

Научная статья  
УДК 631.42  
DOI: 10.18101/2542-0623-2025-1-42-52

## **ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ЗАБАЙКАЛЯ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ**

**Е. Ю. Мильхеев, Э. В. Цыбикова**

© **Мильхеев Евгений Юрьевич**

кандидат биологических наук, научный сотрудник,  
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
evg-milh@rambler.ru

© **Цыбикова Эржена Валерьевна**

кандидат биологических наук, доцент,  
заведующая кафедрой мелиорации и охраны почв  
Институт землеустройства кадастра и мелиорации  
Россия, 670024, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8  
mel\_izkim@bgsha.ru

**Аннотация.** Биоклиматические условия почвообразования в зоне криоаридного климата Забайкалья определяют специфический состав гумуса и гуминовых кислот. Особенность процесса гумусообразования каштановых почв проявляется в том, что несмотря на жесткие условия почвообразования (влияние длительной сезонной мерзлоты, континентальность климата) образуются гуминовые кислоты с довольно высоким содержанием углерода и азота. Отличительной особенностью макромолекулы гуминовых кислот пахотных каштановых почв по сравнению с целинными является менее развитая периферическая часть с высокой степенью бензоидности. Возрастание доли алифатических структур (периферической части) и снижение доли ароматических фрагментов позволяют говорить об упрощении строения макромолекул гуминовой кислоты в исследуемых почвах. В то же время в макромолекуле гуминовой кислоты каштановых почв сохранена структура, характерная для генетического ряда сухостепных почв. Короткий вегетационный период, влияние дефляционных процессов, недостаточное увлажнение в совокупности с легким гранулометрическим составом заметно снижают скорость трансформации органического вещества, что приводит к увеличению доли неокисленных алифатических фрагментов, образованию гуминовых кислот с более развитыми боковыми цепями.

**Ключевые слова:** почвенное органическое вещество, гуминовые вещества, пахотные каштановые почвы, целинные каштановые почвы.

### **Благодарности**

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН № 121030100228-4.

### **Для цитирования**

Мильхеев Е. Ю., Цыбикова Э. В. Влияние сельскохозяйственного использования каштановых почв Забайкалья на элементный состав гуминовых кислот

// Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2025. № 1(30). С. 42–50. DOI: 10.18101/2542-0623-2025-1-42-52

### **Введение**

Почвенное органическое вещество (ПОВ) является основным компонентом глобального углеродного цикла, содержит больше углерода, чем растительная биомасса и атмосфера вместе взятые [Patton, 2019]. Биохимические и физические потери ПОВ могут быть причиной нарушения одной или нескольких функций почвы и как следствие деградации плодородия, утраты биоразнообразия, снижения устойчивости экосистемы к внешним воздействиям, ухудшения качества окружающей среды [Gerke, 2018]. Кроме того, ПОВ может выступать как поглотитель или источник CO<sub>2</sub> в зависимости от конкретного землепользования и переменных окружающей среды [Lal, 2004].

Гуминовые вещества (ГВ) являются доминирующими компонентами ПОВ большинства минеральных почв и играют ключевую роль в экологической устойчивости благодаря их вкладу в биологические, химические и физические свойства почвы. Происхождение, состав и структурные особенности ГВ до сих пор являются предметом интенсивных дискуссий и даже споров. В основу классификации ГВ положено их различие, связанное с извлечением специфических соединений из природных объектов теми или иными растворителями. По общепринятой классификации гуминовые вещества делят на гуминовые кислоты (ГК) (растворимы в щелочных растворах), фульвокислоты (растворимы во всем диапазоне pH) и гумины (не растворимы во всем диапазоне pH). Эти фракции значительно различаются по размеру молекулы и содержанию функциональных групп; основными функциональными группами являются карбоксильные и фенольные, а также небольшое количество группы аминокислот.

Последние данные показывают, что физико-химическая природа ГК зависит от диагенетических условий, состава минеральной матрицы, поступления биомассы, численности и качества микрофлоры, а также практики землепользования [Olk et al., 2019]. Поскольку именно специфический молекулярный состав ГК [Piccolo, 2002] существенно влияет на динамику и запасы почвенного углерода [Woo et al., 2014], базальное дыхание почвы [Fang et al., 2005], а также взаимоотношения гумус — растение [Canellas and Olivares, 2014], приобретают особую значимость исследования состава и структуры этой органической фракции в почвах различного сельскохозяйственного использования.

Важным шагом к пониманию реакционной способности, свойств и функций ГК является определение их состава и функциональных групп, что чрезвычайно сложно из-за структурной неоднородности ПОВ. В настоящее время ЯМР-спектроскопия является наиболее эффективным аналитическим методом получения информации о химическом составе и структуре органического вещества, позволяющим расширить наши представления о молекулярной структуре ГК [Kogel-Knabner, Rumpel, 2018]. По сравнению с другими спектроскопическими методами твердофазная <sup>13</sup>C-ЯМР позволяет получить всестороннюю количественную и структурную информацию из ГК и, возможно, является одним из самых мощных методов для всесторонней характеристики сложных органических веществ [Mao et al., 2017; Чуков, 2018].

Каштановые почвы, занимающие южные котловины Забайкалья, являются самыми восточными на территории России и занимают почти 60% всех пахотных земель Бурятии. Исследуемая территория характеризуется широким распространением дефляционных процессов, малой лесистостью сельскохозяйственных территорий и высокой степенью распаханности земель [Чимитдоржиева, 2019]. В результате широкого развития эрозии (водной и ветровой), а также процессов засоления современное состояние почв сухостепной зоны неудовлетворительное. Данные негативные воздействия приводят к усилению деградации и уничтожению и без того низкоплодородных почв, создают существенные трудности для функционирования других компонентов экосистем и природной среды в целом. Это вызывает необходимость углубления современных представлений о химической природе и молекулярной структуре ГК как основной составляющей почвенного гумуса. Вполне очевидно, что при решении задач мониторинга изменений ПОВ, обусловленных сельскохозяйственным использованием, необходимо знать показатели соответствующих целинных почв.

В связи с этим целью настоящего исследования является изучение высокомолекулярных органических соединений, таких как ГК, выделенных из гумусового горизонта пахотных и целинных вариантов каштановых почв Забайкалья, с использованием  $^{13}\text{C}$ -ядерного магнитного резонанса. Изучение структуры ГК по ЯМР спектрам наряду с результатами элементного анализа необходимо для оценки экологического состояния и прогнозирования их устойчивости, что особенно актуально для криоаридных степей с укороченным гумусовым профилем.

### Материалы и методы

Ареал каштановых почв на высоких равнинах Гусиноозерской, Удинской котловин представляет собой северный форпост Центральноазиатского пустынно-степного массива. Здесь под сухостепной растительностью в условиях резко континентального климата под влиянием длительной сезонной мерзлоты и ограниченного количества осадков (180–250 мм в год) формируются каштановые почвы легкого гранулометрического состава (табл. 1), почти повсеместно подверженные дефляционным процессам. Характеризуются наибольшей суммой температур вегетационного периода (1700–1800°C) и наибольшей длиной безморозного периода (106–116 дней), поэтому их считают самыми теплообеспеченными почвами региона. Средняя температура самого холодного месяца (января) составляет  $-27^{\circ}\text{C}$ , самого теплого месяца (июль)  $+19^{\circ}\text{C}$ . Однако по сравнению с другими зонами Бурятии эти территории считаются самыми благоприятными по тепловому балансу, но наименее обеспеченными влагой. Дефицит влаги в сухих степях является основным фактором, лимитирующим биологическую активность и продуктивность экосистем.

Растительный покров забайкальских степей имеет своеобразную криоксерофильность: растения-подушки, растения-куртинки, проникшие сюда аркто-альпийские виды (астра альпийская, эдельвейс сибирский и др.) наряду с сохранившимися доледниковыми реликтами (бересклет священный, ильм низкий и др.). Эдификаторы сухой степи — полынь (холодная, Гмелина и др.), тонконог стройный, типчак

ленский, осока твердоватая и др. Легкий гранулометрический состав каштановых почв и связанные с ним неблагоприятные водно-физические и физико-химические свойства характеризуют почвенный профиль сухостепной зоны, формирующийся и функционирующий в условиях жесткого гидрологического режима. Исследованиями Н. А. Ногиной [1964], Ц. Х. Цыбжитова и др. [1999] показано, что каштановые почвы всегда отличаются небольшим диапазоном активной влаги. Во влажные годы вследствие песчаности и щебнистости грунта они глубоко промачиваются и вода уходит за пределы корнеобитаемого слоя. В средние по увлажнению годы вода глубоко не уходит и нижние горизонты каштановых почв на протяжении вегетационного периода остаются равномерно сухими. Дефицит влаги каштановых почв является важным фактором, лимитирующим биологическую активность, трансформацию органического вещества, также эти почвы, быстро теряя влагу, легко распыляются и подвергаются ветровой дефляции в средней и сильной степени [Чимитдоржиева, 2019].

Таблица 1

Физико-химические показатели каштановых почв Забайкалья (слой 0–20 см)

Почва	рН <sub>водн.</sub>	С <sub>орг.</sub> %	N, %	Поглощенные основания		Физ. глина <0,01 мм	Физ. песок >0,01 мм
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
ГК1 (пашня)	6,8±0,17	0,80±0,02	0,09±0,01	9,9±0,12	4,5±0,09	17,7	82,3
ГК2 (целина)	7,1±0,21	1,05±0,05	0,10±0,02	13,5±0,09	3,8±0,04	12,5	87,5
ГК3 (целина)	7,3±0,19	0,96±0,07	0,07±0,01	12,5±0,14	3,6±0,08	10,4	89,6
ГК4 (пашня)	6,5±0,09	0,74±0,04	0,07±0,01	15,0±0,20	4,1±0,11	13,0	87,0
ГК5 (целина)	6,8±0,12	0,93±0,02	0,08±0,02	13,4±0,09	3,7±0,10	9,9	90,1

Каштановые почвы Забайкалья, распространенные на различных породах — песках, супесях, легкосуглинистых отложениях — и формирующиеся под влиянием региональных особенностей, отличаются от почв немерзлотного ряда. Им свойствен другой цветовой оттенок гумусного горизонта, с более коричневыми, а не бурыми тонами, мучнистость карбонатного горизонта, отсутствие в профиле гипса и легкий гранулометрический состав, содержание в профиле камней и щебня. Они нейтральной реакции, незначительна сумма поглощенных оснований и содержание гумуса низкое.

Для выделения препаратов ГК использовали образцы, выделенные из гумусово-аккумулятивного горизонта каштановых почв: ГК1 — пашня Селенгинского среднегорья; ГК2 — целина Селенгинского среднегорья; ГК3 — целина Удинское плоскогорье; ГК4 — пашня Удинское плоскогорье.

Выделение препаратов ГК из гумусового горизонта и их очистку проводили стандартными методами [Орлов, Гришина, 1981] экстракцией 0,1 н. раствором гидроксида натрия после предварительного декальцирования. Препараты ГК очищали путем переосаждения 20%-ным раствором HCl до величины рН 1,5–2,0 и

многократного центрифугирования. Осадок промывали 0,1 н HCl, затем дистиллированной водой, высушивали и растирали до состояния пудры.

Элементный анализ выделенных препаратов ГК был проведен на автоматическом элементном анализаторе «CHNS/O-2400 series II» PerkinElmer (США). Спектры ядерно-магнитного резонанса  $^{13}\text{C}$ -ЯМР были сняты на спектрометре «Avance 300 MHz» Вюккер (Германия) с рабочей частотой 100,53 МГц с использованием твердофазной методики CP-MAS. Химические сдвиги представлены относительно тетраметилсилана со сдвигом 0 ppm, в качестве стандарта использовали пик адамантана (в слабом поле) при 38,48 ppm. Для количественной обработки применяли численное интегрирование по областям, соответствующим расположению функциональных групп и молекулярных фрагментов. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel 2019. В таблицах приведены средние значения и стандартная ошибка. Все статистические процедуры выполняли при уровне значимости  $\alpha = 5\%$ .

### Результаты и обсуждение

Антропогенное воздействие, в том числе интенсивное сельскохозяйственное использование, влияет на свойства почвы и в конечном итоге на адекватное экологическое функционирование почвы и ее устойчивость. Многочисленные исследования [Кленов, 2000; Чуков, 2018; Чимитдоржиева, 2019] наглядно показывают, что сельскохозяйственное использование почв является мощнейшим фактором их антропогенной эволюции, оказывающим влияние на все аспекты функционирования почвенной системы: от теплового, воздушного, водного режимов до системы гумусовых веществ и биологической активности.

Одним из признаков ГК, специфичных по отношению к климату и природной обстановке в целом, адекватно отражающих состояние природной среды в период своего формирования и сохраняющихся в диагенезе, являются элементный состав и особенно соотношение основных элементов, по которым идентифицируются эти природные вещества [Фадеева и др., 2014].

Полученные данные по элементному составу ГК каштановых почв (табл. 2) позволили отметить меньшее содержание углерода и азота, по сравнению с аналогичными почвами немерзлотного ряда Западной Сибири и ЕЧР [Орлов, 1990; Кленов, 2000]. Пониженное содержание данных элементов и несколько повышенное водорода объясняются недостаточной увлажненностью почвы, при которых реакции конденсации ослаблены, что соответствует экологическим условиям исследуемой территории и свидетельствуют об относительной незрелости этих кислот и значительном участии периферических фрагментов в их структуре.

Показатель Н/С является климатогенно обусловленным, при разном сочетании теплообеспеченности и увлажненности, его значения специфичны для почв Западной Сибири, Горного Алтая, Урала и Поволжья [Дергачева и др., 2012]. Атомные отношения Н/С и О/С позволяют оценить такие параметры структуры, как содержание ненасыщенных фрагментов и кислородсодержащих функциональных групп. Так, при соотношении  $\text{H/C} < 1$  можно говорить о преобладании в структуре ГК ароматических фрагментов. Если же соотношение  $1 < \text{H/C} < 1,4$ , то структура ГК носит преимущественно алифатический характер [Орлов, 1990].

Таблица 2

Элементный состав гуминовых кислот каштановых почв Забайкалья

Препарат	Атомные %				Атомные отношения			Степень окисленности	Степень бензоидности
	С	Н	О	N	H/C	O/C	C/N		
ГК1 (пашня)	38,7±0,5	40,8±0,6	17,3±0,2	3,0±0,2	1,05	0,45	12,9	-0,18	22
ГК2 (целина)	38,9±0,6	40,7±0,4	18,6±0,3	2,5±0,1	1,04	0,48	15,6	-0,06	19
ГК3 (целина)	36,3±0,5	42,7±0,5	17,3±0,3	3,7±0,1	1,20	0,48	9,8	-0,03	10
ГК4 (пашня)	39,3±0,6	39,2±0,5	18,7±0,3	2,8±0,1	0,99	0,48	14,0	-0,04	23
ГК5 (целина)	38,1±0,4	41,7±0,6	17,5±0,2	2,8±0,1	1,09	0,46	13,6	-0,15	13

Результаты показали, что количество атомов водорода и углерода находится почти на одном уровне, следовательно, в составе ГК наряду с хорошо развитыми конденсированными структурами ядерной части макромолекулы значительна доля углерода в боковых алифатических цепях, что, в свою очередь, указывает на невысокую степень гумификации ПОВ. Отношение C/N, отражающее роль азотсодержащих соединений в процессе гумификации, свидетельствует о низкой обогащенности ГК азотом, так как они формируются из обедненных азотом растительных остатков с высоким содержанием целлюлознолигнинного комплекса.

Показатель степени бензоидности (СБ), рассчитанный по модифицированной формуле Д. Ван-Кревелена [Орлов, 1990], отражающий соотношение ароматических и алифатических структур в макромолекулах ГК, варьирует от 10 до 23%. В процессе разложения органического вещества образующиеся простые соединения, видимо, активно участвуют в формировании периферической части молекулы, поэтому СБ каштановых длительносезоннопромерзающих почв невелика. Эти величины при сравнении с аналогичными почвами немерзлотного ряда значительно ниже, но близки к показателям дерново-подзолистых почв, вероятно, их сближают более жесткие условия формирования. С увеличением продолжительности периода биологической активности у почв немерзлотного ряда формирующиеся ГК получают меньше материала для построения периферической части молекул, а в процессе гумификации отщепляется все больше алифатических группировок, что и обеспечивает более высокую СБ. Атомное отношение O/C каштановых почв не дает оснований говорить о принципиальных различиях в построении макромолекул ГК. Процесс гумификации характеризуется небольшим нарастанием степени окисленности образующихся продуктов при распашке почв, поскольку интенсивная обработка почв и усиление их аэрации могут и должны вызывать нарастание степени окисленности ГВ. По мнению Д. С. Орлова (1990), разная степень окисленности также зависит от сезона года, максимальная аэрируемость почв и высокие температуры летом повышают степень окисленности ГК, а осенью развиваются восстановительные процессы.

Под влиянием криоаридных условий, низкой продолжительности биологической активности процессы окисления и дегидратации имеют низкую интенсивность, что приводит к накоплению неспецифических органических компонентов в периферической части ГК, поэтому СБ гуминовых кислот исследуемых почв невысока. Одной из главных причин колебаний элементного состава ГК в пределах одной группы является пространственная и временная изменчивость почв, а состав кислот зависит как от гетерогенности почв, так и от той биохимической ситуации, которая имела место к моменту взятия почвенного образца.

Для оценки связи между элементным составом и структурными особенностями ГК нами проанализированы спектры <sup>13</sup>C-ЯМР препаратов ГК исследуемых почв, идентифицированы следующие области: С-, Н-замещенные алифатические фрагменты (0–45 ppm); метоксильные и О-, N- замещенные алифатические фрагменты (45–65 ppm); алифатические фрагменты, дважды замещенные гетероатомами (в том числе углеводные), и метиленовый углерод простых и сложных эфиров (95–165 ppm); области карбоксилов, амидов и их производных (165–185 ppm) и область хинонных групп, альдегидов, и кетонов (185–200 ppm) [Vasilevich et al., 2018].

Оценка относительного содержания атомов углерода основных функциональных групп и структурных фрагментов в препаратах ГК каштановых почв проведена нами интегрированием линий поглощения в соответствующих диапазонах химических сдвигов (табл. 3).

Таблица 3

Содержание структурных фрагментов гуминовых кислот каштановых почв Забайкалья по данным <sup>13</sup>C-ЯМР, %

Препарат	Химический сдвиг, ppm						AR/AL
	0–45	45–65	65–95	95–165	165–185	185–200	
ГК1 (пашня)	20,6	4,7	9,9	45,2	15,8	3,8	1,28
ГК2 (целина)	21,6	7,9	9,8	41,6	13,2	5,9	1,05
ГК3 (целина)	27,6	8,2	12,7	35,3	12,6	3,6	0,72
ГК4 (пашня)	18,2	4,7	9,5	45,9	15,2	6,5	1,41
ГК5 (целина)	31,9	7,9	9,6	37,8	11,9	0,9	0,76

В алифатической области во всех спектрах ГК присутствует значительное количество атомов углерода алкильных фрагментов, не связанных с гетероатомами (СН<sub>n</sub>), сосредоточенных в области (25–35 ppm) и характеризующихся наибольшей устойчивостью к трансформации среди алифатических компонентов. Высокая доля алифатических фрагментов в данной области, как установлено некоторыми исследователями [Lodygin, Beznosikov, 2005; Winkler et al., 2005], связана с накоплением воскосмол, гликолипидов и кутина из растений. В препаратах ГК выделенных из целинных вариантов пик наиболее выражен как из-за объема и состава органических остатков, так и специфических биохимических условий их разложения. Во всех спектрах ГК присутствуют отчетливые пики в диапазоне 45–65 ppm, данный диапазон связан с метоксильными группами, обусловленными присутствием лигниновых и аминокислотных фрагментов [Knicker et al., 2008]. Наличие сигналов

в области 65–95 ppm относят к углероду СН(ОН) групп, которые принадлежат к целлюлозным или другим углеводным фрагментам [Simpson A. J., Simpson M. J., 2009].

В области ароматических фрагментов наиболее широкие и сильные сигналы могут давать незамещенные и/или алкил-замещенные ароматические атомы углерода (95–165 ppm), сигналы в данной области были более выражены в пахотных образцах, чем в целинных. На всех спектрах ГК в области 165–185 ppm четко выделяются резонансы, относимые к углероду карбоксильных групп, который также может принадлежать и карбонил группе амидов и полипептидов [Лодыгин и др., 2014], однако принципиальных различий в препаратах ГК не просматривается. Атомы углерода хинонных фрагментов и карбонильных групп альдегидов и кетонов вносят свой вклад в слабые сигналы в области 185–200 ppm; незначительное их содержание, вероятно, связано с невысокой скоростью разложения органического вещества в этих почвах в результате неблагоприятных водно-физических условий (засушливость, легкий гранулометрический состав), наличие сезонной мерзлоты, снижает активность почвенных микроорганизмов.

Для сравнения степени ароматичности структурных фрагментов ГК исследованных почв было использовано соотношение углерода ароматических структур к углероду алифатических цепей AR (95–165 ppm)/AL (0–95 ppm), отражающее содержание ароматических групп. Данное соотношение структуры гуминовых кислот отражает преобладание процесса минерализации органического вещества над гумификацией в целинных каштановых почвах и неустойчивость ГК к окислению. Кроме того, низкая ароматичность гуминовых кислот может быть обусловлена низким содержанием ароматических веществ в прекурсорах гумификации. Для исследованных ГК каштановых почв Забайкалья показана низкая зрелость макромолекул, что свидетельствует о замедленных процессах гумификации. Низкая биологическая активность трансформации органического вещества может быть связана с химическим составом гумусообразователей, так и с холодным климатом региона.

### **Заключение**

Формирование криоаридных каштановых почв Забайкалья с укороченным гумусовым профилем происходит под влиянием сходных процессов: легкого гранулометрического состава, неблагоприятных водно-физических свойств, небольшой емкости катионного обмена, длительного пребывания почв в мерзлотном состоянии. Различие заключается в степени выраженности признаков, возникающих в ходе сельскохозяйственного использования.

Сравнительный анализ элементного состава и ЯМР-спектроскопии гуминовых кислот каштановых почв Забайкалья позволяет рассматривать их как соединения со сходным принципом химического строения, различающиеся качественным и количественным содержанием молекулярных структур и различной их организацией по отношению к конденсированному ароматическому ядру. Особенность процесса гумусообразования каштановых почв проявляется в том, что несмотря на жесткие условия почвообразования образуются ГК с довольно высоким содержанием углерода, азота и кислорода. Макромолекулы ГК в пахотных образцах



каштановых почв имеют более сложное строение, менее развитую периферическую часть, высокую степень бензоидности по сравнению с ГК целинного варианта, что обусловлено условиями почвообразования и в первую очередь химическим составом разлагающихся растительных остатков и экологических условий. Низкие концентрации органического вещества в каштановых почвах, а также незначительное содержание карбоксильных функциональных групп в структуре ГК, снижают протекторную роль гумуса. Данный аспект особенно важен в случае усиления антропогенной нагрузки на почву.

### Литература

1. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв / М. И. Дергачева, О. А. Некрасова, М. В. Оконешникова [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2012. № 5. С. 643–647. Текст : непосредственный.
2. Кленов Б. М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000. 173 с. Текст : непосредственный.
3. Лодыгин Е. Д., Безносиков В. А., Василевич Р. С. Молекулярный состав гумусовых веществ тундровых почв ( $^{13}\text{C}$ -ЯМР-спектроскопия) // Почвоведение. 2014. № 5. С. 546–552. Текст : непосредственный.
4. Ногина Н. А. Почвы Забайкалья. Москва : Наука, 1964. 312 с. Текст : непосредственный.
5. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. Москва : Изд-во МГУ, 1990. 324 с. Текст : непосредственный.
6. Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1981. 273 с. Текст : непосредственный.
7. Определение органогенных элементов в составе функциональных веществ и материалов / В. П. Фадеева, В. Д. Тихова, Ю. М. Дерябина, О. Н. Никуличева // Журнал структурной химии. 2014. № 5. С. 1017–1024. Текст : непосредственный.
8. Цыбжитов Ц. Х., Цыбикдоржиев Ц. Ц., Цыбжитов А. Ц. Почвы бассейна озера Байкал. Т. 1. Генезис, география и классификация каштановых почв. Новосибирск : Изд-во Наука. Сибирское предприятие РАН, 1999. 128 с. Текст : непосредственный.
9. Чимитдоржиева Г. Д. К вопросу о восстановлении плодородия дефлированных сухостепных почв (на примере модельных лабораторных опытов) // Аридные экосистемы. 2019. № 1(78). С. 43–48. Текст : непосредственный.
10. Чуков С. Н., Лодыгин Е. Д., Абакумов Е. В. Использование  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектроскопии в исследовании органического вещества почв (обзор) // Почвоведение. 2018. № 8. С. 952–964. Текст : непосредственный.
11. Canellas L. P., Olivare F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoters. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2014; 1(3).
12. Fang C., Smith P., Moncrieff J. B., Smith J. U. Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature. *Nature*. 2005; 433: 57–59.
13. Gerke J. Concepts and misconceptions of humic substances as the stable part of soil organic matter: A review. *Agronomy*. 2018; № 8(76).
14. Knicker H., Hilscher A., González-Vila F. J., Almendros G. A new conceptual model for the structural properties of char produced during vegetation fires. *Org. Geochem.* 2008; 39(8): 935–939.
15. Kogel-Knabner I., Rumpel C. Advances in Molecular Approaches for Understanding Soil Organic Matter Composition, Origin, and Turnover: A Historical Overview. *Adv. Agron.* 2018; 149: 1–48.

16. Lal. R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*. 2004; 123(1–2): 1–22.
17. Lodygin E. D., Beznosikov V. A. Influence of soil moisture on concentrations and <sup>13</sup>C NMR profiles of lipids in three Albeluvisols. *Geoderma*. 2005; 3(4): 253–262.
18. Mao J., Cao X., Olk D.C., Chu W., Schmidt-Rohr K. Advanced solid-state NMR spectroscopy of natural organic matter. *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy*. 2017; 100: 17–51.
19. Olk D. C., Bloom P. R., Perdue E. M. et al. Environmental and Agricultural Relevance of Humic Fractions Extracted by Alkali from Soils and Natural Waters. *J. Environ. Qual.* 2019; 48: 217–232.
20. Patton N. R., Lohs K. A., Seyfried M. S. et al. Topographic controls of soil organic carbon on soil-mantled landscapes. *Sci Rep.* 2019; 9(1).
21. Piccolo A. The Supramolecular structure of humic substances. A novel understanding of humus chemistry and implications in soil. *Science. Adv. Agron.* 2002; 75: 57–134.
22. Simpson A. J., Simpson M. J. *Nuclear magnetic resonance analysis of natural organic matter. Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems.* New Jersey, John Wiley & Sons Inc., 2009, pp. 589–650.
23. Stevenson F. J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions.* New York, John Wiley and Sons, 1994, 512 p.
24. Vasilevich R., Lodygin E., Beznosikov V., Abakumov E. Molecular composition of raw peat and humic substances from permafrost peat soils of European Northeast Russia as climate change markers. *Sci. Total Environ.* 2018; 615: 1229–1238.
25. Winkler A., Haumaier L., Zech W. Insoluble alkyl carbon components in soils derive mainly from cutin and suberin. *Org. Geochem.* 2005; 36: 519–529.
26. Woo D. K., Quijano J. C., Kumar P. et al. Threshold dynamics in soil carbon storage for bioenergy crops. *Environ. Sci. Technol.* 2014; 48: 12090–12098.

*Статья поступила в редакцию 29.11.2024; одобрена после рецензирования 17.12.2024; принята к публикации 15.01.2025.*

## INFLUENCE OF CHESTNUT SOIL AGRICULTURAL EXPLOITATION IN TRANSBAIKALIA ON THE ELEMENTAL COMPOSITION OF HUMIC ACIDS

*E. Yu. Milkheyev, Yu. B. Tsybikova*

*Evgeny Yu. Milkheyev*

Cand. Sci. (Biol), Researcher,  
Institute for General and Experimental Biology SB RAS  
6 Sakhyanovoy St, Ulan-Ude 670047, Russia  
evg-milh@rambler.ru

*Erzhena V. Tsybikova*

Cand. Sci. (Biol.), A/Prof.,  
Head of Land Reclamation and Soil Protection Department  
Institute of Land Management, Cadastre and Land Reclamation  
8 Pushkina St., Ulan-Ude 670024, Russia  
mel\_izkim@bgsha.ru

*Abstract.* Bioclimatic conditions of soil formation in the cryoarid climate zone of Transbaikalia determine the specific composition of humus and humic acids. Its peculiar that despite the harsh conditions of chestnut soil formation (the influence of long-term seasonal permafrost, continental climate), kastanozems contain humic acids with a fairly high content of carbon and nitrogen. A distinctive feature of the humic acid macromolecule of arable kastanozems compared to virgin ones is a less developed peripheral part with a high degree of benzenoidity. An increase in the proportion of aliphatic structures (peripheral part) and a decrease in the proportion of aromatic fragments helps to reveal a simplification of the structure of humic acid macromolecules in the studied soils. However, the structure characteristic of the genetic series of dry-steppe soils is preserved in humic acid macromolecules of kastanozems. A short growing season, the influence of deflation processes, insufficient moisture in combination with a light granulometric composition significantly reduce the rate of organic matter transformation, which leads to an increase in the proportion of unoxidized aliphatic fragments, formation of humic acids with more developed side chains.

*Keywords:* soil organic matter, humic substances, arable kastanozems, virgin kastanozems.

*Acknowledgments*

The research was carried out within the framework of the state assignment of Institute for General and Experimental Biology SB RAS No. 121030100228-4.

*For citation*

Milkheyev E. Yu., Tsybenov Yu. B. Influence of Chestnut Soil Agricultural Exploitation in Transbaikalia on the Elemental Composition of Humic Acids. *Nature of Inner Asia*. 2025; 1(30): 42–52 (In Russ.). DOI: 10.18101/2542-0623-2025-1-42-52

*The article was submitted 29.11.2024; approved after reviewing 17.12.2024; accepted for publication 15.01.2025.*