

УДК 631.41

doi: 10.17223/19988591/20/3

О.А. Некрасова, А.П. Учаев

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург)*

ГУМУС ПОГРЕБЕННЫХ ГУМУСОВЫХ ГОРИЗОНТОВ ПОЧВ РАЗНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ
(договор № 11.G34.31.0064).

В сравнительном плане изучались почвы с погребенными гумусовыми горизонтами, формирующиеся в различных биоклиматических условиях. Сравнивались разные формы почвенной кислотности, значения магнитной восприимчивости, содержание углерода, групповой и фракционный состав гумуса и спектральные характеристики гуминовых кислот. Выявлены черты сходства и различий погребенных гумусовых горизонтов, а также дается характеристика реконструированных биоклиматических условий периода их активного функционирования. Полученные материалы по морфологическим, физико-химическим свойствам, а также составу гумуса, свойствам гуминовых кислот современных и погребенных почв могут быть использованы для прогноза поведения природной среды при глобальных и региональных изменениях климата, а также при решении научных проблем почвоведения и экологии, связанных с эволюцией ландшафтов и прогнозов их поведения при изменении природной обстановки.

Ключевые слова: органическое вещество; гумус; гуминовые кислоты; погребенные горизонты; характеристики палеоприродной среды.

Введение

Прогноз изменения климата представляет собой одну из важнейших проблем современного общества. Построение прогнозных моделей всегда основывается на данных о развитии процесса (явления) в прошлом и его современном состоянии. Следовательно, обоснованность перспективных изменений климата невозможна без ретроспективного анализа, т.е. проведения палеоклиматических реконструкций для разных временных отрезков на различных территориях. Для этого изучаются разные компоненты природы, сохраняющие информацию о времени своего формирования, к которым относятся прежде всего почвы, являющиеся памятью экосистем и ландшафтов [1].

Почвы и отдельные почвенные компоненты в своем составе и свойствах отражают особенности условий формирования и в течение длительного времени хранят об этом информацию. Почва, являясь памятью ландшафта, записывает информацию о смене условий в течение всего периода формирования в своем профиле и свойствах отдельных компонентов, часть которой сохраняется во времени.

Среди почвенных компонентов, формирующих память почв, выделяется гумус, или система гумусовых веществ. Состав, структура и свойства компонентов этой системы и их соотношение обусловлены сочетанием тепла и влаги независимо от времени их формирования. Знание специфики разных характеристик гумуса в погребенных почвах позволяет воссоздавать климатические (биоклиматические) и ландшафтные обстановки прошлого [2].

Материалы и методики исследования

Исследования производились в Тюменской области, в 100 км от г. Тобольска вниз по течению р. Иртыш в Западной Сибири (первый ключевой участок) и в Свердловской области на Среднем Урале в районе слияния рек Сысерть и Исеть (второй ключевой участок).

Сравнение климатических условий формирования почв показало, что среднегодовая температура воздуха на первом ключевом участке составляет 0°C , среднесуточная температура самого холодного месяца достигает $-21,7^{\circ}\text{C}$, самого жаркого месяца $+22,3^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая сумма выпадающих осадков достигает 470–480 мм/год, из них большая часть приходится на теплый период. Число дней с осадками составляет 160–170, продолжительность периода с устойчивым снежным покровом – 165 дней, среднемноголетняя глубина промерзания почвы – 106 см, наибольшая – 165 см.

На втором ключевом участке по данным близлежащих метеостанций средняя температура июля составляет $+17,2^{\circ}\text{C}$, января – минус $16,2^{\circ}\text{C}$, среднегодовая температура $0,8^{\circ}\text{C}$, сумма температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ – 1754° . Осадки (500–510 мм в год) на территорию района поступают преимущественно с атлантическими воздушными массами. Гидротермический коэффициент изменяется в пределах от 1,4 до 1,6 [3].

Таким образом, формирование почв в Тобольском районе происходит в более континентальных условиях и находится под воздействием меньшего количества осадков. Объектами исследования являлись в Западной Сибири погребенные гумусовые горизонты, расположенные в суглинистых лёссовидных отложениях на плоской верхней части 30-метрового коренного берега под березовым лесом (разрез 7–07), на Среднем Урале – в пойменных отложениях р. Сысерть под луговым сообществом (разрез 20–010).

Образцы почв отбирались на каждом участке из разреза и прикопок подробно, послойно, каждые 5–10 см в пределах видимых горизонтов (для погребенных гумусовых горизонтов – в 2–3 повторностях) и подготавливались к анализу по стандартной методике. Значения магнитной восприимчивости определялись на капнометре Кappabrig KLY-2 (Чехия, Brno Geofyzica), pH водной и солевой вытяжки измерялись pH-метром «АНИОН 4100» (Россия, ООО НПП «Инфраспек-Аналит»), общий углерод определялся по Тюрину, групповой и фракционный состав гумуса – методом Пономаревой–Плотниковой [4]. Оптические плотности гуминовых кислот снимались на спектрофотометре UV-1650 (Япония, Shimadzu). Статистическая обработка по-

лученных данных проводилась с помощью программы StatSoft STATISTICA 6.0. Графики построены в программе Excel 2003, гумусовые профили – в программе Origin 7.5. Результаты исследования представлены в виде средней арифметической со стандартным отклонением.

Результаты исследования и обсуждение

Морфологические характеристики (рис. 1) почвы под березовым лесом (разрез 7–07) показывают наличие в профиле почвы на глубине 30–60 см второго погребенного реликтового легкосуглинистого горизонта, с относительно сохранившейся структурой, не вскипающего от HCl, имеющего языковатую нижнюю границу.

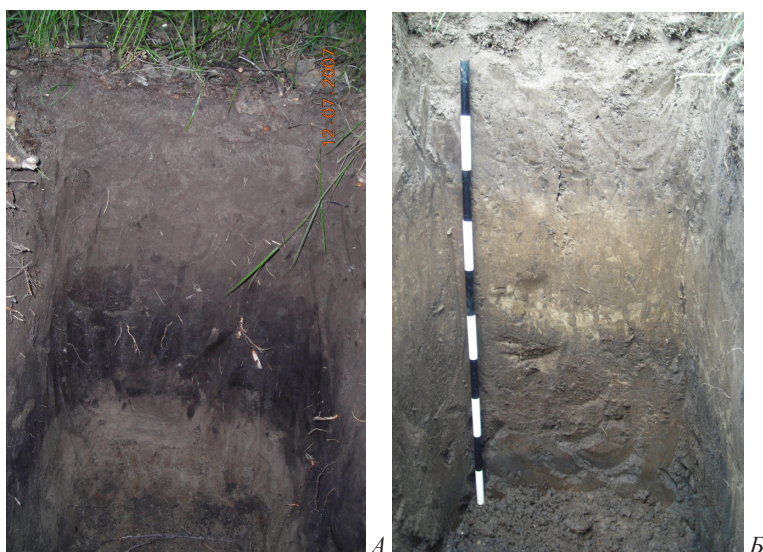


Рис. 1. Почвенный профиль разреза 7–07 (А) и разреза 20–010 (Б)

A_0	0–2 см	Опад листьев, сухая трава, веточки деревьев.
$A_0A_{\text{пах.}}$	2–4 см	Буро-серый, структура пылеватая, рыхлая, переход ясный по содержанию корней, плотности и окраске, граница ровная.
$A_{\text{пах.}}$	4–33 см	Буро-серый, пластинчато-мелкокомковато-пылеватый легкий суглинок, включения корней диаметром 5 мм, переход заметный по плотности, с глубины 12 см становится более плотным. На глубине 23–33 см много гумусовых пятен диаметром 10 мм, переход резкий по окраске, граница неровная.
[A]	33–54(60) см	Темно-серый со светло-серыми пятнами средне-мелкокомковатый легкий суглинок, включения корней от 1 до 7 мм, переход резкий по окраске, граница языковатая.
[B]	54–61 см	Горизонт из гумусовых языков (темно-серых) и заклинов (буро-серых), структура пластинчатая, легкий суглинок, корни отсутствуют, граница по гумусовым языкам.
[BC]	61–80 см	Буро-серый мелкокомковатый легкий суглинок.

В целом морфологическое описание позволяет отметить следующие черты разных горизонтов этой почвы. Верхняя толща (33 см), вероятно, представляет собой некогда пахавшуюся часть почвы, заросшую впоследствии березовым лесом около 60 лет назад. Морфологических признаков элювиального процесса, характерного для лесных почв Западной Сибири, не обнаружено. Нижняя толща представляет собой погребенную почву, сформировавшуюся в биоклиматических условиях, отличающихся от современных. Об этом свидетельствует наличие мощного гумусового горизонта с четко выраженными гумусовыми затеками. Наличие в нижней части современного гумусового горизонта (глубина 23–33 см) многочисленных более темных пятен может быть связано с припахиванием погребенного гумусового горизонта и частичным его перемешиванием с пахотной толщей. Таким образом, почва под березовым лесом имеет полигенетичное строение: нижняя толща представляет собой древнюю частично распаханную почву, предположительно среднеголоценового возраста, верхняя часть – бывшая пахотная почва, заросшая лесом.

В отличие от нее пойменная почва (разрез 20–010) имеет следующее морфологическое строение (см. рис. 1, Б):

A _д	0–6(9) см	Серый, рыхлый, с включениями мелких корней мелко-ореховатый легкий суглинок, переход по плотности и количеству корней ясный, граница волнистая.
A	6(9)–24 см	Серый, более плотный, с большим количеством мелких корней, мелкокомковато-плитчатый легкий суглинок, переход по окраске ясный, граница ровная.
[A]'	24–35 см	Темно-серый, влажный, плотный, с редкими корнями, пылевато-мелкокомковатый средний суглинок, переход по окраске и плотности резкий, граница волнистая.
[B]'	35–49 см	Серо-бурый, влажный, с очень редкими корнями, структура плитчато-пылеватая, средний суглинок, переход по окраске и плотности ясный, граница ровная.
[A]''	49–57(60) см	Буро-серый, плитчато-мелкокомковатый средний суглинок, переход по окраске и плотности ясный, граница карманная.
[B]''	57(60)–65(67) см	Палевая, бесструктурная, с буро-серыми пятнами (30%), супесь, переход по окраске и плотности ясный, граница волнистая.
[A] _г	65(67)–110 см	Сизо-серый, при подсыхании переходит в буро-темно-серый, влажный, мелкокомковато-плитчатый, средний суглинок.

Описанная почва имеет полигенетичное строение, проявляющееся в наличии трех погребенных гумусовых горизонтов, самым мощным из которых является горизонт [A]_г (65–110 см). Именно этот горизонт был изучен наиболее подробно. Почвенный покров речных пойм имеет сложное, порой мозаичное строение в связи с постоянным меандрированием речного русла и миграцией различных частей поймы. Отсюда широкое распространение по-

лициклических, погребенных почв [5]. Известно, что современным биоклиматическим условиям соответствует верхний почвенный слой мощностью 20–25 см [6]. Нижняя граница современного гумусового горизонта вскрытой почвы лежит в этих пределах и, как можно полагать, отражает в своих признаках и свойствах современные факторы почвообразования. Мощность самого нижнего погребенного гумусового горизонта составляет 43–45 см, что почти в 2 раза превышает таковую современного гумусового горизонта. Его окраска имеет сизый оттенок, свидетельствующий об оглеении. В сухом виде он имеет окраску темнее, чем горизонт А, гранулометрический состав более тяжелый по сравнению с современным гумусовым горизонтом [7]. Таким образом, горизонт $[A]_g$, отражающий наиболее длительный и интенсивный процесс гумусообразования в прошлом, предположительно, мог сформироваться в период оптимума голоцена с иным сочетанием факторов почвообразования, запечатленным в его толще.

Сравниваемые погребенные гумусовые горизонты, формирующиеся в почве Тобольского Прииртышья и поймы р. Сысерть, различаются областью значений рН (таблица) водной суспензии: кислая – в лесной почве и нейтральная – в пойменной, в то же время значения рН солевой суспензии составляют в них соответственно 4,7 и 4,9–5,0.

**Значение рН водной и солевой суспензии погребенных гумусовых горизонтов
Тобольского Прииртышья и поймы р. Сысерть**

Горизонт	Глубина, см	рН _{н2о}	рН _{кcl}
Лесная почва			
[А]	33–41	4,9	4,7
[А]	41–54	5,2	4,7
Пойменная почва			
$[A]_g$	65–75	6,5	5,0
$[A]_g$	75–85	6,5	4,9
$[A]_g$	85–95	6,5	4,9
$[A]_g$	95–110	6,5	5,0

В распределении общего органического углерода в почве под березовым лесом (рис. 2) имеется два максимума. Первый из них приурочен к пахотному горизонту и достигает 2,80% от почвенной массы, следующий – ко второму гумусовому горизонту и имеет близкое к предыдущему содержание органического углерода. В настоящее время установлено, что при исключении почвы из активного биологического круговорота содержание гумуса в ней падает, следовательно, в период своего функционирования древняя почва была более гумусирована, чем современная.

В распределении общего углерода в пойменной почве имеется несколько максимумов, все они приурочены к погребенным гумусовым горизонтам. Количество общего органического углерода в погребенном глеевом горизон-

те более чем в 2 раза ниже, чем в современном гумусовом горизонте, хотя его величина достигает 1,5%, и, как было сказано ранее, можно предполагать более высокое содержание гумуса в нем до погребения.

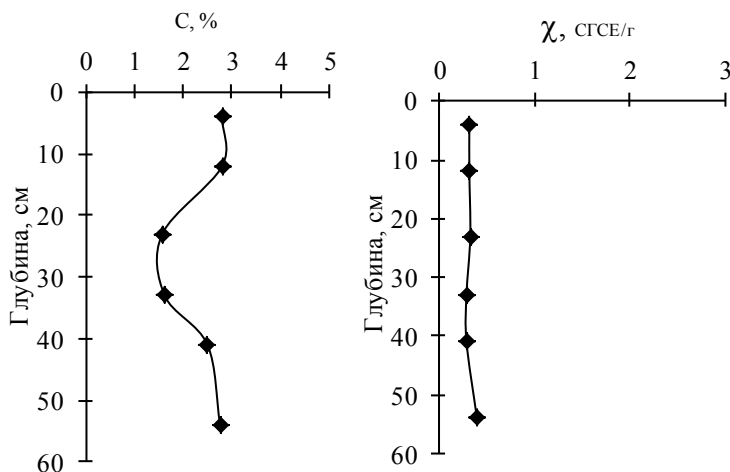


Рис. 2. Содержание общего органического углерода и значения магнитной восприимчивости в почве березового леса

Магнитная восприимчивость сравниваемых разрезов лежит в разных областях, корреляция с содержанием гумуса обнаруживается только в верхней части пойменной почвы (рис. 2, 3). Следовательно, различия магнитной восприимчивости связаны с почвообразующей породой: для почвы под березовым лесом это лёссовые, для поймы – аллювиальные отложения.

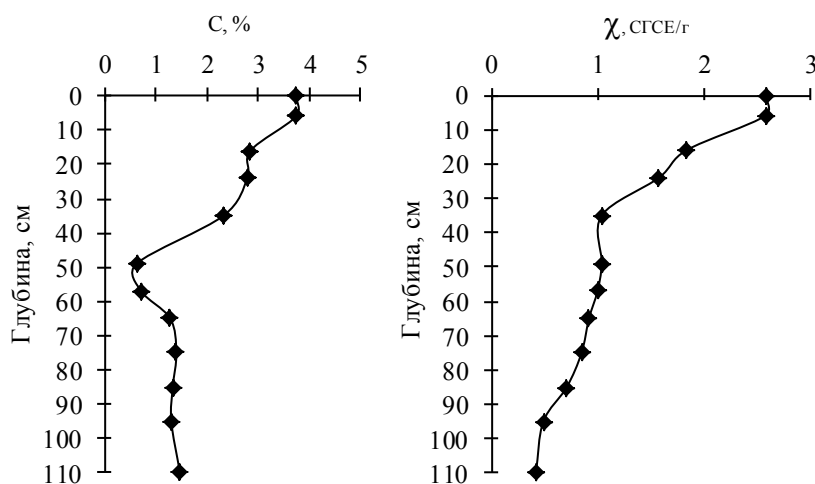


Рис. 3. Содержание общего органического углерода и значения магнитной восприимчивости в пойменной почве

В гумусовом профиле лесной почвы (рис. 4) по суммарному содержанию фульвокислот (ФК) и негидролизуемого остатка выделяются два этапа формирования. По суммарному содержанию гуминовых кислот (ГК) и отношению $C_{ГК}/C_{ФК}$ выявляется дополнительная зона, возможно обусловленная припахиванием погребенного гумусового горизонта и частичным включением его почвенной массы в современную пахотную, что подтверждается наличием в ней гумусовых пятен в морфологическом строении. Высокое содержание свободных и связанных с подвижными полуторными окислами ГК в погребенном гумусовом горизонте выявляет интенсивное протекание в нем гумусообразования, чему способствует обилие современных корней растений. Сравнение среднего содержания суммы гуминовых кислот в пахотном и погребенном горизонтах выявило более низкие значения данного показателя в первом ($29,87 \pm 9,11\%$) по сравнению со вторым ($56,85 \pm 12,42\%$).

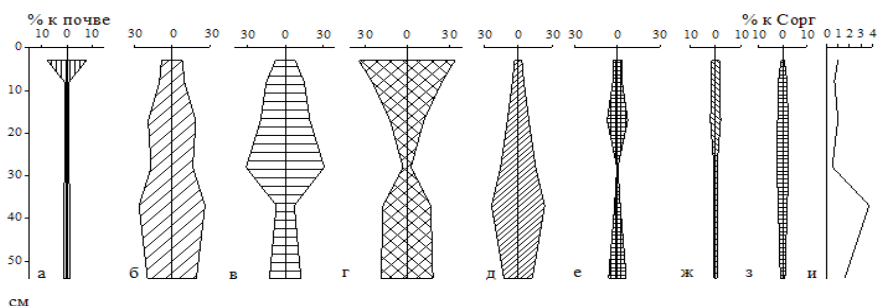


Рис. 4. Гумусовый профиль лесной почвы. Обозначения: а – общий углерод, % к почве, % к $C_{общ}$; б – гуминовые кислоты; в – фульвокислоты; г – негидролизуемый остаток (гумин); д – ГК1; е – ГК2; ж – ГК3; з – ФК1а; и – $C_{ГК}/C_{ФК}$

Полученные результаты могут свидетельствовать о более теплом, по сравнению с современными условиями, климате периода активного функционирования погребенного гумусового горизонта. Сумма фульвокислот имеет более высокие значения в современном пахотном горизонте ($43,53 \pm 16,45\%$), по сравнению с погребенным горизонтом ($23,42 \pm 5,47\%$), что может быть следствием более сухих условий формирования древнего гумусового горизонта, по сравнению с современными.

Реконструкция более теплых и сухих условий в период формирования древнего горизонта совпадает с палеогеографическими данными исследований на территории Западной Сибири, показавшими, что после оледенения, в оптимуме голоцена, был период с относительно более теплым и сухим климатом, чем в настоящее время [8].

Во всех почвенных горизонтах дерново-аллювиальной почвы (рис. 5) ГК преобладают над ФК. Отмечается несколько максимумов отношения $C_{ГК}/C_{ФК}$, приуроченных к погребенным гумусовым горизонтам. Среди ГК в изучаемой почве преобладает фракция, связанная с кальцием. Максимумы накопления

ГК этой фракции также совпадают с погребенными гумусовыми горизонтами. Таким образом, в пойменной почве фиксируются горизонты с разным уровнем накопления групп и фракций гумуса, соотношением $C_{гк}/C_{фк}$, что отражается в морфологическом строении почвенного профиля. Сопоставление среднего содержания суммы гуминовых кислот в современных горизонтах A_d и A и погребенном глеевом горизонте выявило относительно более низкие значения данного показателя в современной гумусовой толще ($33,62 \pm 6,50\%$) по сравнению с погребенной ($38,76 \pm 5,11\%$). Полученные результаты могут свидетельствовать о более теплом климате периода активного функционирования самого древнего погребенного гумусового горизонта.

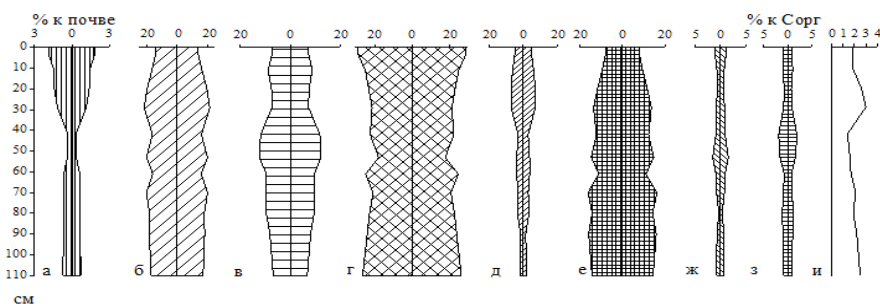


Рис. 5. Гумусовый профиль дерново-аллювиальной почвы. Обозначения см. на рис. 4

Сумма фульвокислот имеет более низкие величины в современной гумусовой толще ($15,90 \pm 2,40\%$), по сравнению с погребенной ($17,80 \pm 2,36\%$), что отражает несколько более влажные условия периода формирования древнего погребенного гумусового горизонта, по сравнению с современными.

Таким образом, можно предположить наличие более теплых и, по сравнению с современными, более влажных условий в период формирования нижнего погребенного горизонта.

Палеоландшафтная обстановка, реконструированная методами палинологии для территории Южного Зауралья (наиболее приближенной к району исследования на Среднем Урале), для атлантического периода была достаточно изменчивой, установлено несколько этапов аридизации климата [9].

Проведенная статистическая обработка по критерию Манна–Уитни показала различия в сумме гуминовых кислот и фульвокислот (в первом случае достоверные) в погребенных горизонтах предположительно среднеголоценового возраста в почвах разных условий формирования. Следовательно, условия в Тобольском Прииртышье в период функционирования этого горизонта были более теплыми и влажными, чем в пойме р. Сысерть.

В современном гумусовом горизонте почвы Тобольского Прииртышья коэффициенты цветности суммы черных и бурых ГК составляют $3,71 \pm 0,11$, в погребенном горизонте – $3,55 \pm 0,09$, что отражает большее развитие периферической части макромолекул ГК в первом.

Значения коэффициентов цветности гуминовых кислот погребенного гумусового горизонта пойменной почвы ($3,08 \pm 0,18$) ниже, чем в современном гумусовом горизонте ($3,30 \pm 0,14$), что соответствует лучшему развитию ядерной части гуминовых кислот в первом случае.

Таким образом, гуминовые кислоты сравниваемых погребенных гумусовых горизонтов отличаются по своим спектральным характеристикам от таковых, формирующихся в современных условиях, меньшими значениями коэффициентов цветности, что означает, что биоклиматические условия в прошлом являлись наиболее оптимальными для формирования зрелых, с развитой ароматической частью макромолекул на изучаемых участках в Западной Сибири и на Среднем Урале.

Заключение

Наличие в обеих почвах мощного погребенного гумусового горизонта с иными характеристиками гумуса, чем современного, говорит о прохождении ими в прошлом относительно длительной стадии гумификации, характерной для травянистых сообществ. Сравнение значимых для палеореконструкции климата показателей гумуса погребенных почв Тюменской и Свердловской области позволяет выявить локальные особенности природной среды этих территорий в атлантическом периоде. В Западной Сибири этот период был значительно теплее и характеризовался большей увлажненностью, чем на Среднем Урале.

Литература

1. *Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий.* М. : Изд-во ЛКИ, 2008. 692 с.
2. *Дергачева М.И.* Археологическое почвоведение. Новосибирск : СО РАН, 1997. 228 с.
3. *Краткая агроклиматическая характеристика Свердловской области.* Екатеринбург, 1993. Ч. 1 (фонды Ин-та «Урал НИИгипрозем»). 250 с.
4. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах. Л. : Наука, 1975. 106 с.
5. *Александровский А.Л., Александровская Е.И.* Эволюция почв и географическая среда. М. : Наука, 2005. 223 с.
6. *Kohnke H., Stüff R.G., Miller P.A.* Quantitative relations between climate and soil formation // *Z. Pflanzenernähr. Und Bodenkunde.* 1968. Vol. 119, № 1. S. 24–33.
7. *Учаев А.П., Некрасова О.А.* Пойменная почва как летопись современных и былых условий почвообразования (на примере дерново-аллювиальной почвы реки Сысерть) // Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Нижний Тагил, 2012. С. 226–229.
8. *Ларин С.И.* Физико-географические условия формирования качества поверхностных вод Западной Сибири // *Вестник Тюменского государственного университета.* 2011. № 12. С. 70–77.
9. *Лаврушин Ю.А., Спиридонова Е.А.* Основные геолого-палеоэкологические события конца позднего плейстоцена и голоцена на восточном склоне Южного Урала // *Природные системы Южного Урала.* Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 1999. С. 66–103.

Поступила в редакцию 15.09.2012 г.

Olga A. Nekrasova, Anton P. Uchaev

Ural Federal University named after the First President
of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

BURIED HORIZON'S HUMUS OF SOILS FORMING IN DIFFERENT CONDITIONS

Soils with buried humus horizons, formed in different bioclimatic conditions, were studied. Research activity in Western Siberia was carried out in Tyumen region, Tobolsk area, on a flat top part of the 30 m radical river bank. The flood plain's soil of the Sysert river was studied in the Middle Urals in Sverdlovsk region near its merge to the Iset. The object of the research in West Siberia is the soil under the birch wood, containing the buried humus horizon, in the Middle Urals – the soil of the central part of a flood plain with several buried humus horizons. Formation of soils in Tobolsk area occurs in more continental conditions and is under the influence of a smaller amount of precipitation than in Sverdlovsk region. Samples of soils were selected on each site from a cut and holes, 5–10 cm each, within visible horizons, for the buried humus horizons – in 2–3 replications and were prepared for the analysis by a standard technique. Values of a magnetic susceptibility were defined on Kappabrig KLY-2, pH in water and salt extract were measured by pH-meter «ANION 4100», the general carbon was determined by Tyurin, group and fractional structure of humus – by Ponomareva-Plotnikova's method. Optical density of humic acids was measured by Spectrophotometer UV-1650.

Studying the morphological structure of soil profiles revealed that the soil under the birch wood has a difficult structure: the bottom thickness represents the ancient partially plowed soil, the top part – the former arable soil which has grown with the wood. The river flood plain's soil also has a poligenetic structure which is available of three buried humus horizons the most powerful of which is the horizon [Ag], reflecting the longest and intensive process of humus formation in the past and, presumably, created in holozen's optimum with another combination of factors of the soil formation embodied in its thickness.

Comparison of the average maintenance of the sum of humic acids in the arable and buried horizons of the soil of West Siberia revealed much lower values of this indicator in the first horizon ($29.87 \pm 9.11\%$) in comparison with the second ($56.85 \pm 12.42\%$) that can indicate a warmer, in comparison with modern conditions, climate of the period of the buried humus horizon active functioning. The sum of fulvic acids has much higher values in the arable horizon ($43.53 \pm 16.45\%$) in comparison with the buried horizon ($23.42 \pm 5.47\%$) that can be a consequence of drier, in comparison with modern ones, conditions of the ancient humus horizon formation.

Comparing average sum of humic acids in the modern humus horizons and the buried gley horizon in the Middle Ural's soil revealed lower values of this indicator in modern humus thickness ($33.62 \pm 6.50\%$) in comparison with buried one ($38.76 \pm 5.11\%$). The received results can testify a warmer climate of the active functioning period of the most ancient buried humus horizon. The fulvic acid's sum showed lower values in modern humus thickness ($15.90 \pm 2.40\%$) in comparison with buried one ($17.80 \pm 2.36\%$) that reflects more damp conditions of the period of formation of the ancient buried humus horizon in comparison with the modern one.

Humic acids of the compared buried humus horizons differ in their spectral characteristics from those formed in modern conditions, by smaller values of

chromaticity factors which means that bioclimatic conditions in the past were more optimum for forming mature macromolecules with a developed aromatic part on the studied sites in West Siberia and the Middle Urals.

Thus, the existence of the powerful buried humus horizon in both soils with other humus characteristics indicates their passing a rather long stage of a humification in the past, characteristic of grassy communities. Comparing humus indicators of buried soils of Tyumen and Sverdlovsk regions, significant for climatic paleoreconstructions, allows to reveal local environment features of these territories in the Atlantic period. In West Siberia this period was much warmer and was characterized by a greater moisture content than in the Middle Urals.

Key words: *organic matter; humus; humic acids; buried horizons; climatic paleoreconstructions; characteristics of the paleoenvironment conditions.*

Received September 15, 2012