

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.48

doi: 10.17223/19988591/35/1

А.Г. Дюкарев, Н.Н. Пологова

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

Элювиальные почвы западин Обь-Томского междуречья (подтаёжная зона Западной Сибири)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-04-01154-а).

Исследованы комплексы почв, формирующиеся под влиянием переувлажнения поверхностными водами в западинах Обь-Томского междуречья. Показано, что профили почв с мощными палево-белесыми горизонтами формируются на фоне исходной двучленности отложений, приобретенной на начальных стадиях образования западин суффозионно-просадочными процессами. В соответствии с классификацией почв, принятой в России, почвы со светлыми кислыми элювиальными горизонтами и резкой границей перехода отнесены к элювоземам. От подзолистых почв элювозёмы отличаются отсутствием или слабой выраженностью иллювиального горизонта, от солодей – глубокой выщелоченностью карбонатов. В неглубоких западинах развиты элювозёмы дерновые; с увеличением размеров западин в состав почвенного покрова включаются элювозёмы метаморфические, конкреционные и перегнойно-глеевые. Установлено, что распределение форм соединений железа, содержание и соотношение Fe и Mn в ортитейнах характеризуют степень гидроморфизма почв исследованного ряда. Состав ортитейнов и профильное распределение форм соединений железа отражают проявление процессов поверхностного оглеения, сегрегационного отбеливания, глеевого обезжелезнения.

Ключевые слова: элювозёмы; элювиальное оглеение; ортитейны; формы соединений железа.

Введение

Замкнутые понижения локального поверхностного переувлажнения широко распространены в разных природных зонах. Согласно имеющимся представлениям, западины (блюдца) на равнинах, сложенных лессовидными суглинками, – это разнородные по происхождению первичные неровности поверхности, проявленные впоследствии суффозионной деятельностью при вертикальной циркуляции дождевых и снеговых вод [1, 2]. В лесостепной зоне и на распаханных территориях подтайги западины с лесными колками занимают до 15% лёссовых равнин. В зависимости от размеров водо-

сборной площади и продолжительности застоя влаги в них формируются сложные природные комплексы, включающие переход от осиново-березового леса к характерным для понижений черемуховым зарослям, ивнякам, влажно-луговым или болотным растительным сообществам. Осложняя аграрное использование территории, лесные колки играют важную роль в стабилизации водного режима агроландшафта. Кроме того, являясь убежищем для животных, они выполняют и важную экологическую функцию по поддержанию биологического разнообразия на территориях интенсивного сельскохозяйственного использования.

Почвенный покров западин представлен широким рядом почв – от фоновых зональных до торфяно-глеевых и торфяных. Наибольший интерес представляют формирующиеся в западинах почвы с белесыми кислыми элювиальными горизонтами. Генезис почв со светлыми элювиальными горизонтами и текстурно-дифференцированным профилем является предметом многолетней международной дискуссии по фундаментальным вопросам генетического почвоведения [3–6]. В российской школе почвоведения генезис элювиальных почв в понижениях степи и лесостепи традиционно связывался с осолодением. Развитие солодей из солонцеватых почв сопряжено с замещением обменного натрия на водород, выносом основных химических элементов, передвижением ила и формированием контрастного по сложению профиля. Н.И. Базилевич [7] показано, что при участии легкорастворимых солей даже в небольших концентрациях в условиях переменного увлажнения осолодению могут подвергаться самые разные почвы. Исследуя почвы Средне-Русской возвышенности, Б.П. Ахтырцев [8] отмечал, что элювиальные почвы в замкнутых понижениях могут формироваться без осолодения, только под воздействием элювиально-глеевого процесса. В настоящее время образование разных групп элювиальных почв связывается в основном с процессами периодически застойного поверхностного увлажнения [9, 10]. Групповые различия элювиальных почв определяются ландшафтно-геохимическими условиями. В степной зоне элювиальные почвы западин выделялись как осолодевшие почвы, на юге таёжной зоны – как гидроморфные варианты подзолистых почв. Предложение о выделении в классификации почв переходного подзолисто-солонцового почвообразования [11], как и собственно элювиально-глеевых почв, не получило развития в российской школе почвоведения. В международных классификациях элювиальные почвы с резко дифференцированным по гранулометрическому составу профилем отнесены к реферативной группе планосолей (Planosols), объединяющей весьма разнородные по генезису и свойствам почвы [12–16].

Цель настоящей работы – исследование генезиса и уточнение классификации почв западин, формирующихся в подтаежных ландшафтах на территории Обь-Томского междуречья.

Материалы и методики исследования

Объекты исследования расположены на юге Томской области (между $84^{\circ}-84^{\circ}55'$ в.д и $56^{\circ}-56^{\circ}48'$ с.ш). Междуречье Оби и Томи характеризуется здесь сложным геоморфологическим строением. Останцы древней равнины расчленены разного возраста ложбинами древнего стока. Грунтовые воды залегают на глубине более 5 м. В соответствии с геоморфологическим строением формируется и структура почвенного покрова. Для суглинистых равнин характерно формирование подтаёжных ландшафтов с преобладанием серых почв, для сложенных песками и супесями ложбин древнего стока – сосняков с альфегумусовыми почвами [18]. На плоских поверхностях древних равнин Обь-Томского междуречья, сложенных лёссовидными суглинками, западины являются важным компонентом ландшафта, занимая значительную часть сельскохозяйственно освоенной территории. Анализ космических снимков высокого пространственного разрешения позволил выявить разнообразие лесных колков на междуречье, приуроченных к западинам разного типа и размера, в которых проводились наземные исследования. Ординация растительных сообществ колочных западин по градиенту увлажнения, проведенная на основе стандартных экологических шкал Л.Г. Раменского [19], использована для оценки разнообразия экологических условий формирования почв западин. Современный растительный покров западины определяется ее размерами и объемом накапливаемой влаги. Для неглубоких западин характерны папоротниковые и мелкотравные осинники. С нарастанием увлажнения в нижней части склона появляется черемуховый подлесок, а в центре колка поселяется ива и формируются вымочки, крупные колки заболочены.

Нами исследованы ряды почв в типичных для территории западинах, различающихся площадью водосбора и продолжительностью застоя влаги в их центральной части. Верхние выположенные части склонов колочных западин, граничащие с пашней, обычно заняты разнотравными и папоротниково-разнотравными березняками и смешанными березово-осиновыми лесами на серых (р.395) и темно-серых (р.393) почвах. Состав почвенного покрова западины определяется ее размерами. В слабоврезанных западинах небольшого размера (до 50 м в диаметре) выявлены элювозёмы дерновые (р.394). При увеличении глубины и размеров (воронкообразные и блюдцеобразные западины глубиной до 150 см и диаметром до 90 м) формируются элювозёмы метаморфические (р.392) и элювозёмы типичные. Центры таких понижений заняты мертвопокровными или крупнопоротниковыми черемуховыми зарослями с разреженным древесным пологом из березы и осины. В западинах с плоским дном и продолжительным застойным увлажнением формируются ряды почв глубокой глеевой трансформации. В транзитно-аккумулятивной части пологих склонов таких западин под березняками хвощовыми или осоковыми выделяются элювозёмы перегнойно-глееватые

конкреционные (р.396), а в центральной, наиболее глубокой части западины, – элювозёмы глеевые (р.397) под ивняками осоково-злаковыми. В центральной части обширных западин с выраженным плоским дном и постоянным избыточным увлажнением формируются длительно обводненные торфянистые почвы под сабельниковыми фитоценозами с ивой пепельно-серой. Эти сообщества формируются на последних стадиях гидроморфной трансформации минеральных почв, после которой в западинах начинают накапливаться торфяные отложения.

Основным методическим подходом явилось проведение сопряженных почвенно-экологических исследований: устанавливались взаимосвязи гидрологических условий, почв и растительности. В данной работе мы приводим характеристику минеральных почв. Образцы почв отбирались из полнопрофильных почвенных разрезов, далее – из почвенного бура с шагом в 20 см до глубины 270–300 см. Анализ образцов почв выполнен стандартными методами [20, 21]. Определены формы соединений железа в вытяжках Баскомба (Fe пир, Fe дит укс), Тамма (Fe окс) и Мера-Джексона (Fe дит). Рассчитаны: критерий оксидогенеза (Fe дит : Fe вал), неорганическое аморфное железо (Fe а = Fe окс – Fe пир), слабоокристаллизованное (Fe слокр = Fe дит укс + Fe пир – Fe окс), сильноокристаллизованное (Fe сокр = Fe дит – Fe дит укс – Fe пир) [22, 23]. Конкреции выделялись мокрым просеиванием на сите 0,25 мм, в них определены железо и марганец в 1 n серноокислой вытяжке. В качестве аналитических критериев диагностики почв рассматривались: коэффициент Швертманна ($K_{ш} = \text{Fe окс} / \text{Fe дит}$) [22], коэффициент степени гидроморфизма (Fe/Mn) [24, 25]. Систематика почв основывалась на «Классификации и диагностике почв России» [17].

Результаты исследования и обсуждение

Проведенные исследования показали, что почвы, примыкающие к западинам, развиваются на карбонатных лёссовидных суглинках. При этом темно-серые почвы в верхней части склонов западин несколько отличаются от типичных суглинистых почв Обь-Томского междуречья более глубоким выщелачиванием карбонатов (250–270 см). Гумусовый горизонт темно-серый, мощностью до 45 см, комковато-зернистый, с обилием корней, характеризуется высокими показателями водопроницаемости, что обеспечивает быстрое впитывание поверхностной влаги. В нижней части гумусового горизонта хорошо выражены пятна осветления. Переход к текстурному горизонту (B) в фоновых почвах карманистый, хорошо заметен по окраске и плотности. Собственно текстурные горизонты небольшой мощности, бурые или коричневато-бурые, уплотненные, с неясно выраженной глыбисто-крупноореховатой структурой. На стенках пор и трещин заметны тонкие коричневые кутаны. Отмечается глубокое проникновение пылеватых скелетан по межагрегатным трещинам. Переход к почвообразующей породе постепенный.

В элювозёмах гумусовые горизонты светло-серые, небольшой мощности, комковато-порошистые, покрыты, как правило, с поверхности опадно-листовой подстилкой или небольшим по мощности перегнойным горизонтом. Собственно гумусовый горизонт выделяется не всегда. Чаще в профиле формируется переходный гумусово-элювиальный горизонт. Элювиальные горизонты палево-белесые, легкосуглинистые, пористые, с заметной горизонтальной слоистостью. В окраске горизонта часто заметны охристые пятна, всегда присутствуют орштейны, что свидетельствует о переменных условиях увлажнения. В условиях длительно избыточного увлажнения элювиальный горизонт приобретает сизоватые оттенки. Мощность элювиальной толщи как в фоновых почвах, так и в почвах западин варьирует незначительно и близка к 60 см (рис. 1).

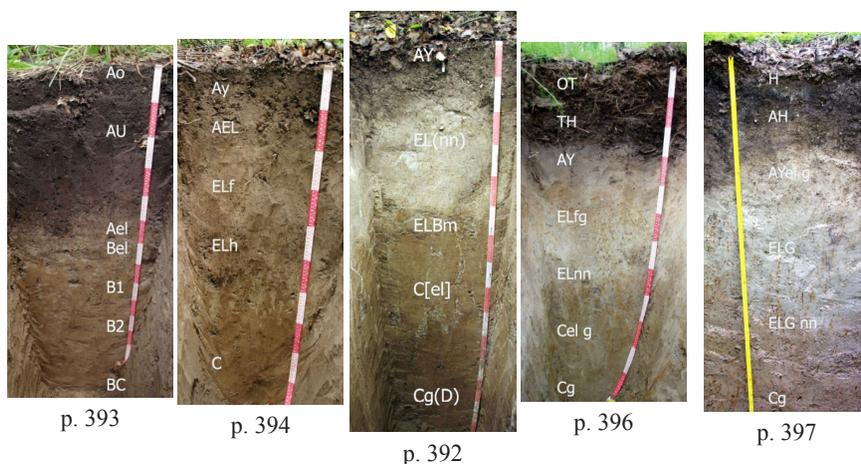


Рис. 1. Профили почв Обь-Томского междуречья (фото А.Г. Дюкарева):
 p.393 – темно-серая; p.394 – элювозём дерновый; p.392 – элювозём метаморфический;
 p.396 – элювозём конкреционный перегнойно-глеевый; p.397 – элювозём глеевый
 [Fig. 1. Soil profiles of the Ob-Tom interfluvium: p.393 - Dark grey forest soil;
 p.394 - Sod eluvozem; p.392 - Metamorphic eluvozem; p.396 - Humus-gley
 concretionary eluvozem; p.397 - Gley eluvozem. Photo by AG Dyukarev]

Срединные горизонты элювозёмов плотные, тяжелые по гранулометрическому составу, грубоплитчатые по сложению, мраморовидные на срезе, контрастно отделяются от элювиального горизонта. Формирование их связано с процессами просадки и переупаковки лёссовых отложений при развитии западины в посткриогенную эпоху. В дальнейшем растрескивание в физических циклах разбухания–усыхания привело к трещиноватости поверхности подстилающей породы, засыпке отмытого мелкозема. Таким образом, срединные горизонты только условно можно отнести к текстурным: для современной почвы это подстилающая порода. Растрескивание и переорганизация её поверхности позволяет выделить метаморфический

горизонт, а почвы отнести к типу элювозёмов метаморфических. Отметим, что классификация почв России не предусматривает выделение элювозёмов метаморфических. Однако как открытая система она не препятствует расширению классификационных границ.

Переход от элювиального горизонта к «текстурной толще» небольшой мощности хорошо заметен по окраске и плотности. Темно-бурые кутаны редкие, тонкие и заметны только на стенках крупных магистральных пор и трещин в самой верхней части горизонта. Присутствие в профиле даже небольшого по мощности горизонта с признаками иллювиирования позволяет относить исследуемые почвы к элювоземам глинисто-иллювиированным. По разделу плит в наиболее гидроморфных вариантах элювиальных почв заметны охристые пленки. В элювозёмах глеевых на поверхности формируются небольшие по мощности перегнойные горизонты, элювиальные горизонты сизые, бесструктурно-глыбистые, плотные. Ниже в почвообразующей породе признаки оглеения постепенно ослабевают.

В гранулометрическом составе преобладающая крупнопылеватая фракция, характерная для лёссовидных суглинков (45–49%), равномерно распределена на всю глубину профилей почв. Содержание мелкопесчаной и пылеватых фракций также весьма незначительно варьирует по профилю, что является показателем исходной однородности состава отложений. Однородность почвообразующих пород подтверждается и данными гранулометрического состава, рассчитанными на обезыленную навеску (рис. 2). Здесь отмечается относительно ровное распределение в профиле практически всех гранулометрических фракций. В то же время для всей группы почв характерны высокая контрастность распределения илистой фракции, обеднение элювиальных горизонтов без обогащения нижележащих.

При небольшой мощности горизонтов, обедненных илом (см. рис. 2), профиль фоновых почв характеризуется достаточно высокой контрастностью. Степень текстурной дифференциации профиля фоновых почв (Кд) по распределению илистой фракции варьирует от 1,88 до 2,10 (таблица). Проявляется в фоновых почвах и накопление в срединных горизонтах «ила» относительно почвообразующей породы, что свидетельствует об его иллювиальной природе. С развитием элювиального процесса контрастность профиля почв по гранулометрическому составу возрастает и наибольших значений достигает в элювозёме метаморфическом. В глееватых и конкреционных вариантах элювозёмов дифференциация по илистой фракции менее выражена, поскольку проявляется на фоне смещения максимума её содержания в более глубокие слои почв (глубже 120 см). Однако степень текстурной дифференциации, как отношение содержания илистой фракции в «текстурном» горизонте к его содержанию в элювиальном, не отражает генетическую суть дифференциации профиля. Более наглядны, особенно в случае элювиальных почв, коэффициенты выноса и накопления. Коэффициент выноса (Кв) показывает, насколько элювиальные горизонты обеднены илистой фракци-

ей относительно почвообразующей породы. Коэффициент накопления (K_n) отражает обогащение срединных горизонтов мелкодисперсными частицами относительно почвообразующей породы.

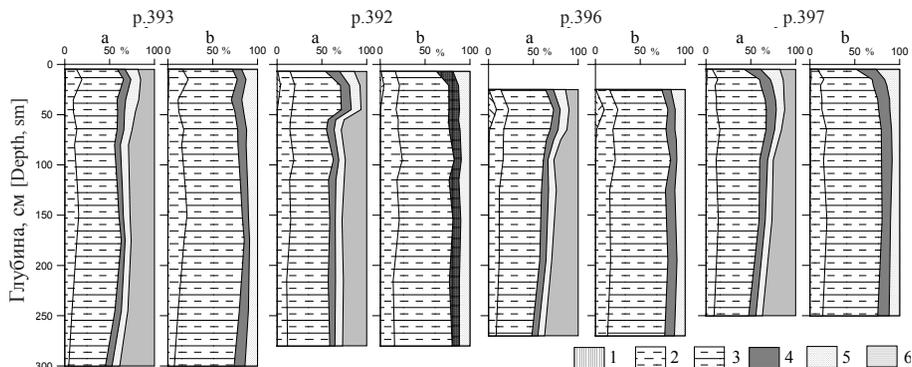


Рис. 2. Гранулометрический состав почв:

a – все фракции; b – без илистой фракции. Диаметр частиц, мм: 1 – 1–0,25; 2 – 0,25–0,05; 3 – 0,05–0,01; 4 – 0,01–0,005; 5 – 0,005–0,001; 6 – <0,001. Названия почв см. на рис. 1
 [Fig. 2. Soil texture: a - All fractions; b - Without clay content. The particle diameter in mm: 1 - 1-0.25; 2 - 0.25-0.05; 3 - 0.05-0.01; 4 - 0.01-0.005; 5 - 0.005-0.001; 6 - <0.001. For soil types see Fig. 1]

Показатели дифференциации илистой фракции в профиле почв
 [Parameters of the clay fraction differentiation in the soil profile]

Отношение содержания ила [The clay content ratio in horizons]	Почвы, разрез [Soils, profile]					
	Темно-серая (p.393) [Dark grey forest soil]	Серая (p.395) [Grey forest soil]	Элювозём дерновый (p.394) [Sod eluvozem]	Элювозём метаморфический (p.392) [Metamorphic eluvozem]	Элювозём конкреционный (p.396) [Concretionary eluvozem]	Элювозём глеевый (p.397) [Gley eluvozem]
$K_v=EL/C$	0,59	0,48	0,46	0,25	0,35	0,44
$K_n=(B)/C$	1,12	1,24	0,93	0,92	0,93	0,96
$K_d=(B)/EL$	1,88	2,06	2,12	4,44	2,65	2,17

[Note: K_v - Delivery rate; K_n - Accumulation coefficient; K_d - the degree of textural differentiation of background soil profile].

Проведенные расчеты показывают, что на общем фоне элювиального выноса ($K_v = 0,48-0,59$), признаки иллювиального накопления илистой фракции обнаруживаются только в фоновых серых и темно-серых почвах ($K_n = 1,12-1,24$). В почвах западин на фоне интенсивного элювиального выноса ($K_v = 0,25-0,35$) иллювиальное накопление слабо выражено или не выражено вовсе ($K_n = 0,92-0,93$), что соответствует их определению как элювозёмов. Выявленные тенденции развития в исследуемом ряду почв показывают, что наиболее контрастный по сложению профиль формируется в элювозёмах метаморфических и конкреционных, которые приурочены к неглубоким западинам воронкообразного типа и нижней части склонов более крупных западин. Следует отметить, что по коэффициенту «накопле-

ния» исследованные элювозёмы различаются незначительно, что также подтверждает литогенную природу их неоднородности по гранулометрическому составу. В целом можно отметить, что по показателям дифференциации профиля исследованные почвы выстраиваются в логические ряды, отражающие закономерности развития элювиального процесса:

$$K_v = T_c < C < Эг < Эд < Эпс < Эм;$$

$$K_n = C > T_c > Эг > Эд > Эпс > Эм;$$

$$K_d = T_c < C < Эг < Эд < Эпс < Эм.$$

Согласно проведенным ранее исследованиям, нижняя граница толщи, преобразованной суффозионно-просадочными процессами, весьма условна и определяется по уменьшению плотности сложения. Явления просадки и суффозии определили различия в сложении западного комплекса почв. Так, плотность сложения гумусового горизонта фоновых темно-серых почв варьирует в пределах 1,0–1,2 г/см³ и увеличивается в иллювиальной части профиля до 1,4 г/см³ (рис. 3). В элювозёмах же плотность сложения уже в элювиальных горизонтах возрастает до 1,5–1,6 г/см³, а ниже, в срединных горизонтах и почвообразующей породе, достигает значения 1,8 г/см³. Столь высокие различия в плотности и контрастность распределения илистой фракции позволяют рассматривать профиль почв как педо-литогенный двучлен.

Высокое содержание разбухающих при избыточном увлажнении глинистых частиц практически полностью исключает радиальное передвижение гравитационной влаги. Водопроницаемость с поверхности текстурного горизонта дерново-подзолистых почв редко превышает 1 мм/ч [26]. В элювоземах же эта величина может быть еще меньше. В элювиальных горизонтах радиальная фильтрация составляет 6–8 мм, а латеральная в 2–3 раза выше [27]. Поэтому имеющие тонкоплитчатое сложение элювиальные горизонты, несмотря на достаточно высокие значения плотности, обеспечивают возможность латерального передвижения свободной влаги и вынос продуктов педогенеза за пределы западин. Наряду с испарением и десукцией трещиноватость неоглеенных вариантов элювозёмов и латеральный сток являются основными путями сработки накопленных в западинах талых вод. При этом латеральная миграция влаги и обеспечивает «классическую» тарелкообразную форму западин в лёссовидных суглинках.

Гумус и физико-химические свойства почв. Содержание гумуса в фоновых темно-серых почвах высокое и варьирует от 9% в верхней части гумусового горизонта до 4–5% на глубине 40 см и 1,5–2,0% на глубине 50 см (см. рис. 3). Гумус гуматного типа имеет высокое, даже для темно-серых почв, отношение Сгк/Сфк (2,5–3,0). В его составе преобладают первая и вторая фракции гуминовых кислот (ГК-1 и ГК-2). Повышение содержания в нижней части гумусового горизонта гуминовых кислот и расширение отношения Сгк/Сфк (см. рис. 3) до нетипичных для темно-серых почв (3,5–4,0) свидетельствуют или о его реликтовой природе, или о скрытой фазе элювиально-глеевого процесса, когда начинается вынос наиболее подвижной ча-

сти гумуса (фульвокислот), но морфологические признаки еще не проявляются. Ранее подобный тип гумусового профиля был выявлен в темно-серых контактно-оглеенных почвах колючей лесостепи Тамбовской равнины [28].

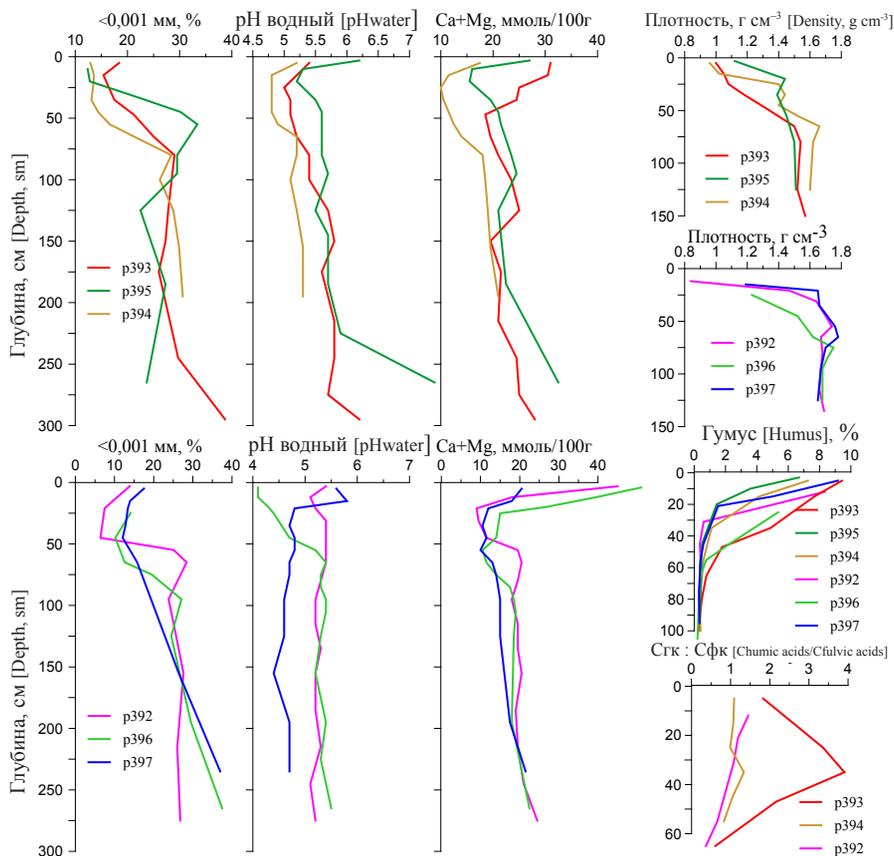


Рис. 3. Физико-химические свойства почв
[Fig. 3. Physical and chemical properties of soils]

Гумусообразование в элювиальных почвах связано с особенностями водно-воздушного режима. Временное поверхностное затопление и переувлажнение почв в центральной части западины с последующим иссушением затрудняет развитие корневых систем растений. Поэтому для элювозёмов характерны накопление на поверхности опадно-листовой подстилки и ее быстрая минерализация. Развитие перегнойного горизонта способствует подкислению почв, повышению подвижности гумуса. Небольшое накопление грубого гумуса отмечается только в поверхностных минеральных горизонтах. В элювиальных же горизонтах уже на глубине 30 см содержание гумуса редко превышает 0,5%. Гумус элювиальных почв западин преимущественно гуматно-фульватный и характеризуется высоким содержанием мо-

бильных фракций гуминовых кислот (ГК-1) и фульвокислот (ФК-1а и ФК-1). Содержание фракций гуминовых и фульвокислот, связанных с кальцием (ГК-2 и ФК-2), низкое. Показателем высокой мобильности гумуса является узкое отношение $С_{гк}/С_{фк}$ (1,0–1,2) в элювиальном и особенно в переходном элювиально-метаморфическом (0,6–0,8) горизонтах. Степень гумификации значительно ниже, чем в фоновых почвах, – 25–30%.

Карбонаты в почвах западин выщелочены глубоко за пределы почвенного профиля, в то время как карбонатность – характерный признак покровных лёссовидных суглинков, являющихся почвообразующими породами на исследуемой территории. Глубокий вынос щелочно-земельных элементов определяет низкую насыщенность основаниями и кислую реакцию среды почв не только в элювиальной части профиля, но и на значительной глубине (см. рис. 2). Содержание же обменных оснований коррелирует с распределением в профиле глинистых частиц и минимально – в элювиальной части профиля.

Конкреции в элювозёмах. Чередование окислительных и восстановительных условий в циклах обводнения–иссушения, кислая реакция среды приводят к высвобождению элементов с переменной валентностью и накоплению их в конкрециях. Поскольку MnO_2 редуцируется при более высоком значении редокс-потенциала, чем $FeOOH$ [25], то его содержание в ортштейнах является показателем продолжительности восстановительных условий в исследованном ряду элювозёмов. Увеличение отношения Fe/Mn в ортштейнах (коэффициент заболоченности) характеризует повышение степени гидроморфизма дерново-подзолистых поверхностно переувлажненных почв [24].

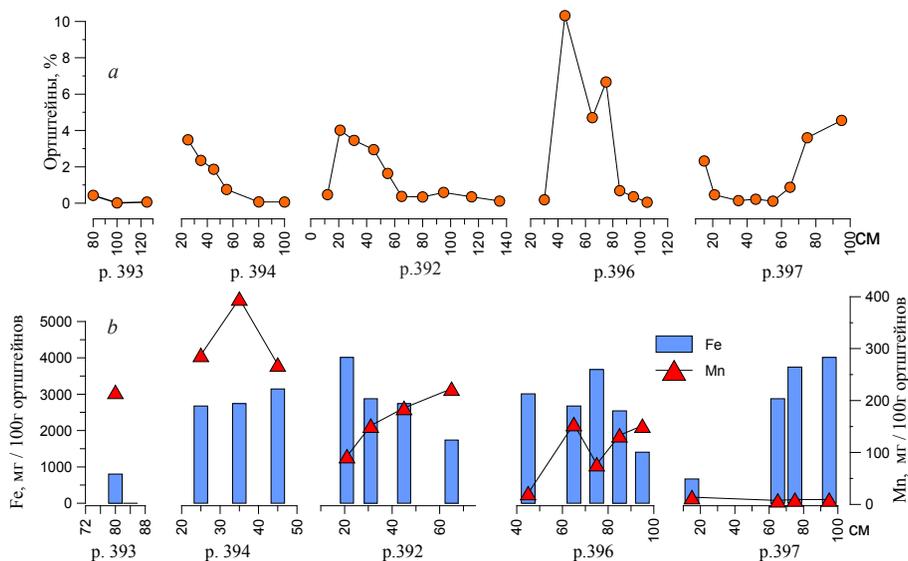


Рис. 4. Распределение конкреций в горизонтах почв (а); содержание Fe и Mn в конкрециях (b)

[Fig. 4. Distribution of concretions in soil horizons (a); Fe and Mn content in concretions (b). On the X axis - Profile, on the Y axis - Fe, mg/100 g Orsteins, on the Z axis - Mn, mg/100 g Orsteins]

Содержание и соотношение железа и марганца в конкрециях отражают различные зоны аккумуляции этих элементов в соответствии с их подвижностью в разных окислительно-восстановительных условиях; кроме того, они свидетельствуют о наличии признаков палеогидроморфизма, характерных для автономных западносибирских почв. Так, даже в темно-серой почве на глубине 80–130 см выделены очень мелкие бурые и черные неправильной формы стяжения (до 0,4%) с высоким содержанием марганца и относительно низким содержанием железа. В элювозёмах дерновом и метаморфическом максимальное содержание ортштейнов в элювиальной толще (3,5–4,0%) и постепенно снижается к переходным горизонтам (рис. 4, *a*). Вверху конкреции округлой формы, бурые, светло-бурые, книзу увеличивается доля мелких неправильной формы глянцево-черных. Содержание железа и марганца в ортштейнах элювозёма дернового с глубиной не изменяется (см. рис. 4, *b*), при этом количество марганца в них самое высокое (290–400 мг / 100 г), что свидетельствует о более стабильной окислительной обстановке в неглубоких западинах. Это подтверждается и низкой величиной коэффициента заболоченности (8–13). В элювозёме метаморфическом содержание железа в ортштейнах снижается к переходным горизонтам, а количество марганца относительно увеличивается, что соответствует усилению восстановительной обстановки в верхних горизонтах и смещению зоны аккумуляции марганца в более глубокие горизонты; коэффициент заболоченности составляет 17–50.

Высокое содержание ортштейнов (от 4 до 10%) в элювиальных и переходных горизонтах является диагностическим признаком и основанием для выделения элювозёмов конкреционных. В ортштейнах элювозёма перегнойно-глеевого конкреционного при достаточно высоком содержании железа доля марганца заметно снижается. Выделяются также зоны с различной аккумуляцией железа и марганца в ортштейнах, что может свидетельствовать о нестабильности увлажнения западины в разные климатические циклы и вторичной трансформации состава ортштейнов. Соответственно коэффициент заболоченности в ортштейнах разных зон изменяется от 22 до 160.

В элювозёмах глеевых вследствие длительного застойного увлажнения содержание конкреций в элювиальной части профиля очень низкое, основная часть их сосредоточена на глубине 60–100 см (3,0–4,5%). Элювозёмы глеевые отличаются не только более глубоким горизонтом формирования конкреций, но и их формой. Если в элювиальных горизонтах новообразования представлены округлыми конкрециями, то в глубоких глеевых – трубчатыми, формирующимися на глубоком окислительном барьере в порах и ходах давно отмерших корней. В конкрециях элювозёма глеевого содержится мало марганца, соответственно коэффициент заболоченности возрастает до 500. Разная продолжительность восстановительной обстановки в ряду элювозёмов приводит к большей или меньшей аккумуляции марганца и железа в составе ортштейнов и дифференциации марганца в ортштейнах разных частей профиля. Ортштейнообразование, таким образом, играет значительную

роль в генезисе элювозёмов, так как в полной мере отражает соотношение окислительного и восстановительного периодов, а исходные лёссовидные суглинки содержат достаточный ресурс доступного для восстановления железа и марганца.

Соотношение различных форм соединений железа в пределах одного горизонта, их накопление или перераспределение по профилю, условия восстановления из силикатов выполняют диагностическую роль для выявления элементарных процессов почвообразования [25, 29]. Содержание валового железа в почвообразующей породе фоновых почв междуречья составило 5,4–5,6% и согласно элювиально-иллювиальному распределению снижается в верхних горизонтах темно-серых почв до 4,8%, в серых – до 4,6%, а в элювозёмах – до 3,8%. Доля несиликатных форм соединений железа от валового (Fe дит / Fe вал) составляет для всех исследованных почв 0,33–0,37, что указывает на слабую степень оксидогенеза [30]. Изученные почвы относятся к группе с умеренно низким содержанием дитионитрастворимого железа [22, 31], поскольку содержание Fe дит не превышает 2%.

Темно-серая почва имеет слабый аккумулятивный тип распределения свободного железа (Fe дит): накопление в верхней части профиля выражено за счет аморфных форм соединений железа (Fe окс) с преобладанием железа, связанного с органическим веществом (Fe пир). Согласно новой интерпретации химически экстрагируемых соединений железа [23] в автоморфных почвах содержание оксалаторастворимых соединений следует рассматривать как количество железа (III), способного к образованию комплексов с активными органическими лигандами. Для их образования в темно-серой почве содержится достаточное количество углерода (рис. 5, С пир). Однако при низком содержании С пир в серой почве содержание Fe окс лишь незначительно меньше, а доля Fe окс от Fe дит остается в тех же невысоких пределах значений (0,32–0,34). В элювозёме дерновом, содержащем достаточное количество органического вещества, но существующем в условиях временного переувлажнения, проявляются благоприятные условия для накопления в верхних горизонтах Fe окс за счет как неорганических, так и аморфных форм.

Совершенно иное соотношение форм соединений железа в элювиальных горизонтах, а также и их перераспределение по профилю в ряду увеличения увлажнения элювозёмов. Характерное для элювиальных процессов обеднение верхней толщи Fe дит резко усиливается с нарастанием оглеения, и резко проявляются максимумы его накопления, соответствующие зонам наибольшей аккумуляции ортштейнов. Вместе с тем такой характер распределения свободного железа обусловлен разной аккумуляцией аморфных форм (Fe окс) железа и изменением соотношения окристаллизованных форм железа. Если содержание последних практически не изменяется по профилю автоморфных почв, то обеднение элювиальной толщи элювозёмов окристаллизованными формами железа усиливается в ряду усиления оглеения и

наиболее глубоко проявляется в срединной части профиля элювозёма глеевого. Обезжелезнение почвенной массы свидетельствует о восстановительной обстановке, благоприятствующей образованию закисного железа и его выносу. При преобладании восстановительных условий над окислительными в периодически глеевой обстановке не происходит кристаллизации свободных оксидов и гидроксилов, а идет интенсивное образование аморфных форм железа с последующим выносом. В то же время распределение и количество аморфных форм соединений железа хорошо согласуются с распределением в профиле ортштейнов – с увеличением количества ортштейнов увеличивается и количество аморфного железа, причем за счет неорганических аморфных форм.

Почвы различаются по содержанию оксалаторастворимого железа. Согласно рассчитанному коэффициенту Швертманна (отношение Fe окс : Fe дит) доля аморфных форм соединений железа от несиликатных очень высока в элювиальной части профилей всех элювозёмов (от 0,6 до 0,8) и возрастает с увеличением степени гидроморфизма. Отношение рассматривается как показатель гидроморфизма при выделении глееоселей, однако оно отражает степень оглеения не во всех условиях переувлажнения, так как остается низким в унаследованных глеевых горизонтах или при промывном режиме почв [23]. В исследованном ряду элювозёмов при застойном периодически поверхностном увлажнении величина отношения высокая в верхних горизонтах элювозёмов дерновых и метаморфических (0,60–0,82) и умеренно высокая во всем профиле конкреционных и глеевых элювозёмов (0,51–0,89). Однако в случае очень высоких значений критерия Швертмана ($>0,9$) выражается сомнение в аддитивности вытяжек в данной почве, поскольку оно может быть связано с каталитическим действием Fe(II) на растворение частиц Fe(III) при оксалатной обработке. Поэтому отношение в большей степени свидетельствует о восстановительной обстановке и выносе образованного закисного железа. Вместе с тем в исследуемых элювозёмах высокие значения коэффициентов хорошо увязываются с переменной окислительно-восстановительной обстановкой, которую диагностируют и соответствующие пики содержания ортштейнов. Максимумы накопления аморфных форм соединений железа в глеевом элювозёме смещаются в глубокие горизонты.

Сравнивая данные по формам железа фоновой серой почвы с элювозёмом дерновым, отметим, что их существенное различие обусловлено характером распределения слабокристаллизованных форм железа по профилю – обеднением ими элювиальных горизонтов, усиливающимся в ряду нарастания оглеения. В серых оподзоленных, а также и дерново-подзолистых почвах междуречья напротив, элювиальные горизонты лишь в небольшой степени обеднены слабокристаллизованными формами железа, что и характеризует верхние горизонты автоморфных почв как подзолистые, а элювозёмов – как элювиальные и элювиально-глеевые.

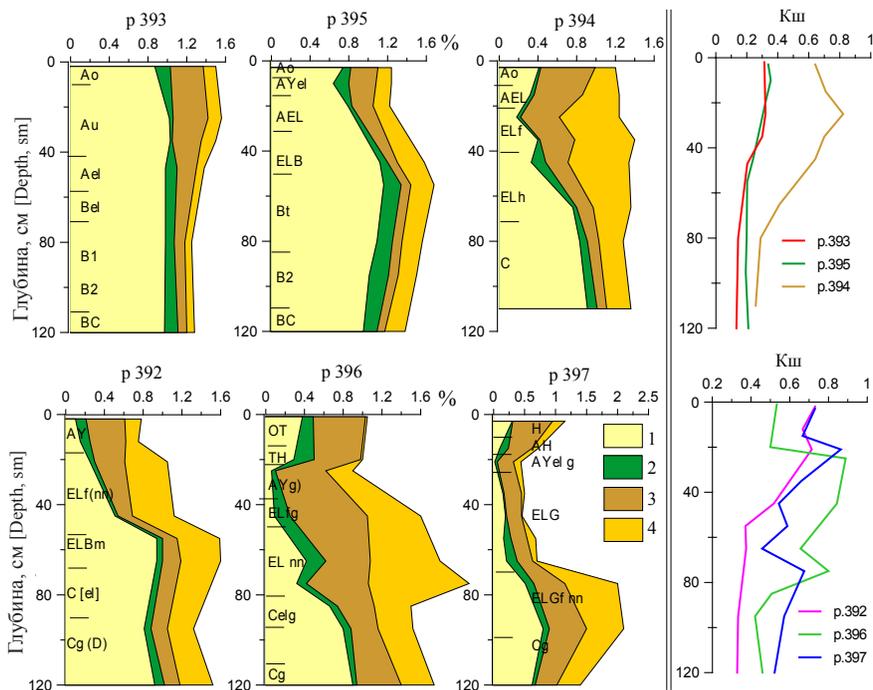


Рис. 5. Содержание несиликатных форм соединений железа и коэффициент Швертманна (Кш) в серых почвах и элювозёмах: 1 – Fe слок; 2 – Fe сок; 3 – Fe пир; 4 – Fe а; вся заштрихованная область – свободное (Fe дит) железо

[Fig. 5. Content of non-silicate forms of iron and Schwertmann's coefficient (Kш) in the studied grey soils and eluvozems. 1 - Fe weak crystalline; 2 - Fe strong crystalline; 3 - Fe organic amorphous; 4 - Fe a inorganic amorphous iron; all shaded area - Free iron (Fe d)

Типы распределения аморфных форм соединений железа указывают на различные окислительно-восстановительные условия в изученных почвах, что является причиной различий в подвижности железа и его накопления в ортштейнах. Последние образуются в условиях сезонного поверхностного увлажнения и достаточно ограниченного выноса железа при быстрой сработке талых вод и длительного периода иссушения. Содержание и профильное распределение форм соединений железа отражают проявление ведущих процессов в элювозёмах: поверхностное оглеение, сегрегация, глеевое обезжелезнение.

Проведенные исследования показали, что надежным диагностическим критерием выделения разных типов элювозёмов является: 1) формирование на поверхности органогенных горизонтов; 2) форма перехода элювиального горизонта к подстилающей породе суффозионно-просадочного генезиса; 3) распределение и состав ортштейнов; 4) формы соединений железа, соответствующие проявлению различия условий водного режима.

Почвы мелких западин – элювозёмы дерновые – можно рассматривать как одну из начальных стадий развития элювозёмов с небольшим по мощности гумусово-аккумулятивным горизонтом. Морфологически элювиальный горизонт в них не имеет резко выраженной белесой окраски, но характеризуется таким же значительным и глубоким элювиальным обеднением илистой фракцией, обменными катионами, кислой реакцией среды, как и в других исследованных элювозёмах. Однако в элювозёмах дерновых меньше ортштейнов, они сосредоточены близко к поверхности, содержат много оксидов марганца; свободное железо накапливается в верхней части элювиальной толщи почв.

Элювоземы метаморфические формируются в западинах в зоне свободного латерального оттока продуктов педогенеза по поверхности литологического барьера. Диагностическим для их выделения является небольшой по мощности метаморфический горизонт – зона растрескивания и переорганизации в циклах иссушения–увлажнения суффозионно-текстурного горизонта. Здесь уже гумусовый горизонт полностью замещается элювиальным, содержание ортштейнов увеличивается, снижается в них содержание оксидов марганца. С увеличением размеров и оформлением плоского днища западины латеральный отток влаги замедляется, а контрастность окислительно-восстановительных условий в сезонных и климатических циклах повышается. В центрах таких западин и по периферии плоского днища создаются условия для активизации сегрегационных процессов. В формирующихся конкреционных элювозёмах содержание ортштейнов может достигать более 10%. Природа элювиального горизонта таких почв в большей степени сегрегационно-отбеленная: ортштейны разных размеров и состава равномерно распределены во всей его толще. Элювозёмы глеевые завершают ряд элювиальных почв западин, в которых проявляется контрастный режим иссушения–увлажнения. Глееобразование становится ведущим почвообразующим процессом и сопровождается обезжелезнением верхней толщи, трансформацией новообразований, резко обедненных оксидами марганца, что свидетельствует о продолжительности восстановительных условий.

Глееобразование и аккумуляция перегной сменяются в западинах застойного увлажнения накоплением грубого органического вещества с остатками древесины, насыщенного влагой иловато-перегнойных горизонтов под ивняковыми, сабельниково-ивняковыми зарослями, и последующим переходом их в заболоченные сообщества. В колочных западинах постоянного избыточного увлажнения при увеличении их размеров формируются мезотрофные болота с торфяными низинными почвами с мощностью торфа 100–120 см. Мелкие понижения на пашне не пригодны для посевов, поскольку сформированный в них водоупор способствует поверхностному переувлажнению почв весной и вымоканию посевов.

Заключение

Почвы западин Обь-Томского междуречья формируются под влиянием переувлажнения поверхностными водами. В зависимости от размеров водосборной площади западин, возможности сброса приточно-поверхностной влаги и скорости ее сработки формируются разные типы временных гидрологических режимов и соответствующие им комплексы почв. Почвенный покров западин разной глубины и размеров представлен рядом почв с последовательным развитием элювиального горизонта и его трансформацией в глеевый. Элювиальное оглеение, латеральный вынос продуктов педогенеза и сегрегационное отбеливание обусловили формирование палево-белесых элювиальных горизонтов значительной (60–70 см) мощности. В соответствии с Классификацией почв России почвы отнесены к отделу элювиальных.

Литература

1. Мильков Ф.Н. Роль суффозии в развитии рельефа юга Рязанской области // Учен. зап. МГУ. 1946. Вып. 119, кн. 2. С. 75–99.
2. Занин Г.В. О происхождении западин Окско-Донской равнины // Труды Ин-та географии АН СССР. 1952. Вып. 54. С. 44–51.
3. Герасимов И.П., Зонн С.В. Подзол и глей; лессиве, псевдоглей и псевдоподзол: к приоритету генетических понятий // Почвоведение. 1971. № 8. С. 118–129.
4. Зонн С.В. Генетические особенности буроземообразования и псевдоподзоливания // Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах Русской равнины. М. : Наука, 1974. С. 9–76.
5. Duchafour P. Pedology: pedogenesis and classification. London : George Allen and Unwin, 1982. 448 p.
6. Driessen P.M., Dudal R. The major soils of the world. Lecture notes on their geography, formation, properties and use. 1991. Belgium : Wageningen University, The Netherlands and Katholieke Universiteit Leuven, 310 p.
7. Базилевич Н.И. Лесостепные солоды. М. : Наука, 1967. 96 с.
8. Ахтырцев Б.П. Особенности почв западин Среднерусской возвышенности и Тамбовской равнины // Почвоведение. 1974. № 9. С. 14–26.
9. Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М. : Изд. МГУ, 1998. 316 с.
10. Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П., Гинзбург Т.М. Генезис, гидрология и свойства переувлажненных поверхностными водами почв мезопонижий севера Рязанской лесостепи // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1029–1040.
11. Попов Т.И. Происхождение и развитие осинового куста в пределах Воронежской губернии // Труды Докучаевского почвенного комитета. 1914. Вып. 2. 172 с.
12. Почвенная карта мира. Рим : ООН, ФАО-ЮНЕСКО, 1990. 136 с.
13. Почвенная номенклатура и корреляция / сост. П.В. Красильников. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 1999. 435 с.
14. Почвенный справочник / пер. с фр. И.В. Ковда. Смоленск : Ойкумена, 2000. 484 с.
15. Таргульян В.О., Герасимова М.И. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов: основа международной классификации и корреляции почв. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2007. 278 с.

16. *World reference base for soils resources framework for international classification, correlation and communication.* FOOD and Agricultural Organization of the United National. Rome, 2006. 128 p.
17. *Классификация и диагностика почв России.* Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
18. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Почвы Обь-Томского междуречья // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 3 (15). С. 16–8.
19. Чернова Н.А., Пологова Н.Н. Фитоценотическое разнообразие осиново-березовых колков Обь-Томского междуречья // Материалы международной конференции «Биогеоценология и ландшафтная экология: итоги и перспективы», посвящ. памяти Ю.А. Львова. Томск, 2012. С. 296–300.
20. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
21. *Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой.* М. : ГЕОС, 2006. 400 с.
22. Зонн С.В. Железо в почвах. М. : Наука, 1982. 208 с.
23. Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А. Дискуссионные вопросы интерпретации результатов химической экстракции соединений железа из почв // Почвоведение. 2014. № 6. С. 697–704.
24. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2001. 216 с.
25. Водяницкий Ю.Н. Диагностика переувлажненных минеральных почв // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. М., 2008. 143 с.
26. Дюкарев А.Г. Ландшафтно-динамические аспекты таёжного почвообразования в Западной Сибири. Томск : Изд-во НТЛ, 2005. 284 с.
27. Корсунов В.М., Орлов А.Д. Агрофизические свойства глубокоподзолённых почв Салаира и их противоэрозионная устойчивость // Водная эрозия почв Сибири. Новосибирск : Наука, 1975. С. 144–151.
28. Степанцова Л.В., Волохина В.П. Характеристика химических свойств темно-серых почв на двучленных отложениях Тамбовской области // Вестник ТГУ. 2012. Т. 17, вып. 2. С. 746–749.
29. Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А. Использование группового состава соединений железа для диагностики горных почв Среднего Урала // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 79. С. 111–136.
30. Водяницкий Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа. М. : Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева, 2002. 236 с.
31. Карманова Л.А. Общие закономерности соотношения и распределения форм железа в основных генетических типах почв // Почвоведение. 1978. № 7. С. 49–62.

*Поступила в редакцию 17.04.2016 г.; повторно 27.07.2016 г.;
принята 17.08.2016 г.; опубликована 21.09.2016 г.*

Авторский коллектив:

Дюкарев Анатолий Григорьевич – д-р геогр. наук, зав. отделением экологических исследований Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск).

E-mail: dag@imces.ru

Пологова Нина Николаевна – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории мониторинга лесных экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск).

E-mail: pologova@imces.ru

Dyukarev AG, Pologova NN. Eluvial soils of depressions at the Ob-Tom interfluvium (the subtaiga zone of Western Siberia). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2016;3(35):6-25. doi: 10.17223/19988591/35/1 In Russian, English summary

Anatoly G. Dyukarev, Nina N. Pologova

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

Eluvial soils of depressions at the Ob-Tom interfluvium (the subtaiga zone of Western Siberia)

Closed depressions are widespread on plains composed of loess loam in different natural zones. Questions of genesis and classification of soils with light-colored acid eluvial horizons formed in depressions are still discussed. These soils cannot be identified as solchaks due to the absence of carbonates or as podsolchaks due to the lack of illuvial horizon. Our article is devoted to the study of eluvial soils in depressions in the area between the Ob' and Tom' rivers (Tomsk Region, Russia). According to the Russian soil classification, the studied soils of depressions with light acid eluvial horizons and a sharp boundary of transition to bedrock were assigned to a great group of eluvial soils - eluvozems. Our aim was to clarify the characteristics of soils and their diagnostics.

We studied soils in depressions typical of the territory, differing in size and duration of water stagnation. We established that modern processes in eluvozems take place against the background of deep lithogenic differentiation of the soil profile, acquired during the previous suffusion-subsidence stage of the depression formation. The soil of small depressions (sod eluvozems) can be considered as one of the initial stages of eluvozem development. The eluvial horizon is not absolutely light-colored, but in contrast to background grey soils, it is characterized by deep eluvial silt depletion, removal of exchangeable cations and acidic pH. The diagnostic feature is the accumulation of free iron and ortsteins with a high content of manganese oxides in the upper part of the eluvial profile.

Metamorphic eluvozems are formed in depressions with a flat bottom in the zone of free lateral outflow of pedogenesis products on the lithologic barrier surface. The diagnostic feature for their selection is a small metamorphic horizon that characterizes the transition zone of cracking of the suffusion-textural horizon during desiccation-wetting cycles. The humus horizon is substituted by an eluvial one, and ortstein content increases in the middle of the eluvial profile up to 2-4g per 100g of soil.

Concretionary eluvozems are formed with an increase in the depression size, stagnant-percolating moisture regime and, correspondingly, redox conditions. Ortstein content reaches 10-12g per 100g, and manganese oxide (MnO) content in their composition reduces. The maximum content of free iron corresponds to horizons with high content of concretions. The eluvial horizon is diagnosed as segregation-bleached. Gley formation is the leading soil process in long-term moisture depressions. Gley eluvozems are characterized by deep removal of free iron and sharp depletion of concretions by manganese oxides, indicating the duration of reductive conditions.

Depressions occupied by aspen-birch forest patches play an important role in biodiversity conservation. Ploughed small depressions are unsuitable for crops since the formed aquitard causes spring stagnation of snowmelt waters and surface waterlogging.

Acknowledgments: This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No 12-04-01154-a).

The article contains 5 Figures, 1 Table, 31 References.

Key words: closed depressions; eluvozem; eluvial gleying; iron oxides.

References

1. Mil'kov FN. Rol' suffozii v razvitiy rel'efa yuga Ryazanskoj oblasti [The role of suffusion in the terrain development of the south of Ryazan oblast]. *Uchenie Zapiski Moscow State University*. 1946;119(2):75-99. In Russian
2. Zanin GV. O proiskhozhdenii zapadin Oksko-Donskoj ravniny [On the origin of depressions of the Oka-Don plain]. *Trudy instituta geografii AN SSSR – Proceedings of the Institute of Geography of the AS of the USSR*. 1952;54:44-51. In Russian
3. Gerasimov IP, Zonn SV. Podzol i gley; lessive, psevdogley i psevdopodzol: k prioritetu geneticheskikh ponyatiy [Podsol and gley; lessive, pseudogley and pseudopodzol: on the priority of genetic concepts]. *Pochvovedenie*. 1971;8:118-129. In Russian
4. Zonn SV. Geneticheskie osobennosti burozemoobrazovaniya i psevdopodzolizovaniya [Genetic features of burozem formation and pseudopodzolization]. In: *Burozemoobrazovanie i psevdopodzolizovanie v pochvakh Russkoj ravniny* [Burozem formation and pseudopodzolization in soils of the Russian plain]. Moscow: Nauka Publ.; 1974. pp. 9-76. In Russian
5. Duchafour P. Pedology: pedogenesis and classification. London: George Allen and Unwin; 1982. 448 p.
6. Driessen PM, Dudal R. The major soils of the world. Lecture notes on their geography, formation, properties and use. Belgium: Wageningen University, The Netherlands and Katholieke Universiteit Leuven; 1991. 310 pp.
7. Bazilevich NI. Lesostepnye solodi [Forest-steppe solods]. Moscow: Nauka Publ.; 1967. 96 p. In Russian
8. Akhtyrtsev BP. Osobennosti pochv zapadin Srednerusskoj vozvyshechnosti i Tambovskoy ravniny [Soil characteristics of depressions of the Central Russian Upland and the Tambov Plain]. *Pochvovedenie*. 1974;9:14-26. In Russian
9. Zaydel'man FR. Protseess gleeobrazovaniya i ego rol' v formirovanii pochv [Process of gley formation and its role in soil formation]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1998. 316 p. In Russian
10. Zaydel'man FR, Shvarov AP, Ginzburg TM. Genesis, hydrology, and properties of soils in mesodepressions waterlogged by surface water in the northern Ryazan forest-steppe. *Eurasian Soil Science*. 2007;40(9):917-927. doi: [10.1134/S1064229307090013](https://doi.org/10.1134/S1064229307090013)
11. Popov TI. Proiskhozhdenie i razvitiye osinovykh kustov v predelakh Voronezhskoy gubernii [The origin and development of aspen bushes within the province of Voronezh]. *Trudy Dokuchaevskogo Pochvennogo Komiteta – Proceedings of Dokuchaev Soil Committee*. 1914;2:1-172. In Russian
12. *Soil map of the world*. FAO-UNESCO-ISRIC. Revised Legend. *World Soil Resources Report 60*. Rome: FAO; 1990. 136 p.
13. Pochvennaya nomenklatura i korrelyatsiya [Soil nomenclature and correlation]. Krasil'nikov PV, editor. Petrozavodsk: KarNTs RAN Publ.; 1999. 435 p. In Russian
14. *Referentiel pedologique*. Kovda IV, translated from French. Gerasimova MI, editor. Smolensk: Oykumena Publ.; 2000. 484 p. In Russian
15. Targul'yan VO, Gerasimova MI. Mirovaya korrelyativnaya baza pochvennykh resursov: osnova mezhdunarodnoy klassifikatsii i korrelyatsii pochv [World correlative base of soil resources: the basis of the international soil classification and correlation]. Moscow: Publishing House KMK; 2007. 278 p. In Russian
16. *World reference base for soils resources: A framework for international classification, correlation and communication*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2006. 128 p.
17. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia]. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI, editors. Smolensk: Oykumena Publ.; 2004. 342 p. In Russian

18. Dyukarev AG, Pologova NN. Soils of Ob-Tom interfluve. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2011;3(15):16-37. In Russian, English summary
19. Chernova NA, Pologova NN. Fitotsenoticheskoe raznoobrazie osinovo-berezovykh kolkov Ob'-Tomskogo mezhdurech'ya [Phytocenotic diversity of aspen-birch patches of the Ob-Tom interfluve]. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii «Biogeotsenologiya i landshaftnaya ekologiya: itogi i perspektivy» [Biogeocenology and landscape ecology: results and prospects in the memory. Proc. of the Int. Conf.]*. Tomsk: Tomsk State University Publ.; 2012. pp. 296-300. In Russian
20. Arinushkina EV. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [Guidance on chemical analysis of soils]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1970. 487 p. In Russian
21. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv [Theory and practice of soil chemical analysis]*. Vorob'eva LA, editor. Moscow: GEOS Publ.; 2006. 400 p. In Russian
22. Zonn SV. Zhelezo v pochvakh [Iron in soils]. Moscow: Nauka Publ.; 1982. 208 p. In Russian
23. Vodyanitskiy YuN, Shoba SA. Disputable issues in interpreting the results of chemical extraction of iron compounds from soils. *Eurasian Soil Science*. 2014;47(6):573-580. doi: [10.1134/S106422931406009X](https://doi.org/10.1134/S106422931406009X)
24. Zaydel'man FR, Nikiforova AS. Genesis i diagnosticheskoe znachenie novoobrazovaniy pochv lesnoy i lesostepnoy zon [Genesis and diagnostic significance of new soil formations in forest and forest-steppe zones]. Moscow: Moscow State University Publ.; 2001. 216 p. In Russian
25. Vodyanitskiy YuN. Diagnostika pereuvlazhnennykh mineral'nykh pochv [Diagnostics of waterlogged mineral soils]. *Trydi Pochvennogo Institytata imeni VV Dokuchaeva – Proceedings of VV Dokuchaev Soil Science Institute*. 2008;1-143. In Russian
26. Dyukarev AG. Landshaftno-dinamicheskie aspekty taezhnogo pochvoobrazovaniya v Zapadnoy Sibiri [Landscape and dynamic aspects of taiga soil formation in Western Siberia]. Tomsk: NTL Publ.; 2005. 284 p. In Russian
27. Korsunov VM, Orlov AD. Agrofizicheskie svoystva glubokoopodzolennykh pochv Salaira i ikh protiverozionnaya ustoychivost' [Agrophysical properties of deeply podsolized soils of Salair and their antierosion stability]. In: *Vodnaya eroziya pochv Sibiri [Water erosion of soils in Siberia]*. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1975. pp. 144-151. In Russian
28. Stepantsova LV, Volokhina VP. Characteristic of chemical properties of dark grey soils on two-layer adjournment of Tambov region. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. 2012;2:746-749. In Russian, English Summary
29. Samofalova IA, Rogova OB, Luzyanina OA. The use of group composition of iron compounds for diagnostics of mountain soils in the Middle Urals. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni VV Dokuchaeva*. 2015;79:111-136. In Russian, English Summary
30. Vodyanitskiy YuN. Khimiya i mineralogiya pochvennogo zheleza [Chemistry and mineralogy of the soil iron]. *Trydi Pochvennogo Institytata imeni VV Dokuchaeva – Proceedings of VV Dokuchaev Soil Science Institute*. 2002;1-236. In Russian
31. Karmanova LA. Obshchie zakonomernosti sootnosheniya i raspredeleniya form zheleza v osnovnykh geneticheskikh tipakh pochv [General patterns of correlation and distribution of iron forms in the main genetic soil types]. *Pochvovedenie*. 1978;7:49-62. In Russian

Received 17 April 2016; Revised 27 July 2016;

Accepted 17 August 2016; Published 21 September 2016

Author info:

Dyukarev Anatoly G, Dr. Sci. (Geogr.), Head of the Department of Monitoring of Forest Ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3 Akademicheskoy Ave, Tomsk 634055, Russian Federation.

E-mail: dag@imces.ru

Pologova Nina N, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Monitoring of Forest Ecosystems, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 10/3 Akademicheskoy Ave, Tomsk 634055, Russian Federation.

E-mail: pologova@imces.ru