
Приоритетное направление 7.12. ЭВОЛЮЦИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И КЛИМАТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАДИЦИОННЫХ И НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Программа 7.12.2. ГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СИБИРИ

Проект 7.12.2.1. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

(научный руководитель проекта д.г.-м.н. В.И.Гребенщикова)

- *Геохимические наблюдения в истоке р. Ангары.* Полученные данные химического состава воды за 11-летний период исследований отражают отсутствие серьезного антропогенного воздействия на Байкал, допускающего значительные изменения состава воды по ионному, редкоэлементному составу и минерализации. Вода истока р. Ангары имеет низкую минерализацию и гидрокарбонатно-кальциевый состав. Сумма ионов за период исследований варьирует от 89,8 до 102,4 мг/л. Микроэлементы находятся в воде в очень низких концентрациях или на пределе обнаружения.
- *Геохимическое изучение снегового покрова в городах и поселках Иркутской области.* Содержания большинства микроэлементов в снеговой воде городов имеют один порядок величин и не превышают значения ПДК для питьевых вод. Исключение составляет цинк, обладающий высокой миграционной способностью. Его средние содержания превышают ПДК в 6,5 раз в г. Иркутске и п. Листвянка, что говорит о суммарности атмосферного потока по долине р. Ангары до южного побережья оз. Байкал. По повышенным содержаниям ртути выделяются города Усолье-Сибирское, Зима и Саянск, где находятся химические предприятия. При этом в твердой фазе снега, отобранного вблизи территорий химических предприятий, максимальные содержания ртути на 2-3 порядка выше, чем в других городах. По запыленности снегового покрова особенно выделяется город Усолье-Сибирское (табл. 2.).

Таблица 2.

Максимальная запыленность в зимний период в индустриальных городах Иркутской области, 2008 г., г/м²

Города	Иркутск	Ангарск	Усолье-Сибирское	Свирск	Зима	Саянск	Шелехов	Байкальск	Листвянка
г/м ²	8,6	38,6	418,3	66,8	7,47	17,76	34,1	1,14	0,57

- **Геохимический мониторинг основных водотоков Иркутской области.** Города со своей развитой промышленностью являются источником высокого техногенного давления на окружающую среду. В водах обнаружены повышенные концентрации широкого спектра химических элементов: Cl, NO₂, PO₄, Mn, V, Ni, Zn, Mo, Al, Sr, W, V. По-прежнему наиболее чистой является вода р. Ангары, наиболее загрязненной – вода р. Кая.
- **Распределение тяжелых и токсичных металлов в почвенном покрове некоторых промышленных городов и поселков Иркутской области.** Полученные результаты свидетельствуют о высокой степени загрязнения почвенного покрова городов. Повышение содержания Pb в почвах можно объяснить высокой интенсивностью автотранспорта и работой угольных котельных, а в Свирске – деятельностью предприятий металлургии. Высокие концентрации As в Свирске являются следствием ранее действовавшего здесь завода по производству мышьяка. Высокие значения Hg в почвах г. Зимы связаны с деятельностью ООО «Саянскхимпласт». Возможно, что повышение концентраций остальных элементов в почвах городов обусловлено поступлением их из воздуха в результате деятельности предприятий энергетики – угольных котельных и ТЭЦ, а в Байкальске – деятельностью БЦБК. Наиболее благоприятная обстановка складывается в Саянске и пос. Листвянка, не имеющих предприятий в своих окрестностях, с менее высокой интенсивностью автотранспорта и малой численностью населения.
- **Гидрохимическое опробование Братского водохранилища и его окинской части.** Содержания ртути во всех точках опробования по длине Братского водохранилища (протяженность опробования 200 км) превышают значения предыдущего года в 2-4 раза. На участке г. Усолье-Сибирское – о. Конный выявлено

несколько точек с содержаниями ртути в поверхностной воде, близкими к ПДК_{рбх}. Это подтверждает установленную зависимость между уровнем воды и содержанием в ней ртути. Уровень Братского водохранилища в 2008 г. достигал низких отметок. Однако, среднее значение Hg (0,0034 мкг/дм³) по всей длине опробуемого участка не превышает рассчитанного нами ранее геохимического фона для Прибайкалья (0,004 мкг/дм³). Повышенные содержания ртути в придонных водах, по сравнению с поверхностными, зафиксированы в районе о. Конный и ниже по течению реки. Эта зона характеризуется повышенными содержаниями взвешенных веществ и является основным геохимическим барьером на водохранилище.

Изменение кислородного режима, присутствие сероводорода и повышенные содержания ртути в районе заливов Оса и Унга, а также пади Ломоносова позволяют предположить наличие окислительно-восстановительных барьеров в этом районе. Находит подтверждение и высказанное нами ранее предположение о природных источниках поступления ртути через разломные зоны.

Для оценки влияния сточных вод ООО «Саянскхимпласт» в июне 2008 г. опробована вода по р. Оке (окинская часть Братского водохранилища, протяженность опробования 100 км). Вода р. Оки маломинерализована, на опробуемом участке минерализация изменялась от 79 до 109 мг/дм³. По ионному составу вода реки относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Среди анионов выражено преобладание HCO₃⁻, его значения в среднем составляют 52,61 мг/дм³, среди катионов – ионы Ca²⁺, соответственно 13,85 мг/дм³. Концентрация ионов водорода (рН) изменяется от 6,3 до 8,0. На окинском участке Братского водохранилища концентрации ртути в воде не превышают региональный геохимический фон и находятся в пределах 0,0010 – 0,0026 мкг/дм³. Однако, в пробе, взятой из выпуска ООО «Саянскхимпласт», зафиксирована концентрация ртути, равная 39 ПДК_{рбх}, а через 3 км ниже выпуска содержание токсиканта в воде р. Ока снижается до средней по длине опробуемого участка (0,0017 мкг/дм³).

• ***Накопление, распределение и миграция ртути в биогеохимических циклах водоемов Байкальского региона.*** Наибольшие концентрации ртути в планктоне

Братского водохранилища соответствуют зонам выклинивания водоупора верхней и окинской частей водоема – основным седиментационным геохимическим барьерам. На барьерных участках водохранилища большая часть ртути, сорбированной на тонкой глинистой взвеси, выводится из водной толщи в осадок, образуя зоны максимального загрязнения. Этим участкам соответствует и максимум летучих форм ртути в воде. Здесь же установлено и максимальное загрязнение рыбы, что, безусловно, указывает на усиление процессов метилирования ртути. Вторые, менее значимые, но выраженные пики содержания ртути в планктоне верхней и окинской частей водохранилища наблюдаются на станциях, расположенных в пограничных участках седиментационных зон. В этих районах, характеризующихся возрастанием глубин и замедлением течения, также обнаружены повышенные концентрации ртути в донных осадках. Следует отметить, что подобные пиковые повышения концентраций ртути в планктоне отмечались на одних и тех же станциях и в другие годы исследований. Следовательно, загрязнение планктона зависит как от содержания ртути в воде, что очевидно, так и (более сложным образом) от содержания ртути и процессов трансформации ее форм в донных отложениях.

- ***Распределение содержаний ртути в водных растениях верхней части Братского водохранилища и его Окинского расширения.*** Повышенные содержания ртути в водных растениях по-прежнему наблюдаются на верхнем участке водоема от г. Усолье-Сибирское до пос. Балаганск (**рис. 8**). Повышенные содержания ртути в водных растениях (до 0,36 мкг/г) отмечаются также в нижнем те-

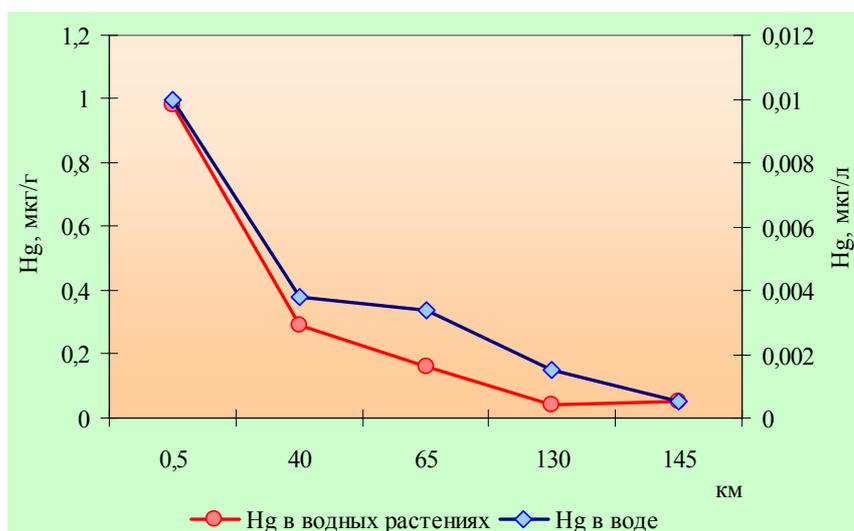


Рис. 8. Изменение средних концентраций ртути в воде и водных растениях на левобережных станциях, находящихся на различном расстоянии от источника загрязнения (0,5 км – ниже выпусков сточных вод комбината ООО «Усольехимпром»; 40 км – г. Свирск; 65 км – залив Опхон; 130 км – залив Талькино; 145 км – пос. Балаганск).

чении р. Оки, что явно связано с результатом деятельности комбината ООО «Саянскхимпласт», который расположен недалеко от реки Оки. Установлено, что ртуть может накапливаться не только в листьях, но и в корнях, стеблях и плодах, отображая геохимические условия и уровень антропогенной нагрузки. Высокие содержания ртути в водных растениях верхнего участка Братского водохранилища и нижнего течения реки Оки позволяют сделать заключение о наличии в этих зонах специфичных техногенных гидрогеохимических аномалий

• **Накопление, распределение и миграция ртути в биогеохимических циклах водоемов Байкальского региона.** По количественному составу, динамике и соотношению эколого-трофических групп бактерий выявлено негативное воздействие сточных вод ООО «Усольехимпром» и ООО «Саянскхимпром» на экосистему верхнего участка Братского водохранилища и реки Оки. В структуре микробиоценозов выявлен уровень микроорганизмов, адаптированных к токсичным соединениям металлов, и участвующих в процессах восстановления Se, Te и впервые – в трансформации Hg (рис. 9) и Cd. Установлено, что автотрофному звену бактериопланктона Братского водохранилища и р. Оки присущи низкие уровни ферментативной активности. Отмечено усиление роли бактериобентоса в экосистеме этих водоемов по сравнению с предшествующими исследованиями. Зарегистрирован небывалый по мощности всплеск развития микроорганизмов (гетеротрофных, фенолоксиляющих бактерий; микроорганизмов, участвующих в превращениях металлов) в донных отложениях водохранилища на отрезке Иг-

жей-Заславск (до $n \cdot 10^8$ кл./см³). Донные отложения р. Оки по шкале обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978) относятся к богатым и по содержанию органического вещества фенольного типа сопоставимы с таковыми Братского водохранилища в районе влияния стоков ООО «Усольехимпром». В водохранилище и в реке отмечена активизация процессов сульфатредукции. В Братском водохранилище, несмотря на длительный период его формирования, регистрируется широкий спектр колебаний эколого-трофических групп бактерий, это дает основание считать, что экосистема не вышла на уровень стабилизации под влиянием антропогенных факторов. Санитарный режим вод меняется в рамках разрядов II-V классов на верхнем участке Братского водохранилища и IV класса (загрязненные воды) – в верховьях р. Оки.

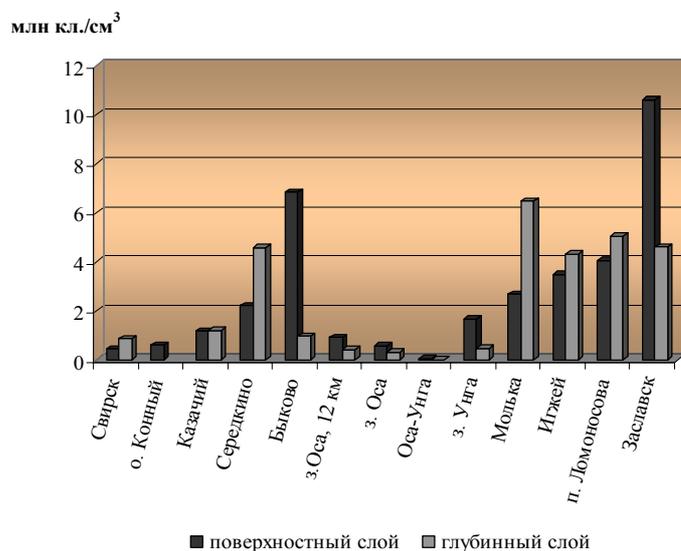


Рис. 9. Распределение численности микроорганизмов, участвующих в трансформации ртути в донных отложениях верхнего участка Братского водохранилища в августе 2008 г.

• **Особенности накопления биоактивных элементов в пищевой цепи человека в антропогенных условиях Южного Прибайкалья.** Изучен химический состав молока коров в различных антропогенных ландшафтах Южного Прибайкалья. Повышенные содержания тяжелых металлов и As установлены в молоке коров в техногенных условиях г. Свирска, что хорошо коррелирует с химическим составом почв. Анализ различных фракций молока показал, что на его химический состав может влиять не только техногенез и природные биогеохимические факторы, но и его свойства (жирность, состав различных его фракций) и способы подготовки проб. Следует учитывать возможность возникновения очень токсичных форм нахождения тяжелых металлов в молоке коров техноген-

ных ландшафтов, так как некоторые тяжелые металлы могут образовывать с биологандами прочные ядовитые соединения.

В волосах детей также отражается геохимическая специфика техногенных зон. Эта закономерность четко проявлена в г. Свирске. Химический состав волос детей коррелирует с химическим составом молока и почв. В конечной цепи в биосубстратах человека (волосы детей) накапливаются тяжелые металлы и мышьяк, показанные в **табл. 3** синим цветом. В то же время наблюдается понижение содержания основных эссенциальных химических элементов (К, Р, Са, Zn, Cu). Это указывает на тот факт, что поступление элементов-токсикантов в организм человека может приводить к резкому уменьшению эссенциальных химических элементов, необходимых для его жизнедеятельности.

Таблица 3.

Распределение содержания химических элементов в волосах человека (мкг/г)

Элементы	г. Иркутск n - 10	г. Свирск n -25	Обычное содержание
	$\frac{C_{\text{ср.}}}{C_{\text{макс.}} - C_{\text{мин.}}}$	$\frac{C_{\text{ср.}}}{C_{\text{макс.}} - C_{\text{мин.}}}$	
Р	$\frac{334,4}{484-190,0}$	$\frac{288,1}{1102,0-28,0}$	75-200
К	$\frac{32,2}{84-7,0}$	$\frac{31,5}{158,0-3,0}$	150-633
Са	$\frac{951,6}{4472,0-214,0}$	$\frac{896,4}{3842,0-16,0}$	522
Cu	$\frac{12,1}{20,0-8,1}$	$\frac{11,3}{27,5-1,0}$	10,2
Zn	$\frac{175,5}{282,0-104}$	$\frac{161,4}{605,0-19,0}$	100-250
Al	$\frac{24,1}{49-11,0}$	$\frac{31,8}{150-3,0}$	1-20
Fe	$\frac{31,0}{55,0-16,0}$	$\frac{42,0}{318,0-4,0}$	5,0-25,0
As	$\frac{0,06}{0,31-0,01}$	$\frac{0,93}{3,9-0,02}$	0,05-0,1
Cd	$\frac{0,11}{0,46-0,03}$	$\frac{0,54}{7,8-0,01}$	0,05-0,25
Pb	$\frac{1,2}{7,8-0,2}$	$\frac{7,7}{271,6-0,3}$	0,1-5,0
Ag	$\frac{0,23}{20,3-0,05}$	$\frac{0,15}{0,38-0,01}$	0,05-0,2

- *Временные тренды содержаний стойких органических загрязнителей (СОЗ) в объектах окружающей среды* были рассмотрены на примере архивных проб зоопланктона Южного Байкала, зафиксированных в формалине и собран-

ных сотрудниками института биологии при ИГУ в 1979-2004 г., замороженных проб подкожного жира детенышей байкальских нерп (1995-2005 гг.) и грудного молока жительниц Иркутской области (1980-2000 гг.). Анализ проб выполнен в лабораториях ИГХ СО РАН, ЭРГО в Гамбурге и Университета г. Байройта (Германия). В пробах определялись полихлорированные бифенилы (ПХБ), ДДТ и его метаболиты, α и γ -ГХЦГ, ГХБ, транс-нонахлор. Установлено, что наибольшие изменения концентраций отдельных СОЗ в биологических пробах происходило до середины – конца 1990х годов. Однако, с 1995 по 2005 годы изменений в сторону уменьшения уровней СОЗ в биологических пробах за последние 10 лет практически не произошло.

Концентрации ДДТ и его метаболитов в зоопланктоне Южного Байкала к 2004 году уменьшились в 20-100 раз по сравнению с периодом 1979 – 2001 гг. [Мамонтов и др., 2008]. Уровни ДДТ в молоке жительниц г. Байкальска в 1998 г. по сравнению с 1984 и 1988 гг. уменьшились в 14,5 и 12,8 раз, соответственно, причем наиболее значительное уменьшение концентраций происходило в период с 1988 по 1998, чем с 1984 по 1988 гг. Заметного изменения концентраций транс-нонахлора и ПХБ в зоопланктоне, жире байкальской нерпы и в грудном молоке не наблюдалось. Для некоторых групп СОЗ (гексахлорбензола и ГХЦГ) отмечено даже некоторое увеличение содержания в зоопланктоне и некоторых конгенов ПХБ в грудном молоке жительниц Иркутской области. Однако, в настоящее время в жире нерпы отмечено двукратное снижение концентраций α -ГХЦГ по сравнению с 1996 г. Следует отметить, что концентрация α -ГХЦГ минимальна из всех найденных токсикантов.

Происходящие изменения состава и концентраций СОЗ, видимо, связаны с хозяйственной деятельностью человека в регионе. Снижение уровней ДДТ произошло в результате запрещения применения этого пестицида в сельском хозяйстве. Отсутствие изменений концентраций ПХБ связано с продолжением использования их в электротехническом оборудовании и продолжающейся эмиссии из наземного открытого источника ПХБ в районе г. Усолья-Сибирского. Увеличение содержания ГХЦГ и ГХБ частично может быть следствием глобального

переноса из южных регионов.

Лито- и гидрохимическое изучение распределений содержаний Se, F, Hg, Be в окружающей среде Байкальского региона. Сохранение и обеспечение нормального функционирования уникальной экосистемы оз. Байкал в условиях все возрастающего техногенного прессинга является важнейшей задачей современности. Именно с этой целью здесь начато комплексное эколого-геохимическое картирование и геохимический мониторинг состояния окружающей среды. На современном этапе, как показывает анализ результатов работ, задача сводится к получению надежных данных об уровнях содержания химических элементов, как естественного, так и техногенного происхождения, в различных аквальных экосистемах, где на геохимических барьерах интенсивно идут процессы концентрирования вещества, переход одних форм элементов в другие и т.д. В результате выполненных исследований установлено, что содержание селена и фтора в природных пресных водах Байкальской природной территории, за редким исключением, значительно ниже их гигиенических норм для питьевых вод. По содержанию этих биологически активных элементов территория может быть отнесена к дефицитным биогеохимическим провинциям. Выявленное в пределах Байкальской природной территории низкое содержание таких высокотоксичных элементов, как ртуть и бериллий, в питьевых водах аквальных ландшафтов свидетельствует о том, что рассмотренные экологические зоны благоприятны для проживания и жизнедеятельности человека.

Миграция редкоземельных элементов (РЗЭ) в притоках озера Байкал. По уровню содержаний РЗЭ и характеру их распределений выделено 6 групп притоков, отвечающих разным петрохимическим провинциям. Наиболее близкие значения содержаний лантаноидов и сходное распределение показывают водотоки Приморского хребта и Олхинского плато. В этих небольших притоках, богатых органикой, фиксируются высокие концентрации РЗЭ ($\Sigma\text{РЗЭ}$ средн. = 0,99 мкг/дм³). Значительные вариации в содержаниях и распределении РЗЭ отмечаются для притоков хребта Хамар-Дабан. ($\Sigma\text{РЗЭ}$ средн. = 0,48 мкг/дм³, $\Sigma\text{РЗЭ}_{\text{макс.}}$ = 1,33 мкг/дм³, $\Sigma\text{РЗЭ}_{\text{мин}}$ = 0,06 мкг/дм³). Несколько рек Хамар-Дабана обога-

щены средними редкоземельными элементами, что связано со значительным распространением апатитов в водосборных бассейнах. Для ряда рек Байкальского хребта отмечается наличие в распределении РЗЭ отчетливой отрицательной Eu аномалии, а притоки Баргузинского хребта характеризуются положительной аномалией. Для вод всех притоков озера Байкал характерно наличие отрицательной Ce аномалии. Ее величина варьирует в широких пределах – от 0,10 до 0,97. Самыми значительными отрицательными аномалиями выделяются реки Байкальского хребта (0,10-0,38). Такое поведение Ce согласуется с его способностью в окислительных условиях достаточно легко переходить в 4-х валентное состояние, и намного быстрее, чем все остальные 3-х валентные РЗЭ, удаляться из раствора. Для средних и малых притоков озера Байкал состав исходных пород является определяющим фактором в распределении РЗЭ в растворенном веществе речной воды: наследуются не только абсолютные значения содержаний РЗЭ, но и особенности фракционирования их в исходных породах дренируемого бассейна. Такие физико-химические параметры, как рН и минерализация, имеют второстепенное значение, но оказывают влияние на абсолютные концентрации РЗЭ.

- **Разработка критериев оценки радонопроявлений и прогноз радоновой обстановки.** Наибольшие по величине активности в почве радонопроявления приурочены к предгорьям Приморского хребта (участок Листвянка – Большие Коты, Малое и Большое Голоустное и вся южная часть Иркутского района), где отмечаются выходы коренных пород (в основном гранитоидов) с повышенным содержанием естественных радионуклидов и активные тектонические разломы. Средние объёмные активности изотопов радона в почвах южного Прибайкалья составляют около 10-30 тысяч Бк/м³, достигая в аномалиях 100-200 тысяч Бк/м³. Выделены участки на территориях посёлков (Онгурёны Ольхонского района, Малое и Большое Голоустное, Большая Речка и Листвянка Иркутского района), по признакам радоновыделения отнесённые к потенциально опасной категории радоновой опасности. Эти участки занимают от 30 % (Большое Голоустное) до 70 % (Малое Голоустное) территории указанных посёлков. Остальная часть тер-

ритории отнесена к безопасной категории.

Анализ проб рыхлых донных отложений в мелководных заливах (пролив Малое Море) озера Байкал показал, что отмечаются максимумы содержаний цезия-137 в слоях осадков на глубине от 5 до 20 см, которые соответствуют максимумам (по времени) атмосферных радиоактивных выпадений от испытаний ядерного оружия на полигонах северного полушария. На глубинах после 15-25 см радионуклиды цезия-137 практически отсутствуют. Эта граница соответствует началу выпадений техногенных радионуклидов.