

УДК 631.4

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ БУГРОВ ПУЧЕНИЙ И ТЕРМОКАРСТОВЫХ ПониЖЕНИЙ ЮГА ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ

Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенев Ю.Б.

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: erzhenach@mail.ru

Изучен элементный состав препаратов гуминовых кислот почв бугров пучения и термокарстовых понижений юга Витимского плоскогорья. Природно-климатические условия региона предопределяют нестабильную биологическую активность с повышениями и спадами в течение вегетационного периода, которые определяют специфику всех биологических процессов, накладывая отпечаток в том числе и на элементный состав гуминовых кислот. Элементный состав гуминовых кислот черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квасиглеевых окарбонированных почв свидетельствует о том, что мерзлотные условия почвообразования оказывают влияние на химическую структуру макромолекул. Специфичность гумуса исследованных почв, обусловленная криогенными явлениями, проявляется на уровне элементного состава и структуры гуминовых кислот. Именно такая компоновка элементного состава почвы является адаптационной чертой максимального самосохранения гуминовых кислот в жестких условиях. По сравнению с европейскими аналогами в исследуемых почвах образуются гуминовые кислоты с пониженным количеством углерода, тогда как содержание азота и кислорода повышено. Величина соотношения Н/С убывает в ряду: бугры пучения – термокарстовые понижения – фоновые почвы. Так, например, для гуминовых кислот почв термокарстовых понижений степень бензоидности составляет всего 15% при достаточно узком соотношении Н/С. Степень бензоидности исследуемых почв соответствует низкой и средней степени градации. Гуминовые кислоты фоновых черноземов квазиглеевых более зрелые, имеют более конденсированную структуру по сравнению с гуминовыми кислотами почв криоморфозов, поскольку последние были подвержены криоморфным изменениям, а целинные фоновые почвы являются эталоном равновесного состояния данного типа почв.

Ключевые слова: элементный состав, гуминовые кислоты, черноземы квазиглеевые, бугры пучения, термокарстовые понижения

ELEMENTAL COMPOSITION OF HUMIC ACIDS IN SOILS OF PINGO AND THERMOKARST DEPRESSIONS IN THE SOUTH OF THE VITIM PLATEAU

Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B.

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: erzhenach@mail.ru

The elemental composition of preparations of humic acids in soils of pingos and thermokarst depressions in the south of the Vitim plateau has been studied. The natural and climatic conditions of the region predetermine unstable biological activity, with increases and decreases during the growing season, which determine the specifics of all biological processes, including imposing an imprint on the elemental composition of humic acids. The elemental composition of humic acids in gley cryoturbated chernozems and humus-quasigley carbonated soils indicates that the permafrost conditions of soil formation affect the chemical structure of macromolecules. The specificity of humus in the studied soils, caused by cryogenic phenomena, is manifested at the level of the elemental composition and structure of humic acids. It is this arrangement of the elemental composition of the soil that is an adaptive feature of the maximum self-preservation of humic acids in harsh conditions. In comparison with European analogues, humic acids with a reduced amount of carbon are formed in the studied soils, while the content of nitrogen and oxygen is increased. The H/C ratio decreases in the series: pingos – thermokarst depressions – background soils. For example, for humic acids in soils of thermokarst depressions, the degree of benzoicity is only 15%, with a rather narrow ratio of H/C. The degree of benzoic content of the studied soils corresponds to a low and medium degree of gradation. The humic acids of the background quasigley chernozems are more mature and have a more condensed structure compared to humic acids of cryomorphoses soils, since the latter were subject to cryomorphic changes, and virgin background soils are the standard of the equilibrium state of this type of soil.

Keywords: elemental composition, humic acids, quasigley chernozems, pingos, thermokarst depressions

Гуминовые кислоты (ГК) – сложная смесь высокомолекулярных природных органических соединений, которые образуются в результате гумификации растительных остатков. Гуминовые кислоты имеют разветвленную молекулярную структуру, включающую большое количество функциональных групп и активных центров, в них содержатся: азот, калий, фосфор, а также такие микроэлементы, как молибден, медь, цинк, железо и т.д. Все это обуславливает

физико-химические и биологические свойства гуминовых кислот и их влияние на растения и почву.

ГК являются основным агрономически ценным компонентом гумуса. Они определяют специфику гидротермических и физико-химических свойств почвы. В связи с этим возникает необходимость изучения ГК, от природы и присутствия которых зависят потенциальное плодородие почвы и ее устойчивое функционирование. Одна

из важнейших и устойчивых идентификационных характеристик ГК – элементный состав [1], который позволяет получить информацию об общих принципах строения молекул, уровне их конденсированности и степени гумификации. Гумификация является универсальным звеном трансформации любых скоплений органических остатков в почве. Процесс гумификации происходит при помощи разнообразных химических и биохимических реакций и обусловлен отбором устойчивых органических соединений. Элементный состав определяется уровнем интенсивности биохимических процессов в почве, которые зависят от многих факторов (влажности, температуры, реакции среды, ОВП и т.д.). Гуминовые кислоты отчетливо реагируют на изменение биотермодинамических условий их формирования, гранулометрического состава, степени гидроморфизма, оглеения, карбонатности, подстилающей породы, сохраняя при этом сравнительную устойчивость элементного состава. Этот показатель меняется в очень широких пределах.

Элементный состав различных типов почв тайги и тундры изучен Е.Д. Лодыгиным с соавт. [2, 3], молекулярная структура гумусовых веществ мерзлотных бугристых торфяников лесотундры исследована Р.С. Василевичем с соавт. [4], Молекулярный и элементный состав гуминовых кислот избранных почв Российской Арктики изучен В.И. Поляковым с соавт. [5], элементный состав и содержание функциональных групп гуминовых веществ почв и торфов различного происхождения изучены Г.Н. Шигабаевой [6]. Элементный состав гуминовых кислот почв Республики Тувы изучен Н.Л. Бажиной с соавт. [7].

Поскольку элементный состав ГК является отражением условий почвообразования и зависит в первую очередь от химического состава разлагающихся органических остатков и условий гумификации, нами ставилась задача получить информацию об уровне «зрелости» этих молекул, формирующихся в условиях замораживания и оттаивания.

Цель работы – выявить особенности элементного состава ГК почв бугров пучения (БП) и термокарстовых понижений (ТП) в сравнении с фоновыми квазиглеевыми черноземами (ФП).

Материалы и методы исследования

Объектами исследования послужили препараты ГК почв бугров пучения (черноземы глееватые криотурбированные) и тер-

мокарстовых понижений (гумусово-квазиглеевые окарбоначенные почвы), а также фоновых почв (криоморфных квазиглеевых черноземов) юга Витимского плоскогорья.

Фоновые черноземы квазиглеевые сформированы в условиях горной мерзлотной лесостепи Еравнинской котловины под лугово-степной растительностью на промороженных аллювиально-лимнических фациальных комплексах. Для них характерны небольшая мощность гумусово-аккумулятивного горизонта (0–24 см), тяжело-суглинистый гранулометрический состав. Содержание $C_{орг}$ в верхнем горизонте среднее – 4,0% ($n = 5$), с глубиной резко уменьшается до 0,9%. Реакция среды в верхней части профиля близка к нейтральной (рН 7,3), в нижней – слабощелочная. Содержание общего азота – высокое (0,81–0,99%).

Исследуемые черноземы глееватые криотурбированные и гумусово-квазиглеевые окарбоначенные почвы по морфологии отличаются от фоновых черноземов квазиглеевых. Реакция среды почв из термокарстовых понижений близка к нейтральной, бугров пучения – к щелочной. По гранулометрическому составу исследуемые почвы бугров пучения относятся к пылеватым тяжело-суглинистым, термокарстовых понижений – среднесуглинистым крупнопылеватато-песчаным. Содержание органического углерода ($C_{орг}$) в слое 0–20 см почв бугров пучения составило 7,6% ($n = 5$). Почвы термокарстовых понижений отличаются высоким содержанием $C_{орг}$ в слое 0–20 см 12,2% ($n = 5$). Содержание общего азота – низкое (0,11–0,27%) [8].

Выделение препаратов ГК производили исчерпывающим экстрагированием по методике [9]. Зольность препаратов была различной и варьировала от 6% до 11%, что считается допустимым.

Элементный состав препаратов ГК определен на элементном анализаторе CHNS/O Series II фирмы «Perkin Elmer» в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН (г. Улан-Удэ).

Результаты исследования и их обсуждение

Растительность мерзлотных почв адаптировалась к суровым условиям Забайкалья, что отразилось в ее химическом составе и морфологии. Так, биохимический состав источников гумуса обеднен углеводами, белками и обогащен целлюлозо-лигнинным комплексом. Высокое количество лигнина в растительности предопределяет достаточ-

но высокое содержание ароматических дериватов лигнина в препаратах ГК [10].

Природно-климатические условия региона обуславливают нестабильную биологическую активность с повышениями и спадами в течение вегетационного периода, которые определяют специфику всех биологических процессов, накладывая отпечаток в том числе и на элементный состав ГК.

Полное представление об элементном составе ГК можно получить, используя атомные проценты, которые показывают число атомов данного элемента в процентах к общему числу атомов в молекуле вещества, в статье далее мы будем использовать ат. %.

Углерод является ключевым элементом, определяющим состав и структуру ГК. Максимальное содержание углерода отмечено в ГК почв термокарстовых понижений – 39,0, это обусловлено чередованием периода избыточного увлажнения с недостаточным, что способствует гумусонакоплению. Следует отметить, что формирование ГК тесно связано с определенными гидротермическими условиями. Высокая влажность почв предопределяет формирование ГК с «рыхлой» структурой по сравнению ГК, сформированными в условиях хорошего воздухообмена. Можно предположить, что ГК почв ТП имеют более «рыхлую» структуру по сравнению с почвами БП и фоном.

Самые низкие показатели углерода обнаружены в почвах бугров пучения – 36,9%, тогда как в фоновых почвах содержание углерода составляет 37,8%. Низкую обуглероженность макромолекулы ГК почв бугров пучения можно объяснить уменьшением конденсации исходных веществ и повышением распада образовавшихся ГК. Из-за низкой биохимической активности почв бугров пучения образующиеся в результате гумификации гуминовые вещества являются поверхностно-активными. Они сорбируются на разлагающихся растительных остатках и образуют комплекс, который состоит из ГВ и исходного органического материала. Гуминовые вещества, пропитывая неразложившиеся органические остатки, замедляют его последующую трансформацию. Этим объясняются высокий процент детрита и достаточно низкая обуглероженность препаратов ГК. Все это приводит к увеличению доли периферических углеродных цепей и снижению в его составе содержания углерода.

В целом, исследованные ГК черноземов глееватых криотурбированных и гуму-

сово-квизиглеевых окарбоначенных почв содержат меньше углерода в сравнении с европейскими аналогами. Так, по данным разных авторов [1, 11], эта величина в черноземах Казахстана, европейской части России (ЕЧР) и Западной Сибири (ЗС) составляет 42,5–58,6 ат.%, а среднее содержание углерода в ГК изученных почв – 36,9–39,0 ат.% (таблица). Это указывает на то, что в ГК исследуемых почв развиты алифатические углеродные цепи, поскольку почвы формируются при постоянном присутствии мерзлотного экрана. В региональных немерзлотных аналогах активнее происходят реакция конденсации и отщепление боковых углеродных цепей. При повышении температуры и уменьшении влажности происходит возрастание ароматичности макромолекулы гуминовой кислоты.

Содержание водорода в препаратах ГК исследуемых почв низкое по сравнению с немерзлотными почвами. Так, в ГК почв бугров пучения этот показатель равен 28,2. В ГК почв термокарстовых понижений показатель ниже – 27,3. Участие атомов водорода в построении ГК фоновых черноземов квизиглеевых составило всего 25,3 ат. %.

Достаточно низкое содержание водорода объясняется тем, что щелочная среда благоприятствует высокому накоплению – СООН групп, способных к обемному поглощению катионов в ГК. Водород может замещаться на другие катионы, в результате чего образуются соли.

Особенностью элементного состава макромолекулы ГК черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квизиглеевых окарбоначенных почв является то, что в них содержится высокое количество кислорода – 32,2% и 30,7% соответственно. В фоновых почвах кислорода содержится в 1,2 раза меньше, в европейской аналогах – в 1,6 раз меньше. Учет кислородных функций неизбежно приводит к необходимости отдавать предпочтение алифатическим структурам. Функциональные группы, содержащие кислород, сосредоточены в алифатической части макромолекулы ГК, они обуславливают его гидрофильные свойства. Таким образом, в ГК почвах БП и ТП высока доля алифатических структур.

Соотношение О/С минимально в фоновых почвах – 0,58, максимально в буграх пучения – 0,87, в понижениях – 0,79.

Содержание азота в ГК черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квизиглеевых окарбоначенных почв высокое: в ГК почв термокарстовых понижений – 3,0,

в ГК почв бугров пучений – 2,7, эти показатели выше, чем в фоновых почвах и европейских аналогах. Это связано с более развитой алифатической частью макромолекулы гуминовой кислоты, где основным компонентом являются аминокислоты.

Соотношение C/N говорит о низком содержании азота в куминовых кислотах фоновых черноземов квазиглеевых по сравнению с черноземами глееватыми криотурбированными и гумусово-квазиглеевыми окарбоначенными почвами (таблица). C/N в ГК фоновых почв составило 19,5, в ГК почв криоморфозов этот показатель имеет более узкое соотношение: 13,10 и 13,70.

В гуминовых кислотах фоновых черноземов квазиглеевых соотношение H/C достаточно узкое по сравнению с черноземами глееватыми криотурбированными и гумусово-квазиглеевыми окарбоначенными почвами. Это говорит о преобладании ароматических структур, что связано с тем, что система гумусовых веществ находится в состоянии природного равновесия, тогда как криоморфозы были подвержены мерзлотным явлениям (отмечаются просадки, пучения, инверсии, инволюции), что привело к нарушению целостности профилей почв. В почвах понижений и бугров соотношение немного выше 0,70 и 0,76, что тоже свидетельствует об относительно высоком вкладе углерода в формирование молекулы кислоты. Атомное соотношение H/C уменьшается, а степень гумификации увеличивается.

Степень бензоидности минимальна в понижениях (15%) вследствие частых периодических явлений подтопления – высыхания при преобладании углеродистых алифатических соединений. В фоновых почвах и БП – 23%, что связано с лучшими условиями преорева.

В целом исследуемые почвы характеризуются низким содержанием углерода в макромолекулах ГК по сравнению с европейскими аналогами, следовательно, в их негидролизующей части преобладают

в разной степени боковые алифатические углеродистые соединения типа кетонных, альдегидных, метоксильных групп, что свидетельствует об их сильной подверженности разрушению, доказывая «ранимость» гуминовых кислот мерзлотных почв.

Степень бензоидности отражает соотношение линейно и циклически полимеризованного углерода. По шкале степени бензоидности гуминовые кислоты гумусово-квазиглеевых окарбоначенными почв можно отнести к низкому уровню, черноземов глееватых криотурбированных и фоновых черноземов квазиглеевых – к среднему уровню. Европейские аналоги характеризуются высоким уровнем степени бензоидности.

Высокая окисленность препаратов ГК почв БП по сравнению с фоновыми почвами и почвами ТП объясняется тем, что почвы БП отличались высыханием и низкой биогенностью. Из кинетической теории гумификации известно, что высокие воздухообмен и температура в вегетационный период способствуют увеличению степени окисленности гумусовых веществ [1].

Полученные нами данные, они различаются друг от друга по содержанию элементов С, Н, О и N, но в сравнении с почвами ЕЧР видно, что вариации в элементном составе исследуемых почв между собой минимальны, а данные значительно отличаются от показателей более теплых аналогов.

Таким образом, элементный состав гуминовых кислот черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квазиглеевых окарбоначенными почв выявил, что на формирование макромолекул ГК накладывают отпечаток региональные климатические условия. Специфичность гумуса исследованных почв, обусловленная криогенными явлениями, проявляется на уровне элементного состава и структуры гуминовых кислот. Именно такая компоновка элементного состава почвы является адаптационной чертой максимального самосохранения ГК в жестких условиях.

Элементный состав гуминовых кислот почв бугров пучения и термокарстовых понижений

Ландшафт	% на беззольную навеску				Отношения			Степень бензоидности
	С	Н	N	О	H/C	O/C	C/N	
Бугор пучения	36,9	28,2	2,7	32,2	0,76	0,87	13,70	0,23
Термокарстовое понижение	39,0	27,3	3,0	30,7	0,70	0,79	13,10	0,15
Целина Чернозем (фон)	37,8	25,3	2,1	26,8	0,67	0,71	17,8	23,0
Черноземы европейской части России [Орлов, 1990]	42,5	35,2	2,4	19,9	0,83	0,47	17,7	32,4

Заключение

Элементный состав гуминовых кислот черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квасиглеевых окарбонированных почв свидетельствует о том, что мерзлотные условия почвообразования оказывают влияние на химическую структуру макромолекул. По сравнению с европейскими аналогами в исследуемых почвах образуются гуминовые кислоты с пониженным количеством углерода, тогда как содержание азота и кислорода повышено.

Величина соотношения Н/С убывает в ряду: бугры пучения – термокарстовые понижения – фон. Для гумусово-квасиглеевых окарбонированных почв степень бензоидности составляет всего 15% при достаточно узком соотношении Н/С. Степень бензоидности исследуемых почв соответствует низкой и средней степени градации.

В целом, ГК фоновых черноземов квасиглеевых более зрелые, имеют более конденсированную структуру по сравнению с гуминовыми кислотами почв криоморфозов, поскольку последние были подвержены криоморфным изменениям, а целинные фоновые почвы являются эталоном равновесного состояния данного типа почв.

Работа выполнена за счет средств бюджета по теме госзадания № 121030100228–4; а также при поддержке гранта РФФИ № 16–04–01297.

Список литературы / References

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
2. Orlov D.S. Humic acids of soils and the general theory of humification. M.: Izd-vo MGU, 1990. 325 p. (in Russian).
3. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Василевич Р.С. Изучение элементного состава гуминовых и фульвокислот почв таежных и тундровых ландшафтов // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 4. С. 10–18.
4. Lodygin E.D., Beznosikov V.A., Vasilevich R.S. Study of the elemental composition of humic and fulvic acids in soils of taiga and tundra landscapes // Vestnik IB Komi NC UrO RAN. 2016. № 4. P. 10–18 (in Russian).
5. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А. и Абакумов Е.В. Гуминовые вещества элементного состава почв и торфов таежных и тундровых ландшафтов // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 47. С. 6–21.
6. Polyakov V.I., Chegodaeva N.A., Abakumov E.V. Molecular and elemental composition of humic acids isolated from selected soils of the Russian Arctic // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2019. № 47. P. 6–21.
7. Шигабаева Г.Н. Элементный состав и содержание функциональных групп гуминовых веществ почв и торфов различного происхождения // Вестник Тюменского государственного университета. 2014. № 12. Экология. С. 45–53.
8. Shigabayeva G.N. Elemental composition and content of functional groups of humic substances in soils and peats of various origins // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 12. Ekologiya. P. 45–53 (in Russian).
9. Базина Н.Л., Ондар Е.Е., Очур К.О. и Дергачева М.И. Элементный состав гуминовых веществ почв западной части Тувы. Оренбургский университетский вестник. 2013. № 10. С. 233–236.
10. Bazhina N.L., Ondar E.E., Ochur K.O. and Dergacheva M.I. Elemental composition of humic substances from soils of the western part of the Tuva area. Orenburg University Bulletin. 2013. Vol. 10. P. 233–236.
11. Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Е.О., Милкеев Е.Ю., Тсыбенюв Ю.В., Егорова Р.А., Солдатова З.А., Андриева Д.В., Корсунова Т.Д.-Т., Давыдова Т.В., Дмитриев А.В., Чимитдоржиев Т.Н. Почвы криогенных ландшафтов в южной части Витимского плато: распределение и роль в формировании почвенных запасов углерода. Евразийский журнал почвоведения. 2019. № 52. С. 1019–1027.
12. Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O., Milkheev E.Y., Tsybenov Y.B., Egorova R.A., Soldatova Z.A., Andreeva D.B., Korsunova T.D.-T., Davydova T.V., Dmitriev A.V., Chimitdorzhiev T.N. Soils of cryogenic landforms in the south of the Vitim plateau: distribution and role in the allocation of soil carbon pools. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 9. P. 1019–1027.
13. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 271 с.
14. Orlov D.S., Grishina L.A. Workshop on the chemistry of humus. M.: Izd-vo MGU, 1981. 271 p. (in Russian).
15. Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенюв Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Егорова Р.А. Неспецифические органические вещества лесостепных и степных почв Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–1. С. 181–185.
16. Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B., Milkheev E.Yu., Egorova R.A. Nonspecific organic matter of forest-steppe and steppe soils of Transbaikalia // Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya. 2019. No. 12–1. P. 181–185 (in Russian).
17. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 173 с.
18. Klenov B.M. Stability of humus in automorphic soils of Western Siberia. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000. 173 p. (in Russian).

tundra soils from Russian European North-East. Polish Polar Research. 2017. Vol. 38. no. 2. P. 125–147.

4. Василевич Р.С., Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Молекулярная структура гумусовых веществ мерзлотных бугристых торфяников лесотундры // Почвоведение. 2019. № 3. С. 317–329.

Vasilevich R.S., Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Molecular structure of humus substances in permafrost peat mounds in forest-tundra. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 3. P. 283–295.

5. Поляков В.И., Чегодаева Н.А., Абакумов Е.В. Молекулярный и элементный состав гуминовых кислот выделен из избранных почв Российской Арктики // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 47. С. 6–21.

Polyakov V.I., Chegodaeva N.A., Abakumov E.V. Molecular and elemental composition of humic acids isolated from selected soils of the Russian Arctic // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2019. № 47. P. 6–21.

6. Шигабаева Г.Н. Элементный состав и содержание функциональных групп гуминовых веществ почв и торфов различного происхождения // Вестник Тюменского государственного университета. 2014. № 12. Экология. С. 45–53.

Shigabayeva G.N. Elemental composition and content of functional groups of humic substances in soils and peats of various origins // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 12. Ekologiya. P. 45–53 (in Russian).

7. Базина Н.Л., Ондар Е.Е., Очур К.О. и Дергачева М.И. Элементный состав гуминовых веществ почв западной части Тувы. Оренбургский университетский вестник. 2013. № 10. С. 233–236.

Bazhina N.L., Ondar E.E., Ochur K.O. and Dergacheva M.I. Elemental composition of humic substances from soils of the western part of the Tuva area. Orenburg University Bulletin. 2013. Vol. 10. P. 233–236.

8. Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Е.О., Милкеев Е.Ю., Тсыбенюв Ю.В., Егорова Р.А., Солдатова З.А., Андриева Д.В., Корсунова Т.Д.-Т., Давыдова Т.В., Дмитриев А.В., Чимитдоржиев Т.Н. Почвы криогенных ландшафтов в южной части Витимского плато: распределение и роль в формировании почвенных запасов углерода. Евразийский журнал почвоведения. 2019. № 52. С. 1019–1027.

9. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 271 с.

Orlov D.S., Grishina L.A. Workshop on the chemistry of humus. M.: Izd-vo MGU, 1981. 271 p. (in Russian).

10. Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенюв Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Егорова Р.А. Неспецифические органические вещества лесостепных и степных почв Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–1. С. 181–185.

Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B., Milkheev E.Yu., Egorova R.A. Nonspecific organic matter of forest-steppe and steppe soils of Transbaikalia // Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya. 2019. No. 12–1. P. 181–185 (in Russian).

11. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 173 с.

Klenov B.M. Stability of humus in automorphic soils of Western Siberia. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000. 173 p. (in Russian).