правило, характеризуются постепенным уменьшением содержания Si (в среднем, с 73% до 68%) и увеличением содержания Al (в среднем, с 10,5 до 14 %), Fe (в среднем, с 5 до 7%) в радиальном направлении (см. табл.12 приложения 2); для почв нижних частей склонов данные особенности не характерны, эти почвы являются наиболее гомогенными по элементному составу в пределах катен. В латеральном направлении в катенах воронок изменения в содержании химических элементов в гумусово-аккумулятивных горизонтах и почвообразующих породах не происходит, за исключением Р, содержание которого иногда увеличивается в почвах подчиненных позиций. Данное обстоятельство может быть обусловлено более благоприятными условиями биогенной аккумуляции Р в почвах нижних частей склонов, по сравнению с почвами автономных позиций.

Почвы катен, как правило, характеризуются двумя максимумами значений магнитной восприимчивости – в верхнем гумусовом горизонте и в почвообразующей породе (см. табл.10 приложения 2). Более высокие значения магнитной восприимчивости гумусово-аккумулятивного горизонта (по сравнению с нижележащими почвенными горизонтами), может являться следствием лучшей аэрированности горизонта, способствующей дегидратации гидроксидов железа и образованию здесь магнитных минералов (Бабанин и соавт., 1995). Относительно высокие значения магнитной восприимчивости нижних горизонтов почв свидетельствуют об отсутствии процессов периодического застоя влаги в почвах. По направлению к почвам нижних частей склонов воронок характерно уменьшение внутрипрофильной вариабельности значений магнитной восприимчивости.

Таким образом, по направлению к почвам нижних частей склонов в пределах катен участка «Камаи» происходит ослабление процессов элювиально-иллювиальной дифференциации профиля на фоне усиления гумусово-

аккумулятивного процесса, предположительно, за счет более близкого залегания обломков карбонатных пород на склонах и увеличения степени проективного покрытия травянистого яруса по направлению к центру воронок. В верхних и средних частях склонов воронок формируется структурно-метаморфический горизонт. Несмотря на то, что исследованная территория относится к области избыточного увлажнения, проявление процессов периодического застоя влаги не выявлено как морфологически, так и аналитически. В пределах исследованных катен почвы разных позиций в рельефе отличаются друг от друга на уровне типа. Результаты латеральной механической миграции вещества проявляются в формировании стратифицированных горизонтов в почвах нижних частей склонов.

4.2.2. Катены на элювии и элюво-делювии глинистых сланцев Западного макросклона Южного Урала

Катены карстовых воронок участка «Капова» слабо контрастны по набору почв, их образующих (рис. 4.11). Вне зависимости от размеров карстовых воронок в состав почвенных катен входят серые почвы со вторым гумусовым горизонтом межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов воронок (разрезы б1, б2, б4, б5, б6, б8, б9, б11, б12, б13) и стратоземы темногумусовые типичные (разрезы б3, б7, б10) или остаточные карбонатные (разрез б14) нижних частей склонов воронок. Индексы SHDI равны 0,64 для катен малых и средних воронок, 0,56 для катен больших воронок. Морфологические описания свойств почв катен приведены в работе: «Почвы карстовых воронок западного макросклона Южного Урала...» (Смирнова, Геннадиев, 2012)

Основные тенденции в изменении свойств почв катен в латеральном направлении касаются гумусового профиля почв и радиальной элювиально-иллювиальной дифференциации. Мощность серогумусового горизонта АУ сокращается с 30 см (на межвороночных пространствах) до, приблизительно, 15 см в верхних и средних частях склонов воронок. В пределах нижних частей склонов буровато-серый мелкокомковатый серогумусовый горизонт

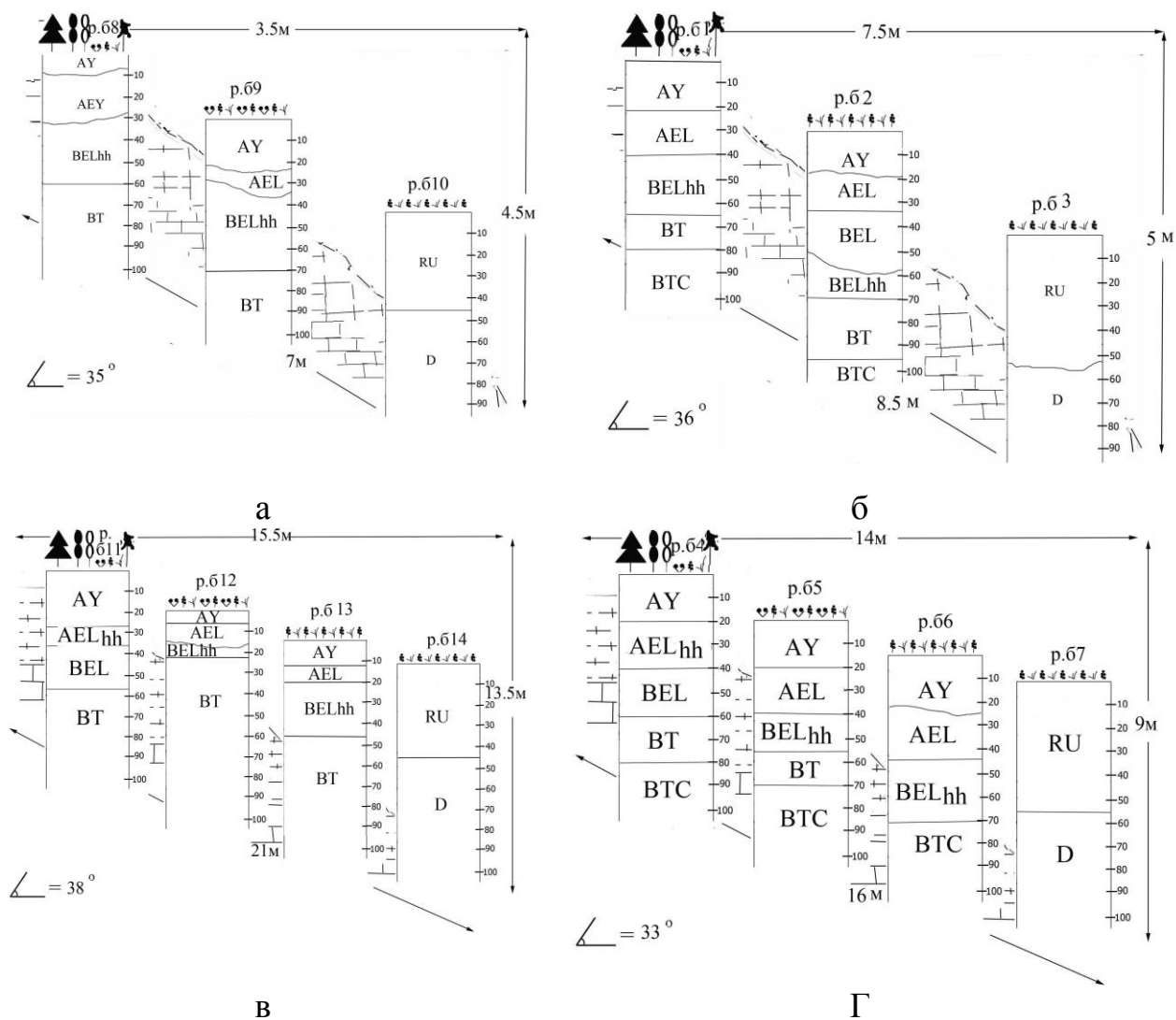


Рис. 4.11. Почвенные catena карстовых воронок Западного макросклона Южного Урала участка «Капова» на элювии и элюво-делювии глинистых сланцев

Условные обозначения

Растительные ассоциации	Почвообразующие и подстилающие породы
	- известняки
	- глинистые сланцы
	-злаково-разнотравная ассоциация

переходит в мощный (около 50 см) темно-серый с буроватым оттенком зернистый, иногда мелко ореховато-комковатый, стратифицированный темногоумусовый горизонт. Такое существенное изменение в мощности гумусового горизонта, по нашему мнению, обусловлено сносом материала гумусового горизонта с почв верхних и средних частей склонов и его аккумуляцией в нижних частях склонов воронок. Формирование темногоумусового горизонта в нижних частях склонов воронок, по-видимому, обусловлено более благоприятными микроклиматическими условиями нижних частей склонов карстовых воронок для микро- и мезофауны (по сравнению с микроклиматическими условиями сопряженных почв склонов и межвороночных пространств, заключающимися в затененности, большей влажности горизонтов и в меньших амплитудах изменения температур), активно участвующих в процессах формирования структуры почвенных горизонтов.

Гумусово-эллювиальный горизонт, залегающий под серогумусовым горизонтом в серых почвах, в верхних и средних частях склонов воронок сокращает свою мощность не более, чем на 2-3 см, по сравнению с почвами межвороночных пространств; в нижних частях склонов воронок этот горизонт отсутствует.

В пределах катен участка «Капова» по направлению к почвами средних частей склонов происходит ослабление выраженности процессов эллювиально-иллювиальной дифференциации почв. Так, в пределах межвороночных пространств на ореховато-призматических педах субэллювиального горизонта BEL (некоторые агрегаты многопорядковые) наблюдается обильная белесоватая присыпка и редкие каштаново-бурые (реже серые) кутаны, а на гранях нижележащего горизонта BT с многопорядковой структурой заметны обильные, иногда многослойные, кутаны, перекрытые белесыми скелетанами; на склонах воронок в горизонте BEL количество присыпки резко сокращается, наиболее часто под этим

горизонтом залегает переходный к почвообразующей породе горизонт ВТС с менее выраженными процессами иллювиирования, чем в горизонте ВТ. В пределах нижних частей склонов воронок признаки элювиально-иллювиальной дифференциации почвенных профилей отсутствуют.

Характерной особенностью горизонта ВЕL исследованных почв является наличие в его массе резко отграниченных от

вмещающей массы линз темно-серого цвета, предположительно, второго гумусового горизонта (рис. 4.12). Определение генезиса вторых гумусовых горизонтов в описанных серых почвах западного макросклона Южного Урала требует специального исследования. Однако нам представляется, что наиболее подходящей гипотезой происхождения второго гумусового горизонта в исследованных почвах является теория погребенного педо-реликтового происхождения (Караваева и соавт, 1986), поскольку, второй гумусовый горизонт лучше всего выражен в почвах склонов воронок и для него характерны резкие границы с выше- и нижележащим почвенным материалом. Линзы второго гумусового горизонта сходны по гранулометрическому составу и структурной организации с материалом горизонта ВЕL_{hh}. Можно предположить, что в предыдущие эпохи почвообразования материал современного горизонта ВЕL_{hh} находился на дневной поверхности, и в его толще формировался гумусово-

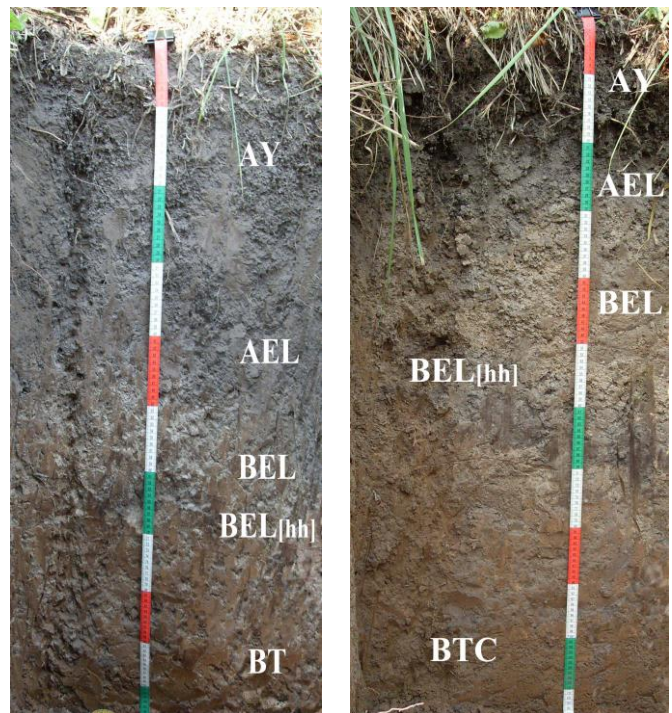


Рис. 4.12. Серые почвы со вторым гумусовым горизонтом карстовой воронки среднего диаметра: а- почва межвороночного пространства, разрез б1; б- почва центральной части склона, разрез б2

аккумулятивный горизонт. Впоследствии материал горизонта был перекрыт наносом мощностью, в среднем, около 40 см, представляющим в настоящее время современный гумусово-ауккумулятивный и гумусово-элювиальный горизонты. Отметим, что в региональной литературе (Богомолов, 1954; Мукатанов, 1982; Хазиев и соавт. , 1995) описания почв со вторым гумусовым горизонтом отсутствуют.

Содержание органического углерода в серогумусовых горизонтах (см. табл.13 приложения 2) не изменяется в зависимости от положения почвы в пределах катены и составляет приблизительно около 4% в горизонтах АУ воронок большого диаметра и около 8% в горизонтах АУ воронок малого и среднего диаметров; (см. табл.11 приложения 2). По направлению к почвам средних частей склонов происходит уменьшение содержания органического углерода в горизонте AEL/AELhh на 0,5-1,5%. Для темnogумусовых стратифицированных горизонтов, формирующихся в нижних частях склонов воронок, характерно более равномерное распределение органического углерода в пределах профиля при его меньшем содержании (на 2-4%), чем для серогумусовых горизонтов сопряженных серых почв. Запасы гумуса в стратоземах темnogумусовых, как правило, несколько выше, чем в сопряженных по склону серых почвах, но ниже, чем в почвах межвороночных пространств. В латеральном направлении в пределах почвенных катен наблюдается смена в соотношении углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот – от 1,7 в почвах межвороночных пространств до 0,7 в почвах средних и 0,5 в почвах нижних частей склонов воронок.

Почвы карстовых воронок характеризуются явной внутрипрофильной дифференциацией по содержанию физической глины (см. табл.14 приложения 2). Гумусовые горизонты характеризуются супесчаным - легкосуглинистым гранулометрическим составом, субэлювиальные - легкосуглинистым, текстурные – средне- и тяжелосуглинистым составом. Степень внутрипрофильной дифференциации почв по содержанию

физической глины ослабляется по направлению к почвам нижних частей склонов воронок. Изменения в содержании ила и физической глины в пределах гумусово-аккумулятивных горизонтов сопряженных почв не выявлено.

Для почв катен характерны относительно низкие значения pH, варьирующие, за редким исключением, от кислых до слабокислых значений (см. табл.13 приложения 2). Данная особенность, по-видимому, обусловлена специфичностью почвообразующих пород, их пиритизированностью (Вахрушев Г.В., 1960). Добавим, что включения обломков карбонатных пород в нижних частях профилей некоторых почв практически не сказываются на изменении щелочно-кислотных условий. В латеральном направлении изменение значений pH или не происходит или приводит к увеличению щелочности на 0,5-0,6 единиц (для гумусового горизонта). Изменения окислительно-восстановительного режима почв в латеральном направлении не наблюдается, структура ландшафтно-геохимической дифференциации выглядит следующим образом: $R(a_{1-2}t_{1-2}g_{1-2})L_{1-2}$

Для почв межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов воронок участка «Капова» характерно уменьшение содержания Si и Ca, увеличение содержания Al и Fe от верхних горизонтов почв к нижним, и равномерное содержание Mg, Mn, Ti, K и P (см. табл.15 приложения 2). Содержание валовых форм макроэлементов в почвах нижних частей склонов воронок равномерно по профилю. Изменение в содержании валовых форм химических элементов в гумусово-аккумулятивных горизонтах и почвообразующих породах в латеральном направлении не происходит.

Характерной особенностью почв катен является уменьшение значений магнитной восприимчивости в радиальном направлении, в среднем, на $3 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$ (см. табл.13 приложения 2). Данная особенность, по-видимому, обусловлена специфичностью распределения железосодержащих минералов в почвенном профиле - накоплением сильных магнетиков в верхней части профилей почв, обуславливающих повышенные значения магнитной

восприимчивости. Интенсивное протекание гумусово-аккумулятивного процесса, способствующее оструктуриванию верхних почвенных горизонтов и улучшению условий аэрации, по-видимому, обуславливает данную тенденцию (Бабанин и соавт., 1995)). Изменение значений магнитной восприимчивости по профилям почв неконтрастно, коэффициент вариации значений магнитной восприимчивости, в среднем, составляет 14.

Таким образом, в пределах катен карстовых воронок участка «Капова» по направлению к нижним частям склонов происходит сначала уменьшение, а затем увеличение мощности гумусово-аккумулятивных горизонтов, улучшение их структуры, уменьшение в них содержания органического углерода при увеличении общих запасов гумуса, сужение отношения $S_{гк}/S_{фк}$ (гумус становится более фульватным) и ослабление выраженности внутрипрофильной элювиально-иллювиальной дифференциации. Почвенные катены воронок слабо контрастны в латеральном направлении.

4.2.3. Почвенные катены карстовых воронок широколиственно-лесных ландшафтов

По составу почв катены карстовых воронок Западного макросклона Южного Урала слабо отличаются от катен широколиственных ландшафтов, формирующихся на суглинистых отложениях и описанных в работе И.С. Урусевской (1990). Серые почвы (в терминологии «Классификации и диагностики почв России» (2004)), приуроченные к межвороночным пространствам, верхним и средним частям склонов воронок аналогичны серым лесным почвам (в терминологии «Классификации и диагностики почв СССР» (1977)), формирующимся на плакорах, в верхних и средних частях склонов катен некарстовых областей (Урусевская, 1990). Почвы нижних частей склонов карстовых воронок – стратоземы темногумусовые, по своим морфологическим свойствам соответствуют дерновым намытым почвам подчиненных позиций некарстовых областей (Урусевская, 1990).

Состав почвенных катен воронок Среднего Приуралья отличается от описанных выше катен некарстовых областей широколиственных

ландшафтов, а так же от состава катен южной тайги. Напомним, что участок «Камаи» расположен вблизи южной границы южнотаежных ландшафтов, и в пределах межвороночных пространств участка формируются дерново-подзолистые почвы – «зональные» почвы южной тайги. Принципиальным отличием исследованных катен воронок Среднего Приуралья от катен южнотаежных и широколиственно-лесных ландшафтов некарстовых областей, является «метаморфическое направление» почвообразования в пределах склонов воронок (обусловленное, характером почвообразующих пород), а так же отсутствие признаков гидроморфизма даже в почвах нижних частей склонов. Последнее, по нашему мнению, определено специфичностью геологического строения карстовых территорий – наличием разветвленной системы трещин и пустот, определяющей благоприятные условия оттока избыточной влаги за пределы почвенного профиля.

Общими тенденциями для почвенных катен воронок исследованных широколиственно-лесных ландшафтов является увеличение роли гумусово-аккумулятивного процесса в формировании почв на фоне ослабления элювиально-иллювиальной дифференциации и педогенного оструктурирования средней части почвенного профиля. Отметим, что ослабление морфологической выраженности процессов элювиально-иллювиальной дифференциации по направлению к почвам подчиненных позиций является общей чертой почвенных катен карстовых и прилегающих некарстовых областей (Урусевская, 1990). Однако проявление гумусово-аккумулятивного процесса в пределах почв катен карстовых и некарстовых областей происходит различным образом: если в катенах внекарстовых областей максимальная мощность гумусово-аккумулятивного горизонта наблюдается в пределах средних частей склонов (Урусевская, 1990), то для почв катен карстовых воронок на отмеченные геоморфологические позиции приходится минимальная мощность горизонта. Эту особенность мы связываем с более активными процессами латеральной механической миграции вещества в пределах склонов воронок, вызванных большими углами наклона склонов

катен карстовых воронок, по сравнению с углами наклона склонов катен внекарстовых областей, способствующими сокращению мощности гумусового горизонта в средних частях склонов.

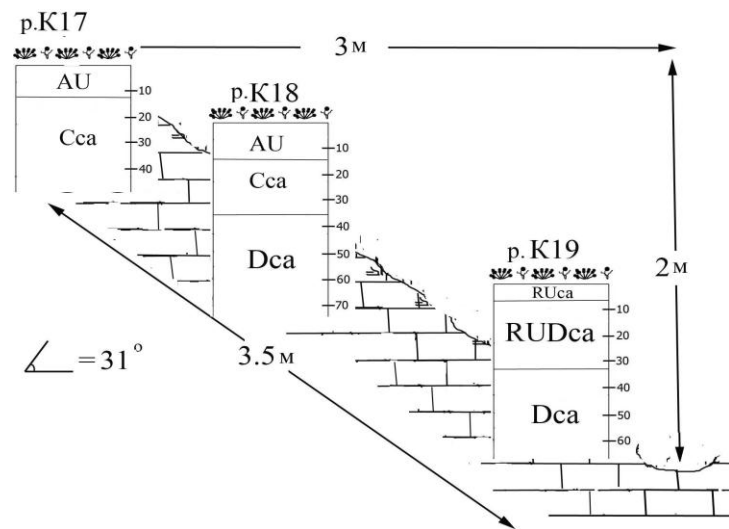
Почвенные катены карстовых воронок Среднего Приуралья на элювии и элюво-делювии красноцветных пород (индекс SHDI достигает 1,4) характеризуются большей гетерогенностью по сравнению с почвенными катенами западного макросклона Южного Урала на элювии и элюво-делювии глинистых сланцев (индекс SHDI достигает 0,6).

4.3. Лесостепные ландшафты

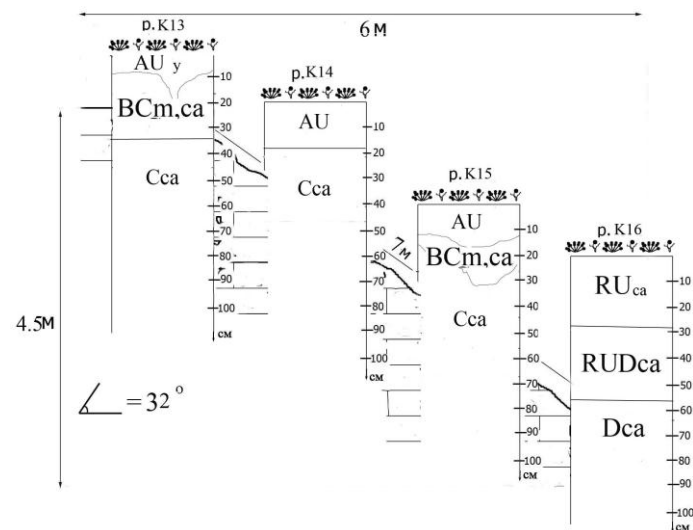
На ключевом участке «Кунгур» в пределах островной Кунгурской лесостепи под разнотравно-ковыльной степью на элювии и элюво-делювии известняков почвенные катены карстовых воронок образуют (рис. 4.13) карболитоземы темногумусовые межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов (разрезы К8 – К11, К13, К14, К16) и стратоземы нижних частей склонов карстовых воронок (разрезы К12, К15, К17). Морфологические описания почв средней воронки приведены в Приложении1.

Почвы, образующие катены, характеризуются очень простым строением почвенного профиля: гумусовый горизонт залегает или непосредственно на почвообразующей/подстилающей породе, или на переходном к почвообразующей породе горизонте. Почвенные катены относительно гомогенны, а основные изменения свойств почв в латеральном направлении касаются, в первую очередь, изменения мощности всего почвенного профиля и отдельных горизонтов, степени оструктуренности, цвета и окраски горизонтов.

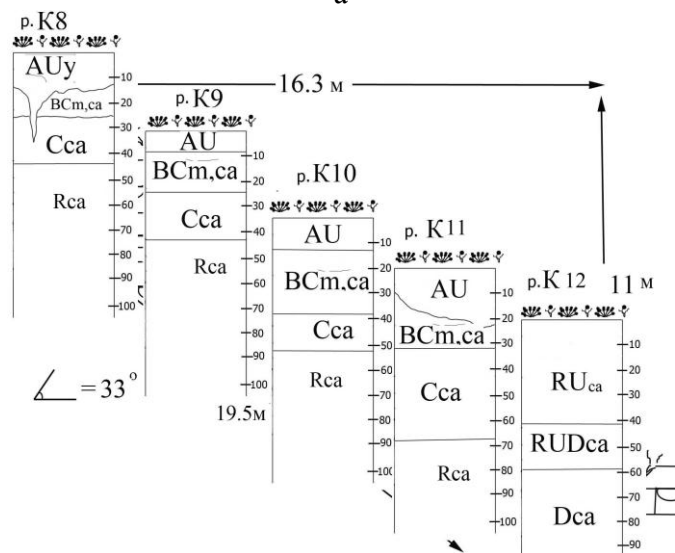
Гумусовые горизонты сопряженных почв по направлению к нижним частям склонов увеличиваются от 10-12 см на межвороночных пространствах до 20-30 см в средних частях склонов и 50-60 см в нижних частях склонов воронок; гумусовые горизонты приобретают мелкоореховатую и комковато-зернистую структуру (вместо комковатой структуры), в материале горизонтов исчезают включения слаборазложившихся остатков растений, в нижних частях склонов горизонт становится неоднородным по цвету и плотности. Отметим, что в пределах межвороночных пространств граница между темногумусовым и переходным к почвообразующей породе горизонтом часто языковатая (рис. 4.14), и, по нашему мнению, имеет криогенную природу. Межвороночные пространства характеризуются пониженной мощностью снежного покрова (Андрейчук, 2007), что может обуславливать промерзание почв и образование вертикальных мерзлотных



a



б



в

Рис. 4.13. Почвенные катены карстовых воронок участка «Кунгур» на элювии и элюво-делювии известняков
а- малая воронка; б-средняя воронка; в- большая воронка.
Условные обозначения

- Почвообразующие и подстилающие породы
-  - известняки
- Растительные ассоциации
-  -типчаково-ковыльная ассоциация

трещин, по которым происходит засыпка материала гумусово-аккумулятивного горизонта.

В катенах средней и большой воронок под темnogумусовым горизонтом в пределах верхних и средних частей склонов, как правило, формируется слабооструктуренный щебнистый горизонт BC_{m,ca}. Структура и цвет горизонта различны. Структура горизонта может быть мелкокомковатой (разрез K10, K11), мелко- (разрез K9) и среднеореховатой (разрез K15). Цвет горизонта изменяется от палево-бурого (разрез K9, K10) до буровато-красного (разрез K11) и палевого (разрез K15) что по-видимому, обусловлено разной степенью выветрелости почвообразующей породы и различным соотношением мелкозема и включений обломков карбонатных пород, а не положением почвы в пределах катены.

Для почв катен характерно относительно высокое содержание органического углерода – от 3 до 7% на межвороночных пространствах, верхних и средних частях склонов с резким аккумулятивным характером распределения в пределах профиля (см. табл.16 приложения 2) и от 4 до 5, 5% в стратифицированных горизонтах нижних частей склонов с более равномерным типом распределения. Содержание гумуса в почвах по направлению от межвороночных пространств к средним частям склонов, как правило, увеличивается на 2-3%. Запасы гумуса в стратоземах выше, чем в сопряженных почвах за счет более мощного гумусового горизонта. По направлению к почвам нижних частей склонов происходит уменьшение отношения C_{гк}/C_{фк}, гуматный гумус почв межвороночных пространств меняется на фульватно-гуматным на склонах воронок.



Рис.4.14 карболитозем темnogумусовый метоморфизованный языковатый, разрез K8

Почвы легкосуглинисты. Изменения в содержании различных гранулометрических фракций в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв катен не выявлены (см. табл.17 приложения 2).

По условиям миграции химических элементов исследованные катены неконтрастны. Почвы характеризуются нейтральными-слабощелочными значениями pH (см. табл.16 приложения 2) и формируются в окислительной среде. По набору геохимических барьеров степень контрастности катены слабая, структура ландшафтно-геохимической дифференциации в пределах катен может быть записана как $R(a_1t_1g_1)L_1$.

Элементный состав почв межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов неоднородный (см. табл.18 приложения 2): вниз по почвенному профилю происходит уменьшение содержания полуторных оксидов и увеличение содержания CaO и MgO (и, как следствие, уменьшение значений магнитной восприимчивости), что обусловлено специфичностью почвообразующей породы – элювием и элюво-делювием известняков и процессами ее выветривания. Почвы нижних частей склонов воронок наиболее однородны по элементному составу и значениям магнитной восприимчивости в пределах катен. Латеральное распределение химических элементов в почвах катен, как правило, сопряженное монотонное, иногда сопряженное аккумулятивное: для Mn в катене малой карстовой воронки и Fe в катене большой карстовой воронки (см. табл. 4.6).

Исследование автономного почвообразования на разных почвообразующих породах свидетельствует о том, что почвы, формирующиеся на элювии карбонатных пород, являются наименее сенсорными к изменению биоклиматических условий почвообразования (Горячкин, Макеев, 1991). Исследованные нами почвенные катены карстовых воронок дополняют отмеченный тезис и позволяют говорить о слабой сенсорности почв к изменению фактора рельефа: на межвороночных пространствах и в пределах склонов формируются почвы, относящиеся к одному и тому же типу - карболитоземам темногумусовым. Только в

пределах нижних частей склонов, где происходит аккумуляция материала, сносимого с более высоких гипсометрических позиций, происходит формирование другого типа почв - стратоземов темногогумусовых. Ведущим фактором дифференциации почв в пределах катен является механическая миграция вещества. Вне зависимости от размеров катен, по направлению к почвам подчиненных позиций происходит увеличение мощности почвенного профиля за счет увеличения мощности гумусово-аккумулятивного горизонта и переходного к почвообразующей породе горизонта ВСт,са.

4.4. Сухостепные ландшафты

Почвенные катены карстовых воронок участка «Луговской» на элювии и элюво-делювии карбонатных конгломератов вне зависимости от размеров воронок, образуют (рис. 4.15) светлогумусовые мицелярно-карбонатные почвы межвороночных пространств (разрезы О1, О4, О7), светлогумусовые миграционно-мицелярные верхних и средних частей склонов (разрезы О2, О5, О8, О9) и стратоземы темногумусовые нижних частей склонов воронок (разрезы О3, О6, О10). Индексы SHDI варьируют от 0,56 для большой воронки до 0,64 для малой и средней воронок. Подробные описания морфологических свойств почв приведены в Приложении 1 и в работе: «Степное почвообразование на склонах карстовых воронок (Южное Приуралье)» (Смирнова, Геннадиев, 2013). Почвенные катены карстовых воронок слабо дифференцированы в латеральном направлении, основные изменения в пределах катен касаются гумусового и солевого профилей почв.

По направлению к нижним частям склонов воронок палево-серый мелкокомковатый светлогумусовый горизонт переходит в темно-серый с палевым оттенком мелко- и среднекомковатый темногумусовый горизонт; мощность гумусового горизонта изменяется от 20 см на межвороночных пространствах до 30-35 см в средних частях склонов и до 60-100 см в нижних частях склонов воронок. Вслед за увеличением мощности гумусовых горизонтов происходит увеличение их гумусированности (см. табл.19 приложения 2), в среднем, от 2% на межвороночных пространствах до 4% в пределах нижних частей склонов и резкое увеличение запасов гумуса (в 2 – 4 раза). Особенности изменения свойств гумусовых горизонтов почв катен обусловлены, по нашему мнению, более благоприятными условиями гумусонакопления на склонах воронок (затененностью склонов, большей влажностью почв и большей степенью проективного покрытия травянистым ярусом почв склонов воронок, по сравнению с почвами межвороночных пространств) и процессами латерального перемещения материала гумусовых

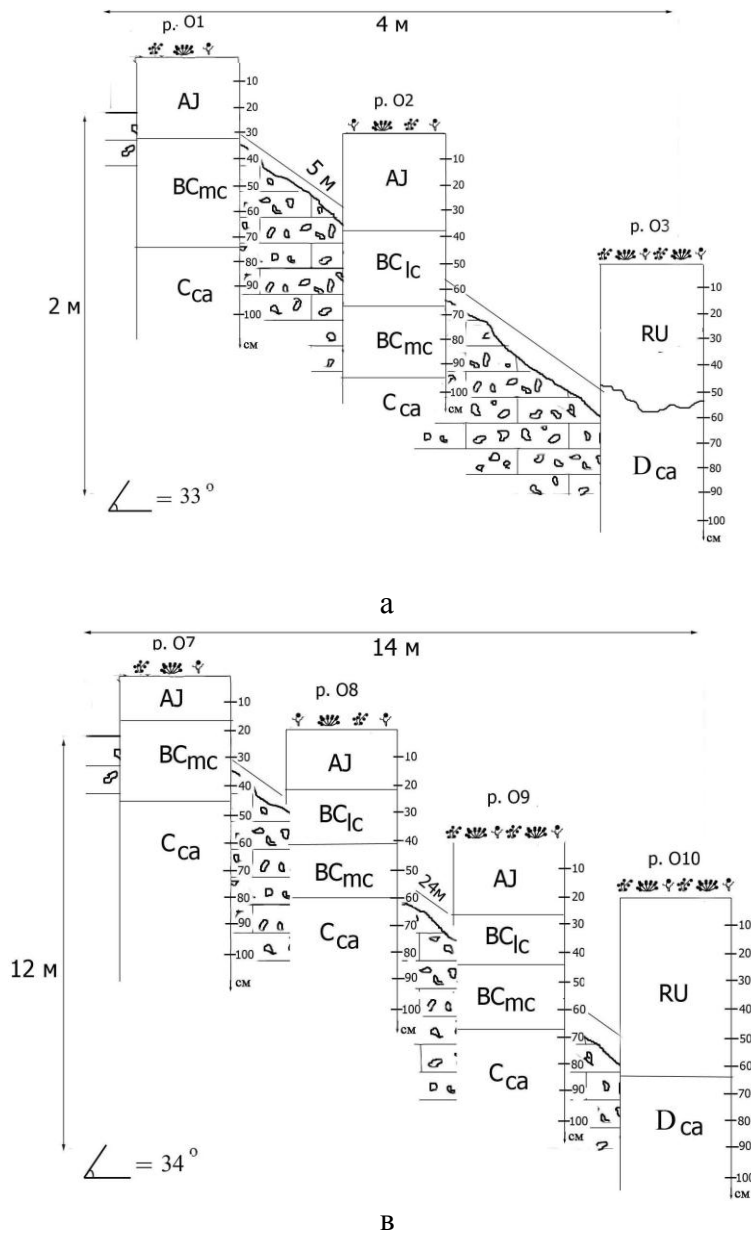


Рис. 4.15. Почвенные катены карстовых воронок участка «Луговской» на элювии и элюво-делювии карбонатных конгломератов

а- малая воронка; б-средняя воронка; в- большая воронка.

Условные обозначения

Почвообразующие и подстилающие породы

- карбонатные конгломераты

- известняки

Растительные ассоциации

-типчаково-ковыльно-полынная ассоциация

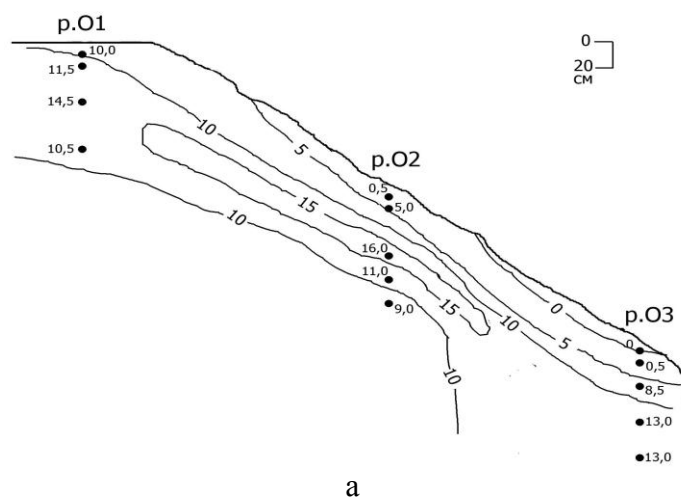
горизонтов – сноса материала с верхних, средних частей склонов и его аккумуляцией в нижних частях склонов воронок. Сравнение воронок разного размера позволяет выявить тенденцию к общему уменьшению содержания органического углерода в ряду от малой воронки к большой.

Основные изменения карбонатного профиля почв катен касаются форм карбонатных новообразований, концентраций CaCO_3 и глубины вскипания мелкозема от 10%-HCL. Карбонатными новообразованиями, локализованными в горизонте ВС_{тс} почв межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов, являются желтовато-белые прожилки длиной до 3 см и шириной 1-2 мм. Наличие таких новообразований в почвах свидетельствуют о преобладающей восходящей миграции почвенных растворов и постепенном иссушении почвенного профиля (Рысков Я.Г., Демкин, 1997; Полевой определитель..., 2008). В почвах верхних и средних частей склонов воронок на поверхностях педов нижней части гумусово-аккумулятивного и в верхней части переходного к почвообразующей породе горизонта, кроме того, заметны нитевидные светлые палево-белые налеты – лабильные формы карбонатных новообразований. Такие новообразования, по данным Я.Г. Рыскова и В.А. Демкина (1997), присутствуют в профилях почв сухостепных ландшафтов Южного Урала только в сухой летний период и исчезают в результате промывания почвы в более влажные периоды. В почвах нижних частей склонов воронок морфологически выраженные формы карбонатных новообразований отсутствуют.

Почвы межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов воронок вскипают с поверхности. В почвах нижних частей склонов верхняя 10-15 см толща выщелочена от карбонатов. Суммарная мощность горизонтов с признаками аккумуляции вторичных карбонатов в почвах склонов и межвороночных пространств приблизительно одинакова (около 30–40 см). Почвы верхних и средних частей склонов воронок содержат на 3–10 % карбонатов больше, чем сопряженные почвы межвороночных пространств (см. табл.20 приложения 2), в целом горизонты аккумуляции вторичных

карбонатов содержат от 10 до 30% CaCO_3 . Содержание карбонатов в почвах нижних частей склонов воронок не превышает 10%. Сравнение почвенных катен воронок разного размера позволяет наметить тенденцию к увеличению содержания CaCO_3 в ряду от малой к большой воронке.

Таким образом, почвы средних частей склонов являются наиболее радиально-дифференцированными почвенными образования в пределах катен карстовых воронок. В горизонте ВС этих почв присутствуют мицелярные и миграционные формы карбонатов. Кроме того, на рис.4.16 показано, что эти почвы характеризуются максимальным содержанием карбонатов в пределах катен карстовых воронок. Этот максимум может являться совокупным результатом бокового нисходящего с верхних частей склона потока растворов (в осенне-весенний период) и бокового восходящего потока пленочно-капиллярной влаги, направленного от более влажного днища воронки вверх по более сухому склону (летний период). Аналогичные особенности изменения направленности латеральной миграции почвенных растворов были показаны на примере почвенных комбинаций западин (Зимовец, 1980) и курганных насыпей 4000-летнего возраста (Геннадиев, 1990) полупустынных ландшафтов Прикаспийской низменности.



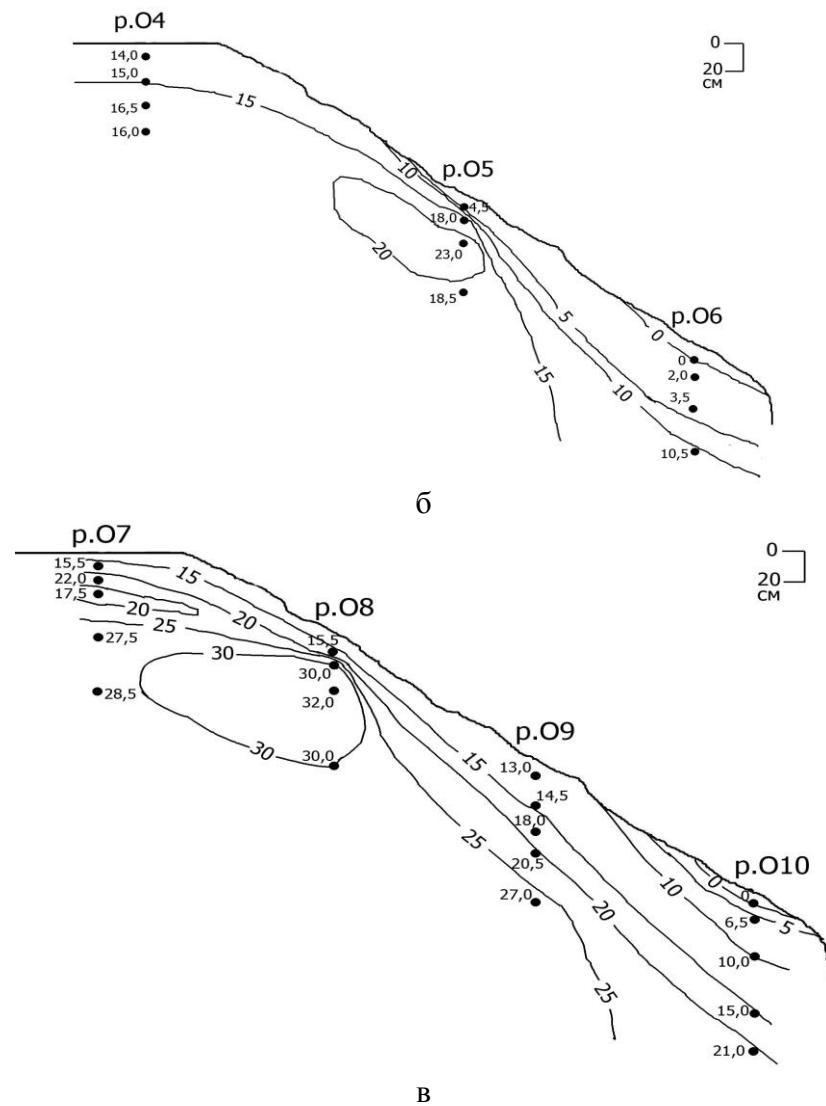


Рис. 4.16. Содержание CaCO_3 (%) в почвах карстовых воронок: а – Малая карстовая воронка, б– Средняя карстовая воронка, в – Большая карстовая воронка

В почвах межвороночных пространств и склонов максимальные значения рН совпадают с максимальными значениями содержания карбонатов в пределах почвенного профиля и приурочены к горизонтам ВС (см. табл.19, 20 приложения 2). Щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия миграции химических элементов, в целом, неконтрастны и характеризуются окислительной обстановкой, нейтральными-слабощелочными (редко щелочными) значениями рН. Структура геохимической дифференциации катен может быть записана в виде $R(a_1t_1g_1)L_1$.

Почвы катен не засолены (см. табл.20 приложения 2), содержание легкорастворимых солей в пределах почвенного профиля, за исключением

почвообразующих пород почв межвороночных пространств, не превышает 0,1%. Латеральных трендов в изменении содержания Ca^{2+} , Mg^{2+} и SO_4^{2-} в водной вытяжке не выявлено. Содержание этих катионов и аниона носит регрессивно-элювиальный характер и растёт от 0,4–0,6 ммоль/100 г почвы для Mg^{2+} и Ca^{2+} в гумусово-аккумулятивном горизонте до 5 (для Mg^{2+}) и 14,5 ммоль/100 г почвы (для Ca^{2+}) в почвообразующей породе; содержание SO_4^{2-} в почвах изменяется от 0,1 до 1,5–2,7 ммоль/100 г и увеличивается с глубиной.

Почвы воронок легкосуглинисты и характеризуются слабой внутрипрофильной дифференциацией по содержанию гранулометрических фракций (см. табл.21 приложения 2). Небольшой максимум в содержании физической глины наблюдается в средней части почвенного профиля. Изменение гранулометрического состава гумусовых горизонтов почв катен в латеральном направлении не выявлено.

Элементный состав почв неоднородный что, по-видимому, обусловлено характером почвообразующих пород. Содержание SiO_2 в почвах варьирует от 40 до 70%, CaO – от 2 до 16% (см. табл.22 приложения 2). Почвы нижних частей склонов являются наиболее гомогенными по элементному составу в пределах катен.

Для почв катен характерна высокая вариабельность изменения значений магнитной восприимчивости (см. табл.19 приложения 2). Минимальные значения величины наблюдаются в почвообразующей породе и горизонтах с максимум аккумуляции карбонатов. Почвы нижних частей склонов характеризуются, в среднем, более высокими значениями магнитной восприимчивости, по сравнению с другими почвами катен, и меньшей внутрипрофильной вариабельностью значений.

Таким образом, почвенные катены карстовых воронок сухостепных ландшафтов относительно гомогенны. Наиболее радиально-дифференцированными почвами являются почвы верхних и средних частей склонов воронок. Ведущими механизмами дифференциации почв в пределах катен является боковая миграция солей и латеральная механическая

миграция твердофазного вещества почв. Для катен характерны двусторонние связи. Особенности форм карбонатных новообразований в почвах катен позволяет высказать предположение о направленном иссушении почв межвороночных пространств, выщелачивании от карбонатов почв нижних частей склонов и сезонной разнонаправленной миграции почвенных растворов, насыщенных карбонатами, в пределах верхних и средних частей склонов карстовых воронок.

Описанные катены карстовых воронок сильно отличаются от катен прилегающих некарстовых областей. Каштановые почвы автономных и транзитных позиций и лугово-каштановые почвы подчиненных позиций являются примером типичной катены сухостепных ландшафтов (Почвы Оренбургской области, 1972; Хохлова О.С., Хохлов, 2002). В отличие от каштановых и лугово-каштановых почв, описанные почвы карстовых воронок не содержат в пределах почвенного профиля конкреционных форм карбонатов и новообразований гипса, в них отсутствует срединный горизонт. Тем не менее, для катен карстовых и некарстовых областей характерна общая тенденция к увеличению гумусности почв по направлению к почвам подчиненных позиций. По нашему мнению, материал гумусового горизонта почв подчиненных позиций катен карстовых воронок имеет преимущественно аллохтонное происхождение и связан с аккумуляцией органоминерального вещества, привносимого с более высоких гипсометрических позиций, в то время как материал гумусового горизонта лугово-каштановых почв имеет автохтонное происхождение. Формирование более мощного и гумусированного горизонта лугово-каштановых почв по сравнению с каштановыми почвами автономных позиций обусловлено полугидроморфными условиями почвообразования (Ерохина, 1959; Блохин, 1997).

Глава 5. Твердофазная миграция вещества почв на склонах карстовых воронок

Количественная оценка латерального переноса твердофазного вещества почв в карстовых воронках проводилась на двух ключевых участках: «Камаи» (широколиственные леса) и «Кунгур» (лесостепь) с помощью метода магнитного трассера. Выбор данных участков для оценки латеральной механической миграции твердофазного вещества почв обусловлен оптимальным расположением этих участков по отношению к источнику поступления сферических магнитных частиц (СМЧ) – маркеров для оценки эрозионных процессов, в сравнении с другими исследованными участками.

5.1. Методика оценки механической миграции вещества в пределах склонов карстовых воронок

5.1.1. Метод магнитного трассера

Впервые для характеристики параметров почвенно-эрозионных процессов метод магнитного трассера был опробован около 25 лет назад в США (Jones R.L., Olson, 1990). С тех пор, данный метод постоянно совершенствовался и использовался для выявления скоростей латерального переноса твердофазного вещества почв в разных природных зонах в рамках российско-американских исследований (Геннадиев и соавт. 2004, 2005, 2010; Olson et al., 2006, 2013).

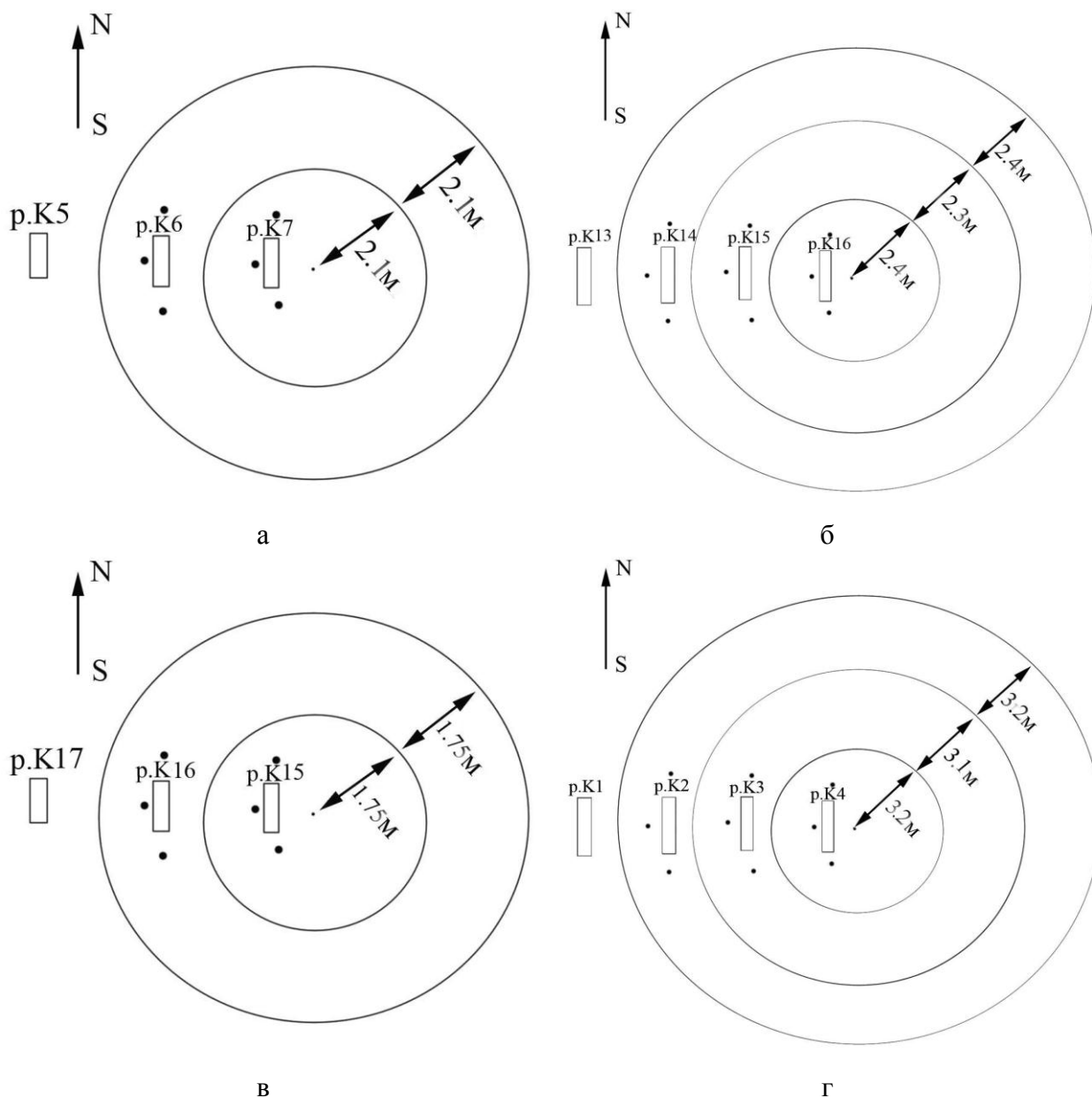
Наиболее существенным источником СМЧ в почвах являлись продукты сгорания угля в паровых локомотивах. Ближайшей железной дорогой от исследованных участков является Транссибирская магистраль, связывающая между собой города Пермь и Екатеринбург. Она была введена в эксплуатацию в 1909 году (Лепехина, 2007). Минимальные расстояния до нее от участков составляют 2,2 км (участок «Кунгур») и 4,1 км (участок «Камаи»). Такая удаленность от источника поступления трассера является оптимальной для проведения данного типа исследований (Геннадиев и соавт., 2010). Паровые локомотивы использовались до 1950-х годов.

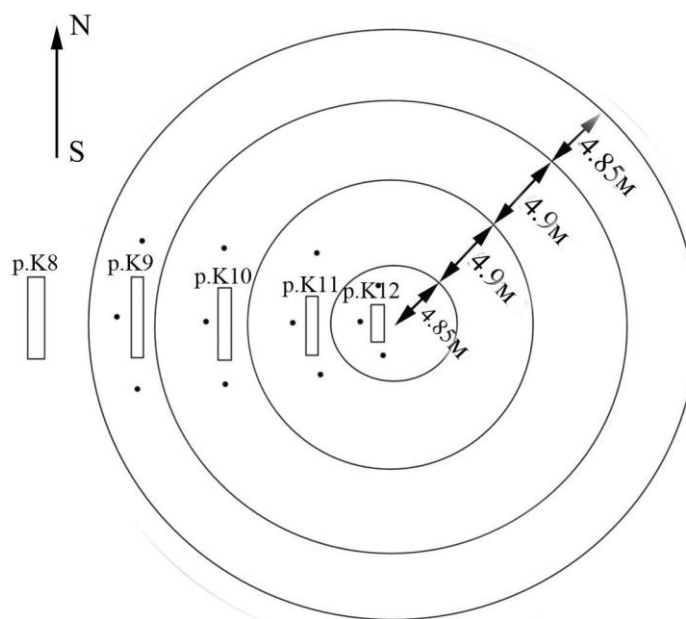
Аккумуляция СМЧ на поверхности почв происходит путем переноса частиц от источников через атмосферу. Поскольку в пределах локальных местностей из атмосферы в почвы СМЧ поступают достаточно равномерно, то изменения их концентраций в почвенном покрове являются следствием перераспределения этих веществ в результате смыва-намыва почвенного материала. Предполагается, что масса перераспределенного в результате латеральной миграции магнитного трассера прямо пропорциональна массе всего перераспределенного твердофазного почвенного вещества. Общая методика подсчета содержания сферических магнитных частиц в почвах приведена в работах (Jones R.L., Olson, 1990; Olson et. al 2002, Геннадиев и соавт. 2004) и включает в себя следующие этапы: выделение магнитной фракции почв и количественную оценку доли сферических магнитных частиц в составе магнитной фракции почв и почвы в целом. Для более детальной идентификации СМЧ в почвах исследованных ключевых участков, магнитная фракция образцов почв была также исследована под сканирующим электронным микроскопом фирмы JEOL с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа Oxford Instruments. Количественная оценка доли сферических магнитных частиц в составе магнитной фракции проводилась при помощи оптического микроскопа Carl Zeiss Axioskop 40, оснащенного цифровой видеокамерой MiniVid.

5.1.2. Отбор образцов

Вся поверхность карстовых воронок по направлению от верхних частей склонов к нижним была поделена на кольцевые зоны (рис.5.1). Количество выделяемых зон зависело от размеров карстовых воронок. В малых карстовых воронках (ШЛ-КМ1, ЛС-Ку1) выделялось две зоны, в средних (ШЛ-КМ2, ЛС-Ку2) – три, в большой карстовой воронке (ЛС-Ку3) – четыре зоны. Границы зон проводились через равные промежутки вдоль склонов карстовых воронок. Морфологические параметры зон приведены на рисунке 5.1. Отбор образцов почв для оценки латерального переноса твердофазного вещества почв проводился на склонах восточной экспозиции в

центральной части каждой зоны. По данным В.Д. Иванова (1979), В.П. Лидова (1981) и А.Л. Иванова и соавт. (2004), темпы смыва почв на склонах восточной экспозиции наиболее близки к средним темпам миграции вещества в пределах малых водосборов Европейской территории России. В центральной части каждой зоны при помощи цилиндрического бура диаметром 3 см в трехкратной повторности были отобраны почвенные образцы с глубин 0-25 см и 25-35 см. Отбор проб почвенным буром производился вертикально. В зонах, приуроченных к нижним частям склонов карстовых воронок, дополнительно отбирались пробы с глубин 35-45 см и так далее каждые 10 сантиметров на глубину всей





д

Рис.5.1. Параметры зон карстовых воронок. Точками указаны места отбора проб на содержание СМЧ; а-малая карстовая воронка ключевого участка «Камаи» (ШЛ-КМ1); б - средняя карстовая воронка ключевого участка «Камаи» (ШЛ-КМ2); в - малая карстовая воронка ключевого участка «Кунгур» (ЛС-Ку1); г - средняя карстовая воронка ключевого участка «Кунгур» (ШЛ-КМ2);д -большая карстовая воронка ключевого участка «Кунгур» (ЛС-Ку3)

стратифицированной толщи. Отбор образцов на определение плотности почв производился с глубин 10-14 и 28-32 см из почв центральных частей зон и на контрольных участках при помощи бура Качинского.

Для оценки уровня фонового содержания сферических магнитных частиц в почвах на каждом ключевом участке в пределах выровненной субгоризонтальной поверхности были заложены контрольные площадки. На каждой площадке при помощи цилиндрического бура методом спирали было отобрано 9 средних почвенных проб с глубины 0-25 см. Для оценки характера распределения сферических магнитных частиц с глубиной, дополнительно в трехкратной повторности были отобраны образцы с глубин 0-5 см, 5-10 см, 10-15 см, 15-25 см, 25-35 см.

5.1.3. Расчет темпов механической миграции вещества

Исходя из того, что СМЧ являются достаточно устойчивыми компонентами магнитной фракции почв и не подвергаются процессам разрушения в течение, по крайней мере, ста лет (Водяницкий и соавт., 1998,

2003), количество поступающих из атмосферы на поверхность почв магнитных сферул и их суммарное содержание в почвах карстовых воронок с заcolmатированным понором (ШЛ-КМ1, ШЛ-КМ2, ЛС-Ku1) должны равняться друг другу. В случае карстовых воронок, осложненных понором (ЛС-Ku2, ЛС-Ku3), разница между этими двумя величинами дает возможность рассчитать количество твердофазного почвенного вещества, выносимого в подземные полости.

В основу расчета скоростей латерального переноса твердофазного вещества почв (вынос/аккумуляция) положены следующие допущения:

-выпадение и аккумуляция сферических магнитных частиц на поверхность почв ключевых участков происходит равномерно;

-потери/накопление почвенного материала прямо пропорциональны потере/аккумуляции сферических магнитных частиц.

Расчет скоростей производился согласно формуле:

$$V = \frac{\sum X \cdot 10000}{\sum S \cdot T} \quad (1)$$

где V (т/га·год) – латерального переноса твердофазного вещества почв; S (m^2) – площадь поверхности исследуемой зоны; T (лет) – период содержания сферических магнитных частиц в почвах; X_n (т) – масса переотложенного почвенного материала, рассчитываемая по формуле (2):

$$X_n = S' \cdot h \cdot \left(\frac{C_n}{C_b} \cdot \rho_b - \rho_n \right) \quad (2)$$

где S' (m^2) – площадь проекции зоны на горизонтальную поверхность; h (см)- мощность слоя опробования; C_n ($г/м^2$) – среднее содержание сферических магнитных частиц в слое опробования исследованной зоны; ρ_n ($т/м^3$)- плотность почвы в точке опробования; C_b ($г/м^2$) – среднее содержание сферических магнитных частиц в 25-см слое почв уплотненной межвороночной поверхности; ρ_b ($т/м^3$)- плотность почвы на последней.

При расчете массы переотложенного материала в зоне, соответствующей нижней части склонов воронок, мощность слоя опробования соответствовала мощности стратифицированной толщи и составляла 25 см в нижних частях склонов воронок ЛС-Ку1 и ЛС-Ку3, 35 см в воронке ШЛ-КМ2 и 45 см в воронках ШЛ-КМ1 и ЛС-Ку2. В остальных случаях при расчете массы переотложенного материала мощность слоя опробования составляла 25 сантиметров.

5.2. Сканирующая электронная микроскопия магнитной фракции почв

В составе магнитной фракции почв присутствуют частицы идеальной сферической формы (рис. 5.2) диаметром от 4 до 30 мкм. На сколах некоторых сферул видно, что исследуемые частицы полые. Сферические магнитные частицы состоят из оксидов кремния, алюминия и железа. В составе некоторых исследованных сферических частиц также были

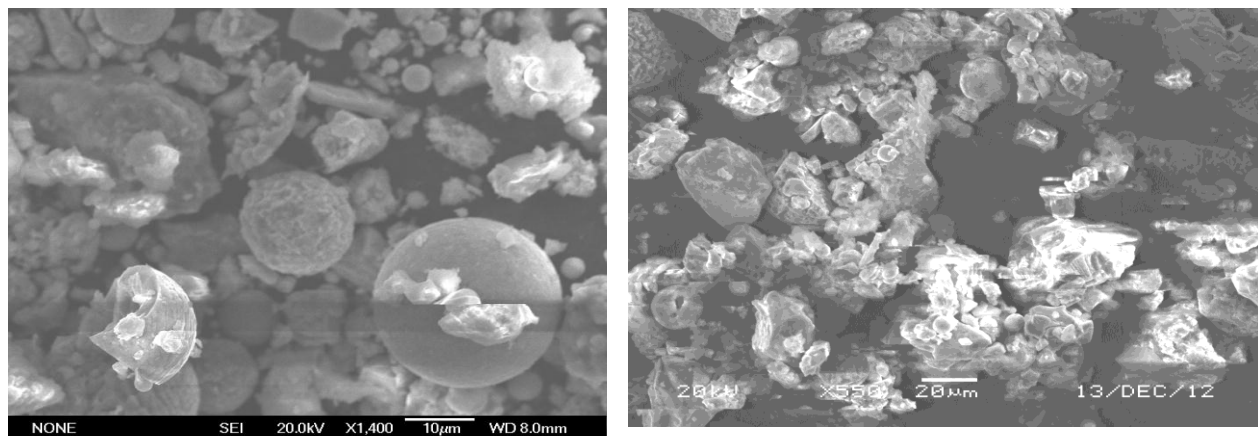


Рис.5.2. СЭМ изображение магнитной фракции почв

обнаружены магний, кальций, калий, титан, марганец и хром. Поверхность трети исследованных несферических частиц покрыта углеродистыми пленками; на поверхности сферических частиц пленки не обнаружены. В таблице 1 Приложения 3 приведены статистические данные по содержанию химических элементов в сферических и несферических компонентах магнитной фракции.

По соотношению Fe/Mn, исследованные сферические частицы значительно отличаются от наиболее распространенных в почвах конкреций

– железо-марганцевых, для которых характерно превышение содержания железа над марганцем в единицы (Sidhu et al., 1977; Wen-Feng et al., 2006), но не в десятки раз, как в исследованных сферах. Идеальная сферическая форма частиц, полость, особенности химического состава, позволяют с большой уверенностью говорить о том, что исследованные СМЧ представляют собой частицы техногенного происхождения, аналогичные частицам, описанными в работах (Szoor et al., 2001; Stanislav et al., 2007; Загурский и соавт., 2009; Ram et al., 2010) и как аллохтонные компоненты могут использоваться в качестве трассеров для оценки миграции твердофазного вещества почв на склонах карстовых воронок.

5.3. Баланс миграции и аккумуляции твердофазного вещества почв в пределах карстовых воронок и скорость механической миграции почвенного материала

Распределение сферических магнитных частиц с глубиной в почвах контрольных площадок (водораздельных поверхностей с нулевой эрозией; см. табл. 2 приложения 3) показывает, что на глубины от 0 до 15 см приходится более 85% от всех СМЧ, обнаруженных в почвах контрольных участков, на глубины от 0 до 25 см – более 97%. Среднее содержание сферических магнитных частиц в почвах контрольного участка «Камаи» составляет 4.25 г/м² в 25 см почвенном слое, коэффициент вариации величины 34%.

Для контрольной площадки ключевого участка «Кунгур» аналогичные показатели составляют 10,56 г/м² в 25 см почвенном слое при коэффициенте вариации 32%. Различия в количестве СМЧ, обнаруженных в почвах ключевых участков, по-видимому, обусловлены характером растительного покрова и удаленностью от источника СМЧ (железной дороги).

В таблице 4 Приложения 3 приведены данные по содержанию СМЧ в почвах выделенных зон карстовых воронок ключевых участков, подсчитан баланс содержания сферических магнитных частиц в каждой из зон, баланс вещества почв и скорости выноса/аккумуляции. Скорости выноса/аккумуляции рассчитаны для последних 102 лет (за период с 1909 по

2011 годы). Отрицательные значения баланса и скорости латеральной миграции твердофазного вещества почв свидетельствуют о выносе материала, положительные – о его накоплении в пределах выделенной зоны. Отметим, что в образцах почв верхних и средних частей склонов карстовых воронок с глубин 25-35 см концентрация СМЧ не превышала $0,1 \text{ г/м}^2$ и в большинстве случаев СМЧ не были обнаружены в исследованных образцах.

Вариабельность содержания сферических магнитных частиц в слое 0-25 см в опробованных почвах каждой из зон, в среднем, составляет 10-15%. Как и в почвах контрольных участков, концентрация СМЧ в почвах карстовых воронок ключевого участка «Кунугр» выше, чем концентрация СМЧ в почвах воронок ключевого участка «Камаи».

В верхних и средних частях склонов всех исследованных воронок процессы выноса преобладают над процессами аккумуляции твердофазного почвенного материала. Аккумуляция вещества происходит только в пределах нижних частей склонов карстовых воронок и, вероятно, подземных полостей карстовых воронок с незакольтматированным понором. Суммарное количество выпавших СМЧ из атмосферы превышает в таких воронках суммарное количество СМЧ, находящихся в почвах склонов. Отметим, что полученные данные по содержанию СМЧ в почвах карстовых воронок могут быть занижены, по крайней мере, по двум причинам. Во-первых, условия аккумуляции СМЧ из атмосферы на склоне воронок и на контрольной площадке участка «Камаи» различны в силу различий растительного покрова – наличия древесного яруса на контрольной площадке и его отсутствия в пределах склонов воронок. Кроме того, поноры, которые в карстовых воронках ШЛ-КМ2, ШЛ-КМ1, ЛС-Ку1 на момент проведения исследований находились в закольтматированном состоянии, за период поступления СМЧ могли быть какое-то время открыты и, следовательно, через поноры мог происходить вынос твердофазного вещества почв и СМЧ за пределы карстовых воронок. В карстовых воронках с закольтматированным понором процентное соотношение разницы между количеством выпавших СМЧ из

атмосферы и количеством СМЧ, находящимся в почве, к количеству выпавших СМЧ из атмосферы составляет 30% для ШЛ-КМ2, 14% для ШЛ-КМ1 и 35% для ЛС-Ку1.

Для воронок с незакольтматированным понором данное соотношение равняется 39% (ЛС-Ку3) и 57% (ЛС-Ку2). Таким образом, за пределы склоновых сопряжений почв карстовых воронок осложненных понором, выносятся более 40% от всего почвенного материала, участвующего в процессах смыва; или около 0,2 т с поверхности средней карстовой воронки и 1.3 т с поверхности большой карстовой воронки ежегодно (при условии равномерного протекания латерального переноса твердофазного вещества почв).

Средние скорости латерального выноса твердофазного вещества почв на ключевых участках «Камаи» и «Кунугр» составляют 11 т/га в год и 15 т/га в год соответственно. В пределах склонов карстовых воронок максимальная скорость выноса может наблюдаться как в средних частях склонов, так и в верхних частях склонов и достигать 27 т/га в год. Согласно систематизации склоновых почвенных сопряжений по проявлениям смыва-намыва вещества (Геннадиев, Жидкин, 2012), карстовые воронки с закольтматированным понором относятся к гипердинамичным открытым сопряжениям, воронки, осложненные понором - к гипердинамичным полукрытым сопряжениям. В терминологии М. Зоммера и Э. Шлихтинга (1997) исследованные нами катены являются трансформационными катенами и катенами выщелачивания.

Скорость аккумуляции вещества почв в пределах нижних частей склонов карстовых воронок с закольтматированным понором растет от карстовой воронки с наименьшими размерами (ЛС-Ку1) до карстовой воронки с наибольшими размерами (ШЛ-КМ2) и соответственно составляет от 14 до 60 т/га в год. Тенденция увеличения скорости аккумуляции вещества почв в пределах нижних частей склонов карстовых воронок при увеличении диаметров карстовых воронок обусловлена геометрией морфологического строения исследованных форм рельефа. При увеличении размера воронки

происходит значительное увеличение площади поверхности верхних и средних частей склонов воронки (эродируемых поверхностей), и небольшое увеличение площади нижних частей склонов (поверхности аккумуляции). В случае воронок с незакольматированным понором минимальная скорость аккумуляции составляет 4 т/га в год и наблюдается в нижней части склона большой карстовой воронки (ЛС-КуЗ).

Более высокие темпы эрозии почв (15 т/га·год на участке «Кунгур» по сравнению с 11 т/га·год на участке «Камаи») оказались на склонах карстовых воронок, характеризующихся большей крутизной склонов воронок (32° участка «Кунгур» против 25° участка «Камаи»), большей степенью проективного покрытия почв склонов травянистым ярусом (65-80% участка «Кунгур» против 55-65% участка «Камаи»), незалесенными межвороночными пространствами (межвороночные пространства участка «Камаи» покрыты лесом), щебнистыми почвами с меньшим содержанием физической глины (20-22% участка «Кунгур» против 37 - 45% участка «Камаи»). По-видимому, фактор большего угла наклона склона в данном случае является более существенным в определении скорости эрозии почв, чем степень проективного покрытия травянистого яруса и гранулометрический состав почв. Кроме того, меньшая скорость эрозии на склонах воронок участка «Камаи» может быть обусловлена тем, что процесс снеготаяния в лесных ландшафтах, к которым относятся межвороночные пространства участка «Камаи», протекает более плавно и равномерно, чем в степных, к которым относятся межвороночные пространства участка «Кунгур», (Кучмент, Гельфан, 2004).

Отсутствие литературных данных о скорости смыва почв на склонах указанной крутизны под естественной растительностью умеренно континентального климата не позволяет произвести сравнение полученных нами темпов латерального переноса твердофазного вещества почв с данными из других источников. Скорости латерального переноса твердофазного вещества почв, полученные методом магнитного трассера, на крутых склонах

(углы наклона склона до 20°) под некосимой степью Белгородской области, не превышают 1 т/га·год (Геннадиев и соавт., 2005); на более пологих склонах под лесной растительностью Московской области и штата Иллинойс – не превышают 5 т/га·год (Olson et al., 2002a, 2006). Смыв почв на склонах карстового лога в США в штате Теннесси, под естественным лесным фитоценозом на участках склонов крутизной до 15° составляет от 0 до 4 т/га·год (Turnage et al., 1997). Эрозия почв на склонах заброшенного карьера крутизной до 19° под естественной растительностью составляла от 5,5 т/га·год до 9,8 т/га·год (Gillijnsetal., 2005).

Высокие темпы эрозии почв на склонах исследованных карстовых воронок под естественной растительностью, по нашему мнению, обусловлены морфологическими особенностями воронок и параметрами растительного покрова. Для исследованных карстовых воронок характерны более высокие углы наклонов склонов - $24-25^\circ$ на ключевом участке «Камаи» и $31-33^\circ$ на ключевом участке «Кунгур», чем для упомянутых выше объектов из литературных источников. Кроме того, форма карстовых воронок обуславливает слияние миграционных потоков по направлению от верхних частей склонов воронок к нижним и, таким образом, увеличение объемов водных потоков, переносящих твердофазных почвенных частиц. Отметим, что низкие значения концентраций СМЧ в почвах верхних и средних частей склонов и, соответственно, высокие скорости латерального смыва твердофазного вещества почв, не могут быть объяснены радиальным выносом СМЧ за пределы слоя опробования, поскольку, концентрация СМЧ на глубинах 25-35 см верхних и средних частей склонов крайне мала и не превышает $0,1\text{г/м}^2$. К тому же, условия для радиальной миграции твердофазного вещества почв более благоприятны на выровненных межвороночных пространствах, чем наклонных поверхностях и, поэтому наличие такого процесса, как радиальный вынос, будет занижать расчетные данные о скорости латерального переноса, а не завышать.

Глава 6. Сравнительная характеристика почвенных катен карстовых воронок, формирующихся в разных биоклиматических и тополитологических условиях

6.1. Общие и специфические особенности латеральной и радиальной дифференциации почв

В предыдущих главах изложен материал по почвенным катенам карстовых воронок северотаежных ландшафтов на супесчаных и двучленных моренных отложениях, дериватах красноцветных пород, широколиственно-лесных ландшафтов на элювии, элюво-делювии красноцветных пород и глинистых сланцев, лесостепных ландшафтов на элювии и элюво-делювии известняков и сухостепных ландшафтов на элювии и элюво-делювии карбонатных конгломератов. Сопоставление почвенных катен карстовых воронок, формирующихся в различных физико-географических условиях, позволило выявить ряд общих особенностей в изменении почв катен. Вне зависимости от биоклиматического потенциала среды, размера карстовых воронок и характера почвообразующих пород, гумусово-аккумулятивные горизонты почв склоновых сопряжений характеризуются увеличением мощности, улучшением оструктуренности и, как правило, увеличением в них запасов гумуса по направлению от почв верхних частей склонов к почвам нижних частей склонов воронок. Гумусово-аккумулятивные горизонты почв нижних частей склонов воронок, по нашему мнению, имеют, преимущественно, аллохтонное происхождение и его формирование, во многом, обусловлено привносом органо-минерального материала с более высоких гипсометрических позиций. Почвы нижних частей склонов формируются в условиях повышенного увлажнения, затененности, меньшей амплитуды температур, по сравнению с почвами межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов. В сухой степи и широколиственно-лесных ландшафтах такие микроклиматические особенности обуславливают более высокую степень проективного покрытия травянистым ярусом нижних частей склонов воронок и более благоприятными здесь условиями

существования почвенной микро- и мезофауны, активно участвующей в процессах структурообразования. В результате, в пределах катен карстовых воронок сухостепных ландшафтов и широколиственно-лесных ландшафтов Западного макросклона Южного Урала в нижних частях склонов воронок происходит смена светлогумусового горизонта в первом случае и серогумусового горизонта во втором случае на темnogумусовый горизонт.

Степень выраженности альфегумусового, текстурного, структурно-метаморфического процессов, проявляющаяся в морфологических свойствах горизонтов почв, зависит от положения почвы в пределах катены. По направлению к почвам нижних частей склонов и днищ подзолистые, элювиальные и иллювиально-железистые горизонты теряют целостность, в окраске элювиальных и подзолистых горизонтов появляется серый цвет. Элювиальные горизонты теряют плитчатую и слоистую структуру, приобретают комковатую структуру. Текстуальные горизонты по направлению от почв верхних частей склонов к почвам нижних частей склонов преобразуются в горизонты, переходные к почвообразующей породе, что, в первую очередь, проявляется в ухудшении оструктуренности горизонтов и уменьшение толщины кутан, обволакивающих грани педов, нарушении их целостности.

Ослабление выраженности элювиально-иллювиальных процессов в катенах по направлению к почвам нижних частей склонов, по-видимому, является причиной преобладания латеральной составляющей миграции химических веществ над радиальной и движением материала вниз по склонам, обеспечивающим гомогенизацию почвенного материала и сглаживающим дифференциацию почвенных профилей по морфологическим свойствам (Апарин, 1984; Беркгаут, Белоусова, 1985).

Проявление структурно-метаморфического процесса в пределах почвенного профиля наиболее явно прослеживается в почвах верхних и средних частей склонов воронок. По-видимому, это может быть обусловлено лучшими условиями аэрации почв верхних и средних частей склонов, по

сравнению с почвами межвороночных пространств, нижних частей склонов воронок и днищ (что особенно важно в условиях избыточного увлажнения), и более близким здесь уровнем залегания карбонатных пород. В нижних частях склонов воронок структурно-метаморфический горизонт отсутствует.

Горизонты аккумуляции вторичных карбонатов характеризуются наибольшим разнообразием форм новообразований и максимумом содержания карбонатов в почвах верхних и средних частей склонов воронок. Особенности форм карбонатных новообразований в почвах катен позволяют высказать предположение о направленном иссушении почв межвороночных пространств, выщелачивании от карбонатов почв нижних частей склонов и сезонной разнонаправленной миграции почвенных растворов, насыщенных карбонатами, в пределах верхних и средних частей склонов карстовых воронок. Напомним, что в силу характера почвообразующих пород и интенсивных процессов латеральной механической миграции вещества, формирование самостоятельных текстурно- и структурно-карбонатных горизонтов в почвах катен сухостепных ландшафтов не происходит, а описанные нами карбонатные новообразования приурочены к нижней части светлогумусовых горизонтов или к переходным к почвообразующей породе горизонтам ВС.

Таким образом, проявление почвообразовательных процессов в почвах карстовых воронок подвержено катенарным трендам и способствует формированию латерально-дифференцированной структуры почвенных сопряжений. В результате, в северотаежных и широколиственно-лесных ландшафтах наиболее профильно-дифференцированными почвами являются почвы автономных позиций (подзолистые, подзолы, серые метаморфические, дерново-подзолистые, серые), в лесостепных – автономных и транзитных позиций (карболитоземы темногумусовые метаморфизованные) в сухостепных – почвы транзитных позиций (светлогумусовые миграционно-мицелярные). Следовательно, почвы карстовых воронок, несмотря на специфичность своего геоморфологического положения в пределах крутых

склонов, могут обладать не только менее, но и более выраженной радиальной дифференциацией или же не отличаться от почв межвороночных позиций. Вне зависимости от ландшафтных условий и литолого-геоморфологических характеристик, наименее профильно-дифференцированными почвами карстовых воронок являются почвы нижних частей склонов (стратифицированные подтипы подзолистых почв, подзолов, дерново-подзолистых почв, грубогумусовые, серогумусовые почвы, псаммоземы, стратоземы).

На рисунке 6.1. представлены графики, отражающие максимальные, минимальные и средние значения величин коэффициентов вариации в пределах почвенного профиля по элементному и гранулометрическому составу, значениям рН и магнитной восприимчивости. Построение графиков проводилось в пакете Statistica 6,0 (графики «Box Plot»). Размеры выборок почв межвороночных пространств, средних и нижних частей склонов, состоящих из коэффициентов вариации, рассчитанных отдельно для каждого почвенного профиля, равны между собой. Выборки значений коэффициентов внутрипрофильной вариации элементного состава почв состоят из 216 значений (сгруппированы коэффициенты по содержанию 9 элементов), выборки по гранулометрическому составу – из 144 значений (сгруппированы коэффициенты по 6 фракциям) выборки по значениям рН и магнитной восприимчивости – из 24 значений. Анализ построенных графиков свидетельствует о том, что коэффициенты вариации значений физических и физико-химических показателей в почвах нижних частей склонов меньше как по своим средним значениям, так и по разбросу минимум-максимум, по сравнению с аналогичными показателями почв средних частей склонов и межвороночных пространств.

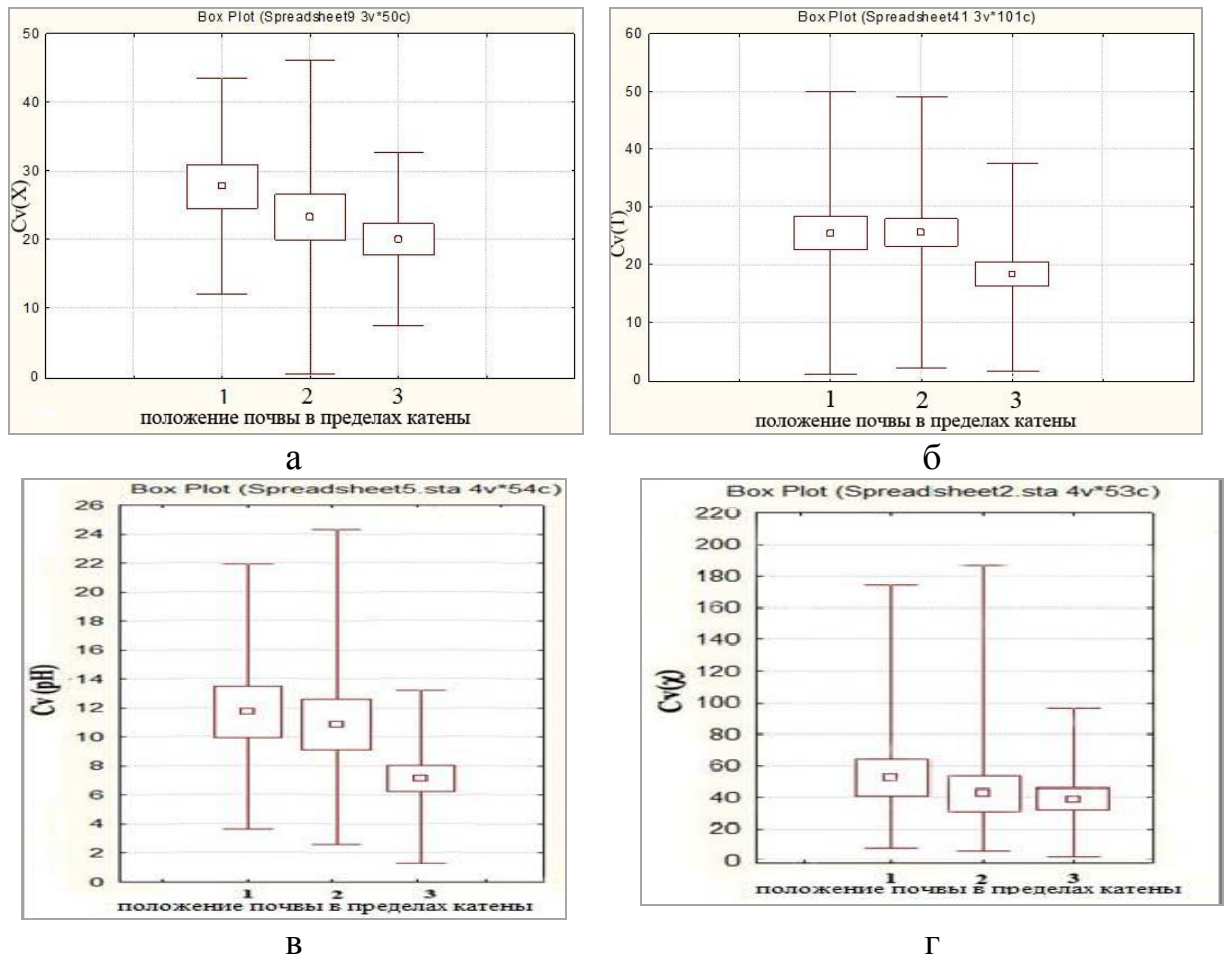


Рис.6.1. Вариабельность значений показателей (а- элементного состава почв; б- гранулометрического состава почв; в – рН водной суспензии; г – значений магнитной восприимчивости) в пределах профилей почв, приуроченных к разным катенарным позициям: 1 – почвы межвороночных пространств; 2- почвы средних частей склонов; 3- почвы нижних частей склонов

Условные обозначения

- | | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|
| □ | - среднее значение коэффициента вариации показателя в пределах профиля | □ | - среднеквадратичная ошибка вычисления среднего значения | ⏏ | минимальные и максимальные значения коэффициента вариации показателя |
|---|--|---|--|---|--|

6.2. Катенарные связи между почвами карстовых воронок

Катенарные связи между почвами карстовых воронок обусловлены латеральными процессами механической миграции вещества и перемещением вещества в растворах. Латеральная механическая миграция вещества обеспечивает сходство по ряду свойств почв карстовых воронок, формирующихся в различных физико-географических условиях. Так, в результате латерального массопереноса в нижних частях склонов и днищах

карстовых воронок, вне зависимости от их размеров, физико-географических условий и особенностей почв межвороночных пространств, формируются стратифицированные почвы и стратоземы. Результаты валового анализа почв свидетельствуют о том, что в процессы латерального переноса твердофазного вещества почв на склонах воронок в широколиственно-лесных, лесостепных и сухостепных ландшафтах вовлечен материал только гумусово-аккумулятивных горизонтов. В северотаежных ландшафтах в процессы массопереноса вовлекается материал нескольких, часто контрастных по свойствам горизонтов почв.

Латеральный перенос вещества в растворах в северотаежных ландшафтах, широколиственно-лесных и лесостепных ландшафтах направлен от почв межвороночных пространств к нижним частям склонов воронок. Проявление этих процессов в почвах катен диагностируется только в изменении химических свойств почв. В северной тайге латеральные процессы перемещения вещества в растворах обуславливают повышенное содержание оксалатно-растворимого железа в почвах подчиненной позиции катен на двучленных моренных отложениях и дерииватах красноцветных пород, увеличение концентрации органического углерода в почвах воронок, облекаемых супесчаными моренными отложениями по направлению к почвам нижних частей склонов. В широколиственных лесах и лесостепи, по направлению к нижним частям склонов карстовых воронок увеличивается фульватность гумуса гумусово-аккумулятивных горизонтов, что вызвано большей подвижностью фульвокислот по сравнению с гуминовыми кислотами.

Особенностью сухостепных ландшафтов является изменение в направленности движения почвенных растворов в пределах катен карстовых воронок, обусловленное сезонным изменением градиента увлажнения в латеральном направлении. Периодичность смены бокового восходящего и нисходящего движения почвенных растворов могут обуславливать максимальные концентрации CaCO_3 в почвах верхних и средних частей

склонов воронок, а так же наибольшее разнообразие форм карбонатных новообразований в почвах этих катенарных позиций. Следовательно, проявление латеральных процессов перемещения вещества в растворах в этих ландшафтах диагностируется как в химических, так и в морфологических свойствах почв катен.

6.3. Гетерогенность состава почвенных катен и факторы, ее обуславливающие

Анализ латеральной дифференциации почвенных катен карстовых воронок показывает, что факторами, обуславливающими ту или иную степень гетерогенности состава почвенных катен, являются неравномерность локального увлажнения и характер почвообразующих пород.

Неравномерность условий увлажнения, наиболее явно наблюдаемая в катенах северотаежных ландшафтов на дериватах красноцветных пород и двучленных моренных отложениях, проявляется в последовательной смене автоморфных почв (без каких-либо морфологически выраженных признаков смены окислительно-восстановительного режима) глееватыми почвами склонов воронок и днищ, а также смене окислительного режима на восстановительный глеевый режим. В случае катен карстовых воронок с обводненным днищем на расстояниях менее 15 метров, автоморфные подзолы глинисто-иллювиированные межвороночных пространств сменяются грубогумусовыми глееватыми почвами и глееземами. Индекс Шеннона катен воронок с обводненным днищем может достигать 1,1, в то время как для катен воронок, характеризующихся близкими тополитологическими характеристиками, индекс Шеннона не превышает 0,6.

Почвенные катны, формирующиеся на маломощных, щебенистых почвообразующих породах — элювии и элюво-делювии известняков в лесостепных ландшафтах и карбонатных конгломератов в сухостепных ландшафтах, отличаются слабой выраженностью гетерогенности состава почвенных катен. Почвенные катены образуют маломощные щебнистые почвы. Смена почв в этих катенах происходит только в пределах нижних

частей склонов воронок, где карболитоземы (в лесостепных ландшафтах) и светлогумусовые почвы (в сухостепных ландшафтах) сменяются стратоземами темногомусовыми.

Почвенные катены, формирующиеся на мощных рыхлых отложениях, могут характеризоваться как слабой, так и сильной выраженностью гетерогенности состава почвенных катен. Наибольшим разнообразием почв, формирующих сопряжения, характеризуются катены на силикатных красноцветных породах – дериватах красноцветных пород в северной тайге и элювии, элюво-делювии красноцветных пород в широколиственно-лесных ландшафтах. На этих породах в северной тайге катены образуют почвы, относящиеся к трем разным типам (индекс Шеннона достигает 1,1), в широколиственных лесах – почвы, относящиеся к четырем разным типам (индекс Шеннона достигает 1,4). Катены, формирующиеся на кислых силикатных породах в сходных биоклиматических условиях характеризуются менее выраженной сменой почв; почвы, образующие катены, относятся к одному или, чаще, двум разным типам (индекс Шеннона не превышает единицы). Выявленная тенденция к усилению латеральной контрастности почвенных катен при переходе от силикатных кислых пород к силикатным красноцветным породам, отражает закон литогенной матричности. Согласно С.В. Горячнину и А.О. Макееву (1991): «Литогенная матричность – это разнообразие почв данных условий потенциала климата и биоты, обусловленное различием субстратов, связанное с заложенной в каждой группе пород лимитированностью тех или иных почвообразующих процессов». Следовательно, чем меньше элементарных почвообразовательных процессов (ЭПП) может реализоваться в материале тех или иных пород, тем менее контрастно будет проходить изменение свойств почв на этих породах при изменении других факторов почвообразования. Согласно существующим представлениям о проявлении ЭПП в почвах на разных породах (Грачева, Таргульян, 1978; Горячкин, Макеев, 1991; В.Д. Тонконогов, 1999, 2010; Горячкин, 2010), количество

ЭПП, реализуемых в почвах на силикатных красноцветных породах выше, чем на кислых силикатных породах. Следовательно, большая контрастность катен на силикатных красноцветных породах, чем на силикатных кислых породах, может быть обусловлена большим количеством ЭПП, реализация которых возможна в почвах на силикатных красноцветных породах, чем на силикатных кислых породах.

Для ряда исследованных катен карстовых воронок характерно колебание уровня залегания карбонатов. Изменение уровня залегания карбонатов может быть вызвано как комплексом эрозионных процессов, перераспределяющих материал верхнего перекрывающего субстрата, так и изначальными особенностями залегания пород. На межвороночных пространствах и в днищах карбонатные породы, как правило, залегают на большей глубине от дневной поверхности, чем на склонах воронок. В результате, в широколиственных лесах на склонах воронок, облекаемых красноцветными породами, при близком залегании к поверхности обломков карбонатных пород (менее 1 м) формируются структурно-метаморфические почвы: серые метаморфические и буроземы, соседствующие с дерново-подзолистыми почвами межвороночных пространств, формирующимися при глубоком залегании карбонатов (более 1, 5 м). В северотаежных ландшафтах подзолистые почвы с вложенным микропрофилем подзола образуют сопряжения с подзолистыми почвами с вложенным микропрофилем подзола остаточно-карбонатными. В лесостепных ландшафтах карболитоземы темногумусовые типичные соседствуют карболитоземами темногумусовыми метаморфизованными. Разный уровень залегания карбонатных пород на склонах воронок в исследованных северотаежных и широколиственно-лесных ландшафтах обуславливает формирование латеральной щелочно-кислотной контрастности, что проявляется в последовательном увеличении, а затем уменьшении значений pH почв в пределах катен.

В условиях одного биоклиматического потенциала может наблюдаться разная степень латеральной геохимической контрастности почв (табл. 6.1.) и разная степень гетерогенности их состава (табл. 6.2).

Таблица 6.1.

Ранжирование почвенных катен карстовых воронок по степени латеральной геохимической контрастности

Степень латеральной геохимической контрастности	Катены*
Слабая (1 балл)	СТ-Su1, СТ-Su2, СТ-Su3, СС-Lu1, СС-Lu2, СС-Lu-3, ЛС-Ku-1, ЛС-Ku-2, ЛС-Ku-3,
Слабая-средняя (1-2 балла)	СТ-Go3, ШЛ-Kp1, ШЛ-Kp2, ШЛ-Kp3
Средняя (2 балла)	СТ-Go1, СТ-Go2, СТ-Fi1, СТ-Fi2, СТ-Fi3, ШЛ-Km1, ШЛ-Km2
Сильная (3 балла)	СТ-Pr1, СТ-Pr2, СТ-Pr3
Очень сильная (4 балла)	-

*В индексах катен русскими буквами указана ландшафтная приуроченность катен: СТ-северная тайга, ШЛ-широколиственные леса, ЛС-лесостепь, СС-сухая степь; латинскими буквами указан ключевой участок- Su- «Супесчаный», Gj - «Голубино», Fi – «Филипповский», Pr- «Придорожный», Kp- «Капова», Km – «Камаи», Ku- «Кунгур», Lu- «Луговской»; цифрами – размер воронки: 1- малая, 2- средняя, 3 – большая

Таблица 6.2.

Ранжирование почвенных катен карстовых воронок по степени гетерогенности их состава

Индекс Шеннона	Катены
<0,3	СТ-Go1, СТ-Go2
0,3-0,6	СТ-Su3, СТ-Go3, ШЛ-Kp3, ЛС-Ku2, ЛС-Ku3, СС-Lu3
0,6-0,9	СТ-Su1, СТ-Su2, СТ-Pr1, ШЛ-Kp1, ШЛ-Kp2, ЛС-Ku1, СС-Lu1, СС-Lu2
0,9-1,2	СТ-Pr2, СТ-Pr3, СТ-Fi1, СТ-Fi2, СТ-Fi3, ШЛ-Km1
>1,2	ШЛ-Km2

Проведенные исследования не позволяют говорить о наличии связи между размерами воронок и особенностями формирования почвенных катен. Средние значения индексов Шеннона катен малых, средних и больших воронок статистически неотличимы и, соответственно, составляют $0,67 \pm 0,121$, $0,75 \pm 0,149$ и $0,74 \pm 0,089$. Вне зависимости от протяженности катен в карстовых воронках в латеральном направлении наблюдается одна и

та же смена почв: в северной тайге подзолы сменяются слабо развитыми почвами – псаммоземами на супесчаных моренных отложениях и орго-аккумулятивными почвами, глееземами, на двучленных моренных отложениях в случае воронок с обводненным днищем. На дериватах красноцветных пород, в зависимости от соотношения материала карсноцветных пород и моренного суглинка, серые почвы межвороночных пространств сменяются буроземами или элювиземами в средних частях склонов и орго-аккумулятивными почвами в нижних частях склонов воронок. На двучленных моренных отложениях, в зависимости от литологической контрастности пород и мощности вышележащего более легкого субстрата, почвенные катены образуют подзолы и дерново-подзолистые почвы (в том числе стратифицированные), подзолистые с вложенным микропрофилем подзола (остаточно карбонатные, глееватые) и подзолистые почвы с вложенным микропрофилем подзола стратифицированные. В широколиственно-лесных ландшафтах, в зависимости от характера почвообразующих пород, происходит смена серых почв стратоземами темногумусовыми, или дерново-подзолистыми почв серыми метаморфическими почвами, буроземами и стратоземами в нижних частях склонов воронок. В лесостепных ландшафтах – карболитоземы сменяются стратоземами. В сухостепных ландшафтах светлогумусовые почвы сменяются стратоземами темногумусовыми.

6.4. Полиэкоморфизм почв в пределах катен

Сопоставление почвенных катен, формирующихся в различных физико-географических условиях, позволяет выявить полиэкоморфизм почв – то есть приуроченность почв одного и того же классификационного положения к различным сочетаниям факторов почвообразования. Так, дерново-подзолистые почвы были описаны в северной тайге на склоне карстовой воронки на двучленных моренных отложениях и в широколиственно-лесных ландшафтах на межвороночных пространствах на красноцветных породах; серые метаморфические почвы – в северной тайге на межвороночных пространствах

на дериватах красноцветных пород и в широколиственно-лесных ландшафтах в средних частях склонов воронок на красноцветных породах; буроземы в верхних и средних частях склонов воронок в северной тайге на дериватах красноцветных пород и в широколиственно-лесных ландшафтах на красноцветных породах; стратоземы темногумусовые в нижних частях склонов воронок широколиственно-лесных, лесостепных и сухостепных ландшафтов.

Вместе с тем, несмотря на общность строения профилей почв, относящихся к одному классификационному выделу и формирующихся в различных биоклиматических и топо-литологических условиях, можно отметить, что в их характере прослеживаются некоторые особенности. Это касается в первую очередь, гумусово-аккумулятивных и гумусово-элювиальных горизонтов почв, которые несколько модифицируются в зависимости от биоклиматических условий. В то же время формирование тех или иных элювиальных и срединных горизонтов в почвах одного и того же классификационного положения более зависит от характера почвообразующих пород, а не от особенностей климата и биоты. Гумусово-аккумулятивные горизонты дерново-подзолистых почв, серых метаморфических и буроземов широколиственно-лесных ландшафтов более мощные (в среднем, в два- три раза) и характеризуются большим содержанием органического углерода (приблизительно, в два раза), по сравнению с гумусовыми горизонтами аналогичных почв северной тайги. Гумусово-элювиальные горизонты серых метаморфических почв широколиственных лесов характеризуются большим содержанием органического углерода и более слабым проявлением признаков элювирования (более темными тонами горизонта и меньшей выраженностью горизонтальной делимости материала горизонта), чем гумусово-элювиальные горизонты серых метаморфических почв северной тайги. Данная особенность, по-видимому, обусловлена большей теплообеспеченностью почв ландшафтов широколиственных лесов и

произрастанием травянистых ассоциаций на склонах карстовых воронок этой зоны. Темногумусовые стратифицированные горизонты стратоземов широколиственных лесов характеризуются, в среднем, меньшими запасами гумуса, чем аналогичные горизонты стратоземов лесостепных и сухостепных ландшафтов (сходных между собой по отмеченным характеристикам).

Формирование структурно-метаморфических горизонтов происходит только на породах с высоким содержанием гематита и при близком залегании карбонатных пород; в северной тайге это дериваты красноцветных пород, в широколиственно-лесных ландшафтах – красноцветные породы. В пределах широколиственных лесов на красноцветных породах при глубоком уровне залегания карбонатов (более 1, 5 метра) в почвах формируются элювиальный, субэлювиальный и текстурный горизонт, близкие по своим морфологическим свойствам к аналогичным горизонтам, формирующимся в почвах на двучленных моренных отложениях в северотаежных условиях почвообразования.

Таким образом, зависимость ареалов гумусовых горизонтов от биоклиматических условий, элювиальных и срединных горизонтов от характера почвообразующих пород, проявляется не только для почв, формирующихся в условиях автоморфного почвообразования, что было показано В.Д. Тонконовым (2010) на примере тундровой и таежной зон Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин, но и для почв, приуроченных к крутым склонам карстовых воронок.

Заключение

Настоящее исследование, посвященное изучению почвенных катен карстовых воронок, формирующихся в различных биоклиматических и тополитологических условиях, позволяет сформулировать ряд следующих выводов:

1. Почвенные катены карстовых воронок исследованных северотаежных, широколиственно-лесных, лесостепных и сухостепных ландшафтов отражают закономерности географии почв и являются информативными объектами для выявления факторов, определяющих состав почвенных катен, и изучения катенарных связей между почвами.
2. В состав почвенных катен карстовых воронок исследованных северотаежных ландшафтов в зависимости от почвообразующих пород входят: подзолистые, дерново-подзолистые почвы на двучленных моренных отложениях, подзолы иллювиально-железистые и псаммоземы на супесчаных моренных отложениях, серые метаморфические почвы, буроземы, элювиземы, серогумусовые почвы на дериватах красноцветных пород.
3. Почвенные катены карстовых воронок исследованных широколиственно-лесных ландшафтов на элювии, элюво-делювии глинистых сланцев образуют серые почвы со вторым гумусовым горизонтом и стратоземы темногумусовые; на элювии, элюво-делювии пермских красноцветных пород - дерново-подзолистые, серые метаморфические почвы, буроземы и стратоземы серогумусовые.
4. В состав почвенных катен карстовых воронок исследованных лесостепных и сухостепных ландшафтов на элювии и элюво-делювии карбонатных пород входят маломощные слабо радиально-дифференцированные почвы: карболитоземы темногумусовые и стратоземы темногумусовые в лесостепных ландшафтах и светлогумусовые почвы и стретоземы темногумусовые в сухостепных ландшафтах.

5. На основании изучения почвенных катен карстовых воронок установлено, что латеральная механическая миграция вещества обуславливает гомогенизацию почв в пределах катен по направлению к центру воронок. В результате почвы нижних частей склонов и днищ воронок, формирующиеся в различных биоклиматических и топо-литологических условиях, сходны по морфологическим, химическим, физико-химическим и физическим свойствам.

6. Вне зависимости от биоклиматических условий и топо-литологических характеристик, в почвенных катенах карстовых воронок наблюдается увеличение мощности гумусовых горизонтов почв, улучшение их оструктуренности и, как правило, увеличение в них запасов гумуса, по направлению к центру воронок.

7. В почвенных катенах карстовых воронок исследованных северотехных и широколиственно-лесных ландшафтов наблюдается ослабление выраженности элювиально-иллювиальных процессов по направлению к центру воронок.

8. Анализ локализаций и форм карбонатных новообразований в почвах сухостепных ландшафтов позволяет сделать вывод о более выраженных и разнонаправленных сезонных миграциях почвенных растворов в пределах сухостепных почв в верхних и средних частях склонов карстовых воронок, иссушении сопряженных с ними почв межвороночных пространств и постепенном выщелачивании от карбонатов почв нижних частей склонов.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Почвенные катены карстовых воронок исследованных северотехных, широколиственно-лесных, лесостепных и сухостепных ландшафтов характеризуются выраженной сменой почв на коротких расстояниях. Разнообразие почв в пределах катен обуславливается главным образом особенностями почвообразующих пород, неравномерностью локального увлажнения и не зависит от размеров карстовых воронок. В условиях одного

биоклиматического потенциала может наблюдаться разная степень выраженности гетерогенности состава почвенных катен.

2. Наиболее профильно-дифференцированными почвами в карстовых воронках исследованных северотаежных и широколиственно-лесных ландшафтов являются почвы автономных позиций (подзолистые, подзолы, серые метаморфические, дерново-подзолистые, серые), в лесостепных – автономных и транзитных позиций (карболитоземы темногумусовые метаморфизованные), в сухостепных – почвы транзитных позиций (светлогумусовые миграционно-мицелярные). Наименее профильно-дифференцированными во всех случаях являются почвы подчиненных позиций (стратифицированные подтипы подзолистых почв, дерново-подзолистых почв, грубогумусовые, серогумусовые почвы, псаммоземы, стратоземы).

3. При изучении почв карстовых воронок в различных биоклиматических и топо-литологических условиях выявлен полиэкоморфизм почв – то есть приуроченность почв одного и того же классификационного положения к различным сочетаниям факторов почвообразования.

4. На основе применения метода магнитного трассера установлено, что карстовые воронки являются преимущественно денудационными системами, аккумуляция твердофазного вещества почв происходит только в нижних частях склонов карстовых воронок, в их днищах и подземных полостях. Средние скорости механической миграции вещества составляют около 11 т/га в год на склонах крутизной порядка 25° и 15 т/га в год на склонах крутизной около 30° .

Список литературы

1. Алексеева С.А. Химико-минералогическая характеристика подзолистых и болотно-подзолистых почв, развитых на двучленных отложениях (на примере почв ЦЛГПБЗ)/ С.А Алексеева, Т.Я. Дронова, Т.А. Соколова // Вестник Моск. ун-та, серия 17 почвоведение .-2007.-№3.-С.31-37.
2. Андрейчук В. Карст как геоэкологический фактор/В. Андрейчук - Симферополь- Сосновец : Высш. школа Экологии в Сосновце. – 2007. - 137 с.
3. Апарин Б.Ф. Гидрологический режим подзолистых почв на двучленных породах/Б.Ф. Апарин // Актуальные вопросы изучения почв и почвенного покрова Нечерноземной зоны. – М.: ВАСХНИЛ.- 1984.- С.3-13.
4. Апарин Б.Ф., Рубилин Е.В. Особенности почвообразования на двучленных породах северо-запада Русской равнины/ Б.Ф. Апарин, Е.В. Рубилин – Л.: Наука. - 1975. – 196 с.
5. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв/ Е.В. Аринушкина - М.: Изд-во Моск. ун-та.- 1970. - 490 с.
6. Бабанин В.Ф.Магнетизм почв/ В.Ф. Бабанин, В.И. Трухин, Л.О. Карапчевский, А.В. Иванов, В.В.Морозов - Ярославль: ЯГТУ.- 1995.-233с.
7. Беркгаут В.В., Белоусова Н.И. Движение масс по склонам и почвы/ В.В. Беркгаут, Н.И. Белоусова // Геоморфология. - 1985.- №1.- С. 57-65.
8. Блохин Е.В. Экология почв Оренбургской области: почвенные ресурсы, мониторинг, агроэкологическое районирование/ Е.В. Блохин - Екатеринбург: УрО РАН.- 1997. - 228 с.
9. Богомолов Д.В. Почвы Башкирской АССР/ Д.В. Богомолов-М.: Изд-во АН СССР.- 1954.-295 с.
10. Большаков А.Ф., Боровский В.М. Почвы и микрорельеф Прикаспийской низменности// А.Ф. Большаков, В.М. Боровский//Солонцы Заволжья. – М.-Л.: ВАСХНИЛ. -1937.– С. 134-149.
11. Вадюнина А.Ф., Смирнов Ю.А. Естественная остаточная намагниченность некоторых почв/ А.Ф. Вадюнина, Ю.А. Смирнов // Почвоведение. – 1976.- №7. – С. 120-127.

12. Вахрушев Г.В. Ледяные пещеры в карбонатных породах Башкирии/ Г.В. Вахрушев // Пещеры. – Пермь. - 1972. Вып. 12—13.- С. 24-36.
13. Вахрушев Г.В. Опыт геохимического районирования почвообразующих пород западной Башкирии/ Г.В. Вахрушев// Материалы по изучению почв Урала и Поволжья (сборник докладов межобластного совещания почвоведов в г.Уфе 6-9 апреля 1959 г.). –Уфа.- 1960. - С. 53-59.
14. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А. Влияние поверхностного оглеения на соединения железа в дерново-подзолистых почвах на пермских отложениях/ Ю.Н. Водяницкий, А.А. Васильев// Почвоведение. – 1994. -№7. - С. 62-71.
15. Водяницкий Ю.Н. Оксиды железа в буроземах на красноцветных отложениях Европейской России и цветовая дифференциация почв/ Ю.Н. Водяницкий, С.В. Горячкин, С.Н. Лесовая //Почвоведение . – 2003.- №11.- С. 1285-1299.
16. Водяницкий Ю.Н. Растворимость оксидов железа почв лесной зоны в реактиве Тамма/ Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. - 1998. - №10. - С. 1199-1208.
17. Водяницкий Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа/ Ю.Н. Водяницкий – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН.- 2003.- 236 с.
18. Вологжанина А.В. Процесс почвообразования и карст в Кунгурской лесостепи/ А.В. Вологжанина// Вопросы агрохимии и почвоведения. – Пермь: Перм. с-х ин-тут. - 1980. - С. 3-8.
19. Воронин А.Д. Основы физики почв/ А.Д. Воронин – М.: изд-во Моск. ун-та. – 1986. -244 с.
20. Гаврилова И.П., Горбунова И.А. Особенности текстурно-подзолистых иллювиально-железистых почв Архангельской учебно-научной станции МГУ/ И.П. Гаврилова, И.А. Горбунова // Геохимия ландшафтов и география почв.- Смоленск: Ойкумена. - 2002.- С. 242-268.
21. Гаврилова И.П., Касимов Н.С. Практикум по геохимии ландшафтов/ И.П. Гаврилова, Н.С. Касимов - М.: Изд-во МГУ. - 1989. - 72 с.

22. Гагарина Э.И. К характеристике почв в бассейне рек Пинеги и верхнего Кулоя/ Э.И. Гагарина, Л.С. Счастливая, А.А. Хантулев // Агропочвенные и геоботанические исследования Северо-запада СССР - Л.:Изд-во Лен. ун-та. - 1965.- С. 34-53.
23. Гагарина Э.И., Счастливая Л.С., Хантулев А.А. О почвообразовании в северной тайге Архангельской области/ Э.И. Гагарина, Л.С. Счастливая, А.А. Хантулев //Научные доклады высшей школы. Биологические науки.- М.: Изд-во Высшая школа. -1964.- С. 197-201.
24. Гвоздецкий Н.А. Карст/ Н.А. Гвоздецкий – М.: Мысль.- 1981. – 214 с.
25. Геннадиев А.Н. Анализ сопряженного использования радиоактивного и магнитного трассеров для количественной оценки эрозии почв/ А.Н. Геннадиев, В.Н. Голосов, С.С. Чернянский, М.В. Маркелов, К.Р. Олсон, Р.Г. Ковач, В.Р. Беляев //Почвоведение. - 2005. - №9. - С. 1080-1093.
26. Геннадиев А.Н. Почвы и время: модели развития/ А.Н. Геннадиев – М.: Изд-во МГУ.- 1990. - 232 с.
27. Геннадиев А.Н. Сферические магнитные частицы как микрокомпоненты почв и трассеры массопереноса/ А.Н. Геннадиев, С.С. Чернянский, Р.Г. Ковач // Почвоведение. – 2004.- №5.- С. 556-580.
28. Геннадиев А.Н. Эрозия почв в различных условиях землепользования: оценка методом магнитного трассера/ А.Н. Геннадиев, А.П. Жидкин, К.Р. Олсон, В.Л. Качинский //Почвоведение. – 2010.-№9.- С. 1126-1134
29. Геннадиев А.Н., Жидкин А.П. Систематика почвенных катен по проявлениям латеральной механической миграции вещества/ А. Н. Геннадиев, А.П. Жидкин//Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской / под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. – М.: АПР. – 2012. – 600 с.
30. Геннадиев А.Н., Смирнова М.А. Почвенные катены на склонах карстовых воронок/ А.Н. Геннадиев, М.А. Смирнова // Вестник Моск. ун-та, серия 5 география.-2012.- №3.- С. 69-73.

31. Геологический словарь в 2-х томах Т.1 А-М. гл.ред. Парфенгольц А.Н. – 2-е изд. , испр. М.: Недра, 1978.- 486 с.
32. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методологии исследований природных ландшафтов/ М.А. Глазовская - М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1964. - 230 с.
33. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР (учебное пособие)/ М.А. Глазовская - М.: Высшая школа. -1988. - 328 с.
34. Глазовская М.А. Типы почвенно-геохимических сопряжений/ М.А. Глазовская// Вестн. Моск ун-та. Сер. География. - 1969. - №5. - С. 3-12.
35. Голубинский заказник. – Архангельск: Север. - 2003. – 79 с.
36. Горбунова К. А. Карст и пещеры Пермской области/ К. А. Горбунова, В. Н. Андрейчук, В. П. Костарев, Н. Г. Максимович — Пермь: Изд-во Перм. ун-та. - 1992.— 200 с.
37. Горячкин С.В. Генезис и геохимия таежных редколесий гипсово-карстовых ландшафтов Европейской России/С.В. Горячкин, Т.Ю. Туюкина, В.Н. Малков, Е.И. Гуркало, Л.В. Пучнина, А.А. Семиколенных, И.А. Спиридонова, Е. В. Шаврина// Известия РАН, сер. Географическая.-2004.- №2, С. 100-110.
38. Горячкин С.В. Почвенный покров пластово-денудационных равнин севера ЕТС / С.В. Горячкин // Вестник Моск. ун-та, серия 17 почвоведение. – 1987. - №3. – С. 58-61.
39. Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция)/ С.В. Горячкин – М.: ГЕОС. - 2010. - 414 с.
40. Горячкин С.В., Шаврина Е.В. Генезис, эволюция и динамика почвенно-геоморфологических систем карстовых ландшафтов европейского Севера/С.В. Горячкин, Е.В. Шаврина // Почвоведение. – 1997. -№10.- С.1173-1185.
41. Горячкин С.В., Макеев А.О. Направления таежного почвообразования: спектр мезаморфных почв Европейского Севера/ С.В. Горячкин, А.О. Макеев

- // Почвообразование и выветривание в гумидных и семигумидных ландшафтах – М.: Институт географии. - 1991. – С. 8-72.
42. Горячкин С.В. Северотаежные почвы на плотных гипсах: морфология, свойства, генезис/ С.В. Горячкин, И.А. Спиридонова, В.О. Таргульян // Почвоведение. – 2003.-№7.-С. 773-785.
43. Грабовская О.А., Роде А.А. Почвы полосы Валдайских конечных морен/ О.А. Грабовская, А.А. Роде // Тр. Почв Ин-та им. В.В. Докучаева – 1934. - т.Х.- вып.1.- С.31-123.
44. Грачева Р.Г., Таргульян В.О. Макро- и мезоморфологическая диагностика почв и элементарных почвообразовательных процессов в ряду бурозем-подбур/ Р.Г. Грачева, В.О. Таргульян // в кн. Почвообразование и выветривание в гумидных ландшафтах - М.: Наука. – 1978. - С. 103-121.
45. Гребенников А.М., Дмитриев Е.А. Морфологические особенности перехода почв в комплексном почвенном покрове сухой степи/ А.М. Гребенников, Е.А. Дмитриев// Вестн. Моск. ун-та сер. Почвоведение. -1983. - №2. – С. 11-19.
46. Добровольский Г.В. Морфогенетические особенности дерново-подзолистых пестроцветных почв предуралья/ Г.В. Добровольский, Е.И. Светлова, Т.А. Соколова, И.С. Урусевская//Почвоведение. -1992. -№5. – С.15-26.
47. Долгова Л.С. Характеристика дерново-подзолистых почв, сформировавшихся на двучленных наносах/ Л.С. Долгова // Почвоведение. - 1963. - № 5. - С. 53 – 64.
48. Елсаков В.В. Тетерюк Л.В. Роль рельефа в формировании растительности карстовых ландшафтов Европейского северо-востока России// В.В. Елсаков, Л.В. Тетерюк// Исследование Земли из космоса. – 2012.- №3. – С. 78-86.
49. Ерохина А.А. Почвы Оренбургской области/ А.А. Ерохина - М.: Изд-во АН СССР. - 1959. - 164 с.

50. Загурский А.М. Субмикроморфология магнитных частиц почв/ А.М. Загурский, А.В. Иванов, С.А. Шоба// Почвоведение.-2009.- № 9.- С. 1124-1132.
51. Зимовец Б.А. О происхождении, накоплении и перераспределении солей в комплексных почвах Прикаспийской низменности/ Б.А. Зимовец// Почвоведение. -1970. - №5. – С. 12-23.
52. Зайдельман Ф. Р. Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и ее прикладные аспекты/ Ф.Р. Зайдельман - М.: КРАСАНД. - 2010. - С. 248.
53. Иванов А. Л. Закономерности распространения эродированных серых лесных почв и овражной эрозии в угодьях Владимирского Ополья и их рациональное использование/ А. Л. Иванов, М. С. Кузнецов, В. И. Кирюшин, Е. Ф. Зорина, Н. В. Иванова, М. А. Мазиров, А. Д. Флёсс, Е. Н. Есафова, С. Н. Ковалев //Эрозия почв и русловые процессы. – 2004. - Вып. 14. - С. 63-76.
54. Иванов В.Д. Оценка влияния экспозиции склона на сток талых вод и смыв почвы/ В.Д. Иванов//Почвоведение. – 1979. - №10.- С.78-82.
55. Кадетов Н.Г. Биоразнообразие бореальных и гемибореальных лесов заволжья и его картографирование/ Н.Г. Кадетов // Известия Самарского научного центра РАН. - 2012. - Т.14. - №1 (6).- С. 1603-1606.
56. Караваева Н. А. Второй гумусовый горизонт и проблема эволюции позолыстых суглинистых почв Русской равнины/ Н.А. Караваева, А.. Черкинский, С.В. Горячкин // Эволюция и возраст почв СССР.- Пушкино. - 1986. - 120-138 с.
57. Касимов Н.С. Перельман А.И. О геохимии почв/ Н.С. Касимов, А.И. Перельман // Почвоведение. -1992. -№2. – С.9-26.
58. Касимов Н.С. Самонова О.А. Катенарная ландшафтно-геохимическая дифференциация/ Н.С. Касимов, О.А. Самонова // География, общество, окружающая среда - Т.2. М.: Городец. – 2004. - С. 479-489.
59. Касимов Н.С. Фоновая геохимическая дифференциация ландшафтов и мониторинг природной среды/ Н.С. Касимов, А.Н. Геннадиев, М.Ю. Лычагин

- // Мониторинг фонового загрязнения природной среды – Вып. 5. - Л.: Гидрометеиздат - 1989 С. - 162-179.
60. Кашанский А.Д., Бенидовский А.А., Орлова Е.В. Формы железа в двучленном подзолистом профиле/А.Д. Кашанский, А.А. Бенидовский, Е.В. Орлова //Актуальные вопросы агрономического почвоведения. Сборник научных трудов – М.: Изд-во Моск. сель-хоз акад. им. Тимирязева.- 1988.- С.64-72.
61. Кащенко В.С., Яшин И.М. Генетические особенности красноцветных почв северной тайги Архангельской области/ В.С. Кащенко, И.М. Яшин // Известия ТСХА.-1983.-вып. 4.-С.75-82.
62. Классификация и диагностика почв России.- Смоленск: Ойкумена. - 2004.- 342 с.
63. Классификация и диагностика почв СССР. М: Клос. - 1977. – 221 с.
64. Климентьев А.И. Почвы и ландшафты Кызыладырского карстового поля на Южном Урале/ А.И. Климентьев, В.М. Павлейчик, А.А. Чибелев, И.В. Грошев, И.В. Ложкин, Ю.М. Нестеренко// Почвоведение. -2007.-№1.- С. 12-22.
65. Крашенинников И.М. Основные пути развития растительности Южного Урала в связи с палеогеографией Северной Евразии в плейстоцене и голоцене/ И.М. Крашенинников // Географические работы. М.: Географгиз. - 1951. С. 214-262.
66. Кречетов П.П., Дианова Т.М. Химия почв. Аналитические методы исследования: Учебное пособие/ П.П. Кречетов, Т.М. Дианова- М.: Изд-во Геогр. Ф-та МГУ. - 2009. - 146 с.
67. Крылов П.Н. Материалы к флоре Пермской губернии/ П.Н. Крылов// Тр. Общ-ва естествоиспытателей при Имперском Казанском Ун-те. – 1878. – Т.6.-вып.6.-С. 3-110.
68. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / Под ред. В.Н. Дублянского. - Екатеринбург: УрО РАН. - 2005. 246 с.

69. Кучмент Л.С., Гельфан А.Н. Физико-математическая модель формирования снежного покрова и снеготаяния в лесу/ Л.С. Кучмент, А.Н. Гельфан // Метеорология и гидрология. - 2004. - №5. - С. 57-65.
70. Лепехина З.Я. Кунгур православный/ З.Я. Лепехина - Пермь. Изд-во: Литера. – 2007.- 216 с.
71. Лесовая С.Н. Генезис и география почв на красноцветных породах Европейской территории России : Автореф. диссертации на соискание ученой степени д-ра. геогр. наук - СПб. -2006 - 34 с.
72. Лесовая С.Н. Минералогический состав красноцветных отложений и его влияние на почвообразование в северотаежной подзоне Европейской территории России/ С.Н. Лесовая, Э.А. Гойло, Н.П. Чижикова // Почвоведение. – 2005. - №8. – С. 1001-1011.
73. Летопись природы книга 1 (вводная). - с. Иргизлы. - 1986. - 247с.
74. Лидов В.П. Процессы водной эрозии в зоне дерново-подзолистых почв/ В.Д. Лидов - М.: изд-во МГУ. – 1981. - 168 с.
75. Максимович Г.А., Горбунова А.К. Карст Пермской области/ Г.А. Максимович, А.К. Горбунова - Пермь: Изд-во ПГУ. - 1958. – 182 с.
76. Маландин Г.А. Почвенные комплексы и их сельскохозяйственное значение/ Г.А. Маландин – Пермь. – 1934. - 48 с.
77. Малков В.Н. Карст и пещеры Пинежья/ В.Н. Малков, Е.И. Гуркало, Л.Б. Монахова, Е.В. Шаврина и др.- М.: Ассоциация «Экост». - 2001. - 208 с.
78. Мартин В.И. Особенности распространения современного и древнего карста на территории Башкирии и его районирование/ В.И. Мартин, Б.И. Лерман // Карст Южного Урала и Предуралья. – Уфа. - 1978. - С. 59-67.
79. Мартин В.И. Пещеры Башкирии / В.И. Мартин, А.И. Смирнов, Ю.В. Соколов // Пещеры. Итоги исследований. – Пермь. - 1993. - С. 30-59.
80. Маряхина Н.Н.Химико-минералогическая характеристика подзолистых почв Центрального лесного заповедника в местах распространения карстовых образований/ Н.Н. Маряхина, Ю.Г. Максимова, И.И. Толпешта,

Т.А. Соколова // Вестник Моск. ун-та, серия 17 почвоведение. - 2009.- №3.- С.25-31.

81. Мукатанов А.Х. Горно-лесные почвы Башкирской АССР/ А.Х. Мукатанов - М.: Наука. - 1982. – 148 с.

82. Николаев Ю.И. Лабиринтово-решетчатый тип пещер Беломорско-Кулойского плато/ Ю.И Николаев // Проблемы изучения, экологии и охраны пещер. – Киев. - 1987. - С.38

83. Орлова Е.В. Особенности генезиса, состава и свойств подзолистых почв различной степени гидроморфности на двучленных породах европейского Севера (на примере Архангельской области)/ Автореф. диссертации на соискание ученой степени канд. сель-хоз. наук. - М.-1980.- 21с.

84. Павлейчик В.М. Растительность карстовых ландшафтов на примере Кзыладырского карстового поля/ В.М. Павлейчик //Проблемы степного природопользования .- 1996. - С.64-70.

85. Парашевников А.Л. О почвах на элювии красноцветного мергеля/ А.Л. Парашевников // Почвоведение.-1966.-№5.-С.75-82.

86. Перельман А.И. Геохимия ландшафта/ А.И. Перельман - М. : Высшая школа. - 1961. - 496 с.

87. Полевой определитель почв.- М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. – 182 с.

88. Полынов Б.Б. Избранные труды/ Б.Б. Полынов - М.: Изд-во АН СССР. - 1956. - 752 с.

89. Пономарева В.В. Теория подзолообразовательного процесса/ В.В. Пономарева - М. : Наука. - 1964. – 379 с.

90. Почвы Оренбургской области/ Под ред. В.Д. Кучеренко - Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во. - 1972. - 125 с.

91. Пучнина Л.В. Растительность карстовых ландшафтов Пинежского заповедника/ Л.В. пучнина // Заповедное дело. - 2002. - Вып.10. - С.55-65.

92. Пучнина Л.В., Рыков А.М., Рыкова С.Ю. Луга карстовых логов/ Л.В. Пучнина, А.М. Рыков, С.Ю. Рыкова // Ценные природные территории Архангельской области - 2010. - С. 56-59.
93. Розанов Б.Г. О природе контактного осветленного горизонта почв на двучленных породах/ Б.Г. Розанов // Почвоведение.- 1957.-№5.- С.17-24.
94. Рысков Я.Г., Демкин В.А. Развитие почв и природной среды степей Южного Урала в голоцене (опыт реконструкции с использованием методов геохимии стабильных изотопов)/ Я.Г. Рысков, В.А. Демкин. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН.- 1997. - 167 с.
95. Сидорова Е.В. , Василевская В.Д. К природе контактно-элювиального горизонта в подзолистых почвах на двучленных почвообразующих породах/ Е.В. Сидорова, В.Д. Василевская // Вестник моск ун-та, серия 17 почвоведение.-1993.- №3.- С. 3-9.
96. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. Почвы карстовых воронок западного макросклона Южного Урала: свойства, катенарные связи, региональные особенности/ М.А. Смирнова, А.Н. Геннадиев // Почвоведение. -2012. - №6. - С. 619-629.
97. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. Почвы карстовых воронок юго-востока Беломорско-Кулойского плато/ М.А. Смирнова, А.Н. Геннадиев //Почвоведение. -2011. - №2. - С. 131-141.
98. Смирнова М.А., Геннадиев А.Н. Степное почвообразование на склонах карстовых воронок (Южное Приуралье) / М.А. Смирнова, А.Н. Геннадиев // Вестник Моск. ун-та, серия 5 география. -2013. - №3.- С. 80-85.
99. Спиридонова И.А. Почвообразование и выветривание на плотных гипсах в бореальной зоне: пространственно-временные закономерности. Автореф. диссертации на соискание ученой степени канд. геогр. наук/ М. - 2007.- 28с.
100. Строганова М.Н. , Урусевская И.С. О структуре почвенного покрова на моренных отложениях с близким залеганием карбонатных пород/ М.Н. Строганова, И.С. Урусевская // Почвоведение.-1975.-№8.- С.20-31.

101. Структура и динамика природных компонентов Пинежского заповедника (северная тайга ЕТР, Архангельская область). Биоразнообразие и георазнообразие в карстовых областях. – Архангельск: Север. - 2000. – 267 с.
102. Тетерюк Л.В. Роль рельефа в формировании терморегима и биоразнообразия реликтовых экосистем на известняках Европейского северо-востока России/ Л.В. Тетерюк, В.В. Елсаков, Е.М. Лаптева// Экология. -2012. - №6. – С. 410-411.
103. Тетерюк Л.В., Денева С.В. Луговые сообщества и почвы карстовых долин в бассейне реки Белая Кедва / Л.В. Тетерюк, С.В. Денева //Известия Самарского научного центра РАН.- 2011. – Т. 13. - №1-4. - С. 910-914.
104. Тетерюк Л.В., Денева С.В. Особенности почвенного и растительного покрова карстовых долин (Средний Тиман, республика Коми)/ Л.В. Тетерюк, С.В. Денева //Материалы V съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева.- 2008. – С. 254.
105. Титова А.А., Постлитогенные почвы карстовых лугов таежных ландшафтов европейского Севера/ А.А. Титова //Материалы V съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В. Докучаева.- 2008. – С. 254.
106. Тонконогов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин/Тонконогов В.Д. - М: Почвенный ин- т им. В.В. Докучаева - 2010. – 286 с.
107. Тонконогов В.Д. Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России/ В.Д. Тонконогов-М.: Почвенный ин- т им. В.В. Докучаева. - 1999. – 156 с.
108. Урусевская И.С. Почвенные катены Нечерноземной зоны РСФСР/ И.С. Урусевская // Почвоведение.- 1990.- №9.- С. 12-27.
109. Урусевская И.С. Генезис и свойства основных компонентов почвенных сочетаний Ижорской возвышенности/ И.С. Урусевская, В.И.

- Кобзаренко, М.Н. Строганова// Вестн. Моск ун-та сер. биол-почв. – 1975. - №5. – С. 79-89.
110. Фридланд В. М. Почвенные комбинации и их генезис/ В.М. Фридланд - М.: Наука. - 1972. - 212 с.
111. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова мира/ В.М. Фридланд - М.: Мысль. - 1984. - 235 с.
112. Хазиев Ф.Х. Почвы Башкортостана/ Кольцова, И.М. Габбасова, Р.Я. Ромазанов - Уфа: Гилем. -1995-384 с.
113. Хохлова О.С., Хохлов А.С.. Пространственная изменчивость свойств современных и погребенных голоценовых темно-каштановых почв Южного Приуралья/ О.С. Хохлова, А.С. Хохлов // Почвоведение. - 2002.- № 3. - С. 261–272.
114. Целищева Л.К. Почвообразовательные процессы и почвы на двучленных породах европейской территории России/ Л.К. Целищева// Процессы почвообразования и эволюции почв. – М.:Наука. -1985. – С. 55-73.
115. Шаврина Е.В. Карст юго-востока Беломорско-Кулойского плато, его охрана и рациональное использование. Диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-мин. Наук/ Архангельск. - 2002.- 176с.
116. Anchuela O. P. Mapping subsurface karst features with GPR: results and limitations/ O. P. Anchuela, A. M. Casas-Sainz, M. A. Soriano, A. Pocovi-Juan// Environmental Geology.- 2009.- vol. 58.- P. 391–399.
117. Andriani G. F., Walsh N. An example of the effects of anthropogenic changes on natural environment in the Apulian karst (southern Italy) / G. F. Andriani, N. Walsh // Environmental Geology .-2009.- vol. 58.- P.313–325.
118. Applegarth M. T., Dahms E. D., Soil catenas of calcareous tills, Wiskey Basin, Wyoming, USA/ M. T. Applegarth, E. D. Dahms // Catena.- 2001.-vol. 42.- issue 1.- P. 17-38.
119. Bautista P. Distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan, Mexico/ P. Bautista, P. Quintana, J. Zinck // Geomorphology.- 2011. – vol. 135.- P. 308–321.

120. Bautiste F. Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the peninsula of Yucatan, Mexico/ F. Bautiste, G. Palacio-Aponte, P. Quintana, J.A. Zinck// *Geomorphology*.-2011.- vol. 135.- P. 308-321.
121. Beach T. Human and natural impacts on fluvial and karst depressions of the Maya Lowlands/ T. Beach , N. Dunning, S. Luzzadder- Beach, D. Cook// *Geomorphology* .- 2008.- vol. 101.- P. 308-331
122. Beach T. Impacts of the ancient Maya on soils and soil erosion in the central Maya Lowlands/ T. Beach , N. Dunning, S. Luzzadder- Beach, D. Cook, J Lohse// *Catena*.- 2006.- vol. 65.- P. 166-178.
123. Bou Kheir R. Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS/ R. Bou Kheir, C. Abdallah, M. Khawlie// *Engineering Geology*. – 2008.- vol. 99.- P. 239–254.
124. Cuniglio R. . Rock fragments evolution and nutrients release in vineyard soils developed on a thinly layered limestone (Tuscany, Italy)/ R. Cuniglio , G. Corti, A. Agnelli// *Geoderma*.-2009.- Vol. 148. - № 3–4.- P. 375-383.
125. Daessle L. W. Fluoride, nitrate and water hardness in groundwater supplied to the rural communities of Ensenada County, Baja California, Mexico/ L. W. Daessle , L. Ruiz-Montoya , H. J. Tobschall, R. Chandrajith, V. F. Camacho-Ibar , L. G. Mendoza-Espinosa, A. L. Quintanilla-Montoya , K. C. Lugo-Ibarra// *Environmental Geology*.- 2009.- vol. 58.- P. 419–429.
126. Dazzi C., Monteleone S. Anthropogenic processes in the evolution of a soil chronosequence on marly-limestone substrata in an Italian Mediterranean environment/ C. Dazzi, S. Monteleone// *Geoderma*.- 2007.- vol.144.- №3-4.- P. 201-209.
127. Dong J. Runoff and soil erosion from highway construction spoil deposits: A rainfall simulation study/ J. Dong, K. Zhang, Z.Guo// *Transportation Research*.- 2012.- Part D. – vol. 17.- P. 8–14.
128. Drew D. P. Accelerated soil erosion in a karst area: The Burren, western Ireland/D. P. Drew // *Journal of Hydrology*. – 1983.- № 61(1-3). -P.113-124.

129. Ezersky M. Identification of sinkhole development mechanism based on a combined geophysical study in Nahal Hever South area (Dead Sea coast of Israel)/ M. Ezersky, A. Legchenko, C. Camerlynck, A. Al-Zoubi // *Environmental Geology*. -2009.- vol. 58.- P. 1123–1141.
130. Ford D., Williams P. *Karst hydrogeology and geomorphology*. – John Wiley and sons, Ltd. - 2007. -576 p.
131. Gabrovsek F. Development challenges in karst regions: sustainable land use planning in the karst of Slovenia/ F. Gabrovsek , M. Knez, J. Kogovsek, A. Mihevc, J. Mulec, M. Perne, M. Petric, T. Pipan, M. Prelovsek, T. Slabe, S. Sebela, N. Ravbar// *Carbonates and Evaporites*.- 2011.- vol.26- Issue 4.- P. 365-380.
132. Gains I. *Classical Karst. Man's impact in Dinaric Karst, Guidebook*/ I. Gains// *International Geographical Union Study Group on Man's Impact in Karst*. – Lubljana.- 1987 – P. 36
133. Geissen V. Superficial and subterranean soil erosion in Tabasco, tropical Mexico: Development of a decision tree modeling approach/ V. Geissen, C. Kampichler, J.J. Lopez-de Llergo-Juarez, A. Galindo-Acantara// *Geoderma*.- 2007.- vol. 139.- P. 277–287.
134. Gillijns K. In the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe – a case study from central Belgium/ K. Gillijns, J. Poesen, J. Deckers// *Catena*.- 2005. - № 60. - P. 43-58.
135. Guo S. Phosphorus Changes and Sorption Characteristics in a Calcareous Soil Under Long-Term Fertilization / S. Guo, T. Dang, M. Hao// *Pedosphere*. – 2008.- vol.18. - Issue 2. – P. 248–256.
136. Gutierrez F. Identification, prediction, and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas/ F. Gutierrez, A. H. Cooper, K. S. Johnson // *Environmental Geology*. -2008.- vol. 53.- P. 1007–1022
137. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007*. - World Soil Resources Reports. FAO. - Rome.- 103 p.

138. Jones R.L., Olson K.R. Fly ash use as a time marker in sedimentation studies/ R.L. Jones, K.R. Olson // Soil Science of America Journal. -1990. – vol. 54. - P. 1393–1401.
139. Keys to soil taxonomy/ Soil survey staff United States Department of Agriculture natural Resources Conservation. - Service eleventh edition – 2010. – 333p.
140. Kheir B. R. Regional soil erosion risk mapping in Lebanon / B. R. Kheir, O. Cerdan, C. Abdallah// Geomorphology.- 2006.- vol. 82.- P. 347–359.
141. Kufmann C. Soil types and eolian dust in high-mountainous karst of the Northern Calcareous Alps (Zugspitzplatt, Wetterstein Mountains, Germany)/ C. Kufmann// Catena. -2003.- vol. 53.- P. 211 –227
142. Lafforgue G. Graves de Bordeaux. Relations entre l'évolution pedologique et la vocation cultural/ G.Lafforgue, C.E. Riedet, F. Ferriere. - Direction des Services agricoles de la Gironde. – Bordeaux. – 1936. -143 p.
143. Li W. A study of the activity and ecological significance of carbonic anhydrase from soil and its microbes from different karst ecosystems of Southwest China/ W. Li, L. Yu, D. Yuan, Y. Wu, X. Zen // Plant and Soil. -2005.- vol.272. – P. 133–141.
144. Li X. Spatial distribution of rock fragments in dolines: A case study in a semiarid Mediterranean mountain-range (Sierra de Gador, SE Spain)/ X. Li, S. Contreras, A. Sole-Benet// Catena.- 2007.- vol. 70.- P. 366–374.
145. Liszkowski J. The influence of karst on geological environment and urban planning/ J. Liszkowski // Bulletin of the International Association of engineering ecology. – 1975.- №12.- P. 49-57
146. Liu W. Elemental and strontium isotopic geochemistry of the soil profiles developed on limestone and sandstone in karstic terrain on Yunnan-Guizhou Plateau, China: Implications for chemical weathering and parent materials/ W. Liu, C. Liu, Z.Zhao, Z. Xu, C. Liang, L. Li// Journal of Asian Earth Sciences. – 2013.- vol. 67–68.- P. 138–152.

147. Lopez N. Geomorphological, pedological, and hydrological characteristics of karst lakes at Conversano (Apulia, southern Italy) as a basis for environmental protection/ N.Lopez, V. Spizzico, M. Parise// *Environmental Geology*.-2009. – vol. 58. – P. 327–337.
148. Lu S.G. Magnetism investigation of highly magnetic soil developed on calcareous rock in Yun-Gui Plateau, China: Evidence for pedogenic magnetic minerals/ S.G. Lu, D.J. Chen, S. Y. Wang, Y.D. Liu// *Journal of Applied Geophysics*.- 2012.- vol. 77.- P. 39–50.
149. Mancini F. Monitoring ground subsidence induced by salt mining in the city of Tuzla (Bosnia and Herzegovina)/ F. Mancini, F. Stecchi, M. Zanni, G.Gabbianelli // *Environmental Geology*.- 2009. – vol. 58. – P. 381–389.
150. Mendoza-Vega J., Messing I. The influence of land use and fallow period on the properties of two calcareous soils in the humid tropics of southern Mexico/ J. Mendoza-Vega, I. Messing// *Catena*.- 2005.- vol. 60.- Issue 3. – P. 279–292.
151. Milne K. Provisional Soil Map of East Africa (Kenya, Yganda, Tanganyika and Zanzibar) with Explanatory Memoir, Amani Memoir 31/ K. Milne, V.A.Beckley, G. H. Jones, W.S. Martin, G. Griffith// *East African Agricultural Research station, Amani, Tanganyika*. – 1936.
152. Navas A. Assessing soil redistribution in a complex karst catchment using fallout ¹³⁷Cs and GIS/ A. Navas, M. Lopez-Vicente, L. Gaspar, J. Machin// *Geomorphology*.-2013.- vol.196.- P. 231-241.
153. Olson R.L. Fly-ash distribution to assess erosion and deposition in an Illinois// K.R. Olson, R.L. Jones, A.N. Gennadiyev, W.I. Woods, J.M. Lang// *Landscape Soil & Tillage Research*.- 2006.- vol. 89.- P. 155–166.
154. Olson K.R. Erosion Patterns on Cultivated and Reforested Hillslopes in Moscow Region, Russia / K.R. Olson, A.N. Gennadiyev, R.L. Jones, S.S. Chernyanskii // *Soil Science Society of America Journal*. – 2002. – vol. 66. - №1. - P. 193-201.
155. Olson K.R. Use of magnetic tracer and radio-caesium methods to determine past cropland soil erosion amounts and rates/ K.R. Olson, A.N. Gennadiyev, A.P.

- Zhidkin, M.V. Markelov, V.N. Golosov, J.M. Lang// *Catena*. – 2013. – vol. 104. – P. 103–110.
156. Parise M. Current perspectives on the environmental impacts and hazards in karst/ M. Parise, J. Waele, F.Gutierrez// *Environmental Geology*.-2009. – vol. 58. – P. 235–237.
157. Podobnikar T. Spatial analysis of anthropogenic impact on karst geomorphology (Slovenia)/ T. Podobnikar, M. Schoner, J. Jansa , N. Pfeifer// *Environmental Geology*.- 2009.- vol. 58.- P.257–268.
158. Ram L. An appraisal of the potential use of fly ash for reclaiming coal mine spoil/ L.C. Ram, E. Reginald, A. Mastro// *Journal of Environmental Management*. -2010.- vol. 91.- P. 603–617.
159. Roje-Bonacci T. Rock-slides on road cuttings in the Dinaric karst of Croatia: processes and factors/ T. Roje-Bonacci, P. Miscevic , D. Stevanic// *Environmental Geology*. – 2009. – vol.58. – P. 359–369.
160. Rudzianskaite A., Sukys P. Effects of groundwater level fluctuation on its chemical paleokarst exposures in Spain/ A. Rudzianskaite, P.Sukys // *Environmental Geology*. -2008.- vol. 53.- P. 993–1006.
161. Rutherford G.K. The properties, genesis and geomorphological relationships of a sequence of soils on a limestone plain in Southeast Ontario, Canada/ G.K. Rutherford// *Geoderma*. – 1971.- vol. 5. - Issue 3. –P. 179–196.
162. Shannon C. E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication?*/ C. E. Shannon, W. Weaver - Univ. Illinois Press, Urbana. – 1948. - 237 pp.
163. Sidhu P.S. Composition and mineralogy of iron-magnese concretions from some soils of the indo-gangetic plain in northwest India/ P.S. Sidhu, J. L. Sehgal, M.K. Sinha, N.S. Randhawa// *Geoderma*. – 1977.- vol. 18. – P. 241-249.
164. Sommer M., Schlichting E. Archetypes of catenas in respect to matter a concept for structuring and grouping catenas/ M. Sommer , E. Schlichting // *Geoderma*. – 1997. – vol. 76. – P. 1-33

165. Stanislav V. A new approach for the classification of coal fly ashes based on their origin, composition, properties, and behavior/ V. Stanislav, A. Vassilev, G. Christina, A. Vassileva // *Fuel*.- 2007.- vol. 86. P. 1490–1512.
166. Szoor G. Magnetic spherules: Cosmic dust or markers of a meteoritic impact?/ G. Szoor, Z. Elekes, P. Rozsa., I. Uzonyi, J. Simulak, A.Z. Kiss// *Nuclear instruments and physics research*. – 2001. – vol.B 181. – P. 557-562.
167. Tao P., Wang S. Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in southwest China/ P. Tao, S.Wang// *Catena*.- 2012. – vol. 90. P. 53–62.
168. Turnage K. M. Comparison of soil erosion and deposition rates using radiocesium, RUSLE, and buried soils in dolines in East Tennessee/ K. M. Turnage , S. Y. Lee, J. E. Foss, K. H. Kim, I. L. Larsen // *Environmental Geology*.- 1997.- vol. 29. –P. 1-10.
169. Verges V. Solution and associated features of limestone fragments in a calcareous soil (lithic calcixeroll) from Southern France/ V. Verges// *Geoderma*.- 1985.- vol.36.- №2.- P. 109-122.
170. Vrieling A. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review/ A.Vrieling // *Catena*.- 2006.- vol. 65.- P. 2 – 18.
171. Waele J. Recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction/ J.Waele, L. Plan, P. Audra// *Geomorphology*.- 2009.-vol. 106.- Issues 1-2.- P.1-8.
172. Waltham T. Sinkholes and subsidence. Karst and cavernous rocks in engineering and construction/ T. Waltham, F. Bell, M. Culshaw - Praxis Publishing Ltd. - 2005. - 382p.
173. Wen-Feng T. Elemental Composition and Geochemical Characteristics of Iron-Manganese Nodules in Main Soils of China/ T. Wen-Feng , F. Liu, Y. Li, H. Hu, Q. Huang // *Pedosphere*. – 2006.- vol. 16. - №1. - P. 72-81.
174. Zhou P. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed/ P. Zhou, O. Luukkanen, T. Tokola, J. Nieminen// *Catena*. – 2008. –vol. 75.- P. 319–325.

Приложение 1. Морфологические описания почв карстовых воронок

Почвы катены средней карстовой воронки участка «Придорожный»

Разрез П6. Подзол иллювиально-железистый глинисто-иллювиированный		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
O	0-5	рыхлый, буровато-коричневый слой мощностью около 5-7 см, состоящий из слаборазложившихся остатков мхов, листьев, хвои и корней, переход ясный по цвету, граница ровная
E	5-10(21)	светло-серый с белесоватостью горизонт с мощностью около 5 см, плохоструктурный с признаками горизонтальной делимости, супесчаный-легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, встречаются редкие железо-марганцевые конкреции, переход ясный по цвету, граница слабоволнистая или языковатая
BF	10(21)-24(28)	охристый с уменьшением интенсивности окраски с глубиной, бесструктурный со слабыми признаками ореховатости, супесчаный-легкосуглинистый, уплотненный, встречаются марганцево–железистые новообразования в виде конкреций, в горизонте встречается небольшое количество обломков кристаллических пород диаметром до 5мм, встречаются тонкие корни, переход к нижележащему горизонту – постепенный по мере уменьшения интенсивности охристой окраски.
BC	24(28)-47	буровато-серый, бесструктурный со слабыми признаками ореховатости, супесчано-легкосуглинистый, уплотненный, в горизонте встречается небольшое количество обломков кристаллических пород диаметром до 5мм, встречаются тонкие корни, переход ясный по гранулометрическому составу, граница слабоволнистая
Di	47-76	Буровато-серый со слабым красноватым оттенком, ореховато-глыбистый, средне-тяжелосуглинистый, плотный, по граням структурных отдельностей наблюдаются тонкие фрагментарные буровато-палевые, палевые, матовые и глянцевые кутаны, иногда в верхней части встречаются белесые скелетаны, железо- марганцевые примазки. Для горизонта характерны редкие включения кристаллических пород
D	76-170...	Буровато-серый со слабым красноватым оттенком, бесструктурный, средне-тяжелосуглинистый, плотный, Для горизонта характерны редкие включения кристаллических пород, возможны включения обломков карбонатных пород (мелкозем горизонтов не вскипает от 10% HCl)
Разрез П7. Серогумусовая элювиированная глинисто-иллювиированная почва		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
O	0-2	рыхлый, буровато-темно-серый слой мощностью 2 см, состоящий из слаборазложившихся остатков мхов, листьев, хвои и корней, переход ясный по цвету, граница ровная
AУ	2-7	темно-серый, неяснокомковатый, средне-тяжелосуглинистый, плотный, пронизан корнями переход ясный по цвету
BCel	7-25	светлее на тон вышележащего, бесструктурный со слабыми признаками горизонтальной делимости, средне-тяжелосуглинистый, плотный, редкие поры, редкие корни, редкие включения обломков кристаллических пород, переход ясный по цвету, граница слабоволнистая.
Ci	25-43	темно-серый, слабые признаки глыбистой структуры, средне-тяжелосуглинистый, очень плотный, отсутствие пор, по граням педов редкие тонки матовые пленки, переход постепенный
C	43-72	похож на вышележащий, отличается повышенной плотностью и отсутствием признаков педогенной оструктурности.
D	72-170...	рыжевато-красные супесчаные пермские красноцветные отложения, материал горизонта при реакции с 10% HCl вскипает
Разрез П8. Грубогумусовая ожелезненная стратифицированная почва на погребенных подзолах глееватых		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
O	0-4	рыхлый, буровато-темно-серый горизонт, состоящий из слаборазложившихся остатков мхов, листьев, хвои и корней, переход ясный по цвету,

		граница ровная
АО	4-10	темно-бурый, , состоящий из гомогенной механической смеси органического материала с минеральной компонентой, неясно комковатый, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый-уплотненный, минеральные частицы лишены красящих пленок, среднее количество корней, переход ясный по цвету, граница ровная
Ce	10-14	буровато-коричневый с осветленными полосами и линзами, бесструктурный (слабые признаки комковатости), супесчано-легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, в горизонте рассеяны линзы и пятна осветленного, лишенного красящих пленок материала, редкие включения обломков кристаллических пород, переход постепенный
Cf	14-19	буровато-коричневый со слабыми признаками охристости, бесструктурный (прослеживаются слабые признаки ореховатой структуры), супесчано-легкосуглинистый, уплотненный, в горизонте встречаются охристые прослойки и стяжения, свидетельствующие о протекании процессов внутрипочвенного перераспределения железа, пронизан редкими тонкими корнями, редкие включения обломков кристаллических пород, переход постепенный по мере утяжеления гранулометрического состава.
Cr	19-64	буровато-коричневый, бесструктурный, средне-тяжелосуглинистый, плотный, включения обломков кристаллических пород, в левой части стенки почвенного профиля встречаются погребенные почвенные горизонты: горизонты подстилки, подзолистые, иллювиально-железистые горизонты, переход к нижележащему постепенный по мере увеличения включений обломков карбонатных пород
G	64-135..	буровато-коричневый с сизым оттенком, бесструктурный, средне-тяжелосуглинистый, плотный, редкие включения обломков кристаллических пород

Почвы катены средней карстовой воронки участка «Филипповский»

Разрез П12. Серая метаморфическая краснопрофильная остаточно-карбонатная почва		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
O	0-3	рыхлый, буровато-коричневый слой, состоящий из слаборазложившихся остатков мхов, листьев, хвои и корней, переход ясный по цвету, граница ровная
AY	3-10	буровато-серый, мелкокомковатый, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, пронизан корнями, переход постепенный
AEL	10-22	буровато-светло-серый, мелкокомковатый с признаками горизонтальной делимости, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый, в массе горизонта рассеяны минеральные зерна и мелкие агрегаты частично лишенные красящих пленок, редкие включения щебня кристаллических пород, переход ясный по цвету, граница слабоволнистая
BM	22-43	буровато-желтый, мелкоореховато – комковатый, легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, встречаются редкие небольшие охристые пятна, включения щебня и валунов магматических и осадочных (карбонатных) пород, пронизан корнями различного диаметра, переход постепенный
BCm,ro	43-56(63)	похож на вышележащий горизонт, отличается менее бурой окраской, преобладанием красноватых тонов, плохо оструктурен, мелкоореховато – комковатый, легкосуглинистый, уплотненный, обильные включения щебня, валунов магматических и осадочных (карбонатных) пород, переход постепенный
Cro,ca	56(63)-117...	бурый с красноватым оттенком, бесструктурный, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, большое количество включений - обломков различного диаметра магматических и осадочных (карбонатных) пород
Разрез П13. Бурозем элювиированный краснопрофильный остаточно-карбонатный		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
O	0-6	рыхлый, буровато-коричневый слой, состоящий из слаборазложившихся остатков мхов, листьев, хвои и корней, переход ясный по цвету, граница ровная
AY	6-18	буровато-серый, мелкокомковатый, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, пронизан корнями, переход постепенный

AYel	18-26(30)	Буроватый со светло-серым оттенком, встречаются осветленные пятна, мелкокомковатый, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый, в массе горизонта встречаются минеральные зерна лишенные красящих пленок, редкие включения щебня кристаллических пород, переход ясный по цвету, граница слабоволнистая
BM	26(30)-45	буровато-желтый, ореховатый, легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, встречаются редкие небольшие охристые пятна, включения щебня и валунов магматических и осадочных (карбонатных) пород, пронизан корнями различного диаметра, переход постепенный
BCm,ro	45-70	Бурый с красновато-желтым оттенком, плохо оструктурен, мелкоореховато – комковатый, легкосуглинистый, уплотненный, обильные включения щебня, валунов магматических и осадочных (карбонатных) пород, переход постепенный
Cro,ca	70-132...	бурый с красноватым оттенком, бесструктурный, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, большое количество включений - обломков различного диаметра магматических и осадочных (карбонатных) пород
Разрез П14. Серогумусовая метаморфизованная краснопрофильная стратифицированная глееватая		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AY	0-3	буровато-серый, мелкокомковатый, легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, пронизан корнями, переход ясный по цвету
BC r,m	3-17	Буровато-красный с желтым оттенком, встречаются полосы гумусированного материала (предположительно, материал погребенного горизонта), плохо оструктурен, мелкокомковатый, легкосуглинистый, уплотненный, включения щебня, валунов магматических пород, переход постепенный
BCm,ro	17-80	Буровато-серый, мелкокомковатый, супесчано-легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, включения щебня, переход ясный по цвету
Cg	80-117...	Буровато-красный с сизоватым оттенком, бесструктурный, супесчано-легкосуглинистый, уплотненный, большое количество включений - обломков различного диаметра магматических пород
Разрез П15. Серогумусовая метаморфизованная краснопрофильная стратифицированная глееватая		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AYr	0-17(20)	буровато-серый, встречаются линзы бурого материала, мелкокомковатый, легкосуглинистый, рыхлый – уплотненный, пронизан корнями, переход ясный по цвету
BCm	17(20)-29	Бурый с красновато-желтым оттенком, плохо оструктурен, мелкоореховато – комковатый, легкосуглинистый, уплотненный, обильные включения щебня, валунов магматических и осадочных (карбонатных) пород, переход постепенный
Cro	29-70	бурый с красноватым оттенком, бесструктурный, супесчано-легкосуглинистый, уплотненный, большое количество включений - обломков различного диаметра магматических и осадочных (карбонатных) пород
Cg	70-120...	Бурый с сизым оттенком, бесструктурный, супесчано-легкосуглинистый, плотный, включения кристаллических пород

Почвы катены средней карстовой воронки участка «Камай»

Разрез K1. Дерново-подзолистая краснопрофильная почва		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AY1	0-24	Бурый с темно-серым оттенком, ореховато-комковатый, среднесуглинистый, уплотненный, встречаются слаборазложившиеся остатки растений, пронизан корнями, переход постепенный
AY2	24-44	Бурый с серым оттенком, ореховатый, среднесуглинистый, уплотненный, редкие корни, переход ясный по цвету, граница ровная
EL	44-48	Светло-серый, плитчатый, среднеуглинистый, уплотненный, переход постепенный
BEL	48-58	Неоднородный по цвету: чередование светлых засыпок вышележащего горизонта и буро-красноватых фрагментов нижележащего горизонта,

		среднесуглинистый, уплотненный, переход постепенный
BTro	58-98	Бурый с красноватым оттенком, ореховато-призматический, тяжелосуглинистый, плотный, на гранях педов глинистые пленки, переход ясный по цвету, граница ровная
Cro	98-154...	Бурый с красноватым оттенком, глыбистый, среднесуглинистый, плотный элювий красноцветных пород
Разрез К2. Серая метаморфическая глинисто-иллювирированная краснопрофильная остаточно-карбонатная		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AY1	0-12	Бурый с темно-серым оттенком, комковатый, среднесуглинистый, уплотненный, встречаются слаборазложившиеся остатки растений, пронизан корнями, переход постепенный
AY2	12-29	Бурый с серым оттенком, комковатый, хуже оструктурен, чем вышележащий, среднесуглинистый, уплотненный, редкие корни, переход ясный по цвету, граница ровная
AEL	29-42	Серый с белесым оттенком, комковатый с признаками горизонтальной делимости, среднесуглинистый, уплотненный, присутствуют минеральные зерна, лишённые красящих пленок, переход ясный по цвету, граница ровная
BMi	42-85	Буровато-коричневый, ореховатый, тяжелосуглинистый, плотный, наблюдаются тонкие прерывистые светло-бурые глинистые кутаны, переход ясный по цвету, граница ровная
BCm,ro,ca	85-108	Бурый с красноватым оттенком, непрочная ореховатая структура, средне-тяжелосуглинистый, плотный, встречаются обломки карбонатных пород, переход ясный по цвету, граница ровная
Cro,ca	108-146	Бурый с красноватым оттенком, глыбистый, среднесуглинистый, плотный, встречаются обломки карбонатных пород
Разрез К3. Бурозем краснопрофильный остаточно-карбонатный		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AY1	2-10	Бурый с темно-серым оттенком, комковатый, среднесуглинистый, уплотненный, пронизан корнями, переход постепенный
AY2	10-35	Бурый с серым оттенком, комковатый, хуже оструктурен, чем вышележащий, среднесуглинистый, уплотненный, редкие корни, переход постепенный
AYBM	35-56	Буровато-серый с красноватым оттенком, ореховато-комковатый, среднесуглинистый, плотный, переход постепенный
BM	56-98	Бурый с красно-коричневым оттенком, ореховатый, тяжелосуглинистый, плотный, переход ясный по цвету, граница ровная
BCm,ro,ca	98-122	Бурый с красноватым оттенком, ореховатый, оструктурен хуже вышележащего, средне-тяжелосуглинистый, плотный, встречаются обломки карбонатных пород, переход ясный по цвету, граница ровная
Cro,ca	122-139...	Бурый с красноватым оттенком, глыбистый, среднесуглинистый, встречаются обломки карбонатных пород
Разрез К4. Стратозем серогумусовый грубо-гумусированный		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
RYao	0-18	Буровато-темно-серый с коричневым оттенком, комковатый, среднесуглинистый, уплотненный, присутствует большое количество слаборазложившихся остатков растительности, переход постепенный
RY	18-26	Буровато-темно-серый, ореховато-комковатый, среднесуглинистый, уплотненный, переход постепенный
RY	26-37	Бурый с серым оттенком, среднесуглинистый, ореховато-комковатый, оструктурен хуже, чем вышележащий,
D	53-108	Бурый с красноватым оттенком, бесструктурный, среднесуглинистый

Почвы катены средней карстовой воронки участка «Кунгур»

Разрез K13. Карболитозем темногумусовый языковатый метморфизованный остаточно-карбонатный		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AU y	0-10(23)	Темно-серый, комковатый, легкосуглинистый, уплотненный, включения обломков карбонатных пород, слаборазложившихся остатков растений, пронизан корнями, переход ясный, граница языковатая
BCm,ca	10(23)-34	Палево-бурый, ореховато-комковатый, легкосуглинистый, плотный, большое количество включений обломков карбонатных пород, переход ясный, граница ровная
Cca	34-46...	Светло-палевый элювий известняков
Разрез K14. Карболитозем темногумусовый типичный		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AU	0-19	Темно-серый, мелокоореховатый, легкосуглинистый, уплотненный, включения обломков карбонатных пород, пронизан корнями, переход ясный, граница ровная
Cca	19-48	Светло-палевый элювий известняков
Разрез K15. Карболитозем темногумусовый метморфизованный остаточно-карбонатный		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AU	0-12(18)	Темносерый, мелкоореховатый, легкосуглинистый, включения обломков карбонатных пород, пронизан корнями, переход ясный по цвету, граница ровная
BCm,ca	12(18)-14(35)	Палевый, среднеореховатый, легкосуглинистый, большое количество включений обломков карбонатных пород
Разрез K16. Стратозем темногумусовый остаточно-карбонатный		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
RUca	0-30	Темно-серый, мелкоореховатый, супесчаный, уплотненный, включения обломков карбонатных пород, пронизан корнями, переход ясный, граница ровная
RUDca	30-58	Неоднородный по цвету: перемешанный темно-серый гумусированный материал и материал элювия известняков, мелкозем комковатый, легкосуглинистый, переход ясный, граница ровная
Dca	58-73...	Светло-палевый элювий известняков

Почвы катены средней карстовой воронки участка «Луговской»

Разрез O1. Светлогумусовая мицелярно-карбонатная почва		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AJv	0-4(6)	дернина серовато-палевая, рыхлая-уплотненная, слабо вскипает от 10% HCl, пронизана корнями, переход постепенный
AJ	4(6)-32	палево-серый, сухой, мелкокомковатый с признаками угловатости, супесчаный, уплотненный, слабо вскипает от 10% HCl (морфологические признаки вторичных и первичных карбонатов отсутствуют), включения корней, переход по цвету четкий, граница слабоволнистая

BCmc	32-77	неоднородный по цвету, светло-палевый с желтовато-белыми прожилками и палево-серыми засыпками вышележащего горизонта, сухой, слабо оструктурен – ореховато-комковатые агрегаты мелкого и среднего размера, супесчано-легкосуглинистый, очень плотный, горизонт сцементирован диффузными формами карбонатов, в толще горизонта рассеяны желтовато-белые прожилки длиной до 3 см и шириной 1-2 мм, по трещинам – засыпки гумусированного материала вышележащего горизонта, редкие включения корней и обломков карбонатных пород диаметром до 2 мм, горизонт бурно вскипает от 10% HCl, переход по цвету четкий, граница ровная
Cca	77-89	неоднородный по цвету, светло-палевый с желтовато-белыми линзами, бесструктурный, супесчаный, плотный элювий карбонатных конгломератов, возможны редкие включения обломков карбонатных пород диаметром до 3 мм, горизонт бурно вскипает от 10% HCl
Разрез О2. Светлогумусовая миграционно-мицелярная почва		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
AJv	0-9(14)	дернина серовато-палевая, рыхлая-уплотненная, слабо вскипает от 10% HCl, пронизана корнями, переход постепенный
AJ	9(14)-36	Серый с палевым оттенком, сухой, мелкокомковатый с признаками угловатости, супесчаный, уплотненный, слабо вскипает от 10% HCl (морфологические признаки вторичных и первичных карбонатов отсутствуют), включения корней, переход по цвету четкий, граница слабоволнистая
BClc	36-68	неоднородный по цвету, палевый с желтовато-белыми прожилками и палево-серыми засыпками вышележащего горизонта, сухой, слабо оструктурен – ореховато-комковатые агрегаты мелкого и среднего размера, супесчано-легкосуглинистый, очень плотный, на гранях педов присутствуют нитевидные светлые палево-белые налеты, по трещинам – засыпки гумусированного материала вышележащего горизонта, редкие включения корней и обломков карбонатных пород диаметром до 2 мм, горизонт бурно вскипает от 10% HCl, переход постепенный
BCmc	68-96	светло-палевый с желтовато-белыми прожилками, сухой, слабо оструктурен – ореховато-комковатые агрегаты мелкого и среднего размера, супесчано-легкосуглинистый, очень плотный, горизонт сцементирован диффузными формами карбонатов, в толще горизонта рассеяны желтовато-белые прожилки длиной до 3 см и шириной 1-2 мм, по трещинам – засыпки гумусированного материала вышележащего горизонта, редкие включения корней и обломков карбонатных пород диаметром до 2 мм, горизонт бурно вскипает от 10% HCl, переход по цвету четкий, граница ровная
Cca	96-112	неоднородный по цвету, светло-палевый с желтовато-белыми линзами, бесструктурный, супесчаный, плотный элювий карбонатных конгломератов, возможны редкие включения обломков карбонатных пород диаметром до 3 мм, горизонт бурно вскипает от 10% HCl
Разрез О3. Стратозем темногумусовый		
горизонт	Мощность (см)	Морфологические признаки горизонта
RU1	0-29(37)	темно-серый, мелкокомковатый, легкосуглинистый, рыхлый, морфологически выраженных вторичных карбонатов нет, горизонт обильно пронизан корнями травянистых растений, переход постепенный
RUca	29(37)-49(60)	темно-серый с палевым оттенком, среднекомковатый, легкосуглинистый, рыхло-уплотненный, вскипает при реакции с 10% HCl, морфологически выраженных вторичных карбонатов нет, переход постепенный
RUca	49(60)-70	темно-серый с палевым оттенком, окраска слабо дифференцирована по слоям, свежий, мелко- и среднекомковатый, легкосуглинистый, уплотненный, вскипает при реакции с 10% HCl, морфологически выраженных вторичных карбонатов нет, встречаются обломки карбонатных пород диаметром до 2 мм, переход ясный по цвету, граница ровная
Dca	70-110	элювий карбонатных конгломератов.

Приложение 2. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен карстовых воронок

Таблица 1. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен ключевого участка «Супесчаный»

разрез	горизонт	глубина, см	pH водной суспензии	Сорг., %	запасы гумуса в почве, кг/м ²	$\chi \times 10^6$ см ³ /г	Fe ₂ O ₃ (по Тамму), %
ПЗЗ	О	0-11	4,8	-	1,11	-	-
	Е	11-24(32)	4	0,11		0,24	-
	BF1	24(32)-45(53)	4,4	0,16		12,57	-
	BF2	45(53)-68	4,3	0,1		1,37	-
	С	68-94	4,1	-		2,24	-
ПЗ4	О	0-9	3,8	-	2,65	-	-
	Е	9-13(19)	3,8	0,74		1,40	-
	BFC	13(19)-48	3,9	0,41		1,83	-
	С	48-87	4,2	-		1,65	-
ПЗ5	О	0-12	4,3	-	2,8	-	-
	Cr	12-20(22)	5,2	1,20		0,29	-
	[Ce]	20(22)-28(30)	3,9	1,68		0,2	-
	С	28(30)-54	4,3	0,46		0,11	-
ПЗ6	О	0-8	4,1	-	1,2	-	-
	Е	8-20(26)	3,9	0,14		0,26	-
	BF1	20(26)-30(41)	4,1	0,09		1,07	-
	BF2	30(41)-53	4,2	0,06		1,33	-
	С	53-106	4,4	-		1,09	-
ПЗ7	W	0-6	3,9	2,45	1,3	0,6	-
	Ce	6-12(16)	4,2	1,10		0,08	-
	С	12(16)-87	4,3	2,11		-	-
ПЗ8	W	0-5	3,8	1,56	1,4	0,65	-
	Ce	5-12(14)	4	2,80		0,23	-
	С	12(14)-78	4,2	0,86		-	-
ПЗ9	О	0-8(10)	4	-	0,53	-	-
	Е	8(10)-30(46)	3,9	0,12		0,29	-
	BF	30(46)-47	4,2	0,18		1,50	-
	С	47-96	4,2	-		1,25	-
П40	О	0-6(10)	4,1	-	4,35	-	-
	Е	6(10)-12	3,9	0,50		1,51	-
	BF	12-21(24)	4	0,88		17,15	0,15
	С	21(24)-74	4,2	-		1,75	1,33
П41	О	0-10	4,2	-	2,9	-	0,22
	Е	10-12	3,8	1,07		6,20	-
	BF	12-18	4,1	0,73		5,16	-
	BC	18-40	4,4	-		2,16	-
	С	40-125	6,6	-		2,28	-
П42	W	0-4	4,7	1,76	5,32	-	-
	Cr	4-48	4,4	0,97		0,36	-

Таблица 2. Элементный состав почв катен ключевого участка «Супесчаный»

разрез	горизонт	глубина, см	Содержание, %								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅

ПЗЗ	E	11-24(32)	94,95	2,80	0,22	0,11	0,10	0,01	0,12	1,41	0,03
	BF1	24(32)-45(53)	88,38	6,54	0,86	0,15	0,39	0,01	0,19	1,64	0,11
	BF2	45(53)-68	89,25	5,69	0,90	0,15	0,33	0,01	0,17	1,53	0,06
	C	68-94	94,95	2,80	0,22	0,11	0,10	0,01	0,12	1,41	0,03
ПЗ4	E	9-13(19)	96,25	5,46	1,21	0,15	0,12	0,02	0,21	1,30	0,07
	BFC	13(19)-48	85,31	4,09	0,74	0,42	0,22	0,02	0,18	1,47	0,15
	C	48-87	90,40	5,35	0,76	0,16	0,31	0,01	0,15	1,75	0,05
ПЗ5	Cr	12-20(22)	86,71	7,06	1,29	0,21	0,48	0,02	0,32	2,39	0,05
	Cr	20(22)-28(30)	85,63	4,07	0,70	0,34	0,15	0,02	0,22	1,45	0,13
	C	28(30)-54	89,25	5,97	0,99	0,15	0,29	0,01	0,21	1,55	0,10
Коэффициент латеральной дифференциации L											
El/W			0,9	1,5	3,2	3,1	1,5	2,8	1,8	1,0	4,3
C			1,0	1,0	0,9	1,2	1,0	0,7	0,9	1,0	1,2

Таблица 3. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен ключевого участка «Голубино»

разрез	горизонт	глубина, см	pH водной суспензии	Сорг., %	запасы гумуса в почве, кг/м ²	$\chi \times 10^{-6}$ см ³ /г	Fe ₂ O ₃ (по Тамму), %
П23	O	0-4	5	-	3,2	-	-
	El	4-9	3,8	0,94		2,51	0,24
	BF	10-16	4,2	0,65		15,63	1,87
	BEL	16-22	4,7	0,42		18,59	1,55
	BT	25-51	6,1	0,26		17,25	0,69
П24	O	0-3	4,6	-	4,3	-	-
	El	3-9	3,8	0,88		2,32	0,30
	BF	10-19	4,1	0,52		14,04	1,84
	BEL	19-41	4,3	0,48		23,78	1,75
	BT	42-55	4,8	0,23		17,19	1,88
	BTCca	55-80	6,3	-		18,06	1,44
П25	O	0-7	4,6	-	3,7	-	-
	El	7-12	3,9	1,18		2,74	0,35
	BF	12-30	4,3	0,37		13,12	1,28
	BEL	30-43	4,6	0,16		14,97	0,79
	BTCg	45-70	5,1	0,26		15,26	1,35
П26	O	0-4	4,3	2,42	4,8	4,63	-
	El	4-10	3,9	1,71		2,89	-
	BF	10-21	4,2	0,61		10,69	-
	BEL	21-27	4,5	0,18		14,68	-
	BT	30-50	5,1	0,13		13,45	-
	BTCca	50-68	6,5	-		9,26	-
П27	EL	3-9	4,3	0,95	4,4	2,64	0,90
	BF	9-18	4,2	0,39		14,78	2,07
	BEL	18-32	4,8	0,27		13,20	0,85
	BTCg	34-70	6,3	-		24,68	0,88
П28	O	0-8	4,6	-	4,1	-	-
	El	8-10	3,9	1,59		3,92	1,00
	BF	10-20	4,2	0,76		11,21	1,70
	[E]	20-28	4,5	0,14		1,98	0,57
	[Bf]	28-34	4,7	0,17		12,68	1,12
	[BTC]	34-65	5	-		18,27	-
П29	O	0-12	5,3	-	2,3	-	-
	E	12-25	4,1	0,25		1,25	-
	BFH	25-35	4,4	0,54		6,43	-

	BF	35-42	4,4	-		10,63	-
	C	45-70...	4,3	-		1,51	-
П30	O	0-2	4,9	-	2,4	-	-
	AY	2-11	4	1,06		4,16	-
	EL	11-22	4,3	0,11		9,40	-
	BELf	22-31	4,6	0,35		22,53	-
	BT	31-64...	4,8	0,21		19,88	-
	AYr	0-12	4,8	1,17		4,72	-
П31	EL	12-21	4,4	0,46	5,0	13,74	-
	BEL	21-57	4,5	0,23		16,42	-
	BT	57-78..	4,9	-		20,21	-
	AY	0-12	5,8	0,78		5,34	-
П32	EL	12-20	4,3	0,38	4,1	4,32	-
	BEL	20-31	4,5	-		10,68	-
	BT	31-68...	4,5	-		16,11	-

Таблица 4. Элементный состав почв катен ключевого участка «Голубино»

разрез	горизонт	глубина, см	Содержание, %								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅
П26	El	4-10	85,20	8,13	1,57	0,78	0,33	0,03	0,15	1,90	0,15
	Bf	10-21	78,32	11,49	3,16	0,78	0,77	0,05	0,14	2,09	0,14
	BEL	21-27	77,86	11,35	3,52	0,93	0,97	0,07	0,07	2,21	0,07
	BT	30-50	69,96	13,67	5,39	0,87	1,35	0,09	0,10	2,38	0,10
	BTCca	50-68	63,61	10,70	4,03	5,24	3,05	0,08	0,11	2,15	0,11
П27	EL	3-9	87,13	8,39	1,42	0,83	0,42	0,03	0,10	1,93	0,10
	Bf	9-18	76,09	11,74	3,78	0,82	0,92	0,08	0,11	2,08	0,11
	BEL	18-32	72,77	12,80	4,77	0,88	1,22	0,10	0,09	2,43	0,09
	BTCg	34-70	69,23	14,33	6,00	1,46	1,63	0,12	0,13	2,40	0,13
П28	El	8-10	83,48	9,01	1,99	0,78	0,50	0,04	0,12	1,98	0,12
	Bf	10-20	74,32	12,05	4,51	0,80	0,93	0,10	0,16	2,09	0,16
	[E]	20-28	88,98	8,05	1,27	0,72	0,31	0,03	0,07	1,96	0,07
	[Bf]	28-34	75,33	11,94	4,03	0,82	1,01	0,11	0,14	2,29	0,14
	[BTC]	34-65	65,36	10,63	3,90	0,87	2,84	0,07	0,12	2,18	0,12

Таблица 5. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен ключевого участка «Придорожный»

разрез	горизонт	глубина, см	pH водной суспензии	Сорг., %	запасы гумуса в почве, кг/м ²	$\chi \times 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$
П2	O	0-8(10)	-	-	4,7	-
	E	8(10)-12(27)	4,3	0,3		2,46
	BF	12(27)-17(40)	4,8	1,0		10,25
	BC	17(40)-57	5	0,2		16,70
	Di	57-80	5,1	-		16,89
	D	80-100	5,2	-		16,66
	D	100-127...	5,6	-		14,26
П3	O	0-5	-	-	3,4	-
	E	5-9(12)	4,6	0,5		2,34
	BF	9(12)-16(19)	4,7	0,6		3,30
	[BF-BEL]tu	16(19)-38	4,7	0,4		4,93
	[BEL-BCg]tu	38-85	4,8	-		8,60
	G	85-152..	5,1	-		8,45
П4	O	0-4	-	-	6,9	-
	BCef	4-13	4,5	1,3		3,63
	BC	13-28	4,8	0,3		5,16
	[AEL]	28-48	4,9	1,1		3,91

	[AY]	48-68	4,7	0,6		8,99
	[BCG]	68-102...	4,9	-		8,18
П5	O	0-3	4,5	-	2,3	-
	G	3-49..	4,9	0,2		15,77
П6	O	0-5	-	-	4,8	-
	E	5-10(21)	4,7	0,4		1,16
	BF	10(21)-24(28)	5,0	1,0		13,64
	BC	24(28)-47	5,3	0,2		19,28
	Di	47-76	5,2	-		17,14
	D	76-102	5,4	-		19,41
	D	102-170..	5,9	-		18,42
П7	O	0-2	-	-	5,5	-
	AY	2-7	4,3	1,7		14,14
	BCel	7-25	5,9	0,2		15,38
	Ci	25-43	6,3	0,4		17,33
	C	43-72	7,8	-		16,81
	D	72-170...	8,6	-		1,84
П8	O	0-4	-	-	3,3	-
	AO	4-10	5,4	0,7		5,97
	Ce	10-14	5,1	0,7		9,07
	Cf	14-19	5,3	0,2		13,81
	Cr	19-37	5,3	-		16,16
	Cr	37-64	5,7	-		12,55
	G	64-135..	6,7	-		13,56
П9	O	0-5	-	-	1,7	-
	E	5-13(14)	4,2	0,3		2,19
	BF	13(14)-18(20)	4,2	0,5		15,32
	BC	18(20)- 47	5,0	0,3		20,99
	Di	47-79	4,7	-		17,52
	D	79-140	5,6	-		18,18
	D	140-173...	6,7	-		18,62
П10	O	0-3	-	-	4,5	-
	AO	3-9	4,0	0,9		8,64
	Ce	9-12	4,3	0,6		16,15
	Cf	12-21	5,0	0,4		19,00
	C	21-75	6,0	-		23,85
	Cca	75-120...	6,7	-		18,06
П11	O	0-6	-	-	4,7	-
	AO	6-13	5,4	1,3		15,41
	Ce	13-18	6,0	1,1		16,89
	Cg	18-44	5,9	0,4		16,48
	G	44-113...	7,3	-		14,08

Таблица 6. Элементный состав почв катен ключевого участка «Придорожный»

разрез	горизонт	глубина, см	Содержание, %								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅
П6	E	5-10(21)	84,43	8,19	2,93	0,79	0,69	0,27	0,05	1,92	0,08
	BF	10(21)- 24(28)	74,00	12,83	4,49	0,82	0,84	0,72	0,12	1,91	0,23
	BC	24(28)-47	77,05	12,36	3,66	0,76	0,97	1,08	0,08	2,26	0,10
	Di	47-76	75,31	12,72	4,18	0,74	0,99	1,09	0,08	2,26	0,10
	D	76-102	71,38	14,01	5,48	0,84	1,05	1,35	0,10	2,45	0,14
	D	102-170..	70,82	14,28	5,51	0,81	1,13	1,39	0,10	2,55	0,14
П8	AO	4-10	80,96	9,64	2,44	0,75	1,28	0,78	0,04	2,03	0,10
	Ce	10-14	77,51	11,33	3,39	0,80	0,94	0,87	0,05	2,09	0,12
	Cf	14-19	77,57	11,35	3,54	0,75	1,14	1,01	0,08	2,19	0,11
	Cr	19-37	78,24	11,04	3,31	0,76	1,00	0,94	0,07	2,15	0,09
	Cr	37-64	74,27	12,93	4,12	0,78	1,00	1,00	0,05	2,03	0,18
	G	64-100	74,06	12,62	4,45	0,80	1,10	1,14	0,10	2,34	0,12

	G	100-135	73,45	13,07	4,72	0,80	1,14	1,23	0,10	2,40	0,12
--	---	---------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------

Таблица 7. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен ключевого участка «Филипповский»

разрез	горизонт	глубина, см	pH водной суспензии	Сорг., %	запасы гумуса в почве, кг/м ²	Сгк/Сфк	$\chi \times 10^{-6}$ см ³ /г	Fe ₂ O ₃ (по Тамму), %
П12	O	0-3	4,8	-	15,3	-	-	-
	AY	3-10	4,6	3,89		0,2	6,54	0,92
	AEL	10-22	4,8	1,97		0,1	6,61	0,87
	BM	22-43	5,6	0,88		0,1	10,92	0,92
	BCm,ro	43-56(63)	6,9	-		-	12,18	0,77
	Cro,ca	56(63)-117...	8,2	-		-	10,09	-
П13	O	0-6	5,5	-	18,5	-	-	-
	AY	6-18	5,7	4,41		0,3	7,11	0,83
	AYel	18-26(30)	6,0	1,80		0,1	7,02	0,59
	BM	26(30)-45	8,0	1,20		0,1	9,94	0,47
	BCm,ro	45-70	8,2	-		-	10,34	-
	Cro,ca	70-132...	5,7	-		-	7,11	-
П14	AY	0-3	6,5	1,70	12,6	0,1	9,43	0,63
	BC r,m	3-17	6,6	2,57		0,1	17,89	0,72
	BCm,ro	17-50	6,7	-		-	10,28	-
	BCm,ro	50-80	7,4	1,69		-	7,68	0,91
	Cg	80-117...	7,8	-		-	12,21	-
П15	AYr	0-17(20)	5,0	2,19	25,6	0,1	8,01	1,15
	BCm	17(20)-29	5,4	3,01		0,1	7,05	1,23
	Cro	29-70	6,7	1,29		-	5,80	1,15
	Cg	70-120...	8,2	-		-	8,46	-
П16	O	0-3	5,0	-	8,6	-	-	-
	AY	3-8	5,2	2,19		-	7,22	-
	AEL	8-24	5,4	0,92		-	10,64	-
	BM	24-50	6,8	0,52		-	13,40	-
	BCm,ro	50-78	8,1			-	14,87	-
	Cro,ca	78-98...	8,3			-	10,22	-
П17	O	0-1	5,4	-	8,9	-	-	-
	AY	1-3(4)	5,4	2,62		-	6,32	-
	AYel	3(4)-8(10)	5,7	1,01		-	9,93	-
	BM	8(10)-26	5,8	0,55		-	10,61	-
	BCm,ro	26-37(42)	7,4	-		-	12,61	-
	Cro,ca	37(42)-95...	8,4	-		-	7,56	-
П18	O	0-2(3)	4,9	-	7,8	-	6,32	-
	AY	2(3)-17	5,0	2,4		-	9,93	-
	BCm	17- 30	5,2	0,74		-	10,61	-
	Cr,ro	40-82	5,4	0,54		-	12,61	-
	Cg	82-140...	5,5			-	7,56	-
П19	AY	0-12(15)	4,7	1,9	10,8	-	3,96	-
	BCr, m	12(15)-44	4,7	1,00		-	7,15	-
	Cr,ro	44-83	5,3	0,81		-	9,94	-
	Cg	83-107...	6,5	-		-	8,97	-
П20	O	0-8	4,4	-	5,7	-	-	-
	AY	8-12	4,3	1,89		-	4,97	-
	AEL	12-19	4,6	1,11		-	3,20	-
	BM	19-47	5,1	0,27		-	7,50	-
	BCro	47-57	6,0	-		-	12,68	-
	Cro,ca	57-104...	7,8	-		-	10,08	-
П21	Oao	0-6	4,5	-	9,2	-		-

	EL	6-12(19)	4,7	2,2		-	6,31	-
	BCm	12(19)-31(42)	5,1	1		-	10,21	-
	Dro	31(42)-76	5,4	0,5		-	14,05	-
	Dro,ca	76-122...	6,4			-	13,08	-
П22	AO	0-5	4,7	2,01	6,8	-	4,45	-
	BCef	5-14	4,9	0,93		-	2,64	-
	y	5-70	4,3	0,46		-	6,78	-
	C	14-42	5,0	-		-	10,97	-
	Dg	42-127..	5,5			-	7,82	-

Таблица 8. Гранулометрический состав почв катен ключевого участка «Филипповский»

разрез	горизонт	глубина	Содержание фракций, %					
			<0,001 мм	0,001-0,005 мм	0,005-0,01 мм	0,01-0,05 мм	0,05-0,25 мм	0,25- 1мм
П16	AY	3-8	1,82	5,78	2,45	21,51	29,10	38,04
	AEL	8-24	3,50	7,18	2,21	19,96	19,29	45,76
	BM	24-50	3,72	15,92	5,51	24,75	33,75	14,76
	BCm,ro	50-78	3,51	11,79	7,69	25,10	24,45	26,56
П17	AY	0-3(4)	2,47	8,27	4,13	26,52	35,40	22,05
	AYel	3(4)-8(10)	3,23	11,62	4,38	19,02	25,60	33,84
	BM	8(10)-26	4,22	18,26	5,04	21,56	32,63	17,87
	BCm,ro	26-37(42)	8,08	26,89	4,31	19,62	28,61	10,68
П18	AY	2(3)-17	1,68	5,87	3,48	23,91	28,41	35,35
	BCm	17-30	5,26	19,00	3,39	15,80	25,95	29,80
	Cr,ro	40-82	6,45	24,62	3,87	16,43	35,07	10,47
	Cg	82-140...	4,21	17,76	5,13	19,25	24,57	26,47
П19	AY	0-12(15)	2,10	8,78	5,25	23,20	26,00	31,47
	BCr, m	12(15)-44	3,76	15,22	5,16	18,84	24,01	31,90
	Cr,ro	44-83	5,31	20,14	5,57	30,08	31,11	7,79
	Cg	83-107...	3,14	11,50	5,10	30,48	25,16	23,11

Таблица 9. Элементный состав почв катен ключевого участка «Филипповский»

разрез	горизонт	глубина, см	Содержание, %								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅
П16	AY	3-8	78,23	9,34	3,12	0,73	0,52	0,11	0,76	2,43	0,12
	AEL	8-24	79,55	8,54	2,84	0,76	0,58	0,09	0,81	2,23	0,14
	BM	24-50	78,23	11,16	3,78	0,62	0,78	0,09	0,85	2,46	0,10
	BCm,ro	50-78	71,88	13,75	5,21	1,13	1,27	0,10	0,92	2,63	0,10
	Cro,ca	78-98...	64,82	10,20	3,27	12,74	1,02	0,07	0,66	2,30	0,12
П17	AY	0-3(4)	78,32	10,03	4,87	0,89	0,79	0,14	0,78	2,93	0,18
	AYel	3(4)-8(10)	79,31	9,35	3,99	0,70	0,50	0,24	0,83	2,41	0,12
	BM	8(10)-26	75,97	11,74	4,22	0,63	1,70	0,08	0,88	2,46	0,10
	BCm,ro	26-37(42)	71,88	12,65	5,21	1,13	1,27	0,10	0,92	2,63	0,10
	Cro,ca	37(42)-95...	66,40	10,93	3,81	11,12	2,30	0,11	0,63	2,57	0,14
П18	AY	2(3)-17	79,84	8,39	2,86	0,68	0,85	0,18	0,75	2,36	0,16
	BCm	17-30	73,52	12,38	4,63	0,49	0,94	0,06	0,77	2,45	0,11
	Cr,ro	40-82	74,14	13,41	4,76	0,62	1,12	0,09	0,84	2,78	0,12
	Cg	82-140...	80,12	10,13	2,85	0,51	0,62	0,06	0,78	2,49	0,14
П19	AY	0-12(15)	77,80	11,21	4,57	0,53	0,79	0,02	0,80	2,53	0,15
	BCr, m	12(15)-44	74,42	12,30	5,05	0,66	0,98	0,02	0,78	2,65	0,13
	Cr,ro	44-83	75,40	12,69	4,50	0,64	0,97	0,11	0,80	2,78	0,10
	Cg	83-107...	75,28	12,59	6,22	0,73	1,01	0,04	0,86	2,66	0,16
Коэффициент латеральной дифференциации L											
AY			1,0	1,3	1,6	0,7	1,4	0,2	1,0	1,1	1,0
Cro,ca/Cg			1,2	1,2	1,9	0,1	1,0	0,5	1,3	1,2	1,3

Таблица 10. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен ключевого участка «Камаи»

разрез	горизонт	Глубины, см	pH водной суспензии	Сорг., %	запасы гумуса в почве, кг/м ²	$\chi \times 10^{-6}$ см ³ /г
K1	AY1	0-24	5,7	3,9	41,2	15,0
	AY2	24-44	5,3	2,9		20,6
	EL	44-48	5,2	1,4		22,6
	BEL	48-58	5,4	0,7		22,0
	BTro	58-98	5,8	-		24,8
	Cro	98-154...	5,6	-		23,0
K2	AY1	0-12	6,2	6,5	30,3	22,1
	AY2	12-29	6,2	2,1		33,2
	AEL	29-42	6,1	1,1		19,9
	BMi	42-85	6,5	1,1		17,3
	BCm,ro,ca	85-108	6,4	-		15,9
	Cro,ca	108-146	7,0	-		21,3
K3	AY1	2-10	5,6	6,5	44,7	22,2
	AY2	10-35	5,5	2,5		18,7
	AYBM	35-56	5,3	1,1		17,3
	BM	56-98	6,3	-		12,0
	BCm,ro,ca	98-122	6,4	-		14,7
	Cro,ca	122-139...	6,5	-		19,2
K4	RYao	0-18	5,3	4,7	56,6	17,2
	RY	18-26	5,0	2,2		18,7
	RY	26-37	6,8	1,3		22,5
	D	53-108	6,1	3,3		20,7
K5	AY	2-13	5,8	4,3	22,2	14,9
	AYel	13-27	5,2	1,9		12,9
	EL	27-38	5,1	1,0		12,2
	BEL	38-58	5,1	0,7		11,2
	BTro	58-96	6,0	-		17,5
	Cro	96-156...	6,1	-		19,0
K6	AY	1-12	5,0	4,2	28,6	15,6
	AEL	12-24	5,3	2,1		11,9
	BMf	24-38	5,6	2,1		14,0
	BCm,ro	38-92	5,7	1,0		12,6
	Cro,ca	92-121...	6,0	-		16,1
K7	RY1	0-14	5,2	3,7	39,79	18,7
	RY2	14-28	5,2	3,5		14,0
	RYel	28-47	5,0	3,7		14,6
	D	47-108...	5,3	0,8		19,3

Таблица 11. Гранулометрический состав почв катен ключевого участка «Камаи»

разрез	горизонт	глубина	Содержание фракций, %					
			<0,001 мм	0,001-0,005 мм	0,005-0,01 мм	0,01-0,05 мм	0,05-0,25 мм	0,25- 1мм
K5	AY	2-13	4,58	19,65	12,80	19,80	15,87	26,37
	AYel	13-27	4,98	19,98	12,28	20,86	13,19	28,21
	EL	27-38	5,30	23,26	16,12	15,53	11,98	26,65
	BEL	38-58	5,80	20,74	14,96	21,75	14,88	19,69
	BTro	58-96	6,24	20,28	16,36	20,70	14,04	22,09
	Cro	96- 116...	5,02	22,26	17,74	19,43	15,86	19,58
K6	AY	4-12	5,62	18,50	12,92	15,21	16,48	27,95
	AEL	12-24	5,78	15,26	15,90	19,50	15,59	22,36
	BMf	24-38	6,96	14,88	16,12	17,62	14,81	25,87
	BCm,ro	38-92	5,96	16,00	17,14	18,79	14,43	22,70
	Cro,ca	92- 121...	6,32	16,98	14,78	16,75	19,96	24,82

K7	RY1	0-14	4,10	23,06	13,48	19,72	17,34	18,76
	RY2	14-28	5,26	24,10	13,30	21,13	16,26	19,52
	RYel	28-47	5,04	25,64	14,74	19,57	14,44	16,65
	D	47-108...	7,16	17,86	12,82	18,80	15,87	22,37

Таблица 12. Элементный состав почв катен ключевого участка «Камай»

разрез	горизонт	глубина, см	Содержание, %								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅
K1	AY1	0-24	74,32	10,91	5,54	0,91	0,92	0,26	0,96	1,73	0,20
	AY2	24-44	75,30	11,30	5,29	0,83	0,87	0,23	0,98	1,75	0,18
	EL	44-48	76,17	11,02	5,33	0,86	0,89	0,23	1,07	1,80	0,15
	BEL	48-58	73,74	12,26	5,54	0,82	1,01	0,16	1,06	1,88	0,10
	BTro	58-98	67,77	14,73	6,96	0,93	1,30	0,16	0,99	1,77	0,10
	Cro	98-124...	68,38	14,69	6,50	0,96	1,34	0,13	0,98	1,81	0,11
K2	AY1	0-12	71,80	10,27	5,23	1,27	0,98	0,23	0,92	0,19	0,23
	AY2	12-29	75,81	11,50	5,30	0,79	0,91	0,22	1,02	0,13	0,22
	AEL	29-42	72,27	13,09	5,69	0,86	1,13	0,16	0,98	0,10	0,16
	BMi	42-85	72,27	13,09	5,69	0,86	1,13	0,16	0,98	0,10	0,16
	BCm,ro,ca	85-108	68,36	15,75	7,52	1,05	1,45	0,13	0,98	0,09	0,13
K3	AY1	2-10	71,80	10,27	5,23	1,27	0,98	0,23	0,92	0,19	0,23
	AY2	10-35	74,15	10,14	5,04	1,16	0,91	0,23	0,97	1,78	0,18
	AYBM	35-56	74,91	11,24	4,83	0,83	0,89	0,15	0,99	1,68	0,16
	BM	56-98	70,29	13,27	5,90	0,83	1,13	0,14	0,97	1,70	0,13
	BCm,ro,ca	98-122	67,85	14,22	6,60	0,90	1,21	0,13	0,96	1,65	0,10
	Cro,ca	122-139...	62,00	17,93	10,67	0,82	1,42	0,38	0,95	2,04	0,11
K4	RYao	0-18	72,01	10,92	4,86	1,03	0,99	0,14	0,98	1,75	0,20
	RY	18-26	69,53	13,57	6,56	0,83	1,09	0,21	0,98	1,73	0,21
	RY	26-37	69,51	13,83	6,48	0,94	1,19	0,17	1,01	1,83	0,15
	D	53-108	66,38	14,81	6,85	1,05	1,18	0,15	0,97	1,79	0,14
Коэффициент латеральной дифференциации L											
AY/Ry			1,0	1,0	0,9	1,1	1,1	0,5	1,0	1,0	1,0
Cro/D			1,0	1,0	1,1	1,1	0,9	1,2	1,0	1,0	1,3
K5	AY	2-13	72,94	10,70	5,57	0,93	0,93	0,29	0,93	1,64	0,20
	AYel	13-27	75,23	11,42	4,88	0,83	0,95	0,18	0,98	1,73	0,14
	EL	27-38	75,81	11,33	4,92	0,81	0,93	0,18	0,91	1,74	0,10
	BEL	38-58	70,17	13,33	5,78	0,83	1,19	0,12	0,99	1,80	0,08
	BTro	58-96	66,14	15,38	6,79	0,88	1,30	0,12	0,94	1,62	0,10
	Cro	96-116...	66,80	15,11	6,65	0,86	1,21	0,11	0,94	1,65	0,11
K6	AY	4-12	71,23	10,95	4,40	1,11	1,00	0,09	0,90	1,70	0,20
	AEL	12-24	73,21	12,39	4,07	0,81	1,01	0,04	0,99	1,77	0,15
	BMf	24-38	73,28	13,28	3,61	0,85	1,03	0,03	0,99	1,86	0,14
	BCm,ro	38-92	74,67	12,63	3,91	0,77	0,96	0,04	0,96	1,81	0,12
	Cro,ca	92-121...	71,23	14,95	4,40	1,11	1,00	0,09	0,90	1,70	0,20
K7	RY1	0-14	63,19	10,49	4,42	1,74	1,01	0,07	0,70	1,43	0,48
	RY2	14-28	65,71	12,89	5,00	0,85	0,98	0,03	0,83	1,51	0,50
	RYel	28-47	65,70	12,97	4,81	0,67	0,96	0,02	0,85	1,55	0,42
	D	47-108...	67,92	12,54	4,01	0,72	1,03	0,04	1,05	1,79	0,14
Коэффициент латеральной дифференциации L											
AY/Ry			0,9	1,0	0,8	1,9	1,1	0,2	0,8	0,9	2,4
Cro/D			1,0	0,8	0,6	0,8	0,9	0,4	1,1	1,1	1,3

Таблица 13. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен ключевого участка «Капова»

разрез	горизонт	глубина, см	pH водной суспензии	Сорг., %	запасы гумуса, кг/м ²	C _{гк} /C _{фк}	$\chi \times 10^6$ см ³ /г
61	AY	0-7	6,5	8,1	40,2		22,00
	AY	7-21	6,0	5,1		1,8	23,49
	AEL	21-40	5,5	3,5		1,0	22,74
	BELhh	40-65	5,1	0,9		0,2	21,36

	BT	65-80	5,3	0,5		-	20,33
	BTC	80-108...	5,4	0,3		-	17,74
62	AY	0-7(9)	6,4	6,9	21,1	-	18,46
	AY	7(9)-18(20)	6,3	3,1		0,7	19,75
	AEL	18(20)-33	6,1	0,9		0,4	21,53
	BEL	33-50(60)	5,8	1,5		-	20,04
	BELhh	(60)-70	5,7	-		0,3	18,25
	BT	70-95	5,4	0,4		0,1	19,48
	BTC	95-110	5,7	0,5		-	14,94
63	RU	0-10	6,2	4,8	29,7	0,5	17,94
	RU	10-29	6,1	4,2		0,6	18,59
	RU	29-54(56)	5,9	3,0		0,5	18,59
	D	54(56)-100...	5,1	1,6		-	19,07
64	AY	0-5	4,8	3,8	16,4	-	17,21
	AY	5-20	4,9	2,4		-	17,78
	AELhh	20-40	4,9	1,2		-	19,06
	BEL	40-60	5,1	0,7		-	15,57
	BT	60-80	5,3	0,4		-	12,94
	BTC	80-108...	5,4	0,3		-	16,23
65	AY	0-7	5,5	4,9	18,2	-	14,17
	AY	7-20(22)	5,4	2,7		-	12,84
	AEL	20(22)-40	5,4	0,8		-	15,39
	BELhh	40-55	5,2	0,5		-	13,36
	BT	55-70	5,3	0,4		-	11,72
	BTC	70-120...	5,6	0,4		-	12,51
66	AY	1-7(10)	5,5	4,5	17,8	-	15,78
	AY	7(10)-20(25)	5,4	2,8		-	18,89
	AEL	20(25)-43	5,2	0,8		-	17,14
	BELhh	43-70	5,4	0,4		-	13,43
	BTC	70-103...	5,5	0,4		-	15,34
67	O	0-2	5,5	-	23,1	-	-
	RU	2-7	5,2	5,5		-	13,01
	RU	7-20(25)	5,4	4,1		-	12,72
	RU	40-55	5,4	3,7		-	11,11
	D	30(40)-73	5,5	1,1		-	12,25
	D	73-103...	5,2	-		-	8,75
68	AY	2-8(10)	6,1	8,9	28,6	-	18,15
	AEL	8(10)-29(31)	5,5	4,0		-	20,61
	BELhh	29(31)-60	5,5	0,6		-	17,81
	BT	60-100...	5,3	0,7		-	17,42
69	AY	0-5(10)	6,0	8,8	26,5	-	18,89
	AY	5(10)-23(25)	6,4	3,7		-	18,57
	AEL	23(25)-29(36)	6,2	0,9		-	18,76
	BELhh	29(36)-70	6,0	0,4		-	18,30
	BT	70-117...	5,6	4,6		-	14,28
	RU	0-10(12)	6,3	3,8		-	19,44
610	RU	10(12)-30(32)	6,2	0,6	12,4	-	19,07
	RU	30(32)-45	6,2	1,1		-	14,07
	D	45-123...	6,1	0,6		-	16,81
	AY	0-10(12)	5,5	3,5		-	15,61
611	AY	10(12)-26	5,2	4,7	37,9	-	27,82
	AELhh	26-36	5,3	3,7		-	21,20
	BEL	36-56	5,3	3,1		-	17,06
	BT	56-113...	5,7	0,8		-	11,56

612	AY	0-5	6,1	3,4	12,4	-	11,70
	AEL	5-11(16)	5,9	5,6		-	22,34
	BELhh	11(16)-20	5,9	1,5		-	12,28
	BT	20-80...	5,5	0,7		-	14,31
613	AY	0-12	5,9	7,0	23,5	-	13,44
	AEL	12-20	5,8	3,5		-	10,92
	BELhh	20-46	5,7	1,9		-	11,32
	BT	46-101...	6,1	0,8		-	12,35
614	RU	0-20(25)	6,1	4,6	29,2	-	13,46
	RU	20(25)-45	5,9	2,9		-	11,29
	D	45-90	7,3	1,7		-	13,20
	D	90-106...	6,8	0,8		-	11,33

Таблица 14. Гранулометрический состав почв катен ключевого участка «Капова»

разрез	горизонт	глубина	Содержание фракций, %					
			<0,001 мм	0,001-0,005 мм	0,005-0,01 мм	0,01-0,05 мм	0,05-0,25 мм	0,25- 1мм
61	AY	0-7	1,54	6,76	5,01	30,94	17,38	37,37
	AY	7-21	2,80	12,00	8,03	38,57	15,01	21,58
	AEL	21-40	3,2	10	9,1	34,5	23,4	19,4
	BELhh	40-65	5,4	12,3	10,5	29,3	34,1	7,2
	BT	65-80	10,09	22,01	9,58	42,49	14,63	1,03
	BTC	80-108...	6,96	27,33	7,09	43,76	10,27	4,50
62	AY	0-7(9)	1,82	7,75	5,44	30,26	16,64	37,09
	AY	7(9)-18(20)	2,48	9,94	4,69	39,67	12,79	29,42
	AEL	18(20)-33	3,11	12,40	7,90	39,68	13,70	20,42
	BEL	33-50(60)	5,44	22,08	12,23	46,09	11,97	2,19
	BELhh	(60)-70	5,20	21,43	7,14	36,30	15,74	13,57
	BT	70-95	3,81	15,18	6,95	39,00	17,35	17,21
63	RU	0-10	3,45	15,21	9,46	32,94	12,13	19,3
	RU	10-29	3,64	16,32	6,6	36,83	10,95	20,92
	RU	29-54(56)	3,03	11,84	7,39	38,77	11,5	19,57
	D	54(56)- 100...	4,57	17,11	8,89	50,55	13,8	4,82

Таблица 15. Элементный состав почв катен ключевого участка «Капова»

разрез	горизонт	глубина, см	Содержание, %								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅
61	AY	0-7	71,43	10,02	4,84	1,21	0,93	0,18	0,83	1,83	0,21
	AY	7-21	70,06	9,70	4,97	1,58	1,00	0,19	0,90	1,99	0,26
	AEL	21-40	73,11	11,42	5,22	0,98	0,98	0,17	1,07	1,97	0,18
	BELhh	40-65	69,49	13,83	6,34	0,80	1,22	0,13	1,07	1,97	0,11
	BT	65-80	66,61	15,22	6,82	0,86	1,32	0,11	0,99	1,94	0,10
	BTC	80-108...	67,36	15,23	6,81	0,88	1,38	0,11	0,98	1,91	0,10
62	AY	0-7(9)	70,49	10,11	5,32	1,54	0,89	0,19	0,82	1,95	0,21
	AY	7(9)- 18(20)	70,28	10,42	5,13	1,66	1,02	0,18	0,93	2,07	0,24
	AEL	18(20)-33	72,66	10,83	5,25	1,14	0,98	0,19	1,01	1,94	0,22
	BEL	33-50(60)	70,54	13,41	5,91	0,93	1,20	0,13	1,04	2,01	0,11
	BELhh	(60)-70	72,36	12,88	5,66	0,94	1,12	0,15	1,07	2,05	0,13
	BT	70-95	66,83	15,48	6,90	0,87	1,35	0,11	0,96	2,04	0,11
63	RU	0-10	69,93	11,32	5,32	1,40	0,95	0,16	0,95	2,13	0,21
	RU	10-29	70,27	11,47	5,38	1,31	1,12	0,16	0,98	2,11	0,20
	RU	29-54(56)	71,51	12,17	5,46	1,09	1,09	0,15	1,01	2,09	0,18
	D	54(56)- 100...	71,75	12,93	5,69	0,86	1,10	0,14	1,08	2,08	0,14
Коэффициент латеральной дифференциации L											
AU/RU			1,0	1,2	1,1	0,8	1,1	0,8	1,1	1,1	0,8

BTC/D	1,1	0,8	0,8	1,0	0,8	1,3	1,1	1,1	1,2
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица 16. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен ключевого участка «Кунгур»

разрез	горизонт	Глубины, см	pH водной суспензии	$\chi \times 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$	Сорг., %	запасы гумуса в почве, кг/м ²	Сгк/Сфк
K8	AU y	0-12(39)	7,3	16,6	4,9	29,2	-
	BCm,ca	12(39)-24	7,6	11,7	1,7		-
	Cca	24-42	7,7	5,1	-		-
	Rca	42-53	7,8	3,7	-		-
K9	AU	0-9	7,6	14,3	3,4	33,8	-
	BCm,ca	9-23	7,7	9,0	1,2		-
	Cca	23-41	8,0	7,7	-		-
	Rca	41-89	7,4	6,9	-		-
K10	AU	0-12	7,4	24,1	7,0	34,3	-
	BCm,ca	12-39	8,1	13,0	1,9		-
	Cca	39-52	8,1	8,4	1,2		-
	Rca	52-87	7,5	11,4	-		-
K11	AU	0-10(23)	7,3	22,4	6,8	26,5	-
	BCm,ca	10(23)-31	7,1	13,8	0,8		-
	Cca	31-68	7,4	11,3	-		-
	Rca	68-107	7,9	5,6	-		-
K12	RUca	0-41	7,1	18,0	3,8	38,2	-
	RUDca	41-59	7,3	13,9	1,7		-
	Dca	59-102	7,7	14,7	-		-
K13	AU y	0-10(23)	7,2	13,21	3,2	9,9	2,1
	BCm,ca	10(23)-34	7,1	14,11	1,7		1,4
	Cca	34-46...	7,4	12,32	-		-
K14	AU	0-19	7,3	20,1	3,2	20,0	1,6
	Cca	19-48	7,9	8,5	-		-
K15	AU	0-12(18)	7,2	17,7	3,0	13,9	1,3
	BCm,ca	12(18)-14(35)	8,1	11,0	2,0		0,7
K16	RUca	0-30	7,6	14,2	3,8	50,0	1,1
	RUDca	30-58	7,3	17,8	3,9		0,4
	Dca	58-73...	7,5	14,9	-		-
K17	AU	0-11	7,4	9,21	3,6	8,19	-
	Cca	11-29...	7,6	11,45	-		-
K18	AU	0-13	7,4	32,3	4,1	11,13	-
	Cca	13-36	7,6	18,5	-		-
	Dca	36-54	7,7	4,7	-		-
K19	RUca	0-6	7,3	34,7	5,4	25,1	-
	RUDca	6-32	7,6	22,9	3,7		-
	Dca	32-46...	7,6	13,2	-		-

Таблица 17. Гранулометрический состав почв ключевого участка «Кунгур»

разрез	горизонт	глубина	Содержание фракций, %					
			<0,001 мм	0,001-0,005 мм	0,005-0,01 мм	0,01-0,05 мм	0,05-0,25 мм	0,25-1 мм
K8	AU y	0-12(39)	2,53	14,12	7,78	27,53	11,83	34,88
	BCm,ca	12(39)-24	3,82	19,41	9,71	24,48	9,30	30,22
K9	AU	0-9	2,41	11,25	7,74	31,26	13,11	31,99
	BCm,ca	9-23	2,27	8,95	5,76	29,90	15,28	34,73
K10	AU	0-12	2,40	13,55	9,35	32,93	13,80	27,40
	BCm,ca	12-39	2,38	9,86	4,84	32,77	11,67	35,60
	Cca	39-52	2,92	14,78	9,70	31,04	12,88	26,89
	Rca	52-87	1,65	6,24	3,85	34,86	12,97	36,15
K11	AU	0-10(23)	2,59	11,08	6,99	27,47	13,76	36,13
	BCm,ca	10(23)-	1,66	6,26	5,86	31,12	15,63	35,81

		31						
K12	RUca	0-41	2,19	10,39	7,15	27,27	14,30	36,88
	RUDca	41-59	2,70	11,64	7,53	30,59	13,91	31,32
K18	AU	0-13	3,17	14,56	10,24	29,35	10,96	29,71
K19	RUca	0-6	1,74	9,14	7,25	27,20	14,20	38,22
	RUDca	6-32	2,68	12,93	9,08	27,69	11,44	33,15

Таблица 18. Элементный состав почв катен ключевого участка «Кунгур»

разрез	горизонт	глубина, см	Содержание, %								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅
K8	AU y	0-12(39)	50,51	10,42	8,21	19,65	8,03	0,18	0,65	1,80	0,27
	BCm,ca	12(39)-24	39,56	11,31	4,27	27,37	14,12	0,18	0,66	1,47	0,18
	Cca	24-42	42,63	11,14	5,42	20,96	8,93	0,12	0,64	1,72	0,16
K9	AU	0-9	47,07	11,85	3,84	21,98	12,53	0,17	0,69	1,69	0,18
	BCm,ca	9-23	40,85	12,15	4,54	26,32	13,82	0,12	0,67	1,65	0,17
K10	AY	0-12	45,07	11,85	6,67	21,98	10,84	0,17	0,69	1,69	0,18
	BCm,ca	12-39	40,85	12,15	6,08	26,32	11,54	0,13	0,67	1,65	0,17
	Cca	39-52	44,62	9,58	4,82	26,36	9,63	0,09	0,70	1,80	0,17
	Rca	52-87	31,82	7,17	5,84	33,27	13,78	0,12	0,67	1,67	0,17
K11	AY	0-10(23)	54,60	10,18	5,26	15,30	8,88	0,15	0,77	1,98	0,21
	BCm,ca	10(23)-31	53,14	14,94	7,99	14,41	4,87	0,09	0,85	2,36	0,16
	Cca	31-68	41,27	12,83	4,59	23,78	9,23	0,11	0,82	2,28	0,17
	Rca	68-107	42,77	8,82	3,89	27,79	12,03	0,31	0,51	1,04	0,21
K12	RUca	0-41	53,33	13,08	6,49	14,80	8,52	0,20	0,82	2,28	0,21
	RUDca	41-59	53,30	12,22	6,84	15,53	7,86	0,15	0,83	2,39	0,20
	Dca	59-102	53,39	14,03	6,98	16,42	6,99	0,14	0,83	2,42	0,18
Коэффициент латеральной дифференциации L											
AU/RU			1,1	1,3	0,8	0,8	1,1	1,1	1,3	1,3	0,8
Cca/Dca			1,3	1,3	1,3	0,8	0,8	1,2	1,3	1,4	1,1

Таблица 19. Физические, химические и физико-химические свойства почв катен ключевого участка «Луговской»

разрез	горизонт	Глубина, см	C орг., %	Запасы гумуса, кг/м ²	pH водной суспензии	$\chi \times 10^{-6}$ см ³ /г
O1	AJv	0-4(6)	3,45	30,2	7,9	18,9
	AJ	4(6)-32	3,25		8,2	18,3
	BCmc	32-77	1,20		8,5	16,3
	Cca	77-89	-		7,9	8,8
O2	AJv	0-9(14)	3,08	23,6	8,0	17,7
	AJ	9(14)-36	1,80		8,2	24,6
	BClc	36-68	0,98		8,1	13,9
	BCmc	68-96	-		8,2	12,5
	Cca	96-112	-		8,6	10,3
O3	RU1	0-29(37)	5,03	56,5	7,6	21,4
	RU2	29(37)-49(60)	2,73		7,8	15,5
	RU ca	49(60)-70	2,35		8,1	14,1
	Dca	70-110	-		8,4	14,9
O4	AJv	0-21	2,40	16,0	7,8	13,4
	BCh,mc	21-41	1,05		8,0	7,7
	BCmc,ca	41-62	-		7,7	8,0
	Cca	62-74	-		7,8	4,4
O5	AJv	0-10(12)	4,05	21,9	7,9	24,4
	AJ	10(12)-34	2,70		8,0	20,4
	BCmc,ca	34-51	1,20		8,0	12,5
	Cca	51-78	-		7,9	7,0
O6	RU1	0-12	4,73	61,2	7,8	28,5
	RUca1	12-37	4,58		7,5	20,5
	RU2	37-73	3,90		7,2	21,0
	RUca2	73-95	2,40		7,9	21,5
	Dca	95-112	-		7,7	11,7

O7	AJv	0-4	1,88	9,6	7,8	16,8
	AJ	4-13	1,73		7,9	9,8
	BCmc	13-29	1,05		8,5	0,0
	Cca	29-58	-		7,6	3,8
O8	AJv	0-4	1,90	11,6	8,4	9,7
	AJ	4-20	1,80		8,3	6,8
	BClc,mc	20-40	0,68		8,2	5,8
	BCmc	40-61	-		8,0	5,1
	Cca	61-112	-		8,0	4,3
O9	AJv	0-8	2,10	20,1	8,0	10,7
	AJ	8-26	1,90		8,1	7,8
	BCmc	26-42	1,13		8,4	8,7
	BCmc	42-50	0,83		8,2	7,2
	Cca	50-117	-		8,2	6,2
O10	RU1	0-6	3,00	22,2	7,8	24,7
	RU2	6-22	1,80		7,8	13,6
	RU3	22-58	1,96		7,5	9,4
	Dca	58-115	-		8,0	9,0

Таблица 20. Некоторые показатели водной вытяжки и солевого состава почв ключевого участка «Луговской»

пески «Луговские»							
разрез	горизонт	глубина, см	CaCO ₃ , %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Легкорастворимые соли, %
				Ммоль/100г			
O1	AJv	0-4(6)	9,89	0,7	0,1	0,2	0,04
	AJ	4(6)-32	9,61	0,5	0,2	0,1	0,03
	BCmc	32-77	14,47	0,4	0,1	0,1	0,07
	Cca	77-89	10,41	11,8	5,0	1,5	0,85
O2	AJv	0-9(14)	0,12	0,7	0,3	0,2	0,03
	AJ	9(14)-36	4,81	0,4	0,3	0,1	0,03
	BClc	36-68	15,89	0,4	0,1	0,1	0,03
	BCmc	68-96	11,07	0,3	0,3	0,1	0,03
	Cca	96-112	8,77	0,3	0,2	0,1	0,03
O3	RU1	0-29(37)	0,21	0,6	0,2	0,1	0,04
	RU2	29(37)-49(60)	8,32	1,3	0,5	0,1	0,09
	RUca	49(60)-70	13,07	0,7	0,3	0,1	0,05
	Dca	70-110	12,89	0,3	0,3	0,1	0,03
O4	AJv	0-21	13,95	0,7	0,5	0,0	0,05
	BC,mc	21-41	14,95	0,5	0,4	0,0	0,04
	BCmc,ca	41-62	15,79	8,2	0,7	1,3	0,37
	Cca	62-74	25,59	14,5	0,6	2,7	0,55
O5	AJv	0-10(12)	4,31	0,3	0,3	0,1	0,02
	AJlc	10(12)-34	17,80	0,4	0,3	0,1	0,03
	BCmc,ca	34-51	22,99	0,6	0,3	0,2	0,06
	Cca	51-78	19,88	3,9	0,6	0,8	0,19
O6	RU1	0-12	1,74	0,4	0,6	0,2	0,06
	RUca1	12-37	2,30	0,7	0,5	0,1	0,07
	RU2	37-73	0,12	1,3	0,4	0,1	0,11
	RUca2	73-95	2,79	0,3	0,6	0,2	0,07
O7	AJv	0-4	15,01	0,5	0,4	0,2	0,05
	AJ	4-13	28,01	0,3	0,5	0,1	0,04
	BCmc	13-42	17,12	0,6	0,6	0,1	0,06
	Cca	29-58	26,99	12,2	2,2	2,9	0,61
O8	AJv	0-4	5,67	0,5	0,4	0,1	0,07
	AJ	4-20	32,68	0,7	0,1	0,1	0,06
	BClc	20-40	31,99	0,5	0,1	0,1	0,06
	BCmc	40-61	29,47	1,1	0,2	0,2	0,13
	Cca	61-112	30,00	1,5	0,3	0,3	0,19
O9	AJv	0-8	0,13	0,4	0,1	0,0	0,06
	AJ	8-26	14,00	0,4	0,1	0,0	0,04

O10	BClc	26-42	17,89	0,3	0,2	0,0	0,04
	BCmc	42-50	21,16	0,4	0,1	0,0	0,04
	Cca	50-117	27,02	0,2	0,2	0,1	0,04
	RU1	0-6	0,00	0,5	0,1	0,0	0,06
	RU2	6-22	6,63	0,3	0,2	0,0	0,04
	RU3	22-58	9,78	0,3	0,2	0,0	0,04
	Dca	58-115	15,55	0,3	0,2	0,0	0,04

Таблица 21. Гранулометрический состав почв ключевого участка «Луговской»

разрез	горизонт	глубина	Содержание фракций, %					
			<0,001 мм	0,001-0,005 мм	0,005-0,01 мм	0,01-0,05 мм	0,05-0,25 мм	0,25- 1мм
O4	AJv	0-21	3,61	15,56	7,12	23,02	11,61	37,09
	BCh,mc	21-41	4,32	14,42	11,61	19,38	15,00	31,33
	BCmc,ca	41-62	3,63	14,52	8,15	20,39	14,44	33,86
	Cca	62-74	3,32	11,34	8,24	15,97	16,48	41,31
O5	AJv	0-10(12)	3,36	11,98	5,83	15,07	11,53	48,62
	AJ	10(12)-34	4,67	16,26	7,25	25,89	12,78	32,35
	BCmc,ca	34-51	4,36	11,25	8,20	23,49	18,15	34,44
	Cca	51-78	4,11	12,73	8,75	20,45	17,47	31,29
O6	RU1	0-12	3,57	11,21	11,57	20,54	13,64	38,27
	RUca1	12-37	3,59	14,96	10,55	23,73	13,02	33,45
	RU2	37-73	3,30	13,26	7,13	24,93	12,16	36,83
	RUca2	73-95	4,33	16,09	9,25	31,77	14,89	22,15

Таблица 22. Элементный состав почв катен ключевого участка «Луговской»

разрез	горизонт	глубина, см	Содержание, %								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅
O1	AJv	0-4(6)	63,04	13,68	6,76	7,52	2,57	0,12	0,81	2,20	0,23
	AJ	4(6)-32	61,07	13,44	6,62	10,03	2,73	0,11	0,80	1,93	0,21
	BCmc	32-77	59,96	14,05	6,67	10,27	2,94	0,12	0,80	1,93	0,19
	Cca	77-89	53,96	14,48	7,18	15,89	3,16	0,09	0,65	1,38	0,15
O2	AJv	0-9(14)	62,95	13,64	6,91	7,62	2,44	0,12	0,81	2,20	0,24
	AJ	9(14)-36	59,60	14,25	6,82	10,24	2,81	0,11	0,83	2,06	0,20
	BClc	36-68	58,32	14,34	6,38	12,11	2,95	0,10	0,79	1,90	0,17
	BCmc	68-96	59,98	14,50	6,46	12,41	2,87	0,12	0,83	1,86	0,15
	Cca	96-112	60,77	15,30	7,41	7,36	2,42	0,10	0,90	1,92	0,17
O3	RU1	0-29(37)	67,74	13,43	7,61	2,60	1,95	0,17	0,80	2,38	0,25
	RU2	29(37)-49(60)	62,06	14,62	7,19	7,18	2,49	0,12	0,86	2,20	0,23
	RU ca	49(60)-70	59,45	14,70	6,89	9,83	2,77	0,12	0,84	2,13	0,21
	Dca	70-110	59,53	14,09	6,89	10,43	2,71	0,12	0,82	2,12	0,21
Коэффициент латеральной дифференциации L											
AJ/RU			1,1	1,0	1,1	1,0	1,4	1,1	0,3	0,8	1,1
Cca/Dca			0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	1,5	1,2	0,7
O4	AJv	0-21	50,28	14,18	7,04	19,10	3,47	0,14	0,83	2,06	0,21
	BCh,mc	21-41	55,82	13,09	6,71	16,09	3,02	0,20	0,73	1,64	0,16
	BCmc,ca	41-62	58,92	12,65	6,34	14,29	2,75	0,20	0,70	1,56	0,15
	Cca	62-74	79,83	5,99	2,73	7,30	0,72	0,07	0,28	0,83	0,15
O5	AJv	0-10(12)	61,72	13,70	6,75	9,79	2,14	0,12	0,81	2,21	0,22
	AJ	10(12)-34	55,18	14,70	7,89	13,34	2,98	0,17	0,89	2,21	0,22
	BCmc,ca	34-51	75,20	8,32	4,06	6,68	1,40	0,09	0,45	1,55	0,21
	Cca	51-78	76,31	7,34	3,56	7,24	1,37	0,08	0,39	1,43	0,19
O6	RU1	0-12	65,91	14,05	8,39	3,68	2,24	0,17	0,76	2,35	0,22
	RUca1	12-37	65,17	13,97	8,34	4,34	2,21	0,16	0,87	2,44	0,26
	RU2	37-73	66,56	14,33	8,38	2,72	2,06	0,17	0,88	2,48	0,23
	RUca2	73-95	64,31	14,80	8,64	4,00	2,36	0,18	0,90	2,39	0,22
Коэффициент латеральной дифференциации L											
AJ/RU			1,4	1,1	1,3	1,0	1,2	1,1	0,2	0,6	1,2

Cca/Dca			1,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,7	1,8	0,3	0,3
O7	AJv	0-4	49,51	12,25	5,23	21,62	3,87	0,40	0,68	1,66	0,21
	AJ	4-13	48,38	13,28	5,97	23,53	4,27	0,13	0,73	1,75	0,23
	BCmc	13-29	50,67	12,10	5,36	18,22	3,49	1,12	0,64	1,50	0,18
	Cca	29-58	48,77	11,62	4,45	20,79	3,78	0,96	0,57	1,39	0,16
O8	AJv	0-4	59,15	11,64	4,99	13,26	3,03	0,07	0,57	1,67	0,20
	AJ	4-20	55,26	12,09	5,08	16,81	3,33	0,08	0,65	1,59	0,21
	BClc,mc	20-40	54,08	12,06	5,16	16,25	3,15	0,08	0,63	1,62	0,17
	BCmc	40-61	59,79	11,53	4,66	11,87	2,47	0,07	0,59	1,65	0,20
	Cca	61-112	70,87	9,63	3,78	4,91	1,05	0,06	0,49	1,54	0,14
O9	AJv	0-8	49,97	14,83	7,20	14,03	3,20	0,08	0,69	1,92	0,17
	AJ	8-26	49,91	14,81	7,43	13,38	3,19	0,08	0,82	1,90	0,18
	BCmc	26-42	48,10	15,33	7,02	14,58	3,39	0,09	0,84	1,83	0,17
	BCmc	42-50	49,28	14,25	5,93	15,27	3,35	0,10	0,79	1,84	0,16
	Cca	50-117	46,55	13,91	5,71	18,02	3,59	0,09	0,81	1,74	0,18
O10	RU1	0-6	51,24	12,84	6,22	13,72	3,18	0,11	0,74	1,96	0,23
	RU2	6-22	53,82	14,26	6,88	14,16	3,29	0,11	0,83	1,96	0,21
	RU3	22-58	50,38	14,01	6,28	14,57	3,29	0,10	0,80	1,83	0,18
	Dca	58-115	52,54	14,96	6,54	15,70	3,51	0,09	0,84	1,91	0,19
Коэффициент латеральной дифференциации L											
AJ/RU			1,2	1,2	1,4	1,2	0,3	1,2	0,7	0,9	1,4
Cca/Dca			0,9	0,8	0,7	0,7	10,4	0,8	1,3	1,0	0,7

Приложение 3. Характеристика магнитной фракции почв и параметры механической миграции твердофазного вещества почв на склонах воронок

Таблица 1. Химический состав магнитной фракции почв

Показатель			Химический элемент									
			O	Fe	Si	Al	Cr	Mn	K	Mg	Ca	Ti
Количество частиц, содержащих указанный элемент	СМЧ		18	18	18	18	4	3	4	5	6	6
	Несферические компоненты		23	23	23	23	8	10	7	13	6	11
Среднее значение (ат.%)	СМЧ		49.5	35.7	7.0	3.5	8.6	3.1	1.3	1.1	0.8	0.7
	Несферические компоненты		46.9	29.1	5.3	3.0	6.5	1.4	2.1	2.4	1.4	2.8
Минимум (ат.%)	СМЧ		19.5	12.3	0.6	0.9	0.1	0.5	0.3	0.5	0.3	0.2
	Несферические компоненты		11.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1
Максимум (ат.%)	СМЧ		69.2	66.8	33.1	7.8	33.2	8.2	4.0	1.5	1.6	2.4
	Несферические компоненты		74.4	88.7	15.8	9.7	11.1	4.1	6.4	6.6	3.6	15.3
Среднеквадратическое отклонение	СМЧ		20.1	17.9	7.6	2.7	16.4	4.4	1.8	0.5	0.6	0.8
	Несферические компоненты		23.2	26.2	5.1	2.7	4.3	1.1	2.8	2.3	1.5	4.9

*в расчете статистических данных для Cr, Mn, K, Mg, Ca, Ti учитывались только частицы, содержащие указанные элементы.

Таблица 2. Распределение сферических магнитных части в почвах контрольных площадок

Ключевой участок	Точка опробования	глубины опробования									
		0-5		5-10		10-15		15-25		25-35	
		содержание СМЧ*									
		г/м ²	%	г/м ²	%	г/м ²	%	г/м ²	%	г/м ²	%
«Камаи»	Б1	1.63	34.11	2.01	41.97	0.97	20.18	0.16	3.29	0.02	0.44
	Б2	1.40	43.76	1.03	32.21	0.62	19.36	0.10	3.03	0.05	1.64
	Б3	1.49	29.96	1.66	33.38	1.23	24.71	0.49	9.84	0.11	2.12
«Кунгур»	Р1	3.76	34.75	3.15	29.17	3.30	30.51	0.56	5.21	0.04	0.35
	Р2	4.86	36.99	3.36	25.56	2.93	22.30	1.62	12.3	0.38	2.86
	Р3	3.25	34.68	2.73	29.10	2.00	21.30	1.30	13.8	0.10	1.03

*содержание дано в граммах на единицу площади поверхности в указанном слое, а так же приведена доля содержания СМЧ в указанном слое по отношению ко всему исследованному профилю

Таблица 3. Параметры механической миграции вещества почв участков «Камаи» и «Кунгур»

Воронка	Зона	Концентрац ия СМЧ в слое опробовани я (г/м ²)	Плотн ость почв зоны (т/м ³)	Плотность почв контрольн ого участка (т/м ³)	Общее кол-во СМЧ в зоне (г)	Количество СМЧ, поступившее из атмосферы (г)	Разница между количеством СМЧ, поступивших из атмосферы, и СМЧ, содержащимся в почве (г)	Масса переотложе нного почвенного материала (т)	Скорость механической миграции вещества (т/га в год)
Ключевой участок «Камаи»									
ШЛ-КМ1 (малая)	Верхняя часть склона	2	1.34	1.62	70.44	149.66	79.22	-5.09	-14.0
	Нижняя часть склона	6.36	1.10	1.62	64.74	43.26	-21.49	3.36	27.65
	Разница между содержанием СМЧ, поступивших из атмосферы, и количеством СМЧ, содержащимся в почвах воронки (г)						57.73		
	Общее количество переотложенного материала (т)							-1.73	
ШЛ-КМ2 (средняя)	Верхняя часть склона	2.90	1.50	1.62	377.81	553.59	175.78	-12.85	-8.75
	Средняя часть склона	2.92	1.45	1.62	220.90	321.46	100.56	-6.37	-7.46
	Нижняя часть склона	9.53	1.28	1.62	251.78	112.27	-139.52	17.95	60.28
	Разница между содержанием СМЧ, поступивших из атмосферы, и количеством СМЧ, содержащимся в почвах воронки (г)						136.83		
	Общее количество переотложенного материала (т)							-8.44	
Ключевой участок «Кунгур»									
ЛС-Ку1 (малая)	Верхняя часть склона	4.63	1.14	1.38	98.20	234.16	135.96	-2.98	-11.81
	Нижняя часть склона	14.94	1.22	1.38	105.63	78.05	-27.57	1.14	13.6
	Разница между содержанием СМЧ, поступивших из атмосферы, и количеством СМЧ, содержащимся в почвах воронки (г)						108.38		
	Общее количество переотложенного материала (т)							-1.83	
ЛС-Ку2 (средняя)	Верхняя часть склона	4.80	1.3	1.38	295.58	679.84	384.26	-10.78	-14.27
	Средняя часть склона	2.38	1.28	1.38	112.93	523.85	410.92	-11.65	-26.74

[illegible]