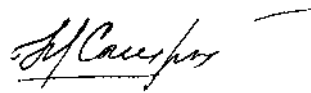


На правах рукописи



СМИРНОВА МАРИЯ АНДРЕЕВНА

ПОЧВЕННЫЕ КАТЕНЫ КАРСТОВЫХ ВОРОНОК

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва-2015

Работа выполнена на кафедре геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор географических наук,
профессор
Геннадиев Александр Николаевич

Официальные оппоненты: **Апарин Борис Федорович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, заведующий кафедрой почвоведения и экологии почв

Конюшков Дмитрий Евгеньевич, кандидат географических наук, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ведущий научный сотрудник отдела генезиса, географии, классификации и цифровой картографии почв

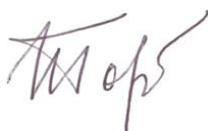
Ведущая организация: Институт географии РАН

Защита состоится «23» апреля 2015 г. в 15 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 501.001.13 на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, 18-й этаж, аудитория 1807.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций Научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова по адресу: Ломоносовский проспект, д.27, А8 и на сайте Интеллектуальной Системы Тематического Исследования Научно-технической информации (ИСТИНА МГУ), <http://istina.msu.ru>, автореферат также размещен на официальном сайте ВАК (<http://www.vak.ed.gov.ru>).

Автореферат разослан « » февраля 2015г.

*Ученый секретарь
диссертационного совета*



*Горбунова
Ирина Алдаровна*

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. 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. Специфичность почвенного покрова карстовых районов изучалась многими исследователями, однако основное внимание при этом уделялось почвам автономных позиций, формирующихся на разных почвообразующих породах, и выявлению значения литологического фактора в развитии почв. Почвы склонов и днищ воронок, несмотря на то, что воронки являются наиболее распространенными поверхностными формами рельефа карстовых областей, остаются практически неизученными. Имеются лишь единичные работы, посвященные изменению почв в пределах катен воронок некоторых северотаежных и сухостепных ландшафтов. Почвы карстовых воронок других ландшафтных областей не исследовались. В формировании почвенных катен карстовых воронок важную роль играют эрозионные процессы, однако количественная оценка темпов механической миграции вещества на склонах не производилась. Между тем данные о строении и характеристиках почвенных катен карстовых воронок представляются важными для развития общей теории почвообразования, ландшафтно-геохимических представлений и крупномасштабных почвенных съемок. Они могут быть востребованы при инженерно-географических изысканиях и разработке прогнозов экологического состояния территории.

Целью настоящей работы 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 в пределах катен 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 степень 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 почвенных катен карстовых воронок (86 почвенных разрезов) на 8 ключевых участках. Объектами исследования служили почвенные катены карстовых воронок северотаежных ландшафтов юго-восточной оконечности Беломорско-Кулойского плато (участки «Придорожный», «Филипповский», «Голубино» и «Супесчаный»), широколиственно-лесных ландшафтов Среднего Приуралья и западного макросклона Южного Урала (участки «Камаи» и «Капова»), лесостепных ландшафтов Среднего Приуралья (участок «Кунгур») и сухостепных ландшафтов Южного Приуралья (ключевой участок «Луговской»). Основными методами исследования являлись сравнительно-географический метод, комплекс химико-аналитических методов и статистический метод. Оценка латеральной механической миграции твердофазного вещества почв проводилась методом магнитного трассера.

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, по гетерогенности их состава и геохимической контрастности. 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.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Почвенные катены карстовых воронок исследованных северотаежных, 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° .

Практическая значимость. Полученные данные о почвах карстовых воронок могут быть использованы при инженерно-географических изысканиях, разработке экологических прогнозов, оценке потенциала самоочищения почв. 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 включены в учебные курсы по географии почв. 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. Материалы исследований изложены в 15 печатных работах, в том числе 4 статьях в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы, состоящего из 174 источников, в том числе 59 на иностранных языках и приложения. Содержательная часть работы изложена на 146 страницах текста, иллюстрирована 20 рисунками, включает 6 таблиц и приложение на 24 страницах.

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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Существующие представления о почвообразовании в карстовых районах

Специфичность формирования почв в районах с широким развитием поверхностного карста рассмотрена в работах (Строганова, Урусевская, 1975; Гвоздецкий, 1981; Горячкин, 1987, 2010; Kufmann, 2003; Bautiste et al., 2011) и

связана со следующими особенностями факторов почвообразования: 1) наличием широкого спектра карстующихся пород и перекрывающих их наносов; 2) преобладанием склоновых поверхностей с большими углами наклона, где возрастает роль латеральной механической миграции вещества и внутрипочвенного стока; 3) наличием экспозиционных различий; 4) повышенным дренажем; 5) разной продолжительностью процессов почвообразования и омоложением субстратов; 6) резкой и зачастую контрастной сменой факторов почвообразования на коротких расстояниях.

Несмотря на высокую степень расчленения рельефа карстовых областей, основное внимание исследователей уделено почвам выровненных пространств, занимающих небольшие площади в карстовых районах (Гагарина и соавт, 1965; Rutherford, 1971; Маряхина и соавт., 2009; Bautiste et al., 2011). Кроме того, подробно исследованы почвы, формирующиеся на дочетвертичных почвообразующих породах (Verges, 1985; Лесовая, 2006; Спиридонова, 2007). Почвам склонов карстовых форм рельефа, в том числе воронок – наиболее распространенных поверхностных карстовых форм рельефа, посвящены единичные исследования. С.В. Горячкиным (2010) раскрыты основные механизмы дифференциации почв катен на склонах воронок северотаежных ландшафтов и приведены данные о морфологических и химико-аналитических свойствах некоторых из этих почв. В сухостепных ландшафтах А. И. Климентьевым с соавт. (2007) исследованы морфологические и химико-аналитические свойства двух типов почв, формирующихся на склонах воронок, и указано на их уникальность. Почвы карстовых воронок других ландшафтов не исследовались. Согласно литературным данным в формировании почв карстовых воронок важную роль играют эрозионные процессы (Kufmann, 2003; Beach et al., 2006; Горячкин, 2010; Bautiste et al., 2011), однако, оценка характера латеральной механической миграции почвенного вещества и ее темпов не производилась. Не выявлены общие и специфические особенности

почвообразования в пределах катен карстовых воронок в условиях различных биоклиматических и литолого-геоморфологических обстановках.

Глава 2. Методологические основы и методика исследований

Работа в целом основана на методологии сравнительно-почвенно-географических и ландшафтно-геохимических исследований. В качестве критериев оценки гетерогенности состава почвенных катен были использованы индекс Шеннона (Shannon, Weaver, 1949), рассчитанный для классификационного уровня - типов почв, и формула геохимического сопряжения (Касимов и соавт., 1989). Индекс Шеннона отражает разнообразие почв в пределах катен и рассчитывается 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.

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

Формула геохимического сопряжения отражает степень латеральной и радиальной дифференциации катен и записывается в виде: $R(a_n t_n g_n) L_n$, где R – радиальная дифференциация в катене, a – в автономной элементарной ландшафтно-геохимической системе (ЭЛГС), t – в транзитной ЭЛГС, g – в гетерономной ЭЛГС, L – латеральная дифференциация, n – степень дифференциации (от 1 до 4 баллов), определяемая согласно таблице 1.

Таблица 1. Геохимическая контрастность катен (по Касимову и соавт., 1989)

Степень контрастности	Вид контрастности
Слабая (1 балл)	Биогенная
Слабая-средняя (1-2 балла)	Биогенная в сочетании с текстурной или испарительной
Средняя (2 балла)	Щелочно-кислотная
Сильная (3 балла)	Окислительно-восстановительная кислородно-глеевая
Очень сильная (4 балла)	Окислительно-восстановительная кислородно-сульфидная

В ходе полевых исследований в соответствии с размерами воронок были выделены малые воронки с диаметром менее 10 метров, средние воронки с диаметром от 10 до 20 метров, и большие воронки с диаметром более 20 метров. В пределах каждого ключевого участка были, как правило, исследованы три катены, приуроченные к склонам восточной экспозиции малой, средней и большой воронок.

В образцах почв определялись значения pH и магнитной восприимчивости, содержание органического углерода, валовой химический и гранулометрический состав. В ряде образцов определялся групповой состав гумуса, содержание железа в вытяжке реактивом Тамма, содержание карбонатов, Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} в водной вытяжке и ее электропроводность. Оценка механической миграции вещества производилась методом магнитного трассера (Геннадиев и соавт., 2004). Магнитная фракция почв кроме того исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии с помощью микроскопа фирмы JEOL с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа Oxford Instruments. Всего было выполнено более 1600 определений.

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 (рис. 1) в северотаежных, широколиственно-лесных, лесостепных и сухостепных ландшафтах. Исследуемые районы характеризуются близким к поверхности залеганием (менее 10 м от поверхности) карстующихся пород пермского возраста: карбонатных и сульфатных пород в северной тайге, лесостепи и сухой степи, карбонатных пород – в широколиственно-лесных ландшафтах.

Карстовые воронки представляют собой конусовидные образования с ровными, иногда слабоволнистыми склонами, сходящимися к центру. Днища некоторых воронок осложнены понором – вертикальным каналом,

связывающим воронку с подземной полостью. Отличительной особенностью воронок участка «Придорожный» является заполнение их днищ водой.

Протяженность склонов исследуемых воронок варьировала от 3 до 24 метров, средняя крутизна склонов изменялась от 25 до 34 градусов. Для катен карстовых воронок, в отличие от катен других форм рельефа, характерно концентрирующее слияние миграционных потоков по направлению от автономных позиций к подчиненным, большие углы наклона склонов, часто «закрытость» систем (в случае воронок с закольматированным понором). В таблице 2 приведена краткая характеристика почвообразующих пород и растительности ключевых участков.

Таблица 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»	Двуучленные 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		

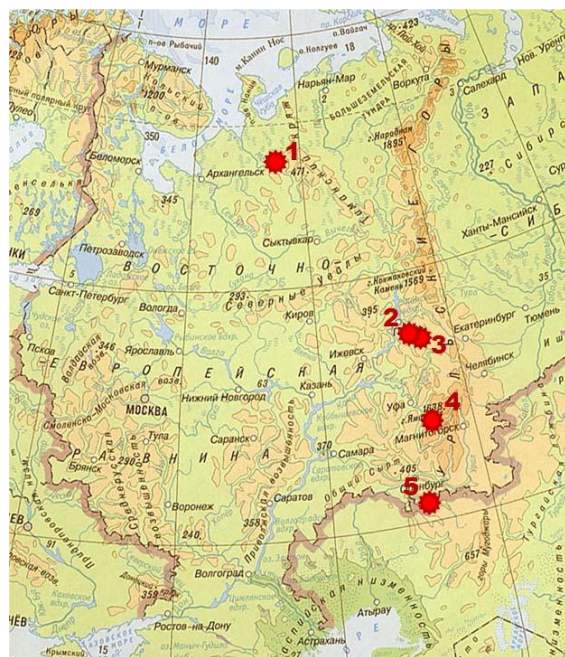


Рис. 1. Расположение районов исследования. 1- заповедник «Пинежский», участки «Супесчаный», «Голубино», «Придорожный», «Филипповский»; 2- памятник природы «Ледяная гора», участок «Кунгур»; 3- заказник «Предуралье», участок «Камаи»; 4- заповедник «Шульган-Таш», участок «Капова»; 5- Кызыладырское карстовое поле, участок «Луговской»

«Филипповский»	Суглинистые дериваты красноцветных пород пермского возраста	ельник с осиной и лиственницей чернично-брусничный майниково-кисличный	чернично-майниково-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

Глава 4. Почвенные катены карстовых воронок

В настоящей главе последовательно рассмотрены состав и особенности формирования почвенных катен карстовых воронок в различных природных условиях (рис. 2). Проведенные исследования не позволяют говорить о наличии связи между размерами воронок и составом почвенных катен. Вне зависимости от протяженности катен исследованных карстовых воронок при сходстве остальных факторов почвообразования в латеральном направлении наблюдается одна и та же смена почв.

В северной тайге на супесчаных моренных отложениях в состав почвенных катен входят подзолы и псаммоземы. На дериватах красноцветных пород, в зависимости от соотношения материала красноцветных пород и моренного суглинка, серые почвы межвороночных пространств сменяются буроземами или элювиземами в средних частях склонов и органи-

аккумулятивными почвами в нижних частях склонов воронок. На двучленных моренных отложениях в карстовых воронках с обводненным дном в состав почвенных катен входят подзолы, органо-аккумулятивные почвы и глееземы. В случае воронок с сухим дном катены на двучленных моренных отложениях образованы подзолистыми почвами или подзольными и дерново-подзолистыми почвами. Таким образом, в исследованных северотаежных ландшафтах на склонах карстовых воронок формируются не только слаборазвитые и эродированные почвы (С.В. Горячкин, 2010), но и полнопрофильные почвы, близкие по своим свойствам к почвам межвороночных пространств.

Северотаежные ландшафты

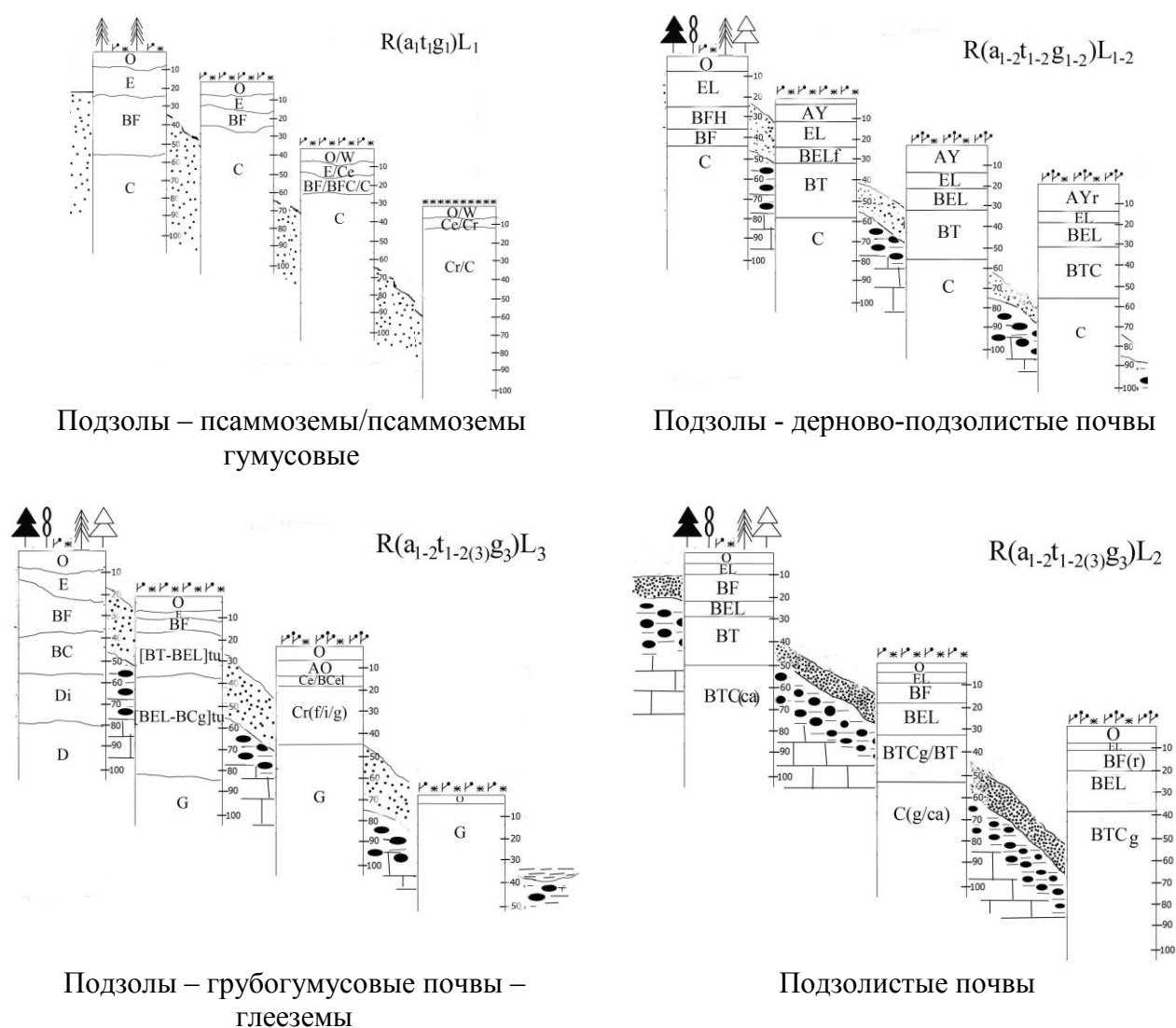
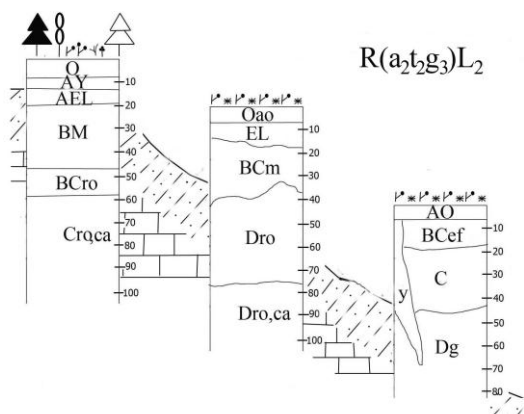
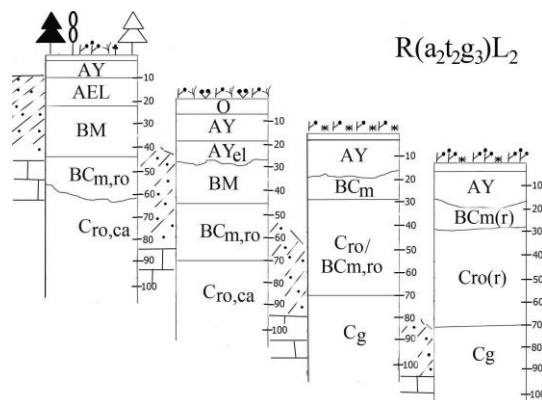


Рис. 2. Почвенные катены карстовых воронок

Продолжение рисунка 2

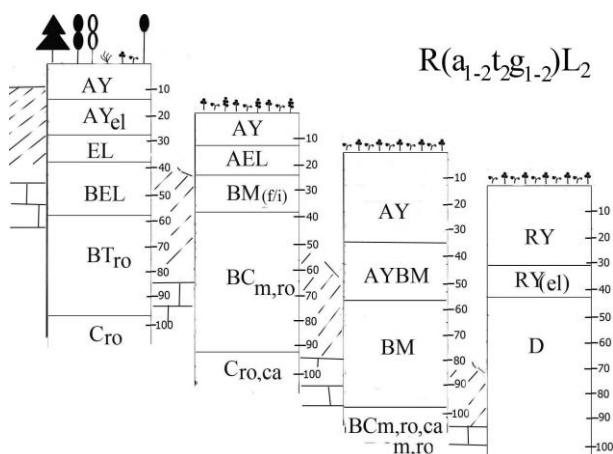


Серые метаморфические почвы –
элювиземы – грубогумусовые почвы

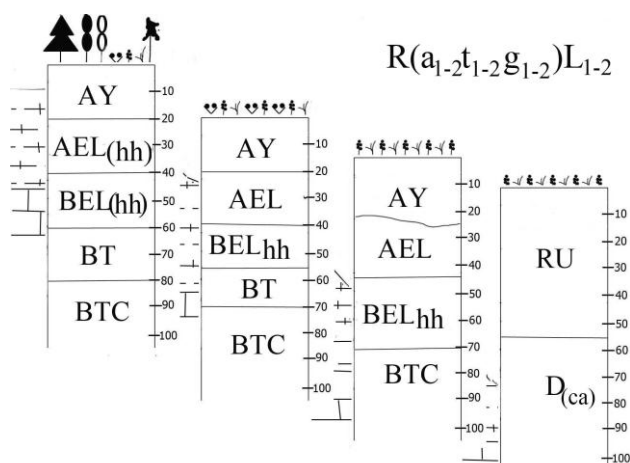


Серые метаморфические почвы – буроземы –
серогумусовые почвы

Широколиственно-лесные ландшафты

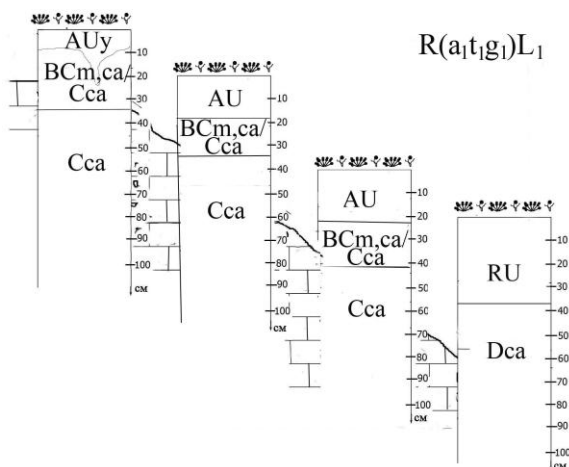


Дерново-подзолистые почвы– серые
метаморфические почвы– буроземы–
стратоземы серогумусовые



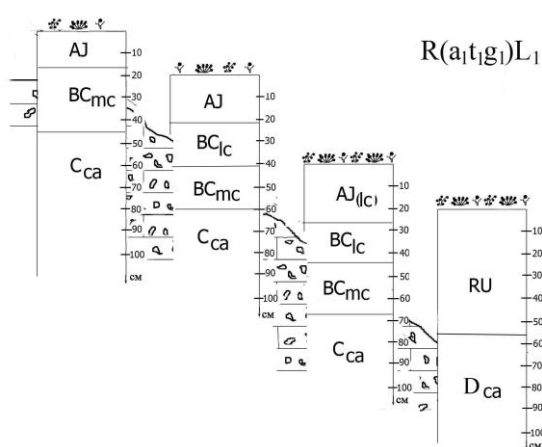
Серые почвы - стратоземы темногумусовые

Лесостепные ландшафты



Карболитоземы темногумусовые -
стратоземы темногумусовые

Сухостепные ландшафты



Светлогумусовые почвы - стратоземы
темногумусовые

Условные обозначения к рисунку 2

Почвообразующие и подстилающие породы

	- супеси разномеристые косослоистые с гравием, галькой, мелкими валунами		-валунные суглинки
	- дериваты красноцветных пород с гравием, галькой		- элювий и элюво-делювий красноцветных пород
	-элювий и элюво-делювий глинистых сланцев		- элювий и элюво-делювий карбонатных конгломератов
			- элювий и элюво-делювий известняков

Растительные ассоциации

	-сосняки чернично-зеленомошные		- лиственный-осиновый с примесью ели и сосны
	- ельник осиново-лиственный чернично-брусничный майниково-кисличный		- липово-еловый с примесью березы и осины аконито-снытево-кисличный лес
	- дубово-еловый с примесью осины и березы папоротниково-злаково-разнотравный лес		-чернично-бруснично-зеленомошная ассоциация
	-чернично-зеленомошная ассоциация		-зеленомошная ассоциация
	-чернично-майниково-папоротниковая ассоциация		-аконито-снытево-кисличная ассоциация
	-снытево-кисличная ассоциация		- папоротниково - злаково-разнотравная ассоциация
	-злаково-разнотравная ассоциация		-типчаково-ковыльная ассоциация
			-типчаково-ковыльно-полюнная ассоциация

Латеральные процессы перемещения вещества в растворах в катенах воронок северотаежных ландшафтов проявляются в увеличении содержания оксалатно-растворимого железа (в катенах на двучленных моренных отложениях, дериватах красноцветных пород) и увеличении содержания органического углерода (в катенах на супесчаных моренных отложениях) по направлению к центру воронок.

В исследованных широколиственно-лесных ландшафтах на склонах малых, средних и больших воронок происходит смена серых метаморфических почв, буроземов (на элювии, элюво-делювии красноцветных пород) или серых почв (на элювии, элюво-делювии глинистых сланцев) стратоземами в нижних частях склонов воронок. Морфологические и аналитические признаки смены окислительно-восстановительного режима в почвах катен отсутствуют. В гумусово-аккумулятивных горизонтах почв наблюдается увеличение

фульватности гумуса по направлению к нижним частям склонов воронок за счет большей подвижности фульвокислот по сравнению с гуминовыми кислотами.

Почвенные катены карстовых воронок исследованных лесостепных ландшафтов представлены карболитоземами темногумусовыми межвороночных пространств, верхних и средних частей склонов и стратоземами темногумусовыми нижних частей склонов воронок. Латеральные процессы перемещения вещества в растворах обуславливают сужение отношения $S_{гк}/S_{фк}$ по направлению к центру воронок.

В сухостепных ландшафтах в состав почвенных катен карстовых воронок, вне зависимости от их размеров, входят светлогумусовые мицелярно-карбонатные почвы межвороночных пространств, светлогумусовые миграционно-карбонатные почвы верхних и средних частей склонов и стратоземы темногумусовые нижних частей склонов воронок. Сезонные изменения в направленности латеральных потоков почвенных растворов обуславливают наличие лабильных форм карбонатов в почвах верхних и средних частей склонов (отсутствующих в почвах межвороночных пространств и нижних частей склонов воронок), а так же максимальные концентрации $CaCO_3$ в почвах этих катенарных позиций.

Глава 5. Твердофазная миграция вещества почв на склонах карстовых воронок

Количественная оценка латерального переноса твердофазного вещества почв в пределах карстовых воронок проводилась на ключевых участках «Камаи» (широколиственные леса) и «Кунгур» (лесостепь) с помощью метода магнитного трассера. Расчет балансов содержания сферических магнитных частиц (маркеров эрозионных процессов) в почвах карстовых воронок широколиственно-лесных и лесостепных ландшафтов свидетельствует о том, что карстовые воронки являются, преимущественно, денудационными системами, а аккумуляция твердофазного вещества почв происходит только в

нижних частях склонов карстовых воронок, в их днищах и подземных полостях. В случае карстовых воронок, осложненных понором, в подземные полости уносится более 40% материала, участвующего в латеральном твердофазном переносе.

Средние скорости латеральной механической миграции вещества на склонах исследованных воронок составили 11 т/га в год в широколиственно-лесных ландшафтах (участок «Камаи») и 15 т/га в лесостепных (участок «Кунгур»). 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. Скорость аккумуляции вещества почв в пределах нижних частей склонов карстовых воронок с закольматированным понором возрастает от карстовой воронки с наименьшими размерами до карстовой воронки с наибольшими размерами и, соответственно, составляет от 14 до 60 т/га в год.

Глава 6. Сравнительная характеристика почвенных катен карстовых воронок, формирующихся в различных литолого-геоморфологических и биоклиматических условиях

Анализ латеральной дифференциации почвенных катен карстовых воронок показывает, что факторами, обуславливающими гетерогенность их состава, являются главным образом неравномерность локального увлажнения и особенности почвообразующих пород. В условиях одного биоклиматического потенциала может наблюдаться разная степень латеральной геохимической контрастности почв (табл. 3) и разная степень гетерогенности их состава (табл. 4).

Почвенные катены, формирующиеся на маломощных, щебнистых почвообразующих породах отличаются слабой выраженностью гетерогенности их состава. Смена почв в этих катенах происходит только в пределах нижних частей склонов воронок. Почвенные катены, формирующиеся на мощных рыхлых отложениях, могут характеризоваться как слабой, так и сильной

Таблица 3. 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», Go - «Голубино», Fi – «Филипповский», Pr- «Придорожный», Kp- «Капова», Km – «Камаи», Ku- «Кунгур», Lu- «Луговской»; цифрами – размер воронки: 1- малая, 2- средняя, 3 – большая

Таблица 4. 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

гетерогенностью их состава. Наибольшим разнообразием почв, формирующих сопряжения, характеризуются катены на силикатных красноцветных породах. В северной тайге на этих породах катены образуются почвами, относящимися к трем разным типам (индекс Шеннона достигает 1.1), в широколиственных лесах – почвами, относящимися 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 0.7).

Для ряда исследованных катен карстовых воронок характерно колебание уровня залегания карбонатов, способствующее формированию щелочно-

кислотного вида контрастности катен. Разный уровень залегания карбонатных пород в катенах также обуславливает соседство серых метаморфических почв и буроземов в северной тайге и дерново-подзолистых, серых метаморфических почв и буроземов в широколиственных лесах. Обводненность днищ карстовых воронок приводит к изменению окислительно-восстановительных условий в латеральном направлении и, как следствие, к увеличению разнообразия почв в пределах катен.

Сравнение почвенных катен карстовых воронок, формирующихся в различных биоклиматических и топо-литологических условиях, позволяет выявить основные тенденции в изменении выраженности почвенных горизонтов. Вне зависимости от биоклиматического потенциала среды, протяженности катен и характера почвообразующих пород, гумусово-аккумулятивные горизонты почв склонов воронок 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.

По направлению к почвам нижних частей склонов подзолистые, элювиальные и иллювиально-железистые горизонты теряют целостность, в окраске элювиальных и подзолистых горизонтов появляется серый цвет. Текстурные и структурно-метаморфические горизонты преобразуются в горизонты, переходные к почвообразующей породе. Ослабление выраженности радиальной дифференциации почв, по-видимому, является следствием преобладания латеральной составляющей миграции растворенных химических веществ над радиальной и движения твердофазного материала вниз по склонам, обеспечивающим гомогенизацию почвенного материала.

В исследованных лесостепных и сухостепных ландшафтах формирование срединных горизонтов почв на склонах воронок не происходит в силу маломощности рыхлых почвообразующих пород и процессов латерального массопереноса. В лесостепных ландшафтах степень морфологической

выраженности и мощность почвенных горизонтов на склонах воронок может быть как меньше, так и больше, чем на межвороночных пространствах. В сухой степи наибольшее разнообразие форм карбонатных новообразований по почвенному профилю характерно для почв верхних и средних частей склонов воронок (присутствуют лабильные и мицелярные формы).

В результате отмеченных катенарных особенностей, наименее профильно-дифференцированными почвами вне зависимости от ландшафтных условий и литолого-геоморфологических характеристик карстовых воронок являются почвы нижних частей склонов. В северной тайге и широколиственных лесах наиболее радиально-дифференцированными почвами являются почвы автономных позиций, в лесостепи – почвы автономных и транзитных позиций, в сухой степи – транзитных позиций. При этом почвы нижних частей склонов воронок, характеризуются не только наименее выраженной радиальной дифференциацией по морфологическим свойствам, но и наименьшими коэффициентами внутрипрофильной вариации по элементному и гранулометрическому составу, значениям pH и магнитной восприимчивости. Процессы латеральной механической миграции вещества обуславливают сходство почв нижних частей склонов воронок, формирующихся в различных физико-географических условиях.

Сопоставление почвенных катен карстовых воронок, формирующихся в различных биоклиматических и топо-литологических 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 (рис. 2).

ВЫВОДЫ:

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.

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. **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.
2. **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.

3. 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.
4. **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.

Статьи в других изданиях и тезисы докладов:

5. **Смирнова, М.А.** Почвы склонов карстовых воронок Беломорско-Кулойского плато/ М.А. Смирнова // Исследования молодых географов: Сб. ст. победителей секции "География" XVII Международной молодежной конф. "Ломоносов".- М.:МАКС Пресс. 2010. – С. 60-63.
6. **Смирнова, М.А.** Сопряжения почв на склонах карстовых воронок/ М.А. Смирнова // Материалы Всероссийской научной конференции XIV Докучаевские молодежные чтения «Почвы в условиях природных и антропогенных стрессов». – СПб.: Издательский дом С.-Петербургского государственного университета. 2011. - С. 81-82.
7. **Smirnova, M.A.**, Gennadiev, A.N. Soils of karst sinkholes in the southeast of the Belomorsk-Kuloi plateau/ M.A. Smirnova, A.N. Gennadiev // Eurasian soil science. – 2011. -vol.44. - № 2. - P.117-125.
8. **Смирнова, М.А.** Почвенный покров карстовых воронок как природно-экспериментальная модель изучения катенарных связей между почвами/ М.А. Смирнова // Материалы Всероссийской научной конференции XV Докучаевские молодежные чтения «Почва как природная биогемембрана». – СПб.: Издательский дом С.-Петербургского государственного университета. 2012.- С. 61-62.
9. **Смирнова, М.А.** Катенарные сопряжения почв склонов карстовых воронок Кыладырского карстового поля/ М.А. Смирнова // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Доклады Всероссийской

- научной конференции. Москва, 4-6 апреля 2012 г., М.: Географический факультет МГУ. 2012. - С. 288 -290.
10. **Smirnova, M., Gennadiev, A.** Soil catenas on the slopes of sinkholes/M. Smirnova, A. Gennadiev //5th International Congress EUROSIL 2012, Bari, 2-6 July 2011. - P.1828.
 11. **Смирнова, М.А.** Сопряжения почв на склонах карстовых воронок/ М.А. Смирнова // Материалы Всероссийской научной конференции XIV Докучаевские молодежные чтения «Почвы в условиях природных и антропогенных стрессов». – СПб.: Издательский дом С.-Петербургского государственного университета. – 2011. - С. 81-82.
 12. **Смирнова, М.А., Геннадиев, А.Н.** Почвенные микрокатены на склонах карстовых воронок // Материалы VI съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования». – Книга 1.– Петрозаводск, 2012. - С. 220-221.
 13. **Smirnova, M., Gennadiyev, A.** Investigation of soils on the slopes of sinkholes in nature reserves/M. Smirnova, A. Gennadiev // 32nd international Geographical Congress, Cologne, 26-30 August 2012.- P. 314-315.
 14. **Смирнова, М.А.** Оценка механической миграции вещества почв методом магнитного трассера в карстовых районах/ М.А. Смирнова // Материалы 4-й молодежной школы-семинара «Природно-антропогенные геосистемы: мировой и региональный опыт исследований», Курск, 2012. - С. 80-82.
 15. **Smirnova, M.A., Gennadiev, A.N.** Soils of sinkholes on the Western makroslope of the Southern Urals: properties, catenary relationships, and regional specificity/ M.A. Smirnova, A.N. Gennadiev //Eurasian soil science.- 2012.- vol.45.- №6.- P.551-560.