

Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск
Институт почвоведения и агрохимии, СО РАН, Новосибирск
Институт лесоведения РАН, Москва
Университет Орлеана, Франция
Национальный исследовательский Томский государственный университет

ЗАПАДНО-СИБИРСКИЕ ТОРФЯНИКИ И ЦИКЛ УГЛЕРОДА: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

МАТЕРИАЛЫ

**Пятого международного полевого симпозиума
(Ханты-Мансийск, 19–29 июня 2017 г.)**

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2017

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ EXPERIMENTAL MODELING OF THERMOKARST LAKE WATER EVOLUTION IN NORTHERN TAIGA OF WESTERN SIBERIA

Р.М. Манасыпов^{1,2}, О.С. Покровский^{1,2}, Л.С. Широкова²
R.M. Manasyrov^{1,2}, O.S. Pokrovsky^{1,2}, L.S. Shirokova²

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, лаборатория BIO-GEO-CLIM
E-mail: rmanasyrov@gmail.com

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН

В отличие от простого мониторинга, манипулирование экосистемами или эксперименты с использованием мезокосм являются очень эффективными в выявлении и количественной оценке основных экологических факторов, контролирующих поведение системы при различных внешних воздействиях [Hering et al., 2015; de Rozari et al., 2016].

Для постановки эксперимента в качестве модельных термокарстовых озер использовались два озера, расположенных в зоне северной тайги западной Сибири (окр. пос. Ханымей (ЯНАО)) (63°46'59 "N, 75°39'08" E). Торф (0 – 10 см) отбирали на границе термокарстового озера и сушили при комнатной температуре с использованием осмотических пакетов Osmofilm®. Верхняя (живая) часть лишайника *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vezda, являющегося доминантом напочвенного растительного покрова для данной территории, была собрана в июле 2015 года, промыта бидистиллированной водой (MilliQ) и высушена на воздухе. Зола лишайника получена при сгорании лишайника в емкости из нержавеющей стали. Вода для эксперимента была собрана из термокарстовых озер в июле 2015 года. Емкости с лишайником, торфом и золой лишайника были плотно закрыты и помещены непосредственно в озеро. Отбор проб проводили ежедневно в течение первых 5 дней, а затем через 8 и 24 дней эксперимента.

В течение эксперимента температура оставалась неизменной 18 ± 2 °C в течение первых 4 дней воздействия, с последующим увеличением до 24 ± 2 °C после 100 часов воздействия и снижения до 13 ± 2 °C после 24 дней воздействия. Во время эксперимента

pH составлял $3,97 \pm 0,25$ в большом озере и $3,77 \pm 0,17$ в небольшом озере (Рис. А). При добавлении органических субстратов (торф и лишайников) производится незначительное изменение pH, в первый день эксперимента, с незначительным снижением, порядка 0,5 единиц, в течение первой недели эксперимента. Удельная проводимость как правило, увеличивается при взаимодействии субстрата с озерной водой в следующем порядке: зола > лишайник > торф (Рис. В, Г). Выщелачивание основных катионов (Ca, Mg и K) ярко проявлялось при добавлении золы лишайника. Однако не было увеличения содержания Ca и Mg в опытах с лишайником и торфом. Изменение концентрации основных катионов и микроэлементов в мезокосмах с добавлением золы, было очень быстрым и выходило на плато после первых 20 – 50 часов реакции. Это согласуется с хорошо известной высокой реакционной способностью щелочной золы из растительного материала [Audry et al., 2014]. Наиболее значительные изменения в химическом составе воды в мезокосмах с торфом и лишайником наблюдались после 100 ч реакции.

Растворенный органический углерод (РОУ) возрастает со временем, в экспериментах с лишайником и торфом (фактор $1,38 \pm 0,2$ и $1,2 \pm 0,08$, соответственно, между 90 – 100 и 500 ч экспозиции. В отличие от этого, изменение концентрации РОУ относительно контроля не наблюдалось после добавления золы лишайника.

Fe, Mn и Al проявляют контрастное поведение в ходе эксперимента. Выявлено существенное снижение концентрации Fe (от 2 до 3 раз) в мезокосмах с торфом, золой и лишайником. Степень удаления Fe на

протяжении семи дней экспозиции проявляется в ряду «зола ≤ торф < лишайник». В отличие от этого, Al демонстрировал значительно меньшую степень удаления, обнаруживаемого в течение первых 100 ч реакции с торфом и лишайником. Концентрация Mn увеличивается от 5 до 10 раз по сравнению с контролем при добавлении золы и остается стабильной или незначительно увеличивается при добавлении лишайника.

Интересное наблюдение состоит в том, что, на 5-й день экспозиции, наблюдалось повышение температуры воды озер на восемь градусов, что привело к кратковременному нагреву воды в мезокосмах. Это нагревание продолжалось в течение 2-х дней и повлияло на кратковременное снижение pH на $0,3 \pm 0,1$ единицы, а также на снижение концентраций Al, Mn, Zn (от 1,5 до 2 раз). Другие химические элементы и РОУ не показали статистически значимой ($p > 0,05$) связи между изменением их концентрации и температуры воды в ходе эксперимента.

Быстрое высвобождение металлов из органических субстратов предположительно связано с десорбцией элементов с поверхности добавленных субстратов. Наблюдалось

увеличение концентрации Pb, Ni, Cu, Mn в мезокосмах с лишайником по сравнению с контролем после первых 10 ч. эксперимента.

Торф и лишайник обладают низкой реакционной способностью, что проявляется в незначительных изменениях элементного состава воды мезокосм. Это согласуется с отсутствием резкого изменения химического состава воды термокарстовых озер в период между началом формирования термокарстовых просянок, когда происходит затопление растущего лишайника, где он активно разлагаясь, служит источником поступления химических элементов в воду, до начала выщелачивания химических элементов при береговой абразии из торфа на границе малых озер. Действительно, такое изменение обычно не превышает 2 раз для P, Ca, Mg и Al, в 1,3 раза для Si, и в 2 – 3 раза для Fe и Mn, как следует из средних значений концентрации элементов в малых и крупных термокарстовых водоемах на севере Западной Сибири [Manasyrov et al., 2014].

Важным результатом нашего эксперимента является то, что лишайник способен изменять химический состав талой воды в большей степени, чем торф. Тем не менее, увеличение

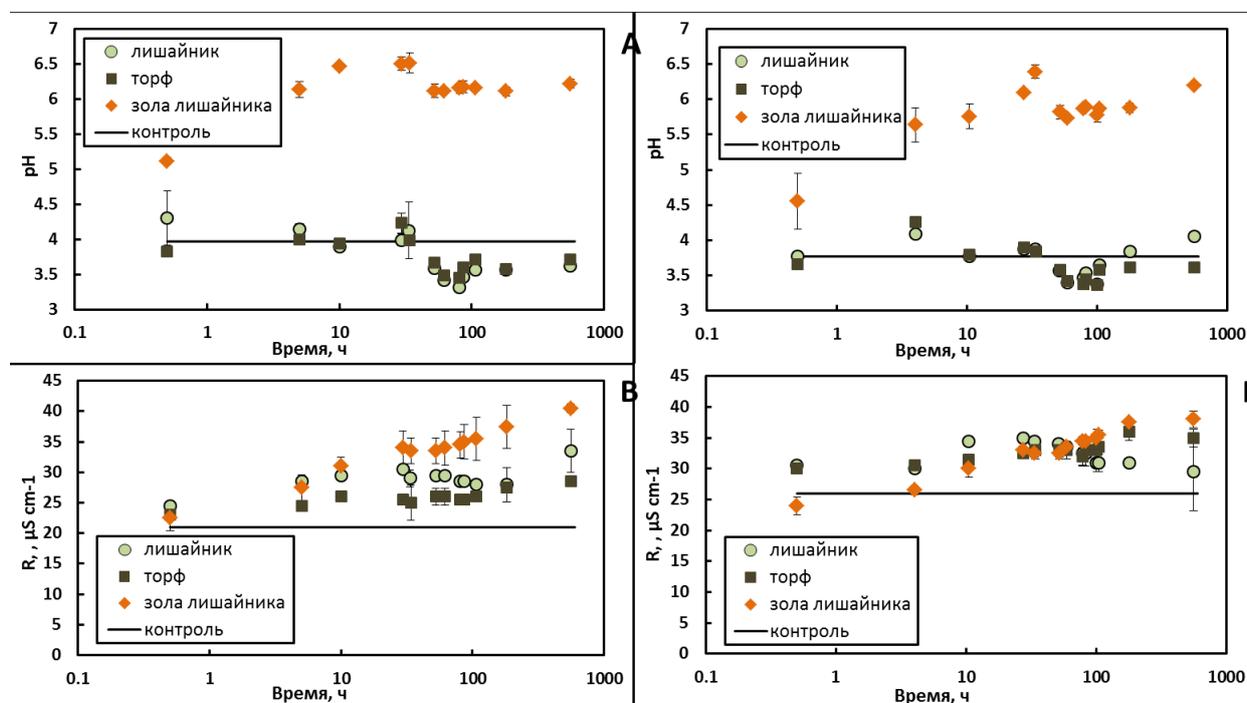


Рис. pH (А, Б) и удельная проводимость (R, мкСм/см) (В, Г). Изменение физико-химических параметров воды мезокосм в большом и малом озере (левая и правая колонка, соответственно) в зависимости от времени эксперимента. Здесь и в других рисунках, столбики ошибок отражают S.D. в двух независимых экспериментах, повторностях.

РОУ в воде озера в контакте с погруженным лишайником требует относительно долгого взаимодействия, около 2 – 3 недель.

Среди трех изученных субстратов, зола имела наиболее сильное влияние на элементный состав озерной воды, поскольку это обеспечило значительное поступление К, Si, Са, Mg, Al, Rb, Ti, Mn, Мо, As, U. Эти элементы могут являться эффективными маркерами воздействия низового пожара на водные экосистемы мерзлых торфяников.

Эксперименты по постановке мезокосмов с добавлением золы лишайника, торфа и

лишайника показали, что выщелачивание торфа, деградация лишайника при затоплении и низовые пожары в тундре могут выступать в качестве основных факторов формирования химического состава воды термокарстовых озер. В целом, эффекты твердых органических добавок (торф и лишайник) сильно выражены только для Fe и Mn. Они продемонстрировали значительное снижение концентрации в течение 100-600 ч. экспозиции, с коэффициентом от 3 до 10.

Исследования выполнены в рамках грантов BIO-GEO-CLIM по Постановлению Правительства РФ № 220 № 14.В25.31.0001 и РФФ (60%) № 15-17-10009.

1. Audry S., Akerman A., Riotte J., Oliva P., Marechal J.-C., Fraysse F., Pokrovsky O.S., Braun J.-J. Contribution of forest fire ash and plant litter decay on stream dissolved composition in a semi-humid tropical watershed in Southern India // Chem. Geol. - 2014. - Vol. 372. - P. 144–161.
2. Hering D., Carvalho L., Argillier C., Beklioglu M., Borja A., Cardoso A.C., Duelt H., Ferreirah T., Globevniki L., Hanganuj J., Hellstenk S., Jeppesen E., Kodešm V., Solheimn A.L., Nögeso T., Ormerodp S., Panagopoulosq Y., Schmutzr S., Venohrs M., Birka S. Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress – An introduction to the MARS project // Sci. Total Environ. - 2015. - Vol. 503–504. - P. 10–21.
3. Manasypov R.M., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N., Shirokova L.S. Thermokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia // Cryosphere. - 2014. - Vol. 8. - P. 1177–1193.
4. de Rozari P., Greenway M., Hanandeh A. Phosphorus removal from secondary sewage and septage using sand media amended with biochar in constructed wetland mesocosms // Sci. Total Environ. - 2016. - Vol. 569–570. - P.123–133.