

УДК 550.47

## **ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ПОЧВАХ СУБАРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ**

**Г. Д. Ватутин, Е. А. Филимонок, М. А. Угорова,  
Е. А. Арбузова, А. В. Соромотин**

*Тюменский государственный университет, ул. Володарского, 6,  
625003, г. Тюмень, Россия, [georgyvatutin@yandex.ru](mailto:georgyvatutin@yandex.ru)*

Оценено влияние пожара на содержание ртути (Hg) в почвах субарктической зоны Западной Сибири. Найдена достоверная взаимосвязь между увеличением содержания органического углерода (Сорг) и увеличением концентрации ртути в почвах. Содержания Сорг и Hg в почвах лесотундры снизились после пожара. Концентрации Hg в почвах тундры не изменились после пожара низкой интенсивности, а изменения в растительности привели к повышению Сорг в почвах.

**Ключевые слова:** ртуть; почва; пожары; почвенный органический углерод.

## **EFFECT OF WILDFIRES ON MERCURY CONTENT IN SUBARCTIC SOILS**

**G. D. Vatutin, E. A. Filimonenko, M. A. Uporova,  
E. A. Arbuzova, A. V. Soromotin**

*University of Tyumen, Volodarskogo St., 6,  
625003, Tyumen, Russia, [georgyvatutin@yandex.ru](mailto:georgyvatutin@yandex.ru)*

Wildfires release soil mercury (Hg) to the atmosphere. The purpose of the study was to assess effect of wildfires on Hg content in subarctic soils. It was found a statistically significant correlation between soil organic carbon (SOC) content increasing and Hg content increasing in soils. SOC and Hg contents in forest-tundra soils have decreased after wildfire. Low-intension wildfire is insufficient to destroy «Mercury-Organic Matter» bonds in tundra soils.

**Key words:** mercury; the soil; fires; soil organic carbon.

Ртуть — это высокотоксичный тяжелый металл. Ртуть выбрасывается в атмосферу, преимущественно в результате антропогенной деятельности, включающей сжигание угля, добычу полезных ископаемых и деятельность промышленных предприятий [1, с. 526]. Естественные источники Hg включают мобилизацию ртути в атмосферу в результате вулканической и геологической активности [2, с. 46]. Ртуть обладает высокой летучестью и способна переноситься на

значительные расстояния в виде элементарной ртути  $Hg^0$  в атмосфере, в конечном итоге окисляясь до  $Hg^{+2}$ , которая осаждается на поверхности суши, накапливается в элементах экосистем и представляет угрозу для живых существ при преобразовании в нейротоксин метилртуть ( $MeHg$ ) [1, с. 526]. В глобальном биогеохимическом цикле  $Hg$ , почва является основным репозиторием для выброшенной в атмосферу ртути [3, с. 4967]. Арктический регион характеризуется высокими темпами изменения климата [4, с. 1], что приводит к увеличению частоты природных пожаров, учитывая, что летние температуры и количество осадков являются наиболее важными климатическими факторами, определяющими вероятность возникновения новых пожаров в тундре и лесотундре [5, с. 5056]. Пожары приводят к термическому разрушению связанной с органическим веществом в почвах ртути и реэмиграции  $Hg$  в атмосферу. [6, с. 5].

Целью исследования является оценка воздействия природных пожаров на динамику содержаний  $Hg$  в почвах экосистем субарктической зоны Западной Сибири.

Исследование проводилось на 4 участках в зоне тундры и лесотундры Западной Сибири в пределах Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа (рис. 1). Влияние пожаров на подстилку и минеральный горизонт почв было в промежутке от трёх до пяти лет. Отбор проб производился на пирогенно трансформированном и контрольном участках в пяти полевых повторностях в органическом и минеральном (на глубине 0-5, 5-10, 10-20 и 20-30 см) горизонтах. Территории исследования были представлены максимально похожим набором растительных сообществ и одинаковым типом почв (Turbic Cambic Cryosols; WRB, 2022). Все пробы почв (120 образцов) были высушены при комнатной температуре, просеяны через сито и гомогенизированы на вибрационной мельнице Retsch MM 400. Аналитическое определение содержаний  $Hg$  в образцах почв проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе РА-915М с пиролитической приставкой «РП-91С» (Люмэкс, Россия) с использованием программного обеспечения РАПИД в соответствии с методикой выполнения измерений М-03-09-2013. Содержания  $Сорг$  определены методом сухого сжигания на элементном анализаторе Vario Pyro Cube Analyzer (Elementar, Германия).

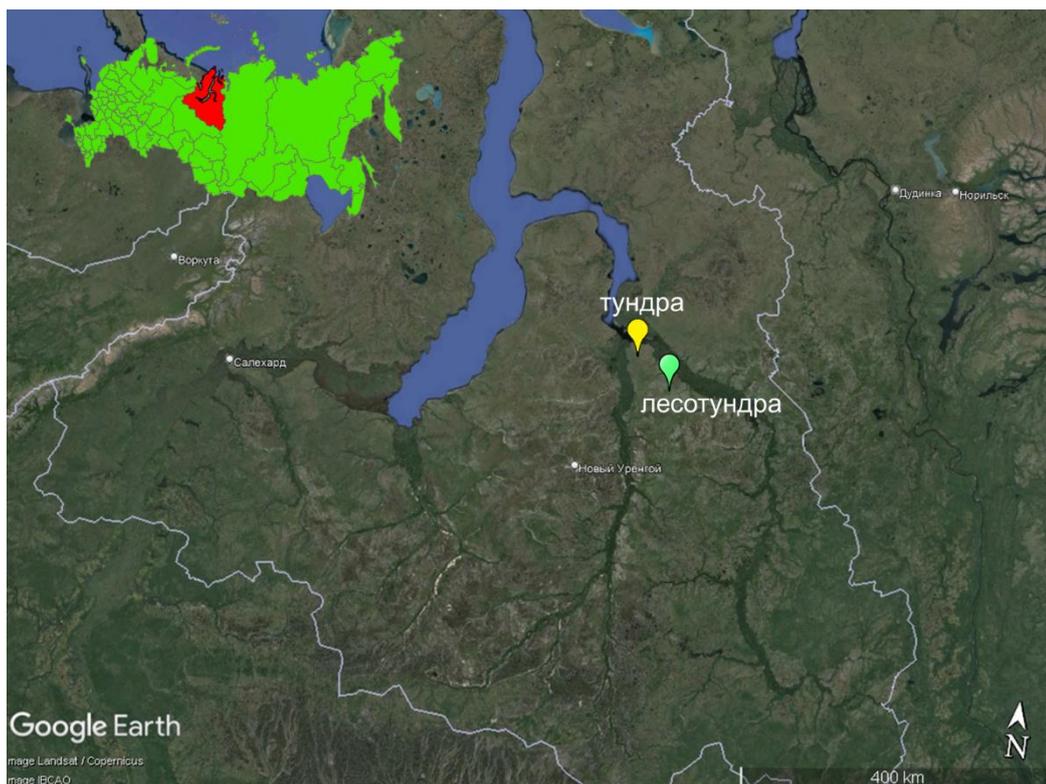


Рис. 1. Местоположение района исследования

Найдена достоверная зависимость между увеличением содержания органического углерода и увеличением концентрации ртути на всех исследованных участках (рис. 2). Такая зависимость объясняется тем, что ртуть в почвах связывается с различными органическими соединениями в комплексной структуре [7, с. 4178].

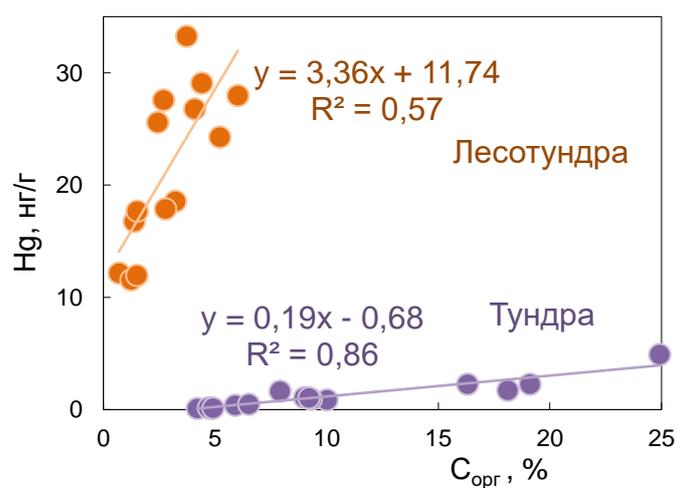


Рис. 2. Регрессия между увеличением концентрации Hg и повышением содержания органического углерода

Почвы исследуемого района характеризуются аккумулятивным типом распределения органического углерода по почвенному профилю (рис. 3). Наивысшие значения  $C_{орг}$  ( $21,3 \pm 5,7$  % в тундре и  $30,3 \pm 4,6$  % в лесотундре) характерны для органического горизонта почв. В минеральном горизонте почв на глубине 0-5 см содержание органического углерода в почвах тундры снижается в 12,2 раза относительно значения для органического горизонта и составляет  $1,74 \pm 0,4$  %, в почвах лесотундры –  $4,8 \pm 1,2$  % (понижение в 6,3 раза).

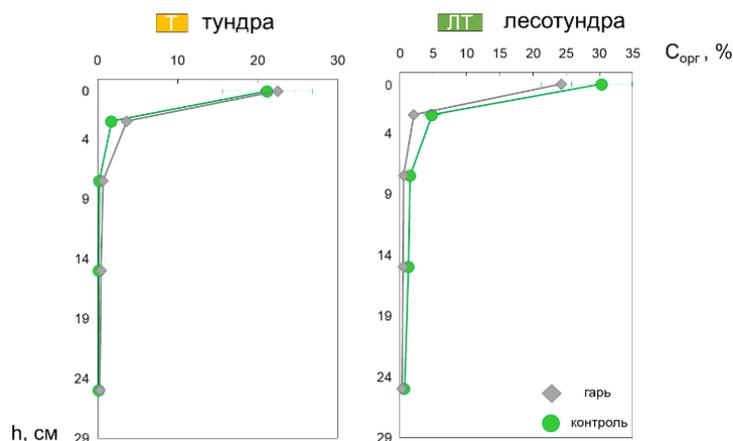


Рис. 3. Распределение содержаний органического углерода в почвенных профилях исследуемых экосистем

При этом наблюдается разный эффект пожаров на содержание  $C_{орг}$  в почвах тундры и лесотундры. В почвах тундры пирогенное воздействие привело к увеличению содержания органического углерода в почвенном профиле относительно значений, полученных для контрольного профиля почвы. Пожары в тундре имеют высокую скорость продвижения при низкой теплопередаче в более глубокие минеральные слои. Поэтому, природный пожар в тундре не приводит к прямой пирогенной потере органического углерода из почвы.

После пирогенного воздействия в тундровых экосистемах происходит смена растительного покрова: мохово-лишайниковый покров сменяется травянистыми растениями (карликовая берёза, ива, кипрей узколистный) [8, с. 64] которые имеют более развитую корневую систему, увеличивая принос  $C_{орг}$  в постпирогенную почву.

В экосистемах лесотундры имеется большой запас горючего материала (высохший валежник, кустарники, кустарнички, небольшие деревья), который приводит к большей по сравнению с тундрой интенсивности пожара и является существенным источником потери почвенного органического углерода при пирогенном воздействии.

Концентрации Hg в контрольном почвенном профиле лесотундры выше, чем в тундровых почвах в 2-3 раза, что подтверждает регрессию между увеличением содержания Сорг и увеличением значений Hg в почвах.

В органическом горизонте тундровых почв (рис. 4) среднее содержание Hg после пожара ( $96,7 \pm 9,6$  нг/г) снижено на 13 % относительно средней концентрации Hg для контрольных участков ( $109,4 \pm 23,3$  нг/г). В минеральном горизонте почв тундры влияние пирогенного фактора на содержание Hg не наблюдается.

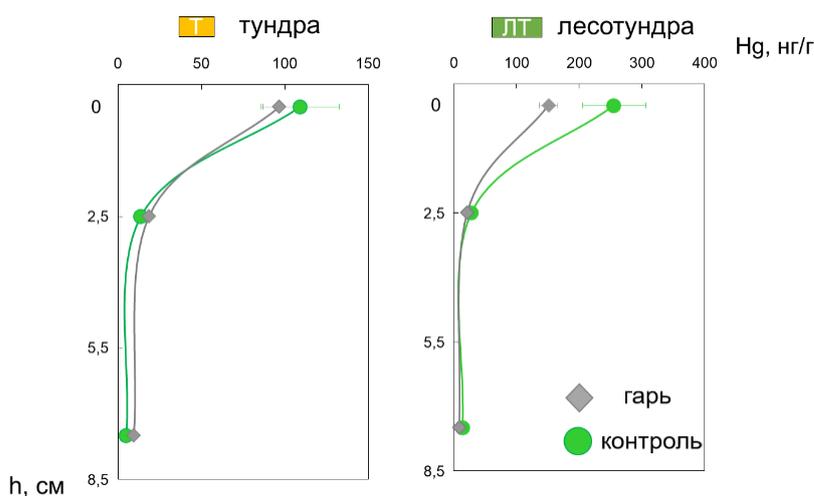


Рис. 4. Концентрации Hg в почвенных профилях экосистем

Пожары в лесотундре приводят к снижению содержаний ртути как в органическом, так и в верхнем минеральном горизонтах почв. В органическом горизонте почв средняя концентрация Hg для сгоревших участков ( $151,2 \pm 14,3$  нг/г) снижена в 1,7 раза относительно значения для контрольных участков ( $255,9 \pm 50,3$  нг/г). В минеральном горизонте почв наибольшие различия в содержании Hg характерны для постпирогенных ( $8,7 \pm 0,7$  нг/г) и контрольных ( $14,3 \pm 1,4$  нг/г) почв на глубине 5-10 см.

Таким образом, пожары приводят к изменениям содержаний Hg и Сорг в почвах, однако эти изменения могут иметь разный характер в зависимости от типа экосистемы. В лесотундровых экосистемах природные пожары приводят к уменьшению содержания ртути в почвах, что вызвано реэмиграцией ртути из почв в атмосферу. В тундровой зоне изменение растительного покрова через несколько лет после пожаров приводит к увеличению содержания Сорг, а незначительная интенсивность пожара не влияет на содержание ртути в почвах.

## Библиографические ссылки

1. Observed decrease in atmospheric mercury explained by global decline in anthropogenic emissions / Zhang Y. [et al.] // PNAS Early Edition. 2016. Vol. 113, iss. 3. P. 526–531.
2. Selin N. E. Global Biogeochemical Cycling of Mercury: A Review // Annual Review of Environment and Resources. 2009. Vol. 34, iss. 1. P. 43–63.
3. Mercury as a Global Pollutant: Sources, Pathways, and Effects / C. T. Driscoll [et al.] // Environmental Science & Technology. 2013. Vol. 47, iss. 10. P. 4967–4983.
4. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 / M. Rantanen [et al.] // Communications Earth & Environment. 2022. Vol. 3, iss. 168. P. 1–10.
5. Reviews and syntheses: Arctic fire regimes and emissions in the 21st century / J.L. McCarty [et al.] // Biogeosciences. 2021. Vol. 18, iss. 18. P. 5053–5083.
6. The potential wildfire effects on mercury remobilization from topsoils and biomass in a smelter-polluted semi-arid area / M. Tuhý [et al.] // Chemosphere. Vol. 247, iss. 125972. P. 1–7.
7. Complexation of Mercury (II) in Soil Organic Matter: EXAFS Evidence for Linear Two Coordination with Reduced Sulfur Groups / U. Skyllberg [et al.] // Environ. Sci. Technol. 2006. Vol. 40, iss. 13. P. 4174–4180.
8. Постпирогенная трансформация растительного покрова в тундровой зоне за 5 лет / Л. В. Бродт [и др.] // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 62–66.