

НАПРАВЛЕНИЕ «ФАКТОРЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ»

### ПОИСКИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЛЬДА XI В ЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ

#### Бордонский Г.С.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия e-mail: lgc255@mail.ru

**Абстракт:** Исследованы электрические низкочастотные флуктуации нанопористых увлажненных силикатных материалов. Обнаружен гистерезис шумов и их изменчивость при циклическом охлаждении — нагревании материалов в интервале температур  $+20^{\circ}\text{C}\div-150^{\circ}\text{C}$ . Предполагается появление в порах сегнетоэлектрического льда XI.

**Ключевые слова:** лед XI, электрические шумы, нанопористые материалы.

При атмосферном давлении и температурах  $0^{\circ}\text{C}\div\text{-}273^{\circ}\text{C}$  возможно существование трех кристаллических модификаций водного льда: Ih, Ic, XI [1]. Известно, что льды Ih и Ic существуют в земных условиях. До недавнего времени кубический лед Ic считался экзотическим льдом. В настоящее время показано, что он образуется в полярной атмосфере. Лед XI, как предполагается, существует на поверхности холодных планет, их спутников, комет, астероидов. Он был обнаружен при температурах  $-223^{\circ}\text{C}\div\text{-}200^{\circ}\text{C}$  в лабораторных условиях при легировании льда Ih едким калием. В последующих экспериментах его наблюдали при более высоких температурах $\sim$ -100°C.

Лед XI гексагональный, как и лед Ih, но обладает более упорядоченной структурой протонов. Предполагается, что он образуется изо льда Ih при длительной выдержке. Исходя из этой идеи в [2] был осуществлен поиск льда XI в земных условиях в Антарктиде. В [2] полагали, что лед XI мог образоваться при температурах ниже -40°С за время ~1000 лет. Авторы работы [2] сообщили о такой находке, используя при измерениях метод комбинационного рассеяния света. Однако в последующих исследованиях другими специалистами эта кристаллическая модификация льда не была выявлена.

Следует отметить, что чувствительность, используемых методов (комбинационного рассеяния и дифракции нейтронов) составляла  $\sim$ 1%, следовательно, с их помощью нельзя было обнаружить небольшие количества льда XI в образцах. В работе [3] нами были исследованы образцы увлажненных нанопористых силикатов SBA-15 и MCM-41 с использованием метода измерения электрических низкочастотных флуктуаций в диапазоне частот 1-100  $\Gamma$ ц. Такой метод основан на том, что лед XI является сегнетоэлектриком, в отличие от льдов Ih и Ic. В нем возможна скачкообразная перестройка электрической доменной структуры при изменении внешних параметров — давления, температуры, внешних полей. Шумы этого вида называются шумами Баркгаузена.

Предполагалось, что метод измерения низкочастотных электрических флуктуаций позволит выявить малые концентрации льда XI даже при существенно меньших его объемах от объема образца, чем 1%. Использование нанопористой среды, в порах которой замораживается вода, приводит, как известно, к понижению температуры фазового перехода на 20-60°C (в зависимости от размеров пор) и ее размытию на интервале 5-10°C. В результате, при медленном образовании кристаллов возможно появление бездефектных кристаллов льда XI.

Результаты измерений для пористого увлажненного материала SBA-15 приведены на рис. 1. Описание процедуры измерений представлено в [3]. Наблюдали температурный гистерезис амплитуды шумов, который указывает на проявление сегнетоэлектрических свойств среды, возможно связанных с образованием льда XI. Возрастание шумов при температурах вблизи -40°C было также обнаружено для МСМ-41 (без гистерезиса), имеющего цилиндрические поры со средним их диаметром 3,5 нм.

Эксперименты, проведенные для других материалов, — силикагелей марки КСКГ со средним размером пор ~8 нм и ACROS (производство Бельгия для хроматографии) со средним размером пор 6 нм не обнаружили возрастание шумов при замораживании и оттаивании среды. По-видимому, образование сегнетоэлектрического льда при относительно высоких температурах может быть энергетически не выгодным из-за появления макроскопического электрического поля. Но в тонких достаточно протяженных порах в виде нитей при

выстраивании доменов электрического поля вдоль оси цилиндров, энергия поля рассеяния минимизируется из-за большой удаленности поверхностных зарядов на концах нитей. Именно, для таких структур (SBA-15, MCM-41)наблюдали возрастание шумов в области температур, где поровая влага замерзала.

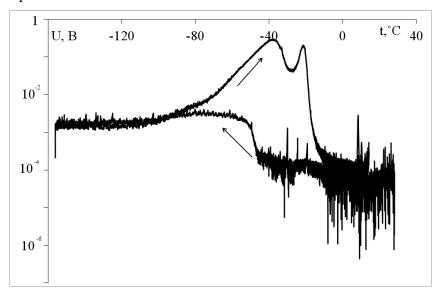


Рис. 1. Результаты измерений среднего значения амплитуды электрических шумов на выходе установки для увлажненного SBA-15 с весовой влажностью 70%. Стрелки на графиках указывают направление изменения температуры. Средний диаметр пор, имеющих вид длинных цилиндров 8 нм.

Из природных сред, где имеются вытянутые поры можно отметить древесную растительность. Для нее были выполнены эксперименты с измерением шумов на примере древесины сосны. Результаты одного из экспериментов представлены на рис. 2 (измерения на другой установке при несколько меньшей полосе пропускания усилителя).

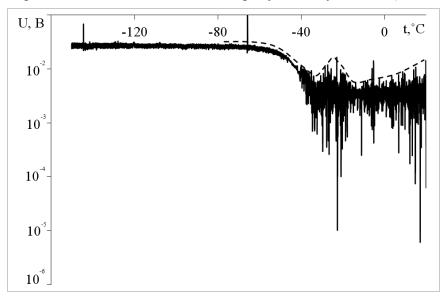


Рис. 2. График среднего значения амплитуды электрических флуктуаций в интервале 1-70 Гц для образца древесины сосны при его нагревании после охлаждения до -110°С. Измерение шумовой ЭДС вдоль волокон. Весовая влажность образца  $\sim$ 20%.

Наблюдали сильные флуктуации амплитуды сигнала на выходе прибора до температуры  $\sim$ -40°C (использовали время усреднения  $\sim$ 1c) и небольшой гистерезис шумов в цикле охлаждение-нагревание. На рис. 2 штриховой линией представлена огибающая шумов. Особенность этой огибающей повышение значения шумов при T<-50°C и наличие небольшого экстремума вблизи -25°C. Данный график можно интерпретировать как проявление слабых сегнетоэлектрических свойств у замороженной древесины сосны. По-видимому эффект будет

более выражен для структуры с вытянутыми порами меньших диаметров и с большей их внутренней поверхностью.

Возможное образование льда XI или других сегнетоэлектрических форм воды может приводить к появлению особых электрофизических и электрохимических свойств среды. Их необходимо учитывать при практическом применении увлажненных дисперсных сред, особенно в полярных регионах.

#### Список литературы

- 1. Chaplin M. http://www.lsbu.ac.uk/water/chaplin.html
- 2. Fukazawa H., Mae S., Ikeda S., Watanabe O. Proton ordering in Antarctic ice observed by Raman and neutron scattering // Chemical Physics Letters. 1998. V. 294. Issue 6. P. 554-558.
- 3. Бордонский Г.С., Орлов А.О. Исследование сегнетоэлектрических фазовых переходов воды в нанопористых силикатах при совместных электрических шумовых и калориметрических измерениях // Физика твердого тела. 2014. Т. 56. № 8. С. 1575-1582.

## SEARCH OF FERROELECTRIC ICE XI ON EARTH'S CONDITIONS Bordonskiy G.S.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia e-mail: lgc255@mail.ru

**Abstract:** The electrical low-frequency fluctuations of the nano-porous wet silicate materials were investigated. It were detected noise hysteresis and changeability at the cyclical cooling - heating of materials in a temperature range of + 20 ° C  $\div$  -150°C. The appearance of ferroelectric ice XI in pores is supposed.

**Keywords:** ice XI, electrical noise, nanoporous materials.

# ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ РАСТВОРЕННОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА МИНЕРАЛЬНЫХ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Замана Л.В., Борзенко С.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия e-mail: l.v.zamana@mail.ru

**Абстракт:** Изотопный состав растворенного неорганического углерода минеральных озер Восточного Забайкалья имеет значения  $\delta^{13}C_{PDB}$  от -12.5 до 5.1 ‰. Наблюдается слабая зависимость  $\delta^{13}C$  от содержания в водах карбонат- и гидрокарбонат-ионов, наиболее легкий по изотопным отношениям углерод в водах хлоридного состава.

Ключевые слова: минеральные озера, изотопный состав, растворенный неорганический углерод.

Данные по изотопному составу углерода широко применяются для решения различных геологических задач, используются при исследованиях микробных процессов круговорота углерода в озерных экосистемах и т.д. В последние годы опубликован ряд работ по карбонатным осадкам донных отложений минеральных озер Прибайкалья и Забайкалья, в которых на основе минералого-геохимических и изотопных данных реконструированы климатические условия голоцена [4 и др.]. Целью наших исследований, выполненных в основном по интеграционным проектам СО РАН, было изучение изотопного состава углерода растворенных в воде озер углекислотных компонентов (карбонатов и гидрокарбонатов) как исходных для образования карбонатных донных осадков и индикатора источников углерода, одного из основных компонентов при формировании химического состава вод минеральных озер. Последнее особо значимо для выяснения природы содовых озер.

За период опробования (2009-2015 гг.) на изотопный состав растворенного неорганического углерода (DIC) проанализировано 35 проб по оз. Доронинскому, единственному в Забайкалье меромиктическому содовому водоему, и 62 пробы по другим озерам. Анализировались осадки, полученные осаждением с хлористым кальцием. Изотопный анализ выполнен в лаборатории стабильных изотопов ДВГИ ДВО РАН (зав. лаб. Т.А. Веливецкая) на установке МАТ 253 (Thermo Fisher Scientific, Германия). Воспроизводимость анализа ( $1\sigma$ ) для  $\delta^{13}$ С составляла 0.1 ‰. Гидрохимическая характеристика озер представлена в другом, авторском докладе конференции (Борзенко С.В.), в данном сообщении она приводится лишь для выявления связи изотопных данных с физикохимическими характеристиками водной среды.

По химическому составу воды озер разделены на хлоридный, сульфатный и содовый типы, при этом к содовым отнесены воды с рН>9.0. Среди содовых кроме собственно карбонатных (III подтип) выделены также содовые сульфатные (II подтип) и хлоридные (I подтип). По катионному составу озера в подавляющем большинстве натриевые, только среди наименее минерализованных отмечаются двух- или трехкомпонентные, в т.ч. с преобладанием магния. Соленость озер на даты отбора проб для изотопного анализа лишь немногим превысила 260 г/л (оз. Борзинское), тогда как в другие сроки по тому же озеру, по нашим данным, достигала 329 г/л.

Значения  $\delta^{13}$ С<sub>PDB</sub> высаженных карбонатов охватили диапазон от -12.5 до 5.1 ‰ при среднем -2.83 ‰, что как по минимуму, так и по максимуму превосходит другие типы природных вод Восточного Забайкалья, включая углекислые [2]. Положительные значения  $\delta^{13}$ С по озерам в основном относятся к оз. Доронинское. Высаженные гидрокарбонаты и карбонаты заметно обеднены тяжелым изотопом углерода по отношению к атмосферному углекислому газу. Равновесные с ним значения  $\delta^{13}$ С должны находиться в интервале 5.9-8.9 ‰ (коэффициенты фракционирования в системах  $CO_2 \rightarrow HCO_3^-$  и  $CO_2 \rightarrow CO_3^{2-}$  соответственно 1.014 и 1.012 [5]). Диапазон изотопного состава перекрывает интервал бикарбонатов морской воды и осаждающихся из нее хемогенных карбонатов, соответственно 0±2 и от -3 до +1 ‰, по минимальной величине он практически соответствует морским карбонатам, равновесным с биогенным  $CO_2$  (-12 ‰ по [5]). Полученные изотопные отношения указывают на значительную роль в формировании углекислотных компонентов исследуемых озер гидробиологических процессов в самих водоемах, поскольку биогенный углерод имеет более легкий изотопный состав. Некоторый вклад в обогащение озерных вод изотопом  $^{12}$ С может вносить водный сток в

периоды дождей с прибрежных солончаков и засоленных окарбоначенных почв сопредельных ландшафтов, для которых характерны микробные процессы цикла углерода. Изотопно-геохимические исследования соровых солончаков и окружающих почв у оз. Белое в Западном Забайкалье показали уменьшение  $\delta^{13}$ С почвенных карбонатов до -11.41 ‰ вследствие деятельности метаноокисляющих бактерий [1].

Более легкий изотопный состав DIC имеют хлоридные воды, наблюдается положительная корреляция между  $\delta^{13}$ C и содержанием карбонатов и бикарбонатов при отсутствии выраженной зависимости от минерализации воды (рис. 1). Очевидно, с накоплением в водах карбонатных компонентов доля биогенного углерода в их составе падает, что может быть связано как со снижением продуцирования органических веществ в водоеме, так и с захоронением их в донных осадках.

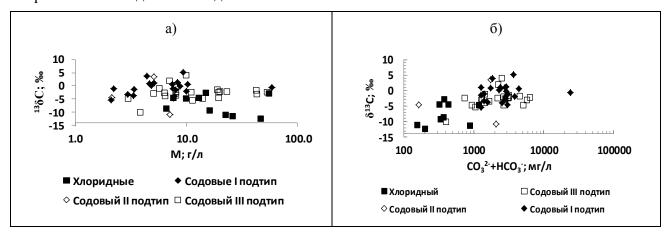


Рис. 1. Изменение изотопного состава углерода в зависимости от минерализации озерных вод (a) и содержания в них углекислотных компонентов (б).

Утяжеление изотопного состава карбонатов донных осадков с переходом в область положительных значений связывается с похолоданием [4, 6]. Следовательно, наиболее тяжелый состав углерода должен быть в подледный период, когда температура воды понижается вплоть до отрицательной (криопэги), и микробиологические процессы затухают. Это, в частности, подтверждают изотопные данные за апрель 2012 г. по оз. Доронинскому (рис. 2) и зимних исследований на оз. Шира в Хакасии [3]. В тоже время активная деятельность микроорганизмов может иметь место и даже усиливаться и в подледный период, тогда углерод будет иметь более легкий изотопный состав, как это отмечалось по оз. Доронинскому в январе 2013 г. (рис. 2).

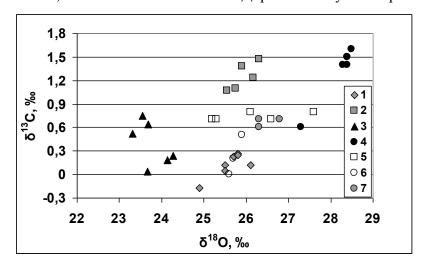


Рис. 2. Изменение изотопного состава растворенных карбонатов водной толщи оз. Доронинское по срокам: 1 — сентябрь 2009 г., 2 — август 2010 г., 3 — июнь 2011 г., 4 — апрель 2012 г., 5 — август 2012 г., 6 — январь 2013 г., 7 — март 2013 г.

Таким образом, растворенный неорганический углерод минеральных озер Восточного Забайкалья характеризуется широким диапазоном изотопных отношений, свидетельствующих о различных процессах формирования карбонатных систем озер. Важное место в ряду этих процессов принадлежит биологическому круговороту в самом водоеме, в который вовлекается

не только углерод углекислого газа атмосферы, но и поступающих с подземными водами гидрокарбонатов, а также формирующихся в водоеме органических веществ и продуктов их деструкции. Важно также отметить, что на одном временном срезе при практически одинаковых климатических условиях территории локализации озер изотопный состав неорганического углерода в них сильно варьирует, что следует иметь в виду при интерпретациях изотопно-геохимических данных по донным осадкам.

#### Список литературы

- 1. Дамбаев В.Б., Гончиков Г.Г., Бурюхаев С.П., Цыренов Б.С., Зякун А.М., Намсараев Б.Б. Микробиологические и изотопно-геохимические исследования в сухостепных озерах и соровых солончаках Западного Забайкалья // Микробиология. 2011. Т. 80. № 6. С. 850-859.
- 2. Замана Л.В. Изотопный состав природных вод Забайкалья // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием, г. Владивосток, 06-11 сентября 2015 г. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2015. С. 65-70.
- 3. Саввичев А.С., Русанов И.И., Рогозин Д.Ю., Захарова Е.Е., Лунина О.Н., Брянцева И.А., Юсупов С.К., Пименов Н.В., Дегерменджи А.Г., Иванов М.В. Микробиологические и изотопногеохимические исследования меромиктических озер Хакасии в зимний сезон // Микробиология. 2005. Т. 74. № 4. С. 552-561.
- 4. Солотчина Э.П., Скляров Е.В., Солотчин П.А., Вологина Е.В., Склярова О.А. Минералогия и кристаллохимия карбонатов голоценовых осадков озера Киран (Западное Забайкалье): связь с палеоклиматом // Геология и геофизика. 2014.Т. 55. № 4. С. 605-618.
- 5. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Соотношения изотопов углерода в стратисфере и биосфере: четыре сценария // Биосфера. 2010. Т. 2. № 2. С. 231-246.
- 6. Zhu Z., Chen J., Zeng Y. Abnormal positive  $\delta^{13}$ C values of carbonate in Lake Caohai, southwest China, and their possible relation to lower temperature // Quaternary International. 2013. 286. P. 85-93.

# ISOTOPIC COMPOSITION OF DISSOLVED INORGANIC CARBON OF MINERAL LAKES IN THE EASTERN TRANSBAIKALIA Zamana L.V., Borzenko S.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia e-mail: l.v.zamana@mail.ru

**Abstract:** The isotopic composition of dissolved inorganic carbon mineral lakes of Eastern Transbaikalia has values of  $\delta^{13}C_{PDB}$  from -12.5 to 5.1 %. There is a weak dependence on the content in the waters of the carbonate and bicarbonate ions, the chloride waters have the more light isotopic composition of carbon.

**Keywords**: mineral lakes, isotopic composition, dissolved inorganic carbon.

# РОЛЬ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ГОРЯЧИХ ИСТОЧНИКОВ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Бархутова Д.Д.<sup>1, 2</sup>, Будагаева В.Г.<sup>1</sup>, Устинова О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия <sup>2</sup>Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, Россия e-mail: darima bar@mail.ru

**Абстракт:** Микробное сообщество горячих источников Байкальской рифтовой зоны играет важную роль в биогеохимических циклах углерода и серы, аккумуляции различных элементов, синтезе и разрушении минералов. Видовое разнообразие и активность микроорганизмов зависят от экологических условий, в первую очередь от температуры, значений рН, а также от химического состава минеральных вод. В горячих источниках БРЗ первичная продукция органических веществ осуществляется фотосинтезирующими организмами – цианобактериями и аноксигенными фототрофными бактериями. Скорость фотосинтеза в микробных матах достигает 9857,2 мгС/м²×сутки, скорость темновой фиксации углекислоты -5889,0 мгС /м² × сутки. Скорость сульфатредукции в микробных матах исследуемых источников варьировала от 1,3 до 1534 мг S/м² × сутки.

**Ключевые слова:** микробное сообщество, разнообразие микроорганизмов, скорость микробных процессов, горячие источники, Байкальская рифтовая зона.

Микробное сообщество горячих источников играет важную роль в биогеохимических циклах углерода, серы, азота, аккумуляции различных элементов, синтезе и разрушении минералов. В гидротермах микроорганизмы участвуют в создании геохимических барьеров: окислительно-восстановительного, щелочного, сероводородного и др. В ходе создания таких барьеров в результате деятельности различных функциональных групп микроорганизмов (цианобактерий, первичных и вторичных органо- и литотрофных гидролитиков) происходит резкое изменение интенсивности миграции ряда элементов. Видовое разнообразие и активность микроорганизмов зависят от экологических условий, в первую очередь от температуры, значений рН, а также от химического состава минеральных вод.

Задачи исследования - выявить разнообразие микроорганизмов горячих ис-точников Байкальской рифтовой зоны и оценить их геохимический потенциал.

Были использованы химико-аналитические, микробиологические, молекулярно-биологические и радиоизотопные методы [1, 2]. В результате комплексного подхода получена информация о биоразнообразии и скоростях микробных процессов циклов углерода и серы в условиях іп situ. Определение биологического разнообразия основывалось на применении классических микробиологических и молекулярных методов анализа фрагментов генов 16S рРНК. Для определения іп situ активности бактерий были использованы эксперименты с применением радиоактивно-меченых соединений углерода и серы (H<sub>2</sub> <sup>14</sup>CO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub> <sup>35</sup>SO<sub>4</sub>) к изолированным образцам микробных матов с последующим анализом перехода метки в клеточную биомассу и продукты метаболизма специализированных групп микроорганизмов.

В горячих источниках Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) первичная продукция органических веществ осуществляется фотосинтезирующими организмами – цианобактериями и аноксигенными фототрофными бактериями.

Проведено таксономическое описание цианобактерий в 11 азотных и 2 углекислых гидротермах Байкальской рифтовой зоны в зависимости от температуры. Выявлено всего 57 видов цианобактерий, наибольшее разнообразие отмечено при температуре 35-40°С. В гидротермах цианобатерии играют важную роль в аккумуляции химических элементов и минералообразовании.

Результаты экспериментов с использованием <sup>14</sup> С-бикарбоната показали, что скорость фотосинтеза в микробных матах достигает 9857,2 мгС/м²-сутки. Наиболее интенсивно продукционные процессы протекали в бессульфидной гидротерме Уро. В сульфидсодержащем источнике Алла процессы оксигенного и аноксигенного фотосинтеза протекали с одинаковой скоростью при температуре ниже 60 °С. При повышении температуры, где в сообществе преобладали матообразующие Chloroflexi, скорость аноксигенного фотосинтеза абсолютно преобладала над оксигенным и достигала 1573,8 мгС/м²-сутки. В бессульфидном источнике Гарга также отмечены высокие скорости аноксигенного фотосинтеза. В гидротермах БРЗ с

высокой скоростью протекают бактериальные процессы темновой фиксации углекислоты  $(237,5-5889,0 \text{ мгС /м}^2 \times \text{сутки})$ . Максимальная скорость выявлена в микробном мате источника Уро. Образованное органическое вещество окислялось аэробными и анаэробными гетеротрофными бактериями, и в дальнейшем анаэробно сбраживается до органических кислот, водорода и углекислого газа. Эти процессы могут осуществляться различными группами бактерий, обнаруженными в микробных сообществах. На начальных этапах деструкции при от 20 до 70 °C доминирующими физиологическими группами температуре протеолитические бактерии, численность которых достигали 1 млн. кл/мл. Из проб микробных матов и донных осадков гидротерм с различным температурным режимом и щелочной реакцией среды было выделено 18 штаммов факультативно-анаэробных органотрофных бактерий, являющиеся представителями родов Bacillus и Anoxybacillus на основе анализа гена 16S рРНК. Переход от аэробного к анаэробному существованию обуславливает у факультативных анаэробов смену катаболизма, прежде всего это переход к брожению, поэтому группировка этих организмов может играть важную роль в продуцировании органических кислот, влиянии и изменении рН среды, создавая тем самым условия для образования и концентрирования минералов, аккумуляции химических элементов. Образовавшиеся в результате сбраживания органического вещества ацетат и водород являются субстратами для роста сульфатредуцирующих бактерий. Скорость сульфатредукции в микробных матах исследуемых источников варьировала от 1,3 до 1534 мгS/м<sub>2</sub>×сутки. В грунтах гидротерм скорость сульфатредукции достигала 0,002-0,046 мг S/дм<sup>3</sup> в сут. В исследуемых гидротермах выявлена высокая численность сульфатредукторов (1-100 тыс. кл/мл ила). Геохимическая роль сульфатредуцирующих бактерий связана с их участием в минерализации органического вещества в анаэробных условиях с образованием углекислоты и сероводорода. Они являются активными биогеохимическими агентами и участвует в изменении физико-химических условий среды и участвуют в концентрировании металлов и минералообразовании.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 15-44-04335, МОН РФ 1990, РФФИ № 15-04-01275.

#### Список литературы

- 1. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Лабораторное руководство. Л.: Наука, 1974. 194 с.
- 2. Pimenov N.V., Bonch-Osmolovskaya E.A. In situ activity studies in thermal environments. In: Rainey FA, Oren A (eds) Methods in microbiology. Extremophiles. Elsevier. Academic Press. Amsterdam. Boston. Heidelberg, 2006. V. 35. P. 29-54.

## THE ROLE OF MICROBIAL COMMUNITIES OF THE BAIKAL RIFT ZONE HOT SPRINGS IN BIOGEOCHEMICAL PROCESSES

Barkhutova D.D<sup>1, 2</sup>., Budagaeva V.G. <sup>1</sup>, Ustinova O.V. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia

<sup>2</sup>Buryat State University, Ulan-Ude, Russia

e-mail: darima\_bar@mail.ru

**Abstract:** Microbial community of hot springs of the Baikal rift zone plays an important role in the biogeochemical cycles of carbon and sulfur, the accumulation of various elements, the synthesis and destruction of minerals. Species diversity and activity of microorganisms depend on the environmental conditions, especially temperature, pH and chemical composition of the mineral waters. In the hot springs BRZ primary production of organic substances is carried out by photosynthetic organisms - cyanobacteria and anoxic phototrophic bacteria. The rate of photosynthesis in the microbial mats reaches 9857.2 mg C / m  $^2$  × day, the rate of dark fixation of carbon dioxide -5889.0 mg C / m  $^2$  × day. The rate of sulfate reduction in microbial mats varied from 1.3 to 1534 mgS / m $^2$  × day.

**Keywords:** microbial community diversity of microorganisms, the rate of microbial processes, hot springs, Baikal rift zone.

# ОБ ИССЛЕДОВАНИИ КАРСТОВОГО КРИОГЕНЕЗА В ИЗУЧЕНИИ ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ В КРИОСФЕРЕ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

#### Железняк И.И.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия e-mail: lgc255@mail.ru

Абстракт: Приводятся сведения о наличии и расположении карстовых пещер в пределах юга криолитозоны Восточной Сибири. Представляются результаты многолетних экспериментальных исследований одной из наиболее крупных многолетнемёрзлых пещер — Хээтэй. Сформулированы направления перспективных и актуальных исследований с целью комплексной оценки и прогноза динамики климатических, геокриологических условий с целью изучения микробиологических и бактериологических ситуаций и выработки методик исследований процессов эволюции биосферы в природно-техногенных комплексах Забайкальской спелеологической провинции.

Ключевые слова: пещеры, микроклимат, криолитозона Забайкалья.

В Забайкальской спелеологической провинции выявлено более 50 пещер различной природы возраста с суммарной протяженностью около 5000 м и амплитудой глубин до 150 м. Они расположены практически во всех природных зонах: горной южной тайги (Лургиканская), лесостепи (Донинские галереи, Кайластуйская) и степи (Хээтэйские, Соктуй- Милозанская) и приурочены к долинам рек и бортам падей: Лургиканская пещера на левом борту долины руч. Лургикан (приток р. Шилка), Кайластуйская на левом берегу р. Аргунь. Основное направление их практического использования — туризм. Использование пещер в качестве объектов для многолетнего мониторинга состояния различных природных сред в пещерах с целью оценки региональных показателей динамики климата, криолитозоны и эволюции биосферы до сих пор не привлекло соответствующего внимания исследователей.

Особый научный и практический интерес представляют пещеры гетерогенного (естественного) происхождения, возникшие в результате действия различных природных процессов (карста, коррозии, эрозии и гравитации): Монасатуйская, Шаныстуйская (Дырбулкейская), Кайластуйская, Донинские галереи, Лургиканская, Хээтэйские и др.

Среди них по морфологическим признакам выделяются нисходящие: Ледяная из комплекса Хээтэйских пещер, Лургиканская, Кайластуйская и др. Они относится к типу «холодных», в которых мешки карстовых полостей направлены вниз. Вследствие этого за счёт естественного конвективного теплообмена в пещерах создаются особые микроклиматические условия, способствующие образованию льда (пещеры Лургиканская, Ледяная (Зимняя) в восточной воронке Хээтэйских пещер, Кайластуйская, Шаныстуйская (Дырбулкейская), Донинские галереи и др.). Многолетний систематический мониторинг микроклиматических характеристик «холодных» пещер Забайкальской спелеологической области, расположенной на юге Субарктики открывает перспективы оценки и прогноза влияния региональных и глобальных климатических изменений на состояние не только криолитозоны Восточной Сибири, но и эволюции биосферы на этой территории.

С целью выработки и апробации состава и методики такого мониторинга Институтом природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН с 1990 года проводятся научно-исследовательские работы в наиболее крупной «холодной» пещере Хээтэй, расположенной в Могойтуйском районе Агинского бурятского округа Забайкальского края.

Получены сведения о размерах, объёмно-планировочных характеристиках, геологическом строении и гидрогеологических условиях, температурном режиме свода и составе атмосферы, ледяных и минералогических образованиях пещеры, проанализированы климатические и географические характеристики региона, произведены прогнозные расчёты пещеры на динамическую устойчивость, апробированы современные и созданы новые технические средства измерений, дана оценка влияния антропогенеза на состояние покровных льдов пещеры [1, 2, 3].

Эти сведения открывают перспективу для исследований с целью получения новых актуальных знаний о роли карстового криогенеза в эволюции биосферы, в частности, в условиях

криосферы Забайкальской спелеологической провинции. К исследованиям этого направления относятся изучение изотопного состава воздушной среды в «холодных» и в «тёплых» пещерах, изучение микробиологических и бактериологических аспектов: биологической активности и роли органических веществ в формировании и трансформации сообществ микроорганизмов в водноледяной и воздушной средах пещер, жизнеспособности микроорганизмов после длительной криогенной консервации и др.

#### Список литературы

- 1. Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Обязов В.А., Орлов А.О., Цыренжапов С.В. Изучение карстовых ледяных пещер дистанционными методами // География и природные ресурсы. 2012. Т.33. №1. С.133-137.
- 2. Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Цыренжапов С.В., Орлов А.О., Крылов С.Д. Радиолокационное исследование карстовой пещеры Хээтэй (Забайкальский край). // Спелеология и Спелестология: развитие и взаимодействие наук. Материалы международной научно-практической конференции. Набережные Челны, 2010. С. 79-81.
  - 3. Железняк И.И. Мальчикова И.Ю. Пещеры Хээтэй. Чита: Экспресс-издательство, 2005. 102 с.

# ABOUT THE STUDY OF KARST CRYOGENESIS IN STUDYING THE EVOLUTION OF THE BIOSPHERE IN THE CRYOSPHERE TRANSBAIKALIAN SPELEOLOGICAL PROVINCE

#### Zhelezniak I.I.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia e-mail: lgc255@mail.ru

**Abstract:** The information on the availability and location of karst caves within the permafrost zone of the south of Eastern Siberia. It represents the result of many years of experimental research of one of the largest caves in permafrost-Heetey. Formulated perspective directions and actual studies to integrated assessment and forecast of the dynamics of climate, permafrost conditions to study the microbiological and bacteriological situations and develop methods of research processes in the biosphere evolution of natural and man-made complexes Transbaikalian Speleological Province.

Keywords: cave, microclimate, permafrost Transbaikalia.

## ГЕОХИМИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

#### Борзенко С.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии CO PAH, г. Чита, Россия e-mail: svb 64@mail.ru

**Абстракт:** Установлено, что на территории Восточного Забайкалья превалируют содовые и хлоридные минеральные озера, отличающиеся по степени минерализации, рН вод и содержанию макро- и микрокомпонентов. Основным механизмом формирования содовых озер является взаимодействие воды с горными породами, для хлоридных озер – испарительное концентрирование.

Ключевые слова: соленые озера, равновесие вода-порода, Восточное Забайкалье.

Минеральные озера Восточного Забайкалья в первую очередь представляют научный интерес для познания природы формирования гидрогеохимических систем соленых озер континентального типа [6, 7]. Многими исследователями метаморфизация их химического состава объясняется испарительным концентрированием вод [1, 3, 5]. Между тем, образование содовых вод не укладывается в рамки этих представлений. В этой связи изучение процессов взаимодействия воды с горными породами в условиях испарительного концентрирования вод позволит лучше понять ведущие механизмы формирования состава вод и их эволюцию [5, 6]. Поэтому целью настоящей работы является выявление основных механизмов формирования различных по солености, рН и химическому составу вод озер Восточного Забайкалья.

На территории Восточного Забайкалья насчитывается более сотни минеральных озер. Они приурочены к сухостепной и лесостепной зонам с широко проявленными процессами континентального засоления по днищам межгорных впадин. Все озера представляют собой континентальные водоемы с различными морфометрическими характеристиками, рельефом дна, источниками водно-солевого питания и др. Все они не имеют поверхностного стока. Испарение является основной их частью расходного баланса, величина которого с водной поверхности в период открытой воды более чем два раза превышает количество атмосферных осадков. Согласно делению вод по минерализации на рассматриваемой территории встречаются: пресные, солоноватые, соленые и рассольные озера [1].

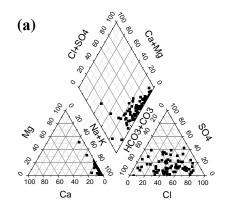
При гидрохимическом изучении природных вод важным вопросом становится их классификация, которая должна иметь совершенно четкие признаки, полностью характеризующие гидрохимическое состояние объекта. С учетом различных подходов [1, 3] нами были выделены ряд критериев, по которым в данной работе оценивается химический тип озер. К содовым мы отнесли минеральные озера с рН>9.0 и удовлетворяющие условиям классификации Курнакова-Валяшко и Алекина для содового (карбонатного) типа, которые были разделены по превалирующему аниону на подтипы. К хлоридным и сульфатным отнесены озера с минерализацией вод более 1 г/л и рН < 9.0 и удовлетворяющие условиям классификации Алекина.

По предложенной схеме на исследуемой территории присутствуют содовые и хлоридные озера, озера сульфатного типа отсутствуют (таблица). Основным отличительным признаком содовых озер является их высокая щелочность, достигающая максимальных значений pH=10.7 в оз. Куджертай, при среднем по выборке pH=9.54.

Таблица Основные физико-химические параметры минеральных озер Восточного Забайкалья

Тип, подтип	pН	S <sup>2-</sup>	Si	$O_2$	$C_{opr}$	$CO_2$	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> -	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl	F-	Ca <sup>2+</sup>	$Mg^{2+}$	Na <sup>+</sup>	$K^{+}$	M
Содовый		мкг/л		м/л г/.								г/л				
I	9.47	615.2	2.97	7.2	260.9	< 0.3	1067	1811	604.5	1293	9.58	14.4	64.5	2079	45.5	6.78
П	9.58	15.3.0	0.51	6.2	38.0	< 0.3	412.0	1001	1491	911.2	3.75	3.47	77.8	1484	223	5.19
III	9.61	688.5	1.41	8.4	62.5	< 0.3	1400	1567	3055	7381	20.1	11.8	33.5	7591	52.8	21.7
Хлоридный	8.40	145.1	0.69	7.2	67.9	144	232.0	625.9	3209	16531	7.07	93.1	575.8	11662	72.3	33.0

В І подтипе до солености 15 г/л, с ростом минерализации воды интенсивнее накапливаются карбонаты, составляя в среднем 59 экв.%, на долю хлоридов и сульфатов приходится 30 и 14 экв. % соответственно (рисунок).



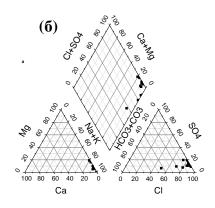


Рисунок. Диаграммы Пайпера с нанесением данных по а) содовым и б) хлоридным озерам Восточного Забайкалья.

Содовые озера III подтипа более щелочные и минерализованные (в пределах выборки содового типа). В этом подтипе рост хлоридов (среднее 52 экв. %) опережает рост карбонатов (25 экв. %) и тем более сульфатов (15 экв. %). Относительные содержания хлора в отдельных случаях достигают 80 экв. % (оз. Хан-Хоро-Нор, оз. Ходатуй, оз. Василь Торм-1 и др.). Во II подтипе доминируют сульфаты в содержаниях от 38 до 49 экв. %. Эти озера отличаются минимальной по выборке соленостью вод. Что касается катионов, то смешанный магниевонатриевый состав отмечается исключительно в I подтипе, с ростом солености натрий становится основным ионом (среднее по всей выборке 91 экв. %). В сравнении с хлоридными в содовых озерах в больших масштабах накапливаются F и такие микроэлементы как: Si, Al, Sc, Ti, Mn, Fe, Zr, Nb, As, P3Э, Th, U, Hf, Ta. Наиболее активно в содовых озерах протекает сульфатредукция, что подтверждается относительно высоким содержанием биогенных компонентов различных восстановленных форм серы  $S^{2-}$ ,  $S^0$ ,  $S^0S^{4+}$  и легкоокисляемого органического углерода  $C_{\rm opr}$ , продуцируемого микробным сообществом.

Хлоридные озера по сравнению с содовыми характеризуются более высокой минерализацией вод, но относительно низким значением рН, средние значения которых составляют 33 г/л и 8.4 соответственно. Доля хлора в среднем равна 80 экв. %, при максимуме 91 экв. % в оз. Горбунка. В абсолютных концентрациях в этом типе почти в два раза превалируют сульфаты, почти на порядок выше концентрации кальция и магния. Хотя в объемных единицах измерения доля сульфатов немногим ниже, чем в содовых озерах и в среднем равна 12 экв. %. Минимальный процент приходится на карбонаты (7.8 экв. %). В катионном составе доминирует натрий в объеме 90 экв. %. Калий, кальций и магний находятся здесь в подчиненных количествах. Максимальные концентрации кальция (617.5 мг/л) и магния (3795 мг/л) зафиксированы в озерах с более нейтральной обстановкой водной толщи (оз. Бильчир-Нур и оз. Горбунка).

По мере роста минерализации и снижения рН в направлении от содовых до хлоридных озер увеличиваются абсолютные концентрации большинства макрокомпонентов, за исключением карбонатов. В объемных единицах измерения в указанном направлении снижаются содержания не только карбонатов, но также сульфатов, натрия, калия, и целого ряда перечисленных выше микроэлементов, напротив доли хлора, кальция и магния растут. В больших масштабах накапливаются здесь Sr, Li, Se, Br, Rb, Ba.

Чаще содовые озера имеют большую площадь акватории и глубину (Зун-Торей, Барун-Торей, Баин-Цаган, Харанор, Хадатуй, Доронинское и др.), геоморфологически они занимают чаще более низкие высотные отметки, чем хлоридные. Это значит, что они расположены в зоне более интенсивного питания подземными водами, чем хлоридные озера. То есть, объем поступающих в озера подземных вод в первом случае выше, следовательно, больше величина водообмена или время взаимодействия воды с горными породами. Многолетние наблюдения показали, что площадь водных зеркал большинства содовых озер в период засухи с 2009 к 2015 гг. изменилась в меньшей степени, чем хлоридных. А это значит, что в хлоридных озерах объем атмосферных осадков в приходной статье водного баланса существенно превосходит объем подземного питания. Превалирование хлора в озерах на ранней стадии концентрирования может объясняться наличием дополнительного источника его поступления.

Понятно, что формирование химического состава озер начинается еще на водоразделах и продолжается на всей площади водосбора, поэтому нельзя не учитывать процесс взаимодействия воды с водовмещающими породами. Содовые озера отличаются более высокими значениями рН и содержаниями Na, Si, Al, Zr, F и др. элементов, поступающих в воду за счет процессов гидролиза алюмосиликатных пород. Одним из продуктов этих реакций является ОН [7], реагирующий с CO<sub>2</sub> с образованием производных угольной кислоты. Понятно, чем дольше вода растворяет породу, тем больше в раствор поступает ОН . Источником CO<sub>2</sub> являются как атмосферный газ, так и органическое вещество, минерализующиеся в водоемах в результате биохимических процессов, конечными продуктами которых являются CO<sub>2</sub>, а в восстановленной среде добавляются H<sub>2</sub>S и CH<sub>4</sub>. Анализ изотопного состава углерода растворенных в воде карбонатов показал, что содержания тяжелого углерода выше в III подтипе содовых озер, а наиболее легкий его состав фиксируется в озерах хлоридного типа. Анаэробная обстановка водной толщи характерная в большинстве случаев для содовых озер способствует наряду с сульфатредукцией образованию метана, сопровождающегося фракционированием углерода с существенным его утяжелением в исходном продукте реакции.

Анализ равновесия вод с основными минералами показал, что алюмосиликаты ограничивают подвижность кремния, алюминия и калия, которые связываются в основном глинами и гидрослюдами. К флюориту за исключением 3 содовых озер III подтипа воды не равновесны, но отмечается равновесие с фторапатитом. Кальций и магний в содовых озерах не накапливаются по причине насыщения вод кальцитом и магнезитом. Согласно расчетам значение параметра насыщения вод относительно этих минералов выше для более щелочных минерализованных содовых озер III подтипа, сюда попадает и оз. Куджертай (I подтип). Образование барита и стронцианита в щелочных условиях содовых озер может ограничивать накопление в них Ва и Sr. Среди минералов из группы карбонатов натрия отмечается насыщение более щелочных и минерализованных вод содовых озер гейлюсситом. По соде, нахколиту и троне равновесия не достигаются, аналогичная ситуация прослеживается по отношению к галиту и сульфатным минералам, тенардиту и мирабилиту. Отставание в накоплении в озерах сульфатов объясняется сульфатредукцией с последующим осаждением в анаэробных условиях сульфидов железа, в частности гидротроилита, отмечаемого в донных отложениях большинства озер [2, 4]. Роль сульфатредукции как основного барьера для сульфатов подтверждается изотопным анализом серы. Наиболее тяжелая сера сульфатов фиксируется в озерах с относительно высокими содержаниями восстановленной серы ( $S^{2-}$ ).

Учитывая, что хлор не образует на данном этапе развития озер собственных минералов и содержания его растут пропорционально росту минерализации вод, он был выбран в качестве индикатора процессов испарительной концентрации. Для хлоридных озер коэффициент Cl/M по средним оценкам более чем в два раза выше (среднее 0.46), по сравнению с содовыми (0.21). Очевидно, что содовые озера в меньшей степени подвергнуты испарительным процессам. Максимальное отклонение от линии Крейга присуще хлоридным и некоторым более минерализованным содовым озерам ІІІ подтипа, с коэффициентом Сl/M близким к хлоридному типу (оз. Уту-Нур, оз. Ходатуй и др.).

Таким образом на формирование химического состава вод озер оказывают влияние взаимодействие воды с водовмещающими породами, внутриводоемные процессы и испарительное концентрирование вод, доминирование того или иного процесса определяет геохимическое разнообразие озер Восточного Забайкалья.

#### Список литературы

- 1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 443 с.
- 2. Борзенко С.В., Замана Л.В. Восстановленные формы серы в воде содового озера Доронинское (Восточное Забайкалье) // Геохимия. 2011. № 3. С. 268-277.
- 3. Валяшко, М.Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 397 с.
- 4. Замана Л.В., Борзенко С.В. Гидрохимический режим соленых озер Юго-Восточного Забайкалья // География и природные ресурсы. 2010. № 4. С. 100-107.
- 5. Шварцев С.Л., Колпакова М.Н., Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ариунбилэг С. Геохимия и формирование состава соленых озер Западной Монголии // Геохимия. 2014. Т. 5. С. 432-449.

- 6. Shvartsev S L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zones of the Earth // Geochemistry International. 2008. V. 46. № 13. P. 1285-1398.
  - 7. Zheng, Mianping. Saline lakes and salt basin deposits in China. Beijing. Science Press, 2014. 321 p.

## GEOCHEMISTRY OF MINERAL LAKES EAST TRANSBAIKALIA Borzenko S.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia e-mail: svb\_64@mail.ru

**Abstract:** It is established that on the territory of East Transbaikalia prevail soda and chloride mineral lakes, differing in degree of salinity, pH and content of macro and micro components in water. The main mechanism of the formation of soda lakes is the interaction of water with rocks, for chloride lakes - evaporative concentration.

Keywords: salt lakes, water-rock equilibrium, East Transbaikalia.

#### ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЭКОСИСТЕМЕ ОЗЕРА КЕНОН

Цыбекмитова Г.Ц., Куклин А.П., Базарова Б.Б., Итигилова М.Ц., Горлачева Е.П., Матафонов П.В., Ташлыкова Н.А., Афонина Е.Ю., Афонин А.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия e-mail:gazhit@bk.ru

**Абстракт:** Состояние водной среды, трофический уровень гидробионтов и объектов их питания являются основополагающими факторами бионакопления тяжелых металлов (ТМ). Концентрации исследованных ТМ в воде оз. Кенон достаточно низкие. Большинство их (Cr, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) накапливаются в донных отложениях. В экосистеме озера Кенон по трофической цепи от низшего к высшим уровням переходят Hg и Zn, в планктонной цепи накапливается Pb, остальные элементы – в гидрофитах.

Ключевые слова: тяжелые металлы, пресноводная экосистема, бионакопление.

задач гидробиологии считается Одной ИЗ важнейших оценка состояния И прогнозирование возможных изменений водных экосистем под влиянием внешних и внутренних факторов, определения оптимальных условий и степени эксплуатации экосистем. Перспективы освоения территории Забайкалья, в том числе и энергетического, неизбежно окажет негативное влияние на водные ресурсы региона. Сточные воды ТЭЦ, кроме теплового влияния, оказывают и химическое воздействие на экосистему водоемов. Нами было установлено, что с золошлакоотвала ТЭЦ-1 поток фильтрационных вод, загрязненных ТМ, поступает в озеро Кенон, более 50 лет используемого в качестве водоема-охладителя. Понимание процессов, происходящих в водных экосистемах, в том числе и миграции ТМ, на этапе планирования работ позволит снизить экологические риски. Цель настоящей работы оценка миграции ТМ в экосистеме озера Кенон.

Отбор проб воды, донных отложений и гидробионтов проведены с 2012 по 2015 гг. на 5 постоянных станциях озера. Анализ проведен общепринятыми в гидрохимии и гидробиологии методами. Элементный состав в пробах определяли атомно-эмиссионным (*iCAP-6500, Thermo Scientific, США*) и масс-спектральным (*X-7, Thermo Elemental, США*) методами анализа в аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии и микроэлектроники и особо чистых материалов РАН. Для контроля качества анализов применялись проверенные справочные материалы: "Trace Metals in Drinking Water" производства High-Puriy Standards (США), Габбро Эссекситовое СГД-1A (ГСО 521-84П), *Elodea canadensis* Michx. (1803) (SRM, EK-1, registration number COOMET 0065-2008-RU), Oriental Basma Tobacco Leaves (INCT-OBTL-5) и Oriental Polish Virginia Tobacco Leaves (INCT-PVTL-6), мышцы *Perca fluviatilis* Linnaeus (SRM, Baikal perch tissue, BOk-2, registration number COOMET CRM 0068-2009-Ru). При анализе данных особое внимание уделялось выявлению избыточных содержаний средне- и высокотоксичных элементов – Hg, As, Pb, Zn, Cr, Cu, Cd, Mn.

Исследования структуры трофических цепей в зарослях водной растительности, незаросшей бентали и в толще воды показало, что в зарослях доминируют гидрофиты *Potamogeton australis*, макроводоросли – *Chara sp.* и *Cladofora fracta*, из придонных организмов – амфиподы *Gmelinoides fasciatus* и *Gammarus lacusrtis*, моллюски *Lymnaea spp.* В бентали доминируют личинки *Chironomus spp.* Планктон водной толщи представлен микроводорослями и зоопланктонным сообществом. В летнем фитопланктоне преобладают зеленые (*Tetraëdron minimum, Tetrastrum komarekii, Scenedesmus quadricauda* и виды рода *Oocystis*) и динофитовые (*Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Bergh) водоросли. Зоопланктон был представлен в основном фильтраторами – *Ceriodaphnia quadrangulata, Neutrodiaptomus incongruens, Daphnia galeata* и прочими ветвистоусыми. Доминантами ихтиофауны явились *Carassius auranus gibelio, Leuciscus waleckii* и *Perca fluviatilis*.

элементов в воде и донных отложениях оз. Кенон способствуют накоплению их гидробионтами.

Специфика эколого-геохимической роли высшей водной растительности определяется её способностью аккумулировать ТМ не только из водной среды, но и донных отложений, тем самым вовлекая их в трофические цепи через эпифитные водоросли, беспозвоночные и травоядные рыбы. По валовому содержанию ТМ в гидрофитах исследованные элементы объединены в 3 группы: с высокой концентрацией – Fe, Mn и Sr; средней – As, Ni, Cu, Zn; низкой – Cd, Hg, Co, Cr, Pb. Установлено, что концентрации химических элементов в растениях сравнимы с фоновыми значениями, кроме незначительного превышения по Ni и Co. Харовые водоросли, по сравнению с другими видами, больше накапливают ТМ.

Среднее содержание Cu, Zn, As, Pb, Cd и Hg в моллюсках *Lymnaea spp*. находятся на уровне фоновых содержаний. Концентрация Cd и Hg в амфиподах соответствует содержанию в амфиподе *Gammarus pulex* из относительно незагрязненных водоемов, содержание Cu и Zn – ближе к уровню слабозагрязненных водных экосистем.

В макроводорослях наиболее высокое содержание отмечено для Fe  $(10^4-10^5 \text{ мкг/г} \text{ сухой массы})$ . По мере снижения концентраций идут следующие ряды элементов: Cu, Zn, Sr  $(10^2-10^3 \text{ мкг/г})$ , As, Pb, Ni, Cr  $(10-10^2 \text{ мкг/г})$ , Cd и Hg (1-10 мкг/г). Максимальные концентрации Ni, Cu, Zn, Cd, Pb отмечались на станциях «ТЭЦ» и «Нефтебаза». В доминирующем виде *C. fracta* наибольшие концентрации Cu отмечены в районе сброса термальных вод, Zn – в *C. fracta*, *Vaucheria sp.*, *Ulotrix zonata* на участке подкачки вод р. Ингода. Близкие значения по Pb получены для *C. fracta*, *Vaucheria sp.* и *U. zonata* на ст. «ТЭЦ», в устье р. Кадалинка и в районе подкачки из р. Ингода.

Содержание ряда ТМ (Co, Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, As) в мелкоразмерной (кормовой) фракции планктона (> 60 мкм) превышает концентрации элементов крупноразмерного зоопланктона (> 112 мкм). Максимальные величины содержания Co, Cr, Ni, As, Fe, Mn выявлены в районе ст. «Нефтебаза».

В доминирующих видах рыб более высокое накопление тяжелых металлов выявлено на станциях «ТЭЦ», «Нефтебаза» и района подкачки воды из р. Ингода по сравнению с другими зонами оз. Кенон. В мышцах окуня и карася серебряного высоко содержание Zn, Fe, Mn, Cu и Hg. Наиболее высокое содержание Zn отмечено в мышцах *Carassius auranus gibelio*, а Hg – у *Perca fluviatilis*.

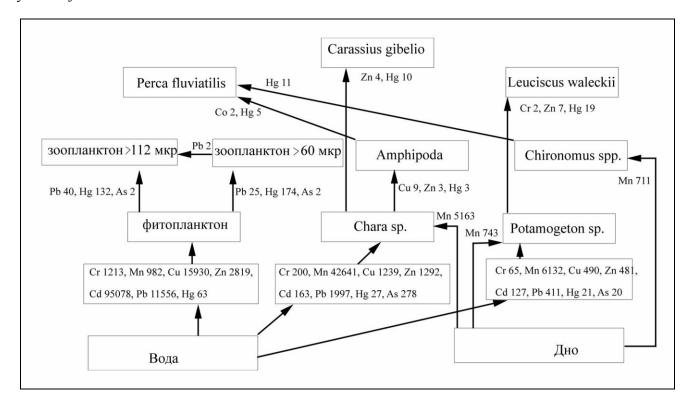


Рисунок. Коэффициент биологического накопления и трофической магнификации ТМ в экосистеме оз. Кенон.

Концентрации исследованных ТМ в воде достаточно низкие. Поэтому все организмы имеют высокие значения коэффициента биологического накопления относительно воды. Коэффициент биологического накопления относительно донных отложений показывает, что только Мп интенсивно накапливается растительностью (от 743 до 5163 раз). Расчет коэффициента трофической магнификации для верхних трофических уровней (зоопланктон и рыбы) показывает рост концентраций Рb и Hg. Для ртуги рост концентрации отмечен во всех трофических цепях. Для таких элементов как Zn, Cd, Cu, Cr, Ni биомагнификация в рассмотренных трофических цепях не всегда явна, что требует дополнительных исследований (рисунок).

Таким образом, в водных экосистемах живые организмы являются участниками геохимической миграции элементов. Химические элементы, поступающие со сточными водами в водоемы, через систему трофических взаимосвязей избирательно накапливаются в организмах. Большинство элементов при их миграции задерживается на уровне растительности (фитопланктон, харовые водоросли, высшая водная растительность).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 14-05-98013 — р\_сибирь\_а и в рамках выполнения проекта «Динамика природных и природно-антропогенных систем в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки (на примере Забайкалья)».

#### HEAVY METALS IN THE ECOSYSTEM OF THE KENON LAKE Tsybekmitova G.Ts., Kuklin A.P., Bazarova B.B., Itigilova M.Ts., Gorlacheva E.P., Matafonov P.V., Tashlykova N.A., Afonina E.Yu., Afonin A.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia e-mail:gazhit@bk.ru

**Abstract:** State of water environment, trophic level of aquatic organisms and objects of food are fundamental at bioconcentration of heavy metals (HM). HM concentrations in the water of Kenon Lake low enough. Most of them (Cr, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb) are accumulated in the sediments. At the ecosystem of Kenon Lake at the trophic chain from lower to higher levels transferred Hg and Zn, the trophic level chain of plankton accumulates Pb, the remaining elements - in the hydrophytes.

Keywords: heavy metals, bioavailability, freshwater ecosystem.

### СОЕДИНЕНИЯ АЗОТА В ТЕХНОГЕННЫХ ВОДАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

#### Абрамова В.А., Замана Л.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии CO PAH, г. Чита, Россия e-mail: vera\_abramova79@mail.ru

**Абстракт:** установлен аномально высокий уровень содержания нитратного и аммонийного азота в дренажных водах разрабатываемых рудных месторождений Восточного Забайкалья (до  $592 \text{ мг/л} \text{ NO}_3^- \text{ в}$  подотвальных водах Талатуйского золоторудного месторождения и  $24.3 \text{ мг/л} \text{ NH}_4^+ \text{ в}$  воде карьера Спокойнинского вольфрамового месторождения), обусловленный применением взрывчатых веществ при добыче руды или цианидов в технологии извлечения золота. Данные по Забайкалью и другим регионам позволяют выделить особый, *горнопромышленный* тип загрязнения природных вод соединениями азота.

Ключевые слова: соединения азота, рудные месторождения, техногенез.

Азот относится к числу незаменимых биогенных элементов и его соединения имеют особое значение для водных экосистем. В гидросфере возможно одновременное существование разных форм соединений азота в силу его разновалентности, от количественного содержания которых во многом зависит экологическое состояние водной среды. В настоящее время значительно увеличиваются концентрации соединений азота в поверхностных и подземных водах вследствие их широкого применения в сельском хозяйстве, жилищно-коммунальной химической, нефтехимической, кожевенной, пищевой горнодобывающей промышленности [1, 3], оказывая при этом долгосрочное воздействие и вызывая изменения в организмах, сообществах и экосистемах в целом. В результате остро обозначилась проблема ухудшения качества воды, эвтрофикации водоемов и гибели гидробионтов [2]. В связи с этим для водоемов рыбохозяйственного назначения были определены ПДК для следующих соединений:  $NO_2^- - 0.08$ ;  $NH_4^+ - 0.5$ ;  $NO_3^- - 40$  мг/дм $^3$  [5]. Однако эти нормы очень часто превышаются.

В настоящее время весьма актуальной для многих горнодобывающих регионов России, в том числе и Забайкалья, является проблема высокого содержания соединений азота в составе техногенных вод рудных месторождений. В этом случае источниками поступления азота могут служить взрывные работы, которые являются необходимой составляющей при добыче руды, а также цианиды, используемые в процессе извлечения золота. Различные формы техногенного рельефа (карьеры, канавы, траншеи и др.), которые образуются в результате отработки месторождений, обостряют проблему формирования дренажных и ливневых стоков на горнопромышленных территориях. По данным [3] на сегодняшний день не существует методов очистки этих вод от соединений азота, как во время работы горнодобывающих предприятий, так и после их закрытия. Поэтому после некоторого выдерживания карьерных вод в отстойниках их сбрасывают в поверхностные водные объекты.

Цель работы – гидрогеохимическое опробование вольфрамовых, золоторудных, флюоритовых и других промышленных типов разрабатываемых или выведенных из эксплуатации рудных месторождений Восточного Забайкалья. Отбор проб дренажного стока горнорудных объектов (отвалы, хвостохранилища, карьеры, горные выработки) проводился с 2012 по 2015 гг. на Антоновогорском, Букукинском, Белухинском и Спокойнинском вольфрамовых, Ключевском, Дарасунском, Талатуйском и Погромном золоторудных, Оцолуйском Жетковском флюоритовых, Давендинском золотомолибденовом, золото-полиметаллическом, Акатуевском серебряно-свинцовом, Бугдаинском молибденовом, Нойон-Тологойском свинцово-цинковом и Шерловогорском оловянно-полиметаллическом месторождениях.

В таблице приведены данные химического анализа дренажных вод рудных месторождений Забайкалья, а также их основные физико-химические параметры (pH, Eh, минерализация). Анализируя распределение основных форм N, следует отметить низкое содержание  $NO_2^-$  в водах всех выше перечисленных объектов. Данные по содержанию нитратов в дренажных водах позволяют судить о высоком уровне содержания  $NO_3^-$  в водах эксплуатируемых в настоящее время месторождений (рисунок).

Место отбора	№ пробы	Дата отбора	pН	Eh, mV	TDS, µС/см	NO <sub>3</sub> -, мг/л	NO <sub>2</sub> -, мг/л	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л
Дренажный сток	АГ-15-1	07.08.2015	3,30	528	585	0,63	0,004	0,22
штольни Антоново-								
горского мест-ния								
Сток штольни	БК-15-1	08.08.2015	6,70	235	751	0,31	0,010	0,41
Букукинского мест-ния								
Разгрузка ниже	БЛ-15-1	11.08.2015	5,85	317	522	1,56	0,011	0,18
бывшей								
обогатительной								
фабрики рудника								
Белуха								
Из устья штольни	АК-15-1	09.08.2015	7,58	220	898	0,31	0,011	0,15
Акатуевского рудника								
Из мочежины	БД-15-3	09.08.2015	4,20	402	1589	7,81	0,012	0,96
Бугдаинского мест-ния								
Озеро на дне карьера	ШГ-15-1	16.07.2015	3,21	-	3909	1,77	0,004	0,12
Шерловогорского								
мест-ния (сопка								
Большая)								
Хвостохранилище	DV-15-01	18.10.2015	7,97	-	-	1,42	0,022	0,39
возле фабрики								
Давенда								
Карьер на	КС-15-2	18.10.2015	7,29	-	-	1,18	0,019	0,18
Ключевском мест-нии								
Из стока на дороге	ЖТ-15-2	11.08.2015	6,04	238	160	0,69	0,012	0,44
под отвалами								
Жетково								
Устье штольни	ОЦ-15-1	07.08.2015	7,24	227	445	0,82	0,012	0,18
Оцолуйского мест-ния								
Карьер-отстойник	OP-15-2	05.08.2015	6,65	221	1744	382,3	0,121	24,3
Спокойнинского мест-								
<b>РИН</b>								
Из под отвалов	ТЛ-14-2	16.07.2014	7,27	160,2	-	592	0,284	-
Талатуйского карьера								
Из трубы	ВД-14-3	16.07.2015	7,60	188,2	-	516	0,128	0,07
хвостохранилища								
Дарасунского рудника								
Ново-Широкинское	НШ-14-01-1	-	7,24	273,8	1322	89,6	0,033	0,12
мест-ние								
Контрольный створ	APR-12-02	17.05.2012	8,29	-	-	108	0,570	9,0
рч. Оськино								
Апрелковского								
рудника (мест-ние								
Погромное)								
Хвостохранилище	NT-15-01	15.11.2015	11,54	-	-	8,2	0,014	1,22
фабрики мест-ния								
Нойон-Тологой								

Примечание: прочерк «-» - не определялся.

Так установлен аномально высокий уровень содержания нитратного и аммонийного азота в дренажных водах разрабатываемого Талатуйского золоторудного месторождения (до  $592 \text{ мг/л NO}_3^-$  в подотвальных водах) и в воде карьера Спокойнинского вольфрамового месторождения ( $382.3 \text{ мг/л NO}_3^-$  и  $24.3 \text{ мг/л NH}_4^+$ ). Как упоминалось выше, это обусловлено применением взрывчатых веществ при добыче руды или цианидов в технологии извлечения золота.

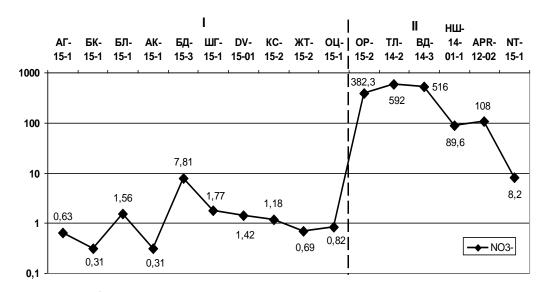


Рисунок. Концентрации нитратов в дренажных водах рудных месторождений Восточного Забайкалья (I — выведенные из эксплуатации, II — эксплуатируемые). Условные обозначения: АГ — Антоновогорское, БК — Букукинское, БЛ — Белухинское, АК — Акатуевское, БД — Бугдаинское, ШГ — Шерловогорское, DV — Давендинское, КС — Ключевское, ЖТ — Жетковское, ОЦ — Оцолуйское, ОР — Спокойнинское, ТЛ — Талатуйское, ВД — Вершино-Дарасунское, НШ — Новоширокинское, АРК — Апрелковское, NT — Нойон-Тологойское месторождения.

Полученные нами данные по содержанию нитратов, нитритов и аммония в водах на эксплуатируемых месторождениях Восточного Забайкалья, а также имеющиеся в публикациях по горнопромышленным объектам других регионов (молибден-вольфрамовое месторождение Тырныауз на Кавказе, Костомукшский ГОК в Карелии и др.) [4] позволяют выделить особый горнопромышленный тип загрязнения природных вод соединениями азота. Полученные результаты необходимо учитывать при оценке воздействия разработки рудных месторождений на компоненты природной среды, в частности на природные воды, особенно расположенных вблизи населенных пунктов и подвергающихся воздействию стоков.

Подготовлено по результатам исследований по проекту 79.1.3 «Гидрогеохимия, криогеохимия и электрофизические свойства ледяных образований в зоне техногенеза рудных месторождений Забайкалья».

#### Список литературы

- 1. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник: В 6 кн./ Под ред. Э.К. Буренкова. М.: Недра, 1994. Кн. 2: Главные р-элементы. 303 с.
- 2. Моисеенко Т.И. Влияние закисления на водные экосистемы // Экология. 2005. № 2. С. 110-119.
- 3. Лозовик П.А., Бородулина Г.С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 6. С. 694-704.
- 4. Хаустов В.В. Формирование дренажного стока месторождения Тырныауз // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 3 (42). С. 140-146.
  - 5. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод.

## NITROGEN COMPOUNDS IN TECHNOGENIC WATERS OF ORE DEPOSITS OF TRANSBAIKAL REGION

#### Abramova V.A., Zamana L.V.

Institute of Natural Resources Ecology and Criology SB RAS, Chita, Russia e-mail: vera\_abramova79@mail.ru

**Abstract:** installed abnormally high levels of nitrate and ammonia nitrogen in the drainage waters develop ore deposits of Eastern Transbaikalia (up to 592 mg/l  $NO_3$  in podatelna waters Talalatuyskoe gold-ore deposit and 24.3 mg/l  $NH_4^+$  in water career Spokoyninskoe tungsten deposit), due to the use of explosives in mining or cyanide technology in gold extraction. Data for the Transbaikal region and other regions highlight special mining type of natural water pollution by nitrogen compounds.

**Keywords:** nitrogen compounds, ore deposits, technogenic influence.

### ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОВОЩЕЙ ПГТ ШЕРЛОВАЯ ГОРА (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

Солодухина М.А.<sup>1</sup>, Михайлова Л.А.<sup>2</sup>, Шабанова Е.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия <sup>2</sup>Читинская государственная медицинская академия, г. Чита, Россия <sup>3</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия e-mail:mabn@ya.ru

**Абстракт:** В статье представлены результаты изучения содержания K, Na, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Se, Mo, Co, As, Pb, Cd, в овощах, выращенных на территории, подвергшейся антропогенному загрязнению селитебной зоны.

Ключевые слова: картофель, свекла, морковь, химические элементы.

Хорошо известно, что избыточное поступление тяжелых металлов и дефицит жизненно важных химических элементов способствует ухудшению здоровья на индивидуальном и популяционном уровне, приводя к развитию специфических донозологических и патологических состояний, таких как морфологические изменения, уродства, изменения воспроизводства, эндемические заболевания.

Накопление поллютантов в растительных и животных организмах посредством так называемых пищевых цепочек обусловливает химическую контаминацию продовольственного сырья, пищевых продуктов и поступление наиболее опасных веществ в организм человека с пищей. 40-50 % вредных веществ поступают в организм человека с продуктами питания, 20-40 с водой [2].

Овощи являются важной неотъемлемой частью рациона питания человека, поэтому целью исследования была оценка их элементного состава, выращенных в условиях антропогенного загрязнения местности.

Проведен анализ образцов 3 точечных пробы вегетативных овощей (объединенные пробы из 3 экземпляров картофеля, свеклы, моркови), выращенных на приусадебном участке, находящемся в зоне влияния хвостохранилища Шерловогорского ГОКа (рис. 1).



Рис. 1. Космический снимок пгт. Шерловая гора с указанием места отбора проб овощей.

В представленных образцах проводилось определение содержание эссенциальных макро и микроэлементов методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС ИСП) в соответствии с методикой НСАМ 512-с "Определение элементного состава образцов растительного происхождения (травы, листья) атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами анализа". Пробоподготовка заключалась в высушивании и истирании образцов.

Аналитические исследования выполнены в Испытательной лаборатории ФГБУН Институт геохимии им. Виноградова СО РАН, аккредитованной Федеральной службой по аккредитации (аттестат аккредитации РОСС RU.0001.513593).

Правильность полученных результатов подтверждена анализом государственных стандартных образцов состава №№: 8923-2007 (ЛБ-1) лист берёзы; 8922-2007 (Тр-1) травосмесь; 8921-2007 (ЭК-1) элодея канадская; 9055-2008 (БОк-2) мышечная ткань Байкальского окуня; 3169-85 (СБМК-02) клубни картофеля.

Математическую обработку данных производили с применением пакета программных приложений Microsoft Excel XP. Полученные результаты сравнивались с СанПиН 2.3.2.1078 и литературными данными.

При сравнении результатов содержания нутриентов с показателями, приведенными в литературе, были получены следующие данные: картофель (его съедобная часть) отличается более низким содержанием Na (в 2 раза), Ca (в 1,75 раза), Fe и более высоким P (в 1,65 раза) и Mg (в 1,5 раза). В исследованных образцах свеклы больше К (в 9,8 раза), Na (в 28 раз), Ca (в 3,2 раза), P (в 12 раз) и Mg (в 12 раз), подобное тенденция характерна и для моркови.

Обнаружено, что в исследованных пробах Fe и Ca преимущественно накапливаются в кожуре картофеля и свеклы, K в кожуре картофеля и съедобной части свеклы, Na в съедобной части свеклы, P и Mg в кожуре свеклы.

Коэффициент биологического поглощения (КБП) Zn для всех исследованных проб не превышает 0,2; КБП Cu овощами существенно отличается. Так КБП Cu картофелем не превышает 1, а КБП Cu свеклой достигает 4,2. (табл. 1). Fe, Cr и Se накапливается в кожуре картофеля и свеклы, Mn, Cu, Zn и Co в кожуре свеклы.

Исследованные пищевые продукты, выращенные в условиях антропогенного загрязнения местности отличаются по минеральному составу от продуктов питания, используемых в европейской части России. Это обусловлено как геохимическими особенностями региона, так и антропогенным загрязнением территории.

Содержание токсичных химических элементов техногенного происхождения, являющихся приоритетными загрязнителями для этого района различно, в отдельных пробах отмечено превышение ПДК в 2 раза (морковь) (табл. 2). Уровень содержания мышьяка в овощах находится на грани ПДК. Содержание свинца в съедобной части картофеля и свеклы находится в пределах допустимых норм, однако в кожуре свеклы оно превышено в 4 раза. Содержание кадмия в съедобной части картофеля и свеклы превышено незначительно, а в моркови в 7 раз.

Показанные особенности изученных образцов позволяют дать рекомендацию для местного населения — тщательно очищать овощи от кожуры перед приготовлением. Кроме этого, необходимо провести дополнительные исследования для выявления биогеохимических особенностей миграции токсичных химических элементов в цепи почва-растения-человек, выяснить влияние кулинарной обработки на содержание химических элементов в овощах и разработать рекомендации для обезвреживания канцерогенов.

Таблица 1 Содержание эссенциальных микроэлементов в исследованных образцах

		Содержание в исследованных овощах (среднее по России) /содержание подвижной формы в почве по [1], мг/кг											
O	Образец		КБП										
		Fe Mn		Cu /2,2	Zn/106,5	Cr	Se	Mo	Co				
ШГ/13/1	Картофель с	40±10	7,6±1,5	2,1±0,5	12±2	$0.88\pm0.2$	0,44±0,1	2,6±0,7	≤0,06				
ш1/13/1	кожурой	40±10	7,0±1,3	1	0,1	0,88±0,2	0,44±0,1	2,0±0,7	≥0,00				
ШГ/13/2 Картофель		$\leq 30 (9)^2$	$7,6\pm1,5(1,7)^2$	$0.51\pm0.13(1.4)^2$	$13\pm3(3,6)^2$	$\leq 0.3(0.1)^2$	$0.3\pm0.08(0.1)^{1}$	$1,1\pm0,3(0,08)^2$	$\leq 0.06(0.05)^2$				
1111/13/2	без кожуры	_50 (2)	7,0±1,5(1,7)	0,2	0,1	<u> </u>	0,5±0,00(0,1)	1,1±0,5(0,00)	0,00(0,03)				
ШГ/13/3	инг/12/2 Кожура	130±30	7±1,4	2,3±0,6	13±3	5±1,3	0,4±0,1	0,7±0,18	≤0,06				
Ш1/13/3	картофеля	130±30	7±1,4	1	0,1	$J\pm 1, J$	0,4±0,1	0,7±0,16					
ШГ/13/4	Свекла без	40±10 (14) <sup>2</sup>	16±3,2 (6,6)	$5,6\pm1,4(1,4)^2$	$19\pm4(4,25)^2$	$0,65\pm0,16(0,2)^2$	$0,26\pm0,07(0,1)^1$	$0.51\pm0.13(0.1)^2$	$\leq 0.06(0.02)^2$				
1111/13/4	кожуры	40±10 (14)	2	2,5	0,2	$0,03\pm0,10(0,2)$	0,20±0,07(0,1)	0,31±0,13(0,1)					
ШГ/13/5	Кожура	440±90	51±10,2	9,2±2,3	35±7	16±4	0,5±0,13	0,7±0,18	0,5±0,13				
1111/13/3	свеклы	<del>110</del> ±70	31±10,2	4,2	0,3	10±4	0,5±0,15	0,7±0,10	0,5±0,15				
ШГ/13/6	Свекла с	220±40	32±6,4	7,5±1,9	26±5	8±2	0,25±0,06	0,5±0,13	0,3±0,08				
Ш1/13/0	кожурой	220-40	32±0,4	3,4	0,2	0±2	0,23±0,00	0,5±0,15	0,3±0,08				
ШГ/13/7	Морковь с	$60\pm10~(7)^2$	13±2,6(2) <sup>2</sup>	$3,9\pm1(0,8)^2$	$18\pm4(4)^2$	$1,03\pm0,3(0,03)^2$	$0,39\pm0,1(0,1)^1$	$0.6\pm0.15(0.2)^2$	≤0,06(0,02) <sup>2</sup>				
шт/13/7	кожурой	00±10(7)	13-2,0(2)	1,8	0,2	1,03±0,3(0,03)	0,39±0,1(0,1)	0,0±0,13(0,2)	≥0,00(0,02)				

Примечание -1 по: [3], 2 - по: [4].

	Образец	Pb/69,21	КБП	As/53,3 <sup>2</sup>	КБП	Cd/3,21	КБП
ШГ/13/1	Картофель с кожурой	0,63	0,009	≤0,3	0,006	0,1	0,03
ШГ/13/2	Картофель без кожуры	0,45	0,007	≤0,3	0,006	0,04	0,01
ШГ/13/3	Кожура картофеля	0,46	0,007	≤0,3	0,006	0,04	0,01
ШГ/13/4	Свекла без кожуры	0,27	0,004	≤0,3	0,006	0,04	0,01
ШГ/13/5	Кожура свеклы	2,1	0,030	≤0,3	0,006	0,1	0,03
ШГ/13/6	Свекла с кожурой	1,3	0,019	≤0,3	0,006	0,07	0,02
ШГ/13/7	Морковь с кожурой	0,94	0,014	≤0,3	0,006	0,21	0,07
пдк пдк	СанПиН 2.3.2.1078-01	0,5		0,2		0,03	
Фоновое со	одержание [3]	0,2		0,1		0,02	

Примечание — жирным выделено содержание, превышающее ПДК,  $^1$  — подвижная,  $^2$  — валовая форма.

#### Список литературы

- 1. Информационный отчет по оценке техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами и канцерогенными химическими элементами территории пос. Шерловая Гора в результате пыления от хвостохранилища Шерловогорского ГОК / Гос. ком по охране окружающей среды Читинской области, специализированная инспекция государственного экологического контроля и анализа (СИГЭКиА). Чита: Изд-е Читагоскомэкологии, 1998, 36 с.
- 2. Кузубова Л.И., Шуваева О.В., Аношин Г.Н. Элементы-экотоксиканты в пищевых продуктах / ГПНБ СО РАН, Ин-т неорг. Химии, Объед. Ин-т геологии, геофизики и минералогии СО РАН. Новосибирск, 2000. 67 с.
- 3. Методические рекомендации по определению реальной нагрузки на человека химических веществ, поступающих с атмосферным воздухом, водой и пищевыми продуктами. М.: Минздрав СССР, 1986. 46 с.
- 4. Плотникова Т.В., Позняковский В.М., Ларина Т.В. Экспертиза свежих плодов и овощей. Учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во Новосиб. vн-та, 2001. 302 с.
- 5. СанПиН 2.3.2.1078 01 «Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

# FEATURES OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF VEGETABLES PGT SHERLOVAIA GORA (ZABAJKALSKIJ KRAJ) Solodukhina M.A.<sup>1</sup>, Mikhailova L.A<sup>2</sup>, Shabanova E.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia
<sup>2</sup> Chita State Medical Academy, Chita, Russia
<sup>3</sup>Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia
e-mail:mabn@ya.ru

**Abstract:** The article presents the results of a study of the content of K, Na, Ca, P, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Se, Mo, Co, As, Pb, Cd in vegetables grown in the area affected by anthropogenic pollution residential zone. **Keywords:** potatoes, beets, carrots, chemicals.

#### КРИПТОБИОСФЕРА ЗЕМЛИ

## Птицын А.Б.<sup>1</sup>, Матюгина Е.Б.<sup>1</sup>, Белькова Н.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия <sup>2</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия e-mail: aleksei\_pticyn@mail.ru

Абстракт: Криптобиосфера – «окраины» биосферы, скрытые от непосредственного наблюдения. К ним относятся: незамерзающие растворы зоны многолетней мерзлоты, тонкие водные пленки в гетерогенных тонкодисперсных системах, холодные подземные воды, не имеющие прямой связи с основной биосферой. Специфические свойства водной фазы в этих в чем-то экстремальных системах определяют особый состав и функции микробного сообщества, там проживающего. В статье рассмотрены физико-химические свойства специфических водных фаз и приведены первые данные о необычных микробных сообществах, установленных авторами в различных объектах Восточной Сибири.

Ключевые слова: криптобиосфера, эволюция биосферы, микроорганизмы.

Роль микроорганизмов в биологической и геохимической эволюции биосферы огромна. Протяженность эволюционной линии микроорганизмов превышает 3,5 млрд лет. Благодаря этому у них выработался очень тонкий адаптационный механизм, а возросшее разнообразие обеспечило высочайшую устойчивость и многофункциональность. Благодаря своей значительной численности и активности микроорганизмы играют важнейшую роль в биогеохимических процессах.

В докладе рассматриваются особые зоны биосферы, которые вследствие их специфических условий могут быть заселены только микроорганизмами, имеющими малые размеры и широкие диапазоны толерантности. Эти зоны предлагается называть криптобиосферой. К криптобиосфере могут быть отнесены: зона многолетней мерзлоты; поровые растворы, вода в которых находится в частично связанном состоянии; холодные подземные воды, не имеющие прямой связи с основной биосферой; а также содовые озера, являющиеся, по мнению академика Г.А. Заварзина, реликтами протобиосферы.

В условиях многолетней мерзлоты незамерзающая водная фаза сохраняется вследствие криогенного концентрирования растворов и понижения температуры замерзания связанной воды. Многочисленными исследованиями, в том числе нашими [1], показано, что интенсивность процессов в системе «вода — порода» при умеренных отрицательных температурах выше, чем при нормальной температуре земной поверхности.

Микробные сообщества зоны многолетней мерзлоты также имеют свою специфику. В результате выполненного авторами молекулярно-генетического исследования циано-бактериальных матов, формирующихся в местах выходов дренажных вод на вольфрамовом месторождении Белуха (Забайкалье), расположенном в зоне многолетней мерзлоты, установлены представители крупных филогенетических линий: *Proteobacteria* (классы *Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria*), *Bacteroidetes—Chlorobi* (классы *Flavobacteriia*, *Sphingobacteriia* и *Cytophagia*), *Cyanobacteriia* и *Deinococcus—Thermus*.

Таким образом, сочетание микробиологических и физико-химических факторов создает в многолетней мерзлоте особую зону криптобиосферы.

Холодные воды Алханая (Забайкалье) издревле считаются целебными. Причем, воды некоторых, близко расположенных аршанов используются при разных болезнях. Руководство Национального парка «Алханай» обратилось к нам с просьбой выяснить возможные причины и источник целебных свойств алханайской воды. Однако долгое время нам это не удавалось — минеральный состав воды источников не давал ответа на этот вопрос. Только микробиологические исследования пролили немного света на проблему.

Классическими микробиологическими методами культивирования установлено, что в каждом из исследованных родников существует собственная, неповторяющаяся в других, комбинация четырех доминирующих культивируемых форм бактерий *Duganella* sp., *Janthinobacterium* sp., *Pseudomonas* sp. и *Serratia* sp. [2]. Одним из отличительных свойств полученных штаммов является продукция различных пигментов. Из окрашенных веществ, синтезируемых бактериями рода *Pseudomonas*, выделены химические вещества, обладающие антибиотическими свойствами — пиоцианин, хлорорафин, оксихлорорафин, феназин-1-

карбоновая кислота и эругинозин. Пигменты обладают антибиотической активностью против грамположительных и грамотрицательных бактерий, дрожжей и грибов. Кроме антибиотиков, в состав окрашенных вторичных метаболитов, синтезируемых псевдомонадами, входят витамины рибофлавин, фолиевая кислота, птерин [3].

Особенностью выделенных культивируемых форм бактерий является наличие пигментов виолацеина, продигиозина и производных феназина, известных своими лечебными свойствами [3]. Таким образом, можно предполагать, что различные целебные свойства вод разных аршанов обусловлены, в том числе специфическим составом микроорганизмов.

Еще одним интересным микробным сообществом являются грязевые вулканчики, расположенные на территории национального парка «Алханай», в долине реки Иля. В составе этих сообществ молекулярно-генетическими методами идентифицированы микроорганизмы различных таксономических групп, участвующие в круговоротах углерода, серы и железа.

Содовые озера являются экстремальными экосистемами, в которых до сих пор существуют цианобактерии, которые, согласно представлениям академика Г.А. Заварзина, были прородителями биосферы, ответственными за создание кислородной атмосферы.

Согласно В.И. Виноградову (1980), с появлением на Земле кислородной атмосферы (по данным изотопного состава серы древних эвапоритов – около 3-3,5 млрд. лет назад) атомы серы участвуют в биогенном круговороте – важнейшем элементе эволюции биосферы. Существенный сезонный вклад в функционирование энергоемкого серного цикла этих особых систем могут вносить микробные сообщества фотической прибрежной и влажной песчаной береговой зон содового озера Доронинское (Забайкалье), осуществляющие преобразование органического вещества и минералов. Причиной существенного фракционирования изотопов серы в природной обстановке является перераспределение их между окисленными и восстановленными соединениями.

Филогенетический анализ, показал, что основу ярко-зеленых цианобактериальных колоний оз. Доронинское (Забайкалье) составляют бактерии филумов *Proteobacteria*, *Spirochaetes* и *Actinobacteria*. Более половины выделенных последовательностей из библиотеки клонов принадлежали к классу *Epsilonproteobacteria* сходные с видом *Sulfurimonas autotrophica* (96.7% сходства). Этот вид бактерий представляет интерес из-за его значительного вклада в глобальный цикл серы. 10% сообщества составляли хемоорганотрофные виды *Spirochaeta alkalica* (97.8%), использующие в качестве источников углерода и энергии разнообразные углеводы, 10% — некультивируемые нефототрофные виды сем. *Microbacteriaceae* (99.9%), способные окислять восстановленные соединения серы и 10% — бактерии, у которых обнаружены гены, кодирующие actinorhodopsins — один из вариантов светасобирающего proteorhodopsins - Candidatus *Limnoluna rubra* (99.8%) [4].

Таким образом, обитая в «суровых» и селективных физико-химических условиях, микроорганизмы на протяжении миллионов лет вырабатывали механизмы приспособления и объединялись в группы, где, взаимодействуя между собой, приспосабливались функционировать подобно «единому организму». Формирование специфических особенностей, характерных для отдельных микробных сообществ в микроэкологических нишах, позволяет бактериям расширять пределы биосферы за счет областей, недоступных другим видам организмов.

#### Список литературы

- 1. Птицын А.Б., Абрамова В.А., Маркович Т.И., Эпова Е.С. Геохимия криогенных зон окисления. Новосибирск: Наука, 2009. 88 с.
- 2. Evgeniya Matyugina, Natalia Belkova, Olga Dagurova, Aleksey Ptitsyn. Diversity and ecology of microorganisms from cold seeps of national park "Alkhanai" (Transbaikalia, Russia) // Faculty of Science, University of South Bohemia in České Budějovice, 2015. P. 101-103.
- 3. Williamson N.R., Fineran P.C., Leeper F.J. and Salmond G.P.C. The biosynthesis and regulation of bacterial prodiginines // Nature Reviews Microbiology. 2006. V. 4. N. 121. P. 887-899,
- 4. Matyugina E.B, Belkova N.L. Phylogenetic and functional diversity of microorganisms from littoral and sandy zones of meromictic soda Lake Doroninskoe (Transbaikalia, Russia) // 10th International Congress on Extremophiles, 2014. P. 164-165.

## KRIPTOBIOSFERA OF THE EARTH Ptitsyn A.B.<sup>1</sup>, Matyugina E.B.<sup>1</sup>, Belkova N.L.<sup>2</sup>,

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia e-mail: aleksei\_pticyn@mail.ru

**Abstract:** Kriptobiosfera - "outskirts" of the biosphere, hidden from direct observation. These include: freezing solutions permafrost zone; thin water film in heterogeneous systems, fine, cold groundwater, no direct connection to the main biosphere. The specific properties of the aqueous phase in these somewhat extreme system determines the specific composition and function of microbial communities living there. The article describes the physical and chemical properties of specific aqueous phases and provides the first data on unusual microbial communities established by the authors in various sites in Eastern Siberia.

**Keywords:** Kriptobiosfera, the evolution of the biosphere, microorganisms.

### НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ИХТИОФАУНЕ ОЗЁР КУАНДО-ЧАРСКОГО ВОДОРАЗДЕЛА

Михеев И.Е.<sup>1</sup>, Соколов А.В.<sup>2,3</sup>, Соколова В.Ф.<sup>2,3</sup>, Петерфельд В.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия <sup>2</sup> Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия <sup>3</sup>Государственный научно-производственный центр рыбного хозяйства, г. Улан-Удэ, Россия e-mail: miheevi@mail.ru

Абстракт: Проведены ихтиологические исследования озер Куандо-Чарского водораздела (Забайкальский край, Каларский район). Оценено современное состояние рыбных запасов в озерных экосистемах. Для сравнительного анализа использованы данные и материалы изучения данной группы озер в 1987, 1990, 1991, 2009 и 2015 гг. Предложены необходимые меры охраны ихтиофауны и перспективы создания особо охраняемых природных территорий.

**Ключевые слова:** видовой состав, ихтиофауна, контрольный улов, биомасса, особо охраняемая территория, кластер.

Материал по ихтиофауне озер Куандо-Чарского водораздела собирался из уловов разноячейных (от 14 до 50 мм) ставных сетей. Все уловы позиционированы в системе GPS с указанием места и времени лова, глубины постановки сетей и шага ячей. Каждый улов сортировался по видам, производились просчеты и промеры всех видов. Сбор и обработка ихтиологических материалов проводилась в соответствии с общепринятыми методиками [0]. Все контрольные уловы стандартизированы, т.е. пересчитаны на длину одной сети – 25 м, время стояния сетей – 5 часов. Оценка структурных характеристик по биомассе осуществлялась с использованием рассчитанных непосредственно для рыб обследованных водоемов зависимостей между длиной и массой, имеющих высокую степень достоверности (коэффициенты корреляции более 0,9). Величина возможной ошибки оценки биомассы рыб находится на уровне 30% и соответствует имеющимся методикам учета абсолютной численности рыб в водоеме [5].

Озера водораздела рек Куанды и Чары расположены на юго-западе Чарской котловины у стыка ее с Муйской тектонической впадиной. Озера маломинерализованные, ультрапресные, общей площадью 4100 га имеют значительные глубины 30-65 м.

Озера в основном населены ценными видами рыб, большинство которых относятся к редким и исчезающим [2, 3]. Озера Малое и Большое Леприндо относятся к сиговому типу водоемов со значительным преобладанием данного вида в ихтиоценозе. В большинстве контрольных уловов доля сига составляет 90-100%. Озеро Леприндокан хариусово-ленковогольцовый водоем - 30% - 20% - 20%, соответственно. Озеро Даватчан относится к гольцовым водоемам, доля гольца (даватчана) в уловах составляет 70-90% [4].

В 1980 г. на берегах озер Большое и Малое Леприндо началось строительство БАМа. Трасса прошла по северному берегу оз. Б. Леприндо и по южному берегу оз. М. Леприндо. Было построено два поселка: п. Леприндо в 2 км от оз. Б. Леприндо, на берегу р. Меркалях, и поселок Кодар на западном берегу оз. М. Леприндо.

В эти годы началась нагрузка на рыбные запасы озер Куандо-Чарского водораздела. Получило развитие любительское рыболовство, зачастую с элементами браконьерства. В это время лов рыбы, помимо крючковых, проводился сетными орудиями лова в течение всего года, как правило, без учета времени нереста. Особенно сильно пострадали популяции даватчана крупной, хищной формы в озерах Б. Леприндо, М. Леприндо и Даватчан. Значительно сократилась численность ленка и хариуса в оз. Леприндокан.

В 1991 г. поселки были ликвидированы, но озера продолжали оставаться излюбленными рекреационными водными объектами для любительского и потребительского рыболовства.

В 2001 г. северо-западная часть оз. Б. Леприндо и северо-восточная часть оз. М. Леприндо пострадали от селя, сошедшего с хребта Кодар. В 2002-2004 гг. на локальных участках, особенно в прибрежье наблюдалась повышенная мутность воды в этих озерах.

Более 15-ти лет сдерживающими факторами для массового рыболовства на этих озерах были, плохое состояние автодороги п. Новая Чара — разъезд Леприндо и находящийся в аварийном состоянии автомобильный мост через р. Чара. Тем не менее, озера регулярно

посещались рыбаками, особенно осенью в октябре-ноябре в периоды нереста сига (оз. Б. Леприндо) и гольца-даватчана (оз. Даватчан). Основной целью добычи оставалась и остается крупный голец-даватчан, достигающий массы тела 1,5-2 кг, обитающий в оз. Даватчан.

Структура ихтиоценоза оз. Даватчан, согласно, исследований 2015 г. и в анализируемые годы (1987, 1991, 2009 гг.) оставалась достаточно стабильной. Как по численности, так и по биомассе преобладает в ихтиоценозе даватчан. Вместе с тем, если показатель численности его стабилен (1987 г. – 75,2%, 1991 г. – 81,1%, 2009 г. – 74,6%, 2015 г. – 73,7%), то относительная биомасса существенно снизилась: с 81,9% до 54,1% соответственно годам.

По материалам анализируемых годов голец-даватчан в озере был представлен тремя экологическими группами: карликовой (глубоководной), обычной (пелагической) и хищной. Причем хищная форма имела существенную долю среди всех групп — 8,2% по численности и 34,3% по биомассе. В 2015 г. к хищной форме условно можно отнести только 1 экз. даватчана промысловой длиной 35 см, массой 559 г. в возрасте 9 лет. Наряду со снижением роли хищной формы существенно увеличились численность и биомасса карликовой формы, соответственно до 39,6% и 12,3%.

В отношении обычной формы даватчана изменения не столь существенны. Его доля в контрольных уловах в сравниваемые годы по обоим показателям находилась в пределах 60-90%.

Исследования показали, что произошло серьезное падение численности функционально значимой части популяции даватчана – хищной (крупной) формы.

В сравнении с проведенными в 1990 г. контрольными обловами, биомасса рыбы в оз. М. Леприндо увеличилась с 21,4 кг/га до 44,9 кг/га в 2014 г., в оз. Большое Леприндо наблюдается значительное увеличение ихтиомассы с 16,08 кг/га до 104,4 кг/га. В целом состояние популяций сига в озерах в настоящее время можно оценить, как удовлетворительное.

Современные величины биомасс рыб (кг/га) в озерах Куандо-Чарского водораздела по результатам контрольных обловов 2014 и 2015 гг. представлены в таблице.

В 2014 г. начата подготовка к строительству второго пути БАМ, был произведен капитальный ремонт автомобильного моста через р. Чара и отреставрирована прирельсовая автодорога п. Новая Чара — разъезд Леприндо. В связи с сокращением рыбных запасов в р. Чара и прилегающих к населенным пунктам других водных объектов, вероятнее всего прессинг со стороны любительского и потребительского рыболовства переместится на озера Куандо-Чарского водораздела.

Таблица Рассчитанные величины биомасс рыб (кг/га) в некоторых озерах Куандо-Чарского водораздела по результатам контрольных обловов 2014-2015 гг.

Озеро	Год	Сиг	Хариус	Налим	Даватчан	Ленок	Окунь	Прочие	Всего
М. Леприндо	2014	33,2	8,5	2,2	0,3	-	-	0,7	44,9
Б. Леприндо	2014	89,7	-	0,2	-	-	4,6	9,9	104,4
Леприндокан	2015	-	23,4	8,2	12,8	12,8	-	12,0	69,1
Даватчан	2015	-	10,2	16,1	31,2	-	-	0,2	57,7

Сегодня для контроля, надзора и сохранения рыбных запасов на данной территории какие-либо практические меры отсутствуют.

С началом подготовки территории к строительству второй линии железнодорожного пути, в связи с освоением и подготовкой к разработке крупных месторождений полезных ископаемых (Апсатское каменноугольное месторождение, Удоканское месторождение меди и пр.) а также с притоком большого числа людей, для сохранения рыбных запасов и биологического разнообразия ихтиоценозов озер Куандо-Чарского водораздела необходимо:

- 1. Срочное решение вопроса по восстановлению районного («Северного») отдела контроля, надзора и рыбоохраны, который был ликвидирован в 2001 г.;
  - 2. Создание особо охраняемых природных территорий.

Необходимость создания в Каларском районе особо охраняемых природных территорий (ООПТ) неоднократно подчёркивалась в ряде документов, в первую очередь, в «Концепции развития системы особо охраняемых природных территорий регионального значения в Забайкальском крае на период до 2030 года» утверждённой постановлением Правительства Забайкальского края 01 марта 2016 года № 89. Данный документ предусматривает, что

создание в Каларском районе новой ООПТ, такой, как Государственный природный комплексный заказник «Куандо-Чарские озера» призвано обеспечить «сохранение местообитаний редких и ценных видов рыб (даватчан, сиг-пыжьян (сибирский сиг)). Также данный участок имеет большое значение в качестве сохранения мест обитания водоплавающих и околоводных видов птиц».

Сотрудниками ИПРЭК СО РАН, ЗабГУ, ГПБЗ «Даурский» было предложено озера Куандо-Чарского водораздела включить в территорию планируемого национального парка «Кодар». Предлагаемая территория парка состоит из двух кластеров: «Ледниковый массив Кодара» и «Удоканское лавовое плато» куда входят озера Куандо-Чарского водораздела.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований СО РАН, проект IX.88.1.6. (№ 0386-2014-0004).

#### Список литературы

- 1. Методические указания по сбору и обработке ихтиологического материала в малых озерах. Гос. НИИ озерного и реч. рыб.хоз-ва. Л.: ГосНИОРХ, 1986. 65 с.
- 2. Михеев И.Е. Даватчан (Salvelinus alpinus erythrinus (Georgi, 1775)) / Красная книга Забайкальского края. Животные. Новосибирск: ООО «Новосибирский издательский дом», 2012. С. 193-194.
- 3. Михеев И.Е. Сиг-пыжьян, или сибирский сиг (*Coregonus lavaretus pidschian* (Gmelin, 1788)) / Красная книга Забайкальского края. Животные. Новосибирск: ООО «Новосибирский издательский дом», 2012. С. 198-199.
- 4. Михеев И.Е. Охотничьи и рыбные ресурсы в зоне БАМ (Забайкальский край) // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 3 (34). Ч. 2. С. 7-9.
- 5. Сечин Ю.Т. Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах. М.: ВНИРО, 1990. 52 с.

## NEW DATA ON THE FISH FAUNA OF LAKES KUANDO-CHARSKOGO OF THE WATERSHED

Mikheyev I.E.<sup>1</sup>, Sokolov A.V.<sup>2,3</sup>, Sokolova V.F<sup>2,3</sup>, Peterfeld V.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

<sup>2</sup>Kaliningrad state technical university, Kaliningrad, Russia

<sup>3</sup>State research and production center of fishery, Ulan-Ude, Russia

e-mail: miheevi@mail.ru

**Abstract:** Icthyological researches of lakes of the Kuando-Charsky watershed (Zabaykalsky Krai, Kalarsky district) are conducted. The current state of fish stocks in lake ecosystems is estimated. For the comparative analysis data and materials of studying of this group of lakes in 1987, 1990, 1991, 2009 and 2015 are used. Necessary measures of protection of a fish fauna and prospect of creation of especially protected natural territories are proposed.

**Keywords:** specific structure, a fish fauna, a control catch, biomass, especially protected territory, a cluster.

### МИКРОВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ПЕРЕОХЛАЖДЕННОЙ ВОДЫ Орлов А.О.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии CO PAH, г. Чита, Россия e-mail: lgc255@mail.ru

Абстракт: В работе выполнено исследование микроволновых свойств переохлажденной воды в порах на частотах от 13 ГГц до 94 ГГц. В результате экспериментов показано, что в миллиметровом диапазоне затухание микроволнового излучения в переохлаждённой воде может превышать расчётные значения при температурах ниже -20°С. Дополнительные потери внесены в формулу комплексной диэлектрической проницаемости в виде дополнительного члена, связанного с повышенной проводимостью среды.

**Ключевые слова:** нанопористые среды, переохлажденная вода, вторая критическая точка воды, диэлектрическая проницаемость.

В настоящее время изучение свойств воды вызывает интерес ученых различных областей науки. В журнале Science в статье «Чего мы не знаем?» перечислены 125 наиболее важных и актуальных вопросов, среди которых вопрос о структуре воды [4]. Знание микроволновых свойств воды необходимо при решении многочисленных задач радиозондирования. Это связано с повышением частот излучения зондирования, а также точности измерений. И если при положительных температурах и температурах до  $\sim$  -15°C микроволновые свойства жидкой воды достаточно хорошо изучены, то при более низких температурах экспериментальных данных практически нет, а модели дают большое расхождение данных с экспериментом.

Особый интерес знание микроволновых свойств переохлажденной воды представляет для полярных и субполярных регионов, где возможно глубокое переохлаждение микрокапельной влаги в атмосфере, воды в порах растительных покровов, почвогрунтов, горных пород и аэрозольных частиц. Это связано с тем, что вода в порах с размерами порядка единиц нанометров, например, в природном цеолите с порами порядка 1 нм, не замерзает до температуры ~-100°C [5]. В тоже время атмосферу Антарктиды, которая может содержать переохлаждённую воду в порах аэрозольных частиц, начинают исследовать микроволновыми методами [4].

В данной работе приводятся некоторые экспериментальные данные о прохождении микроволнового излучения через жидкую воду при её переохлаждении до температур  $\sim$ -50°C и ниже. Исследования проводились на отдельных частотах от 13 ГГц до 94 ГГц. Для получения переохлажденной воды использовались силикагели КСКГ со средним размером пор 8 нм и Acros – 9 нм. В работе [3], методами молекулярной динамики показано, что объемные свойства у воды в силикатах начинают проявляться на расстояниях 0,3-0,6 нм от границы твердое тело – жидкость, для пленок толщиной от 2,3 нм. Этот факт позволяет применять пористые силикаты с порами от 3 нм для изучения микроволновых свойств объемной воды при ее переохлаждении.

Для получения данных о диэлектрических параметрах ( $\varepsilon'$  – действительной и  $\varepsilon''$  – мнимой частей относительной диэлектрической проницаемости, а также  $\alpha$  – коэффициента затухания) переохлажденной поровой воды использовали экспериментальную установку, в которой излучение от генератора отражалось от металлической охлаждаемой кюветы с образцом и принималось радиометрическим приемником. В этой схеме измерения с использованием шумовых излучений проводятся в свободном пространстве, что позволяет усреднять сигналы как по частоте, так и по площади образца.

Коэффициент затухания вычислялся по формуле  $I=I_0e^{-\alpha Z}$ , где I — интенсивность излучения, прошедшего через слой Z, слой Z определяли из значений объемной влажности материала, как эквивалентный слой воды в образце,  $I_0$  — начальное значение интенсивности излучения, определяемое при калибровке.

Экспериментальное значение  $\alpha$ (воды) корректировали, используя априорную информацию [2], добавляя некоторое значение ( $\Delta \alpha$ ), для выравнивания расчетного и экспериментального значений при 0°C. Также использовать известные расчетные значения для  $\varepsilon'$  в интервале температур от 0°C до  $\sim$  -45°C. Затем из значений  $\alpha$  и  $\varepsilon'$  находились значения  $\varepsilon''$ .

На рис. 1 приведен пример зависимости вычисленных значений  $\varepsilon''$  переохлажденной воды от температуры для частоты 20 ГГц и образца Acros с весовой влажностью 3,7%.

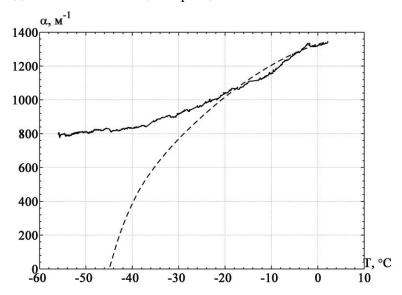


Рис. 1. Зависимость  $\varepsilon''$  переохлажденной поровой воды от температуры на частоте 20 ГГц. Сплошная линия — данные полученные из эксперимента и вычисленные с помощью априорной информации, пунктирная линия — расчеты по данным [2].

Как видно из графика до температур  $\sim$  -20°C наблюдается хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных. Но при температурах ниже -20°C затухание в образце значительно превышает расчетное. Для корректировки расчетных данных предлагается в формулу комплексной диэлектрической проницаемости ввести добавочный член  $\Delta \varepsilon''(T)$ , который можно связать с повышенной проводимостью среды. Для его нахождения вычислили разность между экспериментальными и расчетными значениями  $\varepsilon''$ . По полученным данным построили зависимость, которая хорошо аппроксимируется лоренцовской кривой. Результаты вычисления  $\Delta \varepsilon''$  приведены на рис. 2.

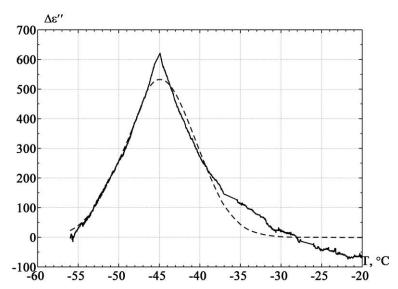


Рис. 2. Разность значений ( $\varepsilon''_{_{_{_{ЭКСП.}}}} - \varepsilon''_{_{_{_{_{_{_{_{2KСП.}}}}}}}}$ ) для поровой воды на частоте 20 ГГц. Сплошная линия – данные, полученные из эксперимента, пунктирная линия – линия аппроксимации.

По результатам расчетов получили колоколообразную кривую с экстремумом вблизи -45°С. Уравнение линии аппроксимации имеет вид:  $\Delta \varepsilon'' = a * exp[-((T-T_0)/c)^2]$ , где a, c – коэффициенты, а  $T_0$  критическая температура, близкая к -45°С.

Из результатов определения коэффициента затухания и  $\varepsilon''$  было установлено, что имеется значительное дополнительное поглощение в поровой воде при температурах -40  $\div$ 

-45°C во всём частотном диапазоне, в котором проводили измерения (от 13 ГГц до 94 ГГц). Дополнительное поглощение заметно в интервале температур от -20°C до -70°C и простирается до  $-100 \div -160$ °C в зависимости от материала, его параметров и степени его увлажнения. Наличие микроволнового поглощения в области температур, где жидкая объёмная вода не существует, позволяет предположить появление в пористой среде неавтономной фазы воды, то есть такой, которая не существует без взаимодействия с поверхностью твёрдого гидрофильного материала.

Наличие дополнительного поглощения с экстремумом при  $\sim$  -45°C совпадает с предсказанным влиянием на свойства воды при атмосферном давлении второй критической точки при данной температуре. Несмотря на то, что эта точка виртуальная, по современным данным, имеет место расходимость ряда термодинамических параметров воды при приближении к ней.

Хотя свойства неавтономной среды определяются и влиянием материала, образующего поры, можно получить формулы для  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  переохлаждённой поровой воды при невысокой влажности (до 10-15%). С этой целью в формулу для  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  объёмной переохлаждённой воды добавлено слагаемое  $\Delta \varepsilon''(T)$ , найденное из измерений диэлектрических параметров воды в нанопористых силикатах.

#### Список литературы

- 1. Kennedy D., Norman C. What Don't We Know? // Science. 2005. V. 309. N. 5731. P. 75.
- 2. Meissner T., Wentz F.J. The complex dielectric constant of pure and sea water from microwave satellite observations // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing . 2004. V. 42(9). P. 1836-1849.
- 3. Solveyra E.G., Llave E., Scherlis D.A., Molinero V. J. Melting and crystallization of ice in partially filled nanopores // Phys. Chem. B, 2011. V. 115. Issue. 48. P. 14196-14204.
  - 4. Witze A. Antarctic cloud study takes off // Nature. 2016. V. 529. P. 12.
- 5. Бордонский Г.С., Крылов С.Д. Структурные превращения переохлажденной воды в нанопорах по данным о поглощении микроволнового излучения // Журнал физической химии. 2012. Т. 86. №11. С. 1806-1812.

## THE MICROWAVE PROPERTIES OF SUPERCOOLED WATER Orlov A.O.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia e-mail: lgc255@mail.ru

**Abstract:** This paper presents the research of microwave properties of supercooled water in the pores at frequencies of 13 GHz to 94 GHz. The experiments demonstrated that millimeter wave attenuation of microwaves supercooled water may exceed the calculated values at temperatures below -20°C. Additional losses included in the formula of the complex permittivity in the form of an additional term associated with increased conductivity of the medium.

**Keywords:** nanoporous media, supercooled water, the second critical point of water, the dielectric constant.

# ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА ОЗЕРА ЧАНЫ (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

#### Безматерных Д.М.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия bezmater@iwep.ru

**Абстракт:** Проанализированы состав и структура макрозообентоса крупнейшего в Западной Сибири бессточного озера Чаны. Оценено влияние основных абиотических экологических факторов на состав, структуру и динамику макрозообентоса. Показано, что на уровень развития макрозообентоса наибольшее влияние оказывают водный режим озера, а также характер грунта, глубина и уровень минерализации воды.

Ключевые слова: макрозообентос, озеро Чаны, экологические факторы, Западная Сибирь.

Чаны — крупнейший водный объект области замкнутого стока Объ-Иртышского междуречья. Акваторию озера обычно делят на несколько плесов: Тагано-Казанцевский, Ярковский, Чиняихинский, Яркуль, Малые Чаны. Юдинский плес в 1971 г. был отделен от озера дамбой и в настоящее время высох. Минерализация воды в отдельных плесах отличается по уровню, но имеет постоянный хлоридно-натриевый состав. Размах колебаний уровня воды озера около 3 м [5]. Из всех озер Западной Сибири Чаны имеет наиболее длительную историю гидробиологических наблюдений, которые начались в конце XIX века и с небольшими перерывами продолжаются до настоящего времени [1, 2].

Пространственная организация макрозообентоса изучалась нами в 2001 г. и 2004 г. Материал собран и обработан по стандартным гидробиологическим методикам [1]. Для построения многолетних рядов дополнительно использованы литературные данные. Коэффициент корреляции вычисляли по методу Спирмена.

Показатели развития зообентоса характеризуются существенной дифференциацией по акватории, что обусловлено градиентом основных экологических факторов. Показатели развития макрозообентоса различных участков озера могут отличаться в разы. Проведенный кластерный анализ состава и структуры сообществ различных участков оз. Чаны показал, что плесы озера можно разделить на две основных группы, в первую из которых входят менее глубокие плесы, а вторую – более глубокие. Важность глубины как фактора формирования бентоса подтвердили данные корреляционного анализа. В 2004 г. выявлена достоверная положительная умеренная корреляция с глубиной общей биомассы и плотности всех донных беспозвоночных, так и отдельных таксонов. Особенно заметно выявленная тенденция проявляется при анализе проб с однотипных грунтов.

Анализ таксономического состава макробеспозвоночных различных плесов выявил тенденцию к увеличению роли в макрозообентосе гетеротопных видов и уменьшения гомотопных при возрастании минерализации воды. Однако статистически достоверно такие тенденции проявляются при осреднении значительного количества данных по плесам. Так, в 2001 г. коэффициент корреляции доли гетеротопных видов в фауне макробеспозвоночных и средней величины минерализации воды плеса составил 0,93, а в 2004 г. подтвердилась зависимость от минерализации средней по плесу доли гетеротопных видов в численности макрозообентоса. В то же время, при анализе данных по отдельным пробам удалось выявить только слабую положительную связь с численностью личинок мокрецов (сем. Ceratopogonidae).

Внутри отдельных плесов распределение макрозообентоса в значительной степени зависит от особенностей грунтов. Это отражается не только в таксономическом и экологическом составе макробеспозвоночных, но и на уровне развития всего сообщества. Илистые и песчаные грунты по средней биомассе бентоса различаются более чем в два раза.

Известно, что существенное влияние на численность и биомассу зообентоса оказывает наличие рыб-бентофагов, которое в свою очередь может зависеть от расселения новых видов рыб этой пищевой специализации и интенсивности их промысла. Подобная ситуация наблюдалась на оз. Чаны с вселением серебряного карася амурской морфы, который оказал негативное воздействие на биомассу зообентоса Малых Чанов [3].

Наиболее изучена внутригодовая динамика зообентоса оз. Чаны в 1975–1978 гг. [4]. В эти годы наибольшая биомасса бентоса наблюдалось в конце весны и в начале осени, а между

этими периодами в разные годы зафиксировано несколько небольших пиков повышения биомассы. Выявленная динамика в основном обусловлена изменениями биомассы личинок хирономуса (р. *Chironomus*), которые доминируют в донных сообществах. Для этого рода характерны жизненные циклы, детерминированные гидротермическими условиями. Такая динамика характерна для многих равнинных озер юга Обь-Иртышского междуречья.

Из всех показателей зообентоса наибольшее количество достоверных данных накоплено по биомассе. С 1925 по 2010 г. имеются данные за 21 год. Хотя на 86-летнем отрезке исследования проводились без строгой периодичности, но распределены они по нему относительно равномерно. Это позволило применить метод сплайнов для интерполяции значений уровня развития макрозообентоса в периоды, когда натурные исследования не проводили. Средняя по озеру биомасса и уровень воды озера колебались в основном синхронно. Примененный для анализа периодичности происходивших колебаний метод Фурье показал схожесть спектров данных натурных наблюдений уровня оз. Чаны и полученных в результате интерполяции значений биомассы макрозообентоса [2]. Для обоих рядов характерны циклы продолжительность 8-14 лет, а наиболее характерен цикл равный 12 годам.

Для оз. Чаны характерны ярко выраженные внутривековые колебания гидрологического режима, связанные с изменением увлажненности территории, обусловленной как солнечной активностью, так и с изменением климата.

Макрозообентос озер, как правило, состоят из совокупности видов, довольно разнородных по продолжительности жизненного цикла, особенности биологии и экологии. В случае оз. Чаны в макрозообентосе выявлено 114 видов беспозвоночных [4] из различных классов и типов животных, но доминирующим по биомассе таксоном в макрозообентосе всегда были хирономиды (сем. Chironomidae), менялся лишь состав субдоминантов. Гетерогенность сообщества приводит к разнонаправленности и асинхронности его реакций на изменение экологических условий. Тем не менее, выявленная многолетняя цикличность изменения биомассы и совпадение с гидрологическими периодами указывают на общие тенденции в изменении уровня развития макрозообентоса, что может быть обусловлено решающим вкладом в биомассу бентоса доминирующих таксонов.

Проведенный корреляционный анализ многолетних данных по среднегодовым гидрологическим показателям озера и летней биомассы макрозообентоса показал достоверное влияние уровня воды, как на валовую, так и на среднюю биомассу макрозообентоса. При этом если положительную корреляцию уровня с валовой биомассой можно объяснить изменением площади биотопов бентосных сообществ, то связь уровня со средней биомассой, по всей вероятности, объясняется опосредованным изменением экологических условий.

Таким образом, проведенные исследования показали, что значимость изученных экологических факторов для пространственной и временной организации макрозообентоса оз. Чаны в основном определяется величиной их градиентов. Как правило, чем выше градиент фактора, тем больше проявляется его действие. Например, в оз. Чаны минерализация воды на различных участках различается в разы и это проявляется в основном только в изменении структуры сообществ, а в различных озерах юга Обь-Иртышского междуречья она отличается на порядки и влияние этого фактора проявляется сильнее — наблюдается существенное изменение числа видов и обилия зообентоса.

#### Список литературы

- 1. Безматерных Д.М. Пространственная и временная организация сообществ донных макробеспозвоночных озера Чаны (Западная Сибирь) // Экология. 2016. №. 5. С. 368-374.
- 2. Безматерных Д.М., Ловцкая О.В. Многолетняя динамика биомассы зообентоса бессточного озера Чаны (Новосибирская область) // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. всерос. науч. конф. в 2 т. Барнаул, 2014. Т. 2. С. 26-31.
- 3. Визер Л.С. Влияние натурализации серебряного карася амурской морфы на кормовую базу озера Чаны // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2006. № 5. С. 12-17.
- 4. Мисейко Г.Н. Зооценозы разнотипных водных объектов юга Западной Сибири. Барнаул: Азбука, 2003. 204 с.
- 5. Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь). Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2015. 255 с.

# SPATIAL-TEMPORAL ORGANIZATION OF MACROZOOBENTHOS IN LAKE CHANY (NOVOSIBIRSK REGION) Bezmaternykh D.M.

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia bezmater@iwep.ru

**Abstract:** Macrozoobenthos in drainless Lake Chany, the largest lake in Western Siberia, have been analyzed to estimate the effects of basic abiotic ecological factors on their composition, structure, and dynamics. It has been shown that the level of development of these communities depends mainly on the water regime of the lake and also on the type of bottom ground, lake depth, and water mineral content.

**Keywords:** Macrozoobenthos, Lake Chany, ecological factors, Western Siberia.

### МИКРОБНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОЛИГОТРОФНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ И ВОСТОЧНЫХ САЯН

Дагурова О.П.<sup>1</sup>, Матюгина Е.Б.<sup>2</sup>, Белькова Н.Л.<sup>3</sup>, Данилова Э.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия <sup>2</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия <sup>3</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия e-mail: dagur-ol@mail.ru

**Абстракт:** Измерена интенсивность продукционных процессов в водах родников национального парка Алханай (Забайкалье) и в высокогорных озерах Восточного Саяна с помощью радиоизотопного метода.

**Ключевые слова:** олиготрофные экосистемы, вода, микробные процессы, продукция, фотосинтез, темновая ассимилиция углекислоты

Олиготрофные водные экосистемы характеризуются низкой первичной продуктивностью из-за недостатка биогенных элементов. Среди континентальных водоемов к олиготрофным относят обычно озера, горные реки, родники с холодной прозрачной водой, насыщенной кислородом и бедной биогенными элементами — азотом и фосфором. К олиготрофным озерам относятся многие горные озера, водосборы которых сложены кристаллическими породами. Олиготрофные водные экосистемы имеют большое значение как источник качественной питьевой воды.

Цель работы — определить интенсивность продукционных процессов в олиготрофных водах родников национального парка Алханай (Забайкалье) и в высокогорных озерах Восточного Саяна, с помощью радиоизотопного метода.

Для определения пробы воды помещали во флаконы объемом 25 мл с резиновыми пробками, во флаконы вводили шприцом 0,1 мл раствора Na<sup>14</sup>HCO<sub>3</sub> (активность 5 мкКи). Для определения процесса фотосинтеза флаконы инкубировали в течение 24-36 ч на свету, для определения процесса темновой ассимиляции углекислоты – в темноте, при температуре *in situ*. После инкубации останавливали процесс формалином. Обработку фиксированных проб производили по известным методикам [2]. Радиоактивность меченых соединений измеряли на жидкостном сцинтилляционном счетчике Rackbetta (LKB, Швеция).

В воде высокогорных озер Восточного Саяна фотосинтез происходил со скоростью 0,05-0,74 мкг С дм<sup>-3</sup> сут<sup>-1</sup>. Максимальное значение было отмечено в озере Аршантай Нурв районе минерального выхода вод (молочный выход) — 13,58 мкг С дм<sup>-3</sup> сут<sup>-1</sup>. Темновая ассимиляция углекислоты составляла 0,02-0,41 мкг С дм<sup>-3</sup> сут<sup>-1</sup>; максимальное значение также было зарегистрировано в озере Аршантай Нур, в районе минерального выхода вод (грифон) — (9,53 мкг С дм<sup>-3</sup> сут<sup>-1</sup>). В этом озере также были измерены максимальные интенсивности процесса хемосинтеза (до 0,30 мкг С дм<sup>-3</sup> сут<sup>-1</sup>), приуроченные к железистому выходу вод.

Родники национального парка Алханай являются ультрапресными с общей минерализацией до 54 мг/л, рН 5.9-6.6, содержанием кислорода до 90% насыщения [4]. В воде выходов трех родников национального парка Алханай интенсивность фотосинтеза составляла 0.39-0.7 мкг С дм<sup>-3</sup> сут<sup>-1</sup>, интенсивность темновой ассимиляции углекислоты – 0.36-0.54 мкг С дм<sup>-3</sup> сут<sup>-1</sup>. Вклад процессов фотосинтеза и темновой фиксации углекислоты в продукцию варьировал незначительно, с небольшим доминированием процесса фотосинтеза.

Значения темновой ассимиляции углекислоты, являющейся показателем активности хемотрофной и гетеротрофной составляющей микробного сообщества, были сравнимы со значениями, полученными для озера Байкал [1] и характерны для олиготрофных водоемов [2]. Значения темновой ассимиляции углекислоты в некоторых пробах были сравнимы с величинами фотосинтеза, что указывает на развитие гетеротрофного микробного сообщества в исследованных водах и предполагает деструктивные процессы в воде, что также характерно для олиготрофных водных экосистем.

#### Список литературы

1. Максимов В.В., Щетинина Е.В., Глебова И.В., Крайкивская О.В., Максимова Э.А. Определение бактериальной продукции в водах озера Байкал различными методами // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2009. №3. Р. 255-262.

- 2. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. М.: Наука, 1985. 295 с.
- 3. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов (лабораторное руководство). Л.: Наука, 1974. 189 с.
- 4. Matyugina Evgeniya, Belkova Natalia, Dagurova Olga, Ptitsun Aleksey Diversity and ecology of microorganisms from cold seeps of national park "Alkhanai" (Transbaikalia, Russia) // Abstracts of 6 th International Conference on Polar and Alpine Microbiology. 2015. P. 101-102.

## MICROBIAL PROCESSES IN OLIGOTROPHIC AQUATIC ECOSYSTEMS OF TRANSBAIKALIA AND EASTERN SAYAN

Dagurova O.P.<sup>1</sup>, Matyugina E.B.<sup>2</sup>, Belkova N.L.<sup>3</sup>, Danilova E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia
<sup>2</sup> Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia
<sup>3</sup> Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia
e-mail: dagur-ol@mail.ru

**Abstract:** The intensity of production processes in the waters of the springs of the national park Alkhanay (Baikal) and high-mountain lakes of the Eastern Sayan were measured by radioisotope method.

**Keywords:** oligotrophic ecosystems, water, microbial processes, production, photosynthesis, dark assimilation of carbon dioxide.

### БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА БИОСФЕРЫ

#### Корж В.Д.

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия e-mail: okean41@mail.ru

**Абстракт:** Найдены общие закономерности перераспределения средних элементных составов в биосфере между твердой и жидкой фазами (литосфера - гидросфера). Этот процесс наиболее активен на биогеохимических барьерах, т.е. в местах "сгущения жизни", и проходит по ранее неизвестному нелинейному закону.

Ключевые слова: биосфера, элементный состав, нелинейные закономерности.

Определение элементного состава и свойств биосферы является одной из наиболее актуальных и сложных проблем, сформулированных В.И. Вернадским.

«Биосфера включает в себя земную тропосферу, океаны и тонкую пленку в континентальных областях, уходящую на глубину не менее, чем на три километра. Человек стремится увеличить размеры биосферы. Биосферу определяют как область жизни, однако более точно ее следует определить как оболочку, в которой могут происходить изменения, вызванные приходящим солнечным излучением. Вещество, составляющее биосферу, существенно неоднородно, и мы различаем косное и живое вещество. Косное вещество резко преобладает по массе и объему. Происходит непрерывная миграция атомов из косного вещества биосферы в живое и обратно» [1].

Главной проблемой исследования формирования элементного состава биосферы является определение общих законов перераспределения средних концентраций элементов между различными фазами: твердой — жидкой — газообразной (литосфера — гидросфера — атмосфера), происходящего в результате глобального непрерывного процесса переработки косной материи живым веществом. Наша задача — исследовать такой процесс в системе литосфера — гидросфера с учетом интегрального участия в этом процессе живого вещества.

Ранее появились работы по исследованию эволюции геологических процессов в истории земли [11], эволюции морских осадков и осадочных пород [2, 8, 10], химической эволюции гидросферы [7]. Наша работа по исследованию эволюции элементного состава биосферы (литосферы, гидросферы) является попыткой решить эту проблему, используя новые методологические принципы [9].

Элементный состав мы рассматриваем как целостную систему, обладающую собственным уровнем организации и эмерджентностью, т.е. несводимостью свойств системы к сумме свойств элементов ее составляющих. Проходя через живое вещество, косная материя изменяется в сторону образования новой структуры. В этом процессе особую роль играет совокупность взаимоотношений элементов структуры (системы). Следовательно, используемая методология предполагает подчиненность элементов системы общим законам эволюции системы.

А.П. Виноградовым опубликованы данные о содержании химических элементов в главных типах пород земной коры и в каменных метеоритах (хондритах) [3], которые легли в основу наших построений. Космическое вещество поступает на поверхность Земли в количестве порядка сотен миллионов тонн ежегодно и в итоге включается в процессы переработки живым веществом. Графический способ сопоставления среднего элементного состава каменных метеоритов, поступающих на поверхность Земли, и литосферы, представлен на рис. 1. Он приводит к выявлению следующих групп элементов: Смет. >> С лит. — всего 11 элементов, С мет. ~ С лит. — 18 элементов и Смет. << Слит. — 42 элемента. Коэффициент корреляции между представленными в логарифмической форме концентрациями элементов в протопланетном веществе и в литосфере для 71 изученного химического элемента равен 0,87. Тангенс угла наклона регрессионной прямой равен 0,75. Это численное значение тангенса является количественной оценкой фактора нелинейности общего процесса эволюции элементного состава в системе протолитосфера — живое вещество — литосфера.

Установленная закономерность позволяет количественно оценить тенденцию процесса переработки косной материи живым веществом на поверхности Земли. Этот процесс приводит

к общему относительному увеличению в твердой фазе концентраций химических элементов по мере уменьшения их распространенности в окружающей среде [4-6].

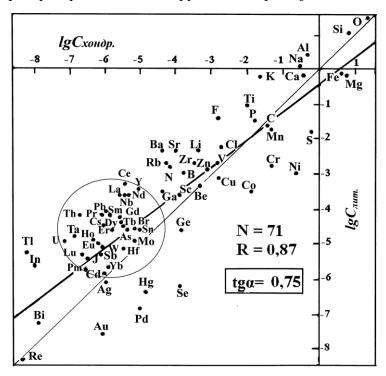


Рис. 1. Соотношение между концентрациями элементов в хондритах и литосфере.

Новый подход к исследованию элементного состава литосферы позволил объяснить закономерность, выявленную А.П. Виноградовым [3]: изотопы, содержащиеся в меньших концентрациях в изотопной смеси, в общем более активно "накапливаются в породах, лежащих ближе к поверхности Земли". На это указывал В.И. Вернадский в работе "О геохимическом равновесии биосферы" [1]. Таким образом, нами количественно доказано, что элементный и изотопный составы поверхности литосферы закономерно отличаются от таковых в глубинных ее слоях в результате переработки косной материи живым веществом.

#### Выводы

- 1. Найдены общие закономерности перераспределения средних элементных составов в биосфере между твердой и жидкой фазами (литосфера-гидросфера). Этот процесс наиболее активен на биогеохимических барьерах, т.е. в местах "сгущения жизни", и проходит по ранее неизвестному нелинейному закону.
- 2. Установлено, что результатом этого процесса является общее относительное увеличение в твердой фазе концентраций химических элементов по мере уменьшения их распространенности в окружающей среде.

#### Список литературы

- 1. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы и ее окружения. М.: Наука, 2001. 376 с.
- 2. Виноградов А.П. Химическая эволюция Земли. М.: Изд. АНСССР, 1959. 44 с.
- 3. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. N.7. C. 555-571.
  - 4. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука, 1991. 243 с.
- 5. Корж В.Д. Биогеохимические аспекты формирования элементного состава вод Мирового океана. // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Труды Биогеохимической лаборатории. Т. 23. М.: Наука, 1999. С. 6-37.
- 6. Корж В.Д. Геохимические критерии оценки экологического состояния гидросферы // Сибирский экологический журнал. 2001. Т. 8. N.2. C. 223-230.
  - 7. Посохов Е.В. Химическая эволюция гидросферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 286 с.
- 8. Ронов А.Б. Эволюция состава пород и геохимических процессов в осадочной оболочке Земли // Геохимия. 1972. №2. С. 137-148.
- 9. Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. Сборник статей. М.: Прогресс-Традиция, 2002. 495 с.

- 10. Тугаринов А.И., Бибикова Е.В. Эволюция химического состава земной коры // Геохимия. 1976. №8. С. 1151-1159.
- 11. Эволюция геологических процессов в истории земли // Труды совещания, проведенного в Москве 23-24 апреля 1991 г. М.: Наука, 1993. 240 с.

# BIOGEOCHEMICAL COMFORMITY WITH A LAW EVOLUTION OF ELEMENTAL COMPOSITION OF THE BIOSPHERE Korzh V.D.

Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia e-mail: okean41@mail.ru

**Abstract:** Nonlinear regularities of processes of redistribution of secondary elemental compositions in the biosphere between the solid and liquid phases (lithosphere-hydrosphere) with the participation of living matter. The result is a total relative increase in solid phase concentrations of chemical elements as the reduction of their prevalence in the environment. For the first time determined the universal constant of nonlinearity of the evolution of the elemental composition of the biosphere.

**Keywords:** biosphere, living matter, element composition, system dynamics, nonlinear regularities.