



Влияние пожаров на состав алифатических соединений в степных почвах Хакасии

© 2024 И. В. Русских , Е. Б. Стрельникова 

ФГБУН Институт химии нефти СО РАН, Академический проспект, 4, г. Томск, 634055, Россия.

E-mail: rus@ipc.tsc.rus

Цель исследования. Оценка особенностей состава алифатических соединений в почвах постпирогенных и фоновых территорий степной зоны Хакасии.

Место и время проведения. Образцы почв отобраны через три месяца после пожаров на фоновых и постпирогенных участках в Ширинском районе в окрестностях с. Туим (чернозём южный), а также в Усть-Абаканском районе вблизи г. Усть-Абакан (чернозём южный) и г. Черногорск (каштановая почва).

Методы. Пробы отбирали с глубины 0–1 см (подстилка – степной войлок) и 1–10 см. Органические соединения выделены из высушенных и измельчённых почв путём экстракции 7% раствором метанола в хлороформе. Исследование состава органических алифатических соединений проводили методом хромато-масс-спектрометрии.

Основные результаты. В составе алифатических соединений почв обнаружены углеводороды (*n*-алканы), насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, кетоны (*n*-алкан-2-оны, 10-нонакозанон, 16-гептриаконтанон), *n*-альдегиды, спирт 1-гексакозанол. Суммарное содержание биомолекул в верхнем слое почвы фоновых участков снижено по сравнению с подстилками в среднем на 82%. Под воздействием пожара в подстилках происходит резкое снижение количества *n*-альдегидов, жирных кислот, а также длинноцепочечных кетонов по сравнению с фоновыми территориями. Распределение *n*-алканов в почвах носит бимодальный характер: первая мода представлена низкомолекулярными чётными гомологами C₁₄–C₂₂, характерными для микроорганизмов (преимущественно аэробных бактерий и грибов); вторая – высокомолекулярными нечётными структурами C₂₃–C₃₅, которые указывают на вклад наземных растений в органическое вещество почв. В распределении *n*-алканов почвенных войлоков после пожаров наблюдается рост доли чётных низкомолекулярных гомологов. Более высокое содержание низкомолекулярных гомологов характерно и для *n*-альдегидов большинства образцов подстилок горелых участков по сравнению с фоновыми территориями. Пожар в разной степени повлиял на степной войлок и непосредственно верхний слой почвы. Практически не изменилось изначально низкое содержание биомолекул в почве и характер распределения отдельных гомологических рядов на горелых участках по сравнению с фоном. Таким образом, под воздействием пожара разрушаются отдельные классы биомолекул, прежде всего характеризующиеся наличием длинной парафиновой цепи. В дальнейшем, в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, дополнительно образуются такие структуры как низкомолекулярные чётные *n*-алканы.

Заключение. Анализ состава алифатических соединений в степных почвах Хакасии на фоновых и постпирогенных территориях показал, что биомаркеры, такие как *n*-алканы и *n*-альдегиды, являются экологическими индикаторами источников, процессов деградации, пирогенной деструкции и трансформации органического вещества почвы.

Ключевые слова: фоновые и постпирогенные территории; органическое вещество почвы; распределение алифатических соединений.

Цитирование: Русских И.В., Стрельникова Е.Б. Влияние пожаров на состав алифатических соединений в степных почвах Хакасии // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e287. DOI: [10.31251/pos.v7i4.287](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.287)

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество почвы (ОВП) является одним из крупнейших наземных резервуаров углерода, запасы которого более чем в 10 раз превышают запасы лесной биомассы (Settele et al., 2014). Несмотря на большое значение ОВП в глобальном углеродном цикле, остаётся много вопросов относительно его формирования и сохранения. Изучение деградации и сохранения отдельных классов органических соединений, входящих в состав ОВП, таких как *n*-алканы, *n*-алканола, жирные кислоты и т.д., может дать представление о формировании, накоплении и трансформации ОВП в определенной экосистеме. Многие из этих соединений считаются «биологическими маркерами» («биомаркерами»), поскольку могут указывать на организмы-источники и сохраняться после осаждения в экологических системах, таких как почвы и отложения (Peters et al., 2005). Хотя количество исследований, связанных с липидными биомаркерами, особенно с *n*-алканами, увеличилось за последнее время, лишь ограниченная часть была сфокусирована на трансформации

этих соединений после осаждения в почвенных горизонтах. Так, в работе (Анохина и др., 2018) показано, что динамика содержания *n*-алканов с числом углеродных атомов C₁₉–C₃₅ и соответствующих продуктов их окисления *n*-метил-кетонов (*n*-алкан-2-онов) характеризует скорость биodeградации в подстилках и почвах.

Известно, что пожары оказывают значительное влияние на экосистемы, в том числе меняя содержание и состав органического вещества верхнего горизонта почв (Буряк и др., 2022). За рубежом проводятся исследования о влиянии пожаров на состав липидов почв, включая отдельные группы соединений, такие как алканы и полициклоароматические углеводороды (Almendros et al., 1988; Tinoco et al., 2006; Eckmeier, Wiesenberg, 2009; Wiesenberg et al., 2009; Kuhn et al., 2010). В работах российских учёных в основном рассматриваются морфологические, водно-физические, химические свойства (Анилова, 2012; Синюткина и др., 2024) и катионно-анионный баланс (Габбасова и др., 2019) пирогенно-изменённых почв, изменения в составе липидов практически не изучены.

Целью нашей работы является оценка особенностей состава алифатических соединений в почвах постпирогенных и фоновых территорий степной зоны Хакасии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Почвы на фоновых и постпирогенных территориях отобраны через три месяца после пожаров с трёх участков степной зоны Хакасии (табл., рис. 1–3): в Ширинском районе в окрестностях с. Туим и в Усть-Абаканском районе вблизи городов Усть-Абакан и Черногорск. Пробы отбирали с глубины 0–1 см (подстилка – степной войлок, отмершая растительность и горелые остатки с верхним слоем почвы) и с глубины 1–10 см (каштановая почва – в г. Черногорск, чернозём южный – с. Туим и г. Усть-Абакан).

Таблица

Характеристика мест отбора почвенных образцов в степной зоне Хакасии

Координаты		Дата пожара	Дата отбора
Фон	Пожар		
Ширинский район, с. Туим			
54°21'2" с.ш., 90°1'27" в.д.	54°20'57" с.ш., 90°1'31" в.д.	05.2022	08.07.2022
Усть-Абаканский район, г. Усть-Абакан			
53°50'47" с.ш., 91°24'29" в.д.	53°50'35" с.ш., 91°24'19" в.д.	04.2022	09.07.2022
Усть-Абаканский район, г. Черногорск			
53°51'5" с.ш., 91°7'27" в.д.	53°51'5" с.ш., 91°8'37" в.д.	05.2023	18.07.2023

Органические соединения выделены из высушенных и измельчённых почв путём экстракции 7% раствором метанола в хлороформе при 60°C в течение 2,5 часов. Исследование состава органических ациклических соединений проводили на хромато-масс-спектрометре DFS «Thermo Scientific», предоставленном центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН. Условия проведения анализа более подробно приведены в работе (Fedorov et al., 2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состав биомолекул почв фоновых участков. Известно, что растительные остатки попадают на поверхность почвы и образуют слой так называемой подстилки, где и начинается формирование почвенного органического вещества. Липидные соединения в почве образуются из продуктов распада растительной биомассы, кутикулярной ткани побегов и корней, а также микроорганизмов и включают жирные кислоты, стерины, терпеноиды, гомологические ряды длинноцепочечных углеводородов, спиртов, кетонов, а также более сложные соединения (Atanassova et al., 2020). Биохимическая трансформация липидов, являющихся важным компонентом ОВП, начинается в слое подстилки.

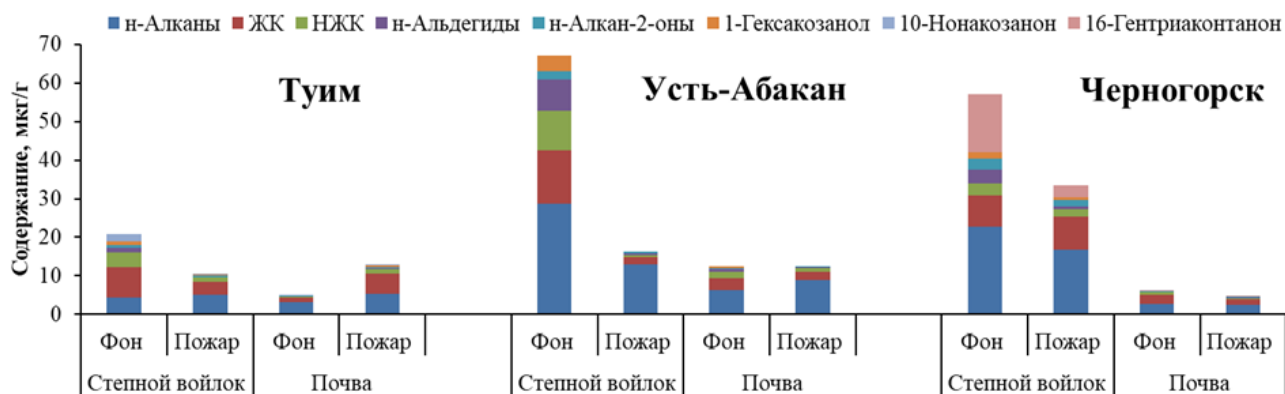


Рисунок 1. Содержание алифатических соединений в степном войлоке и почвах на фоновых и горелых территориях.

В составе биомолекул почв и подстилок степных почв Хакасии обнаружены представители алифатических органических соединений, включающие углеводороды (*n*-алканы), насыщенные жирные кислоты (ЖК) и ненасыщенные жирные кислоты (НЖК), кетоны (*n*-алкан-2-оны, 10-нонакозанон, 16-гентриаконтанон), *n*-альдегиды, спирт 1-гексакозанол (см. рис. 1). На всех участках суммарное содержание биомолекул в верхнем слое почвы снижено по сравнению с подстилками на 76–89%, а отдельно *n*-алканов – на 27 и 88% для участков в районах Туима, Усть-Абакана и Черногорска, соответственно, что согласуется с литературными данными. В работе (Thomas et al., 2021) проведено сопоставление состава *n*-алканов подстилок и почв более чем на двадцати площадках, находящихся в различных климатических и экологических условиях, включая хвойный, лиственный и смешанный леса, луга или кустарники, торфяники и степь. Для большинства территорий наблюдалось уменьшение абсолютной концентрации *n*-алканов от подстилки до верхнего слоя почвы; в среднем количество *n*-алканов снизилось на 46%.

По данным, полученным для трёх фоновых участков степи, установлено повышенное суммарное содержание алифатических соединений в почве и степном войлоке вблизи Усть-Абакана (12,4 и 67,0 мкг/г) по сравнению с Черногорском (6,3 и 57,0 мкг/г) и, особенно, районом Туима (4,9 и 20,0 мкг/г). Во всех исследованных почвах преобладают структуры, характерные для биогенного ОВ: *n*-алканы, ЖК и НЖК. В образцах, отобранных на Усть-Абаканском участке, повышена доля *n*-альдегидов и 1-гексакозанола, а в почвах Туима и Черногорска обнаружены длинноцепочечные кетоны 10-нонакозанон и 16-гентриаконтанон, характерные для эпикутикулярных восков некоторых видов растений, например, ботвы картофеля (Szafranek, Synak, 2006). Метилкетоны (*n*-алкан-2-оны) находятся во всех почвах и войлоках в незначительных сопоставимых количествах (0,2–0,4 мкг/г – в почвах и 0,3–3,1 мкг/г – в войлоках).

Молекулярно-массовое распределение *n*-алканов в почвах носит бимодальный характер (см. рис. 2–4). Первая мода представлена преимущественно низкомолекулярными чётными гомологами ряда C_{14} – C_{22} , что указывает на наличие в почве микроорганизмов (преимущественно аэробных бактерий и грибов) (Hunt, 1979) с преобладанием (C_{16}), характерного для гетеротрофных микроорганизмов (Ficken et al., 2000). Вторая мода состоит из высокомолекулярных нечётных структур C_{23} – C_{35} с преобладанием гомологов C_{29} и C_{31} , которые являются маркерами остатков наземных растений (Goske et al., 2013). В почвах Усть-Абаканского района содержание низкомолекулярных и высокомолекулярных гомологов сопоставимо, а в почве окрестностей с. Туим преобладают низкомолекулярные алканы. В войлоке всех фоновых участков доминируют высокомолекулярные *n*-алканы, причём выделяются гомологи C_{29} и C_{31} .

Ряд *n*-альдегидов включает в себя преимущественно чётные структуры C_{20} – C_{32} (см. рис. 2–4). При этом в распределении *n*-альдегидов наблюдается та же тенденция, что и у *n*-алканов. В образцах фоновых участков содержание высокомолекулярных гомологов (C_{26} – C_{30}) выше, чем низкомолекулярных (C_{20} – C_{24}). В составе *n*-альдегидов на фоновых территориях во всех войлоках и почве Усть-Абакана доминирует гексокозаналь (C_{26}), в то время как в почвах Туима и Черногорска содержание гексокозаноля и докозаноля (C_{22}) сопоставимо.

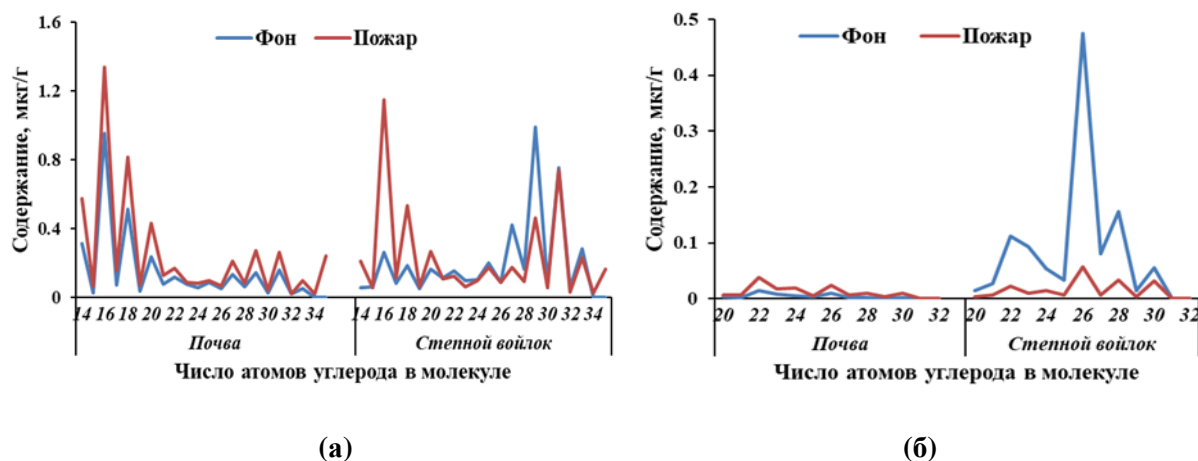


Рисунок 2. Распределение *n*-алканов (а) и *n*-альдегидов (б) в почвах Туима на фоновых и горелых участках.

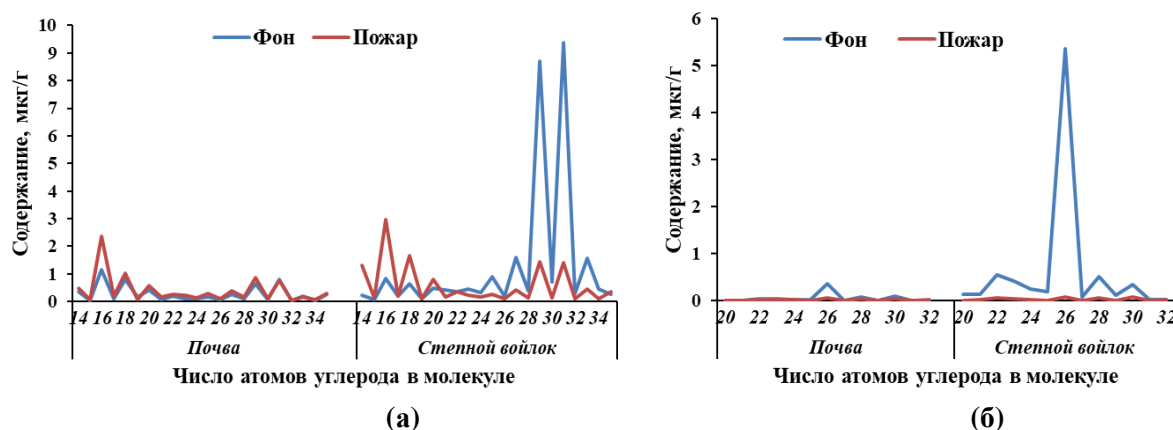


Рисунок 3. Распределение *n*-алканов (а) и *n*-альдегидов (б) в почвах Усть-Абакана на фоновых и горелых участках.

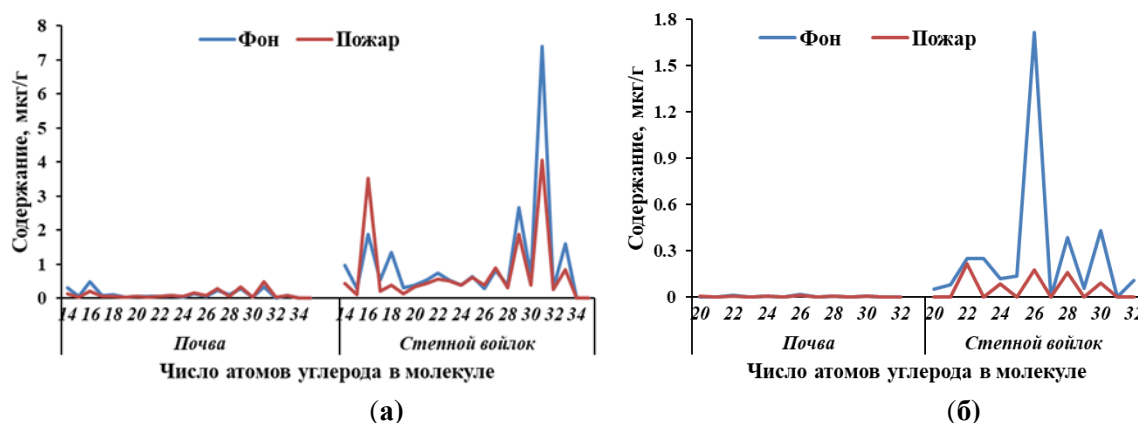


Рисунок 4. Распределение *n*-алканов (а) и *n*-альдегидов (б) в почвах Черногорска на фоновых и горелых участках.

Во всех фоновых образцах почв и войлока присутствуют *n*-алкан-2-оны ряда C_{17} – C_{35} с доминированием нечетных гомологов C_{29} , C_{31} , C_{33} . Ряд насыщенных жирных кислот в почвах степной зоны Хакасии включает четные структуры от миристиновой (C_{14}) до церотиновой (C_{26}) с преобладанием пальмитиновой (C_{16}), среди ненасыщенных жирных кислот обнаружены олеиновая ($C_{18:1}$) и линолевая ($C_{18:2}$). В составе спиртов в войлоках и почвах зафиксирован один представитель ряда *n*-алканолов – гексокозанол (C_{26}), причем в почве Усть-Абакана он не обнаружен.

Изменение состава биомолекул почв после пожара. В степном войлоке на пирогенных участках отмечено снижение количества алифатических структур по сравнению с фоновыми территориями (см. рис. 1). Это наиболее выражено вблизи Усть-Абакана, где содержание ЖК и НЖК уменьшилось в 7,8 раз, а *n*-альдегидов – в 19 раз. В войлоке вблизи Туима в результате пожара также снизилось количество *n*-альдегидов (в 5,6 раз), ЖК и НЖК (в 3,5 раз), кроме того, практически полностью исчез 10-нонакозанон. В войлоке Черногорска содержание *n*-альдегидов, 1-гексакозанола и 16-гептриакоктанола снизилось в 2–5 раз. В образцах почв Усть-Абаканского района суммарное содержание алифатических структур на пирогенных участках снижается незначительно (в 1,0–1,3 раза), а в почве Туима зафиксировано даже повышенное по сравнению с фоном (в 2,6 раз) количество этих соединений. Таким образом, пониженные количества алифатических структур в почве и подстилке Туима по сравнению с другими исследованными фоновыми территориями указывают, что этот участок, вероятно, ранее (до пожара 2022 г.) уже был подвержен воздействию огня, так как известно, что пожары в Хакасии – частое явление (Кандалова, 2007).

Через три месяца после пожара в распределении *n*-алканов почвы наблюдается рост доли чётных низкомолекулярных гомологов; довольно резкое их увеличение обнаружено в степном войлоке, отобранном в окрестностях Усть-Абакана и Туима, в 3 и 4 раза, соответственно (см. рис. 2–3). Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными. Так, в составе липидов, выделенных из почв Испании, на которых была пожаром выжжена растительность, преобладали короткоцепочечные *n*-алканы с чётным числом атомов углерода (Tinoco et al., 2006), в то время как вне подверженной влиянию пожара биомассе преобладали длинноцепочечные *n*-алканы (Eckmeier, Wiesenberg, 2009). В работах (Almendros et al., 1988; Wiesenberg et al., 2009; Kuhn et al., 2010) показано, что индуцированный горением термический распад длинноцепочечных *n*-алканов высших растений может приводить к образованию короткоцепочечных гомологов, обнаруженных в почве, что подтверждено изотопным анализом *n*-алканов растений и почвы (Kuhn et al., 2010).

Характер распределения *n*-альдегидов в почвах схож с распределением *n*-алканов. Более высокое содержание низкомолекулярных гомологов и более низкое общее количество *n*-альдегидов характерно для большинства образцов подстилок горелых участков по сравнению с фоновыми территориями (см. рис. 2–4). В почвах зафиксировано очень низкое содержание *n*-альдегидов, обусловленное их высокой склонностью к деградации. В распределении ЖК и *n*-алкан-2-онов существенных изменений на постпирогенных участках по сравнению с фоновыми не обнаружено.

Таким образом, пожар в разной степени повлиял на степной войлок и непосредственно верхний слой почвы. Изменения в войлоке количественно более существенные и затрагивают большинство идентифицированных групп соединений и отдельные структуры. При этом на трёх разных территориях в результате пожара происходят однонаправленные изменения состава алифатических соединений. На всех участках в степном войлоке зафиксировано смещение максимума в распределении гомологов *n*-алканов и *n*-альдегидов от высоко- к низкомолекулярным структурам. Пожар практически не повлиял на изначально низкое содержание биомолекул в почве, слабо изменился вид отдельных гомологических рядов на горелых участках по сравнению с фоном. Указанные изменения в распределении биомолекул происходят, вероятно, под влиянием как минимум двух факторов: разрушение под воздействием пожара отдельных классов соединений, прежде всего, характеризующихся наличием длинной парафиновой цепи, и образование дополнительной порции биомолекул (в частности, низкомолекулярных чётных *n*-алканов), возможно, в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты по исследованию состава алифатических соединений степных почв Хакасии показали, что липидные биомаркеры, такие как *n*-алканы и *n*-альдегиды, являются чувствительными экологическими индикаторами происхождения органического вещества, процессов его деградации в верхнем слое почвы, пирогенной деструкции и постпирогенного восстановления.

На содержание и характер распределения биомолекул в почве оказывают влияние много факторов окружающей среды (климат, растительность, свойства почвы). Предполагается, что трансформация органических соединений может пойти разными путями. В исследованных фоновых и постпирогенных почвах Хакасии наблюдается тенденция к снижению общей концентрации *n*-алканов с увеличением глубины почвы. Скорее всего, это вызвано деградацией или переработкой *n*-алканов почвенной микробиотой. Вполне вероятно, что микроорганизмы способны генерировать

новые биомолекулы, меняя структуру липидов органического вещества почвы. Поэтому возникает необходимость проведения совместных исследований с микробиологами.

В целом, необходимо расширение базы данных о тенденциях изменения липидов как важной части органического вещества почвы в различных экологических условиях, а также под влиянием климатических и антропогенных нарушений, в том числе и с точки зрения выяснения факторов, управляющих стабилизацией органического углерода в различных почвенных средах.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии нефти СО РАН (НИОКТР 121031500046-7), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

Анилова Л.В. Постпирогенная трансформация почв степной зоны Оренбургского Предуралья // Степи Северной Евразии: Материалы VI международного Симпозиума и VIII международной школы-семинара «Геоэкологические проблемы степных регионов» (Оренбург, 18–23 июня 2012 г.). Оренбург: ИПК «Газпромнефть», 2012. С. 47–49.

Анохина Н.А., Демин В.В., Завгородняя Ю.А. Состав n-алканов и n-метил-кетонов в почвах парковой зоны Москвы // Почвоведение. 2018. № 6. С. 683–692. <https://doi.org/10.7868/S0032180X18060047>

Буряк Л.В., Каленская О.П., Кукавская Е.А., Лузганов А.Г. Зонально-географические особенности воздействия пожаров на лесообразование светлохвойных насаждений юга Сибири. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 2022. 284 с.

Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р., Суюндуков Я.Т., Хасанова Р.Ф., Сидорова Л.В., Комиссаров А.В., Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И. Влияние пожаров на свойства степных почв Зауралья // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1513–1523. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120049>

Кандалова Т.Г. Влияние степных пожаров на настоящие и луговые степи госзаповедника «Хакасский» // Степной бюллетень. Осень-зима. 2007. № 23–24. С. 19–24.

Синюткина А.А., Оленникова А.В., Сун-зу-ли Л.Ю., Гашкова Л.П. Трансформация торфяной залежи и накопление углерода на постпирогенных верховых болотах таёжной зоны Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 1. с246. <https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.246>

Almendros G., Martin F., Gonzalez-Vila F.J. Effects of fire on humic and lipid fractions in a Dystric Xerochrept in Spain // Geoderma. 1988. Vol. 42. No. 2. P. 115–127. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(88\)90028-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(88)90028-6)

Atanassova I., Harizanova M., Banov M. Free Lipid Biomarkers in Anthropogenic Soils. In book: Soil Health Restoration and Management. Springer Nature Singapore / R. Meena (ed.). 2020. P. 321–355. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8570-4_9

Eckmeier E., Wiesenberg G.L.B. Short-chain n-alkanes (C16–20) in ancient soil are useful molecular markers for prehistoric biomass burning // Journal of Archaeological Science. 2009. Vol. 36. No. 7. P. 1590–1596. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.03.021>

Fedorov D.V., Serebrennikova O.V., Elchaninova E.A., Kadychagov P.B. Composition and Distribution of Organic Compounds in Oil-Contaminated Peat Soils of the Mamontovskoye Field (KhMAO–Yugra) // Solid Fuel Chemistry. 2024. Vol. 58. No. 2. P. 129–139. <https://doi.org/10.3103/S0361521924020022>

Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // Organic Geochemistry. 2000. Vol. 31. P. 745–749. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00081-4)

Gocke M., Kuzyakov Y., Wiesenberg G.L.B. Differentiation of plant derived organic matter in soil, loess and rhizoliths based on n-alkane molecular proxies // Biogeochemistry. 2013. Vol. 112. № 1–3. P. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9659-y>

Hunt J.M. Petroleum Geochemistry and Geology. San Francisco: Freeman, 1979. 617 p.

Kuhn Th.K., Krull E.S., Bowater A., Grice K., Gleixner G. The occurrence of short chain N-alkanes with an even over odd predominance in higher plants and soils // Organic Geochemistry. 2010. Vol. 41. No. 2. P. 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.08.003>

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The Biomarker Guide. Cambridge University Press. 2005. Vol. 1. 1155 p.

Settele J., Scholes R., Betts R., Bunn S., Leadley P., Nepstad D., Overpeck J.T., Taboada M.A. Terrestrial and inland water systems. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.). NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014. P. 271–359.

Szafranek B.M., Synak E.E. Cuticular waxes from potato (*Solanum tuberosum*) leaves // *Phytochemistry*. 2006. Vol. 67. No. 1. P. 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.10.012>

Thomas C.L., Jansen B., van Loon E.E., Wiesenberg G.L.B. Transformation of n-alkanes from plant to soil: a review // *Soil*. 2021. Vol. 7. P. 785–809. <https://doi.org/10.5194/soil-7-785-2021>

Tinoco P., Almendros G., Sanz J., Gonzalez-Vazquez R. Molecular descriptors of the effect of fire on soils under pine forest in two Mediterranean soils // *Organic Geochemistry*. 2006. Vol. 37. No. 12. P. 1995–2018. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.08.007>

Wiesenberg G.L.B., Lehndorff E., Schwark L. Thermal degradation of rye and maize straw: lipid pattern changes as a function of temperature // *Organic Geochemistry*. 2009. Vol. 40. No. 2. P. 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2008.11.004>

Поступила в редакцию 23.10.2024

Принята 21.11.2024

Опубликована 02.12.2024

Сведения об авторах:

Русских Ирина Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт химии нефти СО РАН (г. Томск, Россия); rus@ipc.tsc.ru

Стрельникова Евгения Борисовна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт химии нефти СО РАН (г. Томск, Россия); seb@ipc.tsc.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

The effect of fires on the composition of aliphatic compounds in the steppe soils of Khakassia

© 2024 I. V. Russkikh , E. B. Strelnikova 

Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Academicheskoy Ave., 4, Tomsk, Russia. E-mail: rus@ipc.tsc.ru

The aim of the study was to assess the composition of aliphatic compounds in soils of post-pyrogenic territories of the steppe zone.

Location and time of the study. Soil samples were collected from a depth of 0–1 cm (litter – steppe felt) and from a depth of 1–10 cm. three months after the fires at the undisturbed (control) and post-pyrogenic study sites in the Shirinsky district in the vicinity of the village (southern chernozem) and in the Ust-Abakan district near Ust-Abakan (southern chernozem) and Chernogorsk (chestnut soil).

Methods. Organic compounds were isolated from dried and crushed soils by extraction with 7% methanol solution in chloroform. The composition of organic aliphatic compounds was determined by chromatography-mass spectrometry.

Results. Hydrocarbons (*n*-alkanes), saturated and unsaturated fatty acids, ketones (*n*-alkane-2-ones, 10-nonacosanone, 16-gentriacontanone), *n*-aldehydes, alcohol 1-hexacosanol were found in the composition of soil aliphatic compounds. The total content of biomolecules in the upper soil layer of the control site was on average reduced by 82% compared to the litter. Under the influence of fire, there was a sharp decrease in the amount of *n*-aldehydes, fatty acids, and long-chain ketones in the litter, as compared with the undisturbed sites. The distribution of *n*-alkanes in soils was bimodal in nature: the first mode was represented by low-molecular even homologues C_{14} – C_{22} , common in microorganisms (mainly aerobic bacteria and fungi); the second mode was represented by the high-molecular odd structures C_{23} – C_{35} , indicating the contribution of terrestrial plants in soil organic matter. In the distribution of *n*-alkanes of soil felts after fires, an increase in the proportion of even low molecular mass homologues was found. In comparison with the control sites, a higher content of low molecular mass homologues was also characteristic of the *n*-aldehydes of the most litter samples of the of burnt areas. The

fire affected the steppe felt and the topsoil itself to varying degrees. The initially low soil content of biomolecules and the distribution nature of the individual homologous series in burnt areas practically did not change as compared with the control sites. Thus, under the influence of fire, certain classes of biomolecules were destroyed, primarily those containing long paraffin chains. Later on, as a result of soil microbial activity, such compounds as low-molecular even n-alkanes are additionally formed.

Conclusion. Analysis of aliphatic compounds composition in Khakassia steppe soils in the undisturbed and post-pyrogenic sites showed that biomarkers such as n-alkanes and n-aldehydes are environmental indicators of their sources, degradation processes, pyrogenic destruction and soil organic matter transformation.

Keywords: post-pyrogenic areas; soil organic matter; distribution of aliphatic compounds.

How to cite: Russian I.V., Strelnikova E.B. The effect of fires on the composition of aliphatic compounds in the steppe soils of Khakassia // Soils and the environment. 2024. Volume 7. No. 4. e287. DOI: [10.31251/pos.v7i4.287](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.287) (in Russian with English abstract).

FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No.121031500046-7).

REFERENCES

- Anilova L.V. Postfires transformation of soils steppe zone Orenburg Cisurals. In book: Steppes of Northern Eurasia: Materials of the VI International Symposium and the VIII International school-seminar "Geoecological problems of steppe regions" (Orenburg, 18–23 June, 2012). Orenburg: IPK Gazprompechat, 2012. P. 47–49. (in Russian).
- Anokhina N.A., Demin V.V., Zavgorodnyaya Y.A. Compositions of n-Alkanes and n-Methyl Ketones in Soils of the Forest-Park Zone of Moscow. Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 6. P. 637–646. <https://doi.org/10.1134/S1064229318060030>
- Buryak L.V., Kalenskaya O.P., Kukavskaya E.A., Luzganov A.G. Zonal and geographical features of the impact of fires on the forest formation of light coniferous plantations in southern Siberia. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2022. 284 p. (in Russian).
- Gabbasova I.M., Garipov T.T., Komissarov M.A., Suleimanov R.R., Sidorova L.V., Suleimanov A.R., Nazyrova F.I., Suyundukov Y.T., Khasanova R.F., Komissarov A.V. The impact of fires on the properties of steppe soils in the Trans-Ural region. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 12. P. 1598–1607. <https://doi.org/10.1134/S1064229319120044>
- Kandalova T.G. The influence of steppe fires on the real and meadow steppes of the state reserve "Khakassky". Steppe Bulletin. Autumn-winter. 2007. No. 23–24. P. 19–24. (in Russian).
- Sinyutkina A.A., Olennikova A.V., Sun-zu-li L.Y., Gashkova L.P. Transformation of peat deposits and carbon accumulation in post-pyrogenic raised bogs within the taiga zone of West Siberia. The Journal of Soils and Environment. 2024. Vol. 7. No. 1. e246. (in Russian). <https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.246>
- Almendros G., Martin F., Gonzalez-Vila F.J. Effects of fire on humic and lipid fractions in a Dystric Xerochrept in Spain. Geoderma. 1988. Vol. 42. No. 2. P. 115–127. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(88\)90028-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(88)90028-6)
- Atanassova I., Harizanova M., Banov M. Free Lipid Biomarkers in Anthropogenic Soils. In book: Soil Health Restoration and Management. Springer Nature Singapore / R. Meena (ed.). 2020. P. 321–355. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8570-4_9
- Eckmeier E., Wiesenberg G.L.B. Short-chain n-alkanes (C16–20) in ancient soil are useful molecular markers for prehistoric biomass burning. Journal of Archaeological Science. 2009. Vol. 36. No. 7. P. 1590–1596. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.03.021>
- Fedorov D.V., Serebrennikova O.V., Elchaninova E.A., Kadychagov P.B. Composition and Distribution of Organic Compounds in Oil-Contaminated Peat Soils of the Mamontovskoye Field (KhMAO–Yugra). Solid Fuel Chemistry. 2024. Vol. 58. No. 2. P. 129–139. <https://doi.org/10.3103/S0361521924020022>
- Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. Organic Geochemistry. 2000. Vol. 31. P. 745–749. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00081-4)
- Gocke M., Kuzyakov Y., Wiesenberg G.L.B. Differentiation of plant derived organic matter in soil, loess and rhizoliths based on n-alkane molecular proxies. Biogeochemistry. 2013. Vol. 112. № 1–3. P. 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9659-y>
- Hunt J.M. Petroleum Geochemistry and Geology. San Francisco: Freeman, 1979. 617 p.

Kuhn Th.K., Krull E.S., Bowater A., Grice K., Gleixner G. The occurrence of short chain N-alkanes with an even over odd predominance in higher plants and soils. *Organic Geochemistry*. 2010. Vol. 41. No. 2. P. 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.08.003>

Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. *The Biomarker Guide*. Cambridge University Press. 2005. Vol. 1. 1155 p.

Settele J., Scholes R., Betts R., Bunn S., Leadley P., Nepstad D., Overpeck J.T., Taboada M.A. Terrestrial and inland water systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, L.L. White (eds.). NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014. P. 271–359.

Szafranek B.M., Synak E.E. Cuticular waxes from potato (*Solanum tuberosum*) leaves. *Phytochemistry*. 2006. Vol. 67. No. 1. P. 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.10.012>

Thomas C.L., Jansen B., van Loon E.E., Wiesenberg G.L.B. Transformation of n-alkanes from plant to soil: a review // *Soil*. 2021. Vol. 7. P. 785–809. <https://doi.org/10.5194/soil-7-785-2021>

Tinoco P., Almendros G., Sanz J., Gonzalez-Vazquez R. Molecular descriptors of the effect of fire on soils under pine forest in two Mediterranean soils // *Organic Geochemistry*. 2006. Vol. 37. No. 12. P. 1995–2018. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.08.007>

Wiesenberg G.L.B., Lehdorff E., Schwark L. Thermal degradation of rye and maize straw: lipid pattern changes as a function of temperature // *Organic Geochemistry*. 2009. Vol. 40. No. 2. P. 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2008.11.004>

Received 23 October 2024

Accepted 21 November 2024

Published 02 December 2024

About the authors:

Irina V. Russkikh – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher in the Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); rus@ipc.tsc.ru

Eugenia B. Strelnikova – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher in the Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); seb@ipc.tsc.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)