

УДК 504.53:631.417(571.54/.55)

**НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА
ЛЕСОСТЕПНЫХ И СТЕПНЫХ ПОЧВ ЗАБАЙКАЛЬЯ****Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б.,
Мильхеев Е.Ю., Егорова Р.А.***ФГБУН «Институт общей и экспериментальной биологии» СО РАН, Улан-Удэ,
e-mail: erzhenach@mail.ru*

В Забайкалье в жестких условиях криоаридного климата, при ярко выраженной сухости воздуха и почв, пониженном температурном режиме окружающей среды и постоянным воздействием большого запаса почвенного холода, растительность как фактор почвообразования в процессе многовековой эволюции выработала особые черты приспособления как в морфологии, так и химическом составе. В растительном покрове основная масса растений принадлежит к группе ксерофитов, которые сформировались и функционируют, с одной стороны, в условиях длительной сезонной мерзлоты. Такие экстремальные условия определяют специфику всех биологических процессов. Обитая при высоких амплитудах суточных и сезонных температур, растения формируют своеобразные адаптационные особенности биохимического состава. Так, впервые дана количественная характеристика компонентов неспецифического органического вещества почв лесостепных и степных почв Забайкалья. Выявлено, что содержание липидов в черноземах в верхнем слое в 3 раза больше, чем в серых лесных почвах. Выявлена особенность в их профилном распределении: в черноземах – убывающий характер, т.е. в минеральных горизонтах содержание липидов меньше, чем в гумусовом; а в серых лесных почвах – кривая возрастающая с последующим убыванием. В серых лесных почвах содержание углеводов в 3 раза меньше, чем в черноземах. Внутрипрофильное распределение общего содержания углеводов повторяет характер распределения липидов. Выявлено, что в черноземах общее содержание лигнина в верхнем слое почвы составляет 27,4 мг/г Corg, вниз по профилю его содержание убывает почти в 7 раз в слое 20–30 см. Для исследуемых черноземов характерна закономерность – убывание содержания фенолов в ряду: ванилиновые – сирингиловые – циннамиловые. Для серых лесных почв общее содержание лигнина равно 11,6 мг/г Corg в слое 0–20 см, характер содержания фенолов лигнина иной, чем в черноземах: ванилиновые – циннамиловые – сирингиловые.

Ключевые слова: углерод, липиды, углеводы, лигнин, серая лесная почва, чернозем дисперсно-карбонатный, Забайкалье

**NON-SPECIFIC ORGANIC SUBSTANCES OF FOREST-STEPPE
AND STEPPE SOILS OF TRANSBAIKALIA****Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B.,
Milkheev E.Yu., Egorova R.A.***Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: erzhenach@mail.ru*

In Transbaikalia, under severe conditions of a cryoarid climate, with pronounced dryness of air and soils, a low temperature regime of the environment and constant exposure to a large reserve of soil cold, plant, as a factor in soil formation has developed adaptation in morphology and chemical composition. For the first time a quantitative characteristic of the components of nonspecific organic matter of soils of forest-steppe and steppe soils of Transbaikalia is given. It was revealed that the lipid content in chernozems in the upper layer is 3 times higher than in gray forest soils. A feature was revealed in their profile distribution: in chernozems, a decreasing character, i.e. in the mineral horizons, the lipid content is less than in the humus; and in gray forest soils – a curve increasing with subsequent decrease. In gray forest soils, the carbohydrate content is 3 times less than in chernozems. Intra-profile distribution of total carbohydrate content follows the pattern of lipid distribution. It was revealed that chernozem the total lignin content in the topsoil is 27.4 mg / g Corg, down the profile its content decreases almost 7 times in the 20-30 cm layer. The studied chernozems are characterized by a regularity – a decrease in the phenol content in the series: vanillin – syringyl – cinnamyl. For gray forest soils, the total lignin content is 11.6 mg / g Corg in the 0–20 cm layer, the nature of the lignin phenol content is different than in chernozems: vanillin – cinnamyl – syringyl.

Keywords: carbon, lipids, carbohydrates, lignin, gray forest soil, dispersed carbonate chernozem, Transbaikalia

Неспецифические органические вещества (НОВ) – это вещества, которые образуются из отмерших растительных и животных остатков, характеризующиеся различным химическим составом. Они принимают участие во внутрпочвенном разложении минералов и синтезе органо-минеральных соединений, также они являются хорошими структурообразователями и характеризуются высокой физиоло-

гической активностью. К неспецифическим компонентам почвенного органического вещества относятся углеводы, липиды, лигнин и некоторые другие соединения.

Индивидуальные химические соединения играют большую роль в процессах почвообразования, и их накопление зависит от зонально-генетических особенностей почвы. В составе гумуса содержание углеводов и липидов увеличивается в ряду от черно-

земов к подзолистым почвам. Можно отметить, что содержание и состав НОВ является важной характеристикой почв. Из НОВ углеводы и лигнин составляют «львиную» долю растительных остатков, где последние имеют различный химический состав, в зависимости от видовой принадлежности и экологических особенностей места их произрастания, что, несомненно, отражается на характере гумификации.

Углеводы играют важную роль в наземном углеродном цикле [1]. Участвуя во многих химических реакциях, они образуют соединения с тяжелыми металлами; вступая во взаимодействие с глинистыми минералами, способствуют созданию структуры почвы. Углеводы выступают важным источником углерода (С) и энергии для микроорганизмов почв, а также способствуют развитию корней растений. Содержание их в почвах зависит от типа почвы и типа землепользования.

Липиды – это сборная группа органических соединений, не имеющих единой химической характеристики. Они характеризуются чуткой реакцией на изменение экзогенных условий, так же как и углеводы выступают источником энергии для почвенных микроорганизмов, поэтому их можно использовать для индикации интенсивности биохимических процессов, происходящих в почвах. Содержание липидов значительно влияет на водный и питательный почвенные режимы. Липиды играют важную роль в физических свойствах почвы, часто используются в качестве маркеров для реконструкции структуры растительности или для исследования оборота и происхождения органического вещества почвы [2]. Количество липидов может варьировать в разных типах почв. Концентрация липидов в почве может в значительной степени регулироваться органо-минеральными компонентами.

Наиболее распространенным ароматическим растительным биополимером наземных экосистем, вторым компонентом после углеводов по распространенности в природе является лигнин. В ходе биосинтеза на планете образуется каждый год примерно 30–40 млрд т лигнина. Ароматические дериваты лигнина фактически обнаружены во всех наземных растениях. Главным резервуаром лигнина в биосфере являются почвы в разных природных зонах и различных экосистем. Одинаковых лигнинов в природе нет, в отличие от целлюлоз, структура которых идентична для всех растений. Структура лигнина может изменяться в результате дей-

ствия экзогенных факторов, а также в процессе онто- и филогенеза. Эти изменения направлены на наилучшее обеспечение и эффективное выполнение лигнином его функций в растении, в том числе на повышение устойчивости к низким температурам и другим стрессам. Уникальность лигнина заключается в многообразии структурных единиц, из которых он построен, и в поливалентности типов связей между ними [3].

Неспецифические органические вещества почв Забайкалья изучены фрагментарно [4]. Отсюда, целью нашего исследования была оценка общего содержания НОВ (липиды, углеводы, лигнин) лесостепных и степных почв Забайкалья.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись серая лесная почва (Кабанский район, пашня) и чернозем дисперсно-карбонатный (Мухоршибирский район, целина). В июле 2018 г. были заложены два почвенных разреза, проведен отбор образцов с шагом 10 см для проведения последующих анализов в трехкратной повторности. Основные анализы проведены на базе лаборатории биохимии почв ИОЭБ СО РАН (г. Улан-Удэ). Лигнин в почвах определен в Институте почвоведения Ганноверского университета им. Готфрида Вильгельма Лейбница (г. Ганновер, Германия).

Исследуемый регион характеризуется резко континентальным климатом, жестким режимами температуры и влаги. Серые лесные почвы и черноземы являются длительно-сезоннопромерзающими (5–7 месяцев находятся в промерзшем состоянии), промерзая до 240–270 см. За год выпадает 300–350 мм, коэффициент увлажнения весной и ранним летом очень низкий (0,13–0,29), а летом в июле и августе достигает единицы.

Черноземы характеризуются содержанием гумуса 5,3%, легкосуглинистым гранулометрическим составом, невысокой суммой обменных оснований (29,7 мг·экв/100 г почвы). Реакция среды в гумусово-аккумулятивном горизонте рН = 6,7–6,9, а в средней и нижней частях профиля слабощелочная с переходом в щелочную реакцию почвенного раствора.

Для серых лесных почв характерно низкое содержанием гумуса 3,9%, легкосуглинистый гранулометрический состав, невысокая сумма обменных оснований (19,5 мг·экв/100 г почвы), а также близкая к нейтральной реакция среды.

Общее содержание липидов в почвенных образцах определяли экстракцией азе-

отропной смесью спирт – бензол в отношении 1:2 в течение 12 ч, используя аппарат Сокслета. Затем большую часть растворителя отгоняли на роторном испарителе и высушивали до воздушно-сухого состояния.

Лигнин определяли мягким щелочным окислением оксидом меди в азотной среде [5]. Составляющие лигнин фенолы разделены на газожидкостном хроматографе после предварительной дериватизации и превращения их в триметилсилиловые эфиры. Индивидуальные продукты реакции идентифицированы путем сравнения времени удерживания (в минутах) и пиков с известными компонентами и количествами, используемыми в качестве внешних стандартов. Газохроматографический анализ фенолов лигнина с использованием высокоточной аналитической техники позволил анализировать вещества в следовых количествах. Благодаря такому подходу удалось изучить лигнин на высоком качественном и количественном уровне. Данный метод обладает высокой точностью измерений.

Общее количество углеводов определяли фенолсерноокислым методом Дебуа. Участие углеводов в формировании гумуса почв можно сравнивать по количеству углерода углеводов. Для перевода абсолютного количества углеводов на содержание углерода углеводов используют коэффициент 0,4.

Результаты исследования и их обсуждение

Суровые условия Забайкалья, вызывая фитостресс у растений, приводят к их ответной реакции – формированию защитных систем и выживание за счет мобилизации, при которой происходят некоторые метаболические перестройки у растений: накопление криопротекторов – сахаров и других совместимых осмолитов; повышается содержание липидов, изменение состава мембранных липидов и др.

На каждой стадии онтогенеза – растения приспособляются к неблагоприятным условиям (низкая температура, засуха т.д.) в разной степени. Происходит изменение обмена веществ, которые определяются быстротой и глубиной его изменений без нарушения баланса между отдельными функциями, благодаря чему не нарушается единство организма и среды.

Липиды

Установлено, что черноземы характеризуются высоким содержанием липидов по сравнению с серыми лесными почвами.

Выявлена особенность в их профиле распределения липидов: в черноземах – его содержание снижается с глубиной в пределах органогенного горизонта, а в серых лесных почвах происходит накопление углеводов в иллювиальном горизонте, для которого характерна более низкая биологическая активность микрофлоры. Известно, что накопление липидов в гумусовых горизонтах почв находится в обратной зависимости от степени гумификации. В целом, доля липидов в исследуемых почвах по сравнению с европейскими аналогами низка.

В почвах с высокой степенью гумификации ОБ количество липидов низко. Содержание липидов в верхних горизонтах составляет 3–8%, редко превышает 10% от $C_{\text{общ}}$, в иллювиальном горизонте, с низкими значениями гумуса, количество липидов может более 50% (в перерасчете на углерод). Доля липидов в исследуемых почвах низка, что вписывается в закономерность накопления липидов. Относительно низкое количество липидов можно объяснить их агрогенной деградацией.

В формировании липидов почв велика роль микроорганизмов: микробиомасса является продуцентом липидов, а также липиды гумуса используются ими как источник энергии. Высокая микробиологическая активность при значительном содержании общего органического углерода обуславливает относительно низкую долю липидной фракции. Например, в черноземах европейской части России (ЕЧР) (при $C_{\text{общ}}$ равном 4–6%) – 2,5 г на 1 кг почвы, а в серых лесных почвах (при $C_{\text{общ}}$ равном 3,5–4,5%) – 2,2 г/кг. Содержание липидов в иллювиальном горизонте устойчиво к деструкции микробами, и ее доля в фондах органического вещества (ОВ) высока по сравнению с гумусово-аккумулятивным горизонтом.

Углеводы

Содержание углеводов в почвах зависит от запасов гумуса, и для верхних горизонтов большинства типов почв доля углеводов в составе гумуса составляет от 6–10 до 20–30% (в пересчете на углерод). Большой процент углеводов входит в состав фульвокислот и негидролизуемого остатка (60–80% всех углеводов); примерно 15% углеводов находится в гуминовых кислотах. В других группах почвенного гумуса содержится ориентировочно 1–10% углеводов.

Результаты исследования показали, что в черноземах обнаружено высокое содержание углеводов. Распределение

по профилю почв имеет убывающий характер с 2,04 мг С/г до 0,96 мг С/г в слое 40–50 см.

В серых лесных почвах содержание углеводов в верхнем 0–20 см слое колеблется в интервале 0,68–0,84 мг С/г, что гораздо меньше, чем в черноземах. В серых лесных почвах количество углеводов, наоборот, возрастает вниз по профилю с 0,68 до 1,2 мг С/г в слое 20–30 см, что связано с агрогенными условиями землепользования. В верхнем слое при пахоте углеводы более подвержены разрушению как источник питания микроорганизмов.

К примеру, содержание углеводов в лесостепных почвах составляет 1–2%, в степных – от 0,6 до 1,5%, в сухостепных почвах – 0,5–0,9%. Количество углерода углеводов в лесостепных почвах составляет 6,9–24,8%, в степных 11,6–22,6, в сухостепных 19,5–23,1% от органического углерода. В литературе встречаются более низкие показатели содержания углеводов в южных черноземах и в каштановых почвах – 8–10%.

Содержание и распределение углеводов по профилю в почвах зависит от содержания гумуса и скорости разложения ОВ. Корреляционная зависимость между содержанием углеводов и $C_{орг}$ высокая $r = 0,86–0,88$. Общее количество углеводов снижается с глубиной, вниз по профилю почв увеличивается доля углерода углеводов в составе гумуса.

Углеводы в почве не могут накапливаться в значительных количествах вследствие утилизации микроорганизмами и растениями.

Лигнин

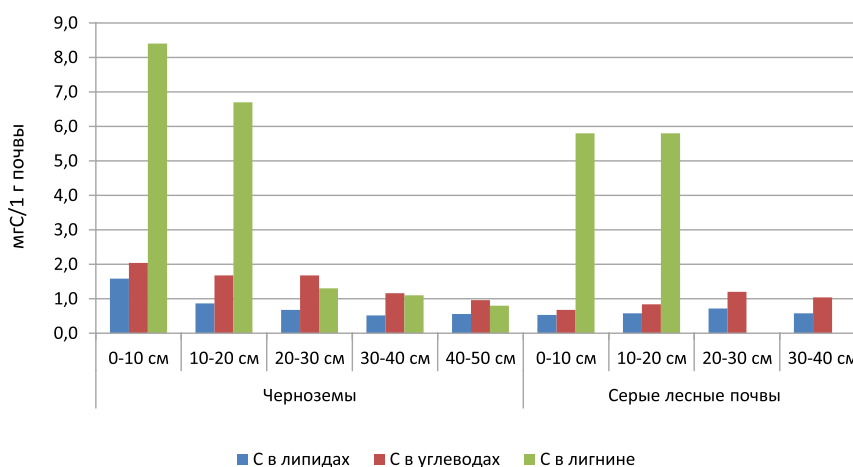
В дисперсно-карбонатных черноземах общее содержание лигнина в верхнем слое

почвы составляет 27,4 мг/г $C_{орг}$, вниз по профилю его содержание убывает почти в 7 раз до 4,1 мг/г $C_{орг}$ в слое 20–30 см. В степи при резкой смене температуры и влажности в течение суток, так и по сезонам года в чернозем поступают обедненные азотом, зато обогащенные целлюлозно-лигнинным комплексом [4] органические остатки растительности, которые обуславливают значительное содержание лигнина в верхних слоях почвы.

Для исследуемых черноземов характерна закономерность – убывание содержания фенолов в ряду: ванилиновые – сирингиловые – цинамиловые. По составу лигнинных фенолов выявлено высокое содержание ванилиновых фенолов во всех исследуемых образцах с убыванием его количества вниз по профилю, меньшее количество – цинамиловых.

Для серых лесных почв общее содержание лигнина равно 11,6 мг/г $C_{орг}$ в слое 0–20 см, характер содержания фенолов лигнина иной, чем в черноземах: ванилиновые – цинамиловые – сирингиловые. По составу лигнинных фенолов так же преобладают ванилиновые.

Доля углерода липидов, углеводов, лигнина в $C_{орг}$ представлена на рисунке. Следует отметить, что лигнин отличается более высоким содержанием углерода (50–60%), что обусловлено его ароматической природой. Так, углерода лигнине черноземов в верхнем 0–10 см слое содержится 8,4 мг/г $C_{орг}$, а в серых лесных почвах – в 1,5 раза меньше – 5,8 мг/г. Вниз по профилю его количество снижается. Содержание углерода в других НОВ значительно меньше, что объясняется тем, что лигнин является очень устойчивым к разложению соединением.



Содержание углерода в липидах, углеводах и лигнине черноземов и серых лесных почв Забайкалья

Заключение

Мерзлотная засуха способствовала выработке особых черт приспособления как в морфологии, так и химическом составе растений. Характерной особенностью является то, что содержание лигнина в исследуемых почвах Забайкалья выше, а содержание липидов и углеводов ниже, по сравнению с аналогичными почвами ЕЧР.

Выявлено, что большее количество общего содержания липидов, углеводов и лигнина обнаружено в черноземах дисперсно-карбонатных, по сравнению с серыми лесными почвами.

Следует отметить, что доля углерода в составе НОВ значительна. Это свидетельствует о том, что изучаемые индивидуальные химические соединения выводят углерод на различное время из круговорота, выполняя роль важного звена в его циклах и в формировании резервуара устойчивых органических соединений.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № АААА-А 17-117011810038-7 «Эволюция, функционирование и эколого-биогео-

химическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продуктивными процессами».

Список литературы / References

1. Ratnayake R.R., Seneviratne G., Kulasooriya S.A. Effects of land use and management practices on quantitative changes of soil carbohydrates. *Journal Natn. Sci. Foundation Sri Lanka*. 2011. vol. 39. no. 4. P. 345–353. DOI: 10.4038/jnsfsr.v39i4.3883.
2. Feng X., Xu Y., Jaffè R., Schlesinger W.H., Simpson M. Turnover rates of hydrolysable aliphatic lipids in Duke Forest soils determined by compound specific ^{13}C isotopic analysis. *Org Geochem*. 2010. vol. 41. P.573–579. DOI: 10.1016/j.orggeochem.
3. Karmanov A.P., Kocheva L.S., Belyaev V.Yu. Study of the macromolecular structure of lignins in rye secale sp. and barley hordeum sp. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2010. vol. 36. no. 7. P. 825–828. DOI: 10.1134/S1068162010070058.
4. Чимитдоржиева Г.Д. Органическое вещество холодных почв. Улан-Удэ: Изд. Бурятского научного центра, 2016. 386 с.
Chimitdorzhieva G.D. Organic matter in cold soils. Ulan-Ude: Izd. Buryatskogo nauchnogo tsentra, 2016. 386 p. (in Russian).
5. Ertel J.R., Hedges J.I. The lignin component of humic substances: distribution among soils and sedimentary humic, fulvic, and base-insoluble fractions. *Geochim Cosmochim Acta*. 1984. vol. 48. P. 2065–2074.