
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 VII.65.2. ГЕОХИМИЯ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ СИБИРИ.
Проект VII.65.2.3 БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.**

(Рег. № 01201055601)

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

Блок 1. Исследование макро- и микроэлементного состава абиотических и биотических компонентов геобиоценозов заливов Иркутского и Братского водохранилищ, притоков р. Ангары.

Продолжение многолетних исследований на мониторинговых станциях Прибайкалья уровней накопления химических элементов в компонентах окружающей среды.

- **Гидрогеохимический мониторинг истока реки Ангары**

С 2006 года отбор проб воды в истоке Ангары производится ежемесячно на определение содержаний 56 элементов (в том числе редкоземельных элементов) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, на приборе ELEMENT 2 (фирма Finnigan MAT, Германия).

Анализ временных рядов концентраций группы микроэлементов за 5 последних лет показал, что различия в их значениях для некоторых элементов являются значимыми (превышают погрешность анализа), для некоторых – нет. В большинстве случаев максимальные и минимальные значения различаются не более, чем в 1,5-2 раза.

Для бериллия, цинка, марганца, меди, никеля и тория отмечаются наибольшие вариации содержаний (Рис. 44). Для бериллия отмечается постепенное снижение содержания от 0,0037 мкг/дм³ в 2006 г. до 0,0006 мкг/дм³ в 2010г., что может быть связано как с природной изменчивостью состава воды истока Ангары, так и с улучшением точности метода анализа.

На графиках содержаний цинка и тория наблюдаются участки резкого

понижения их концентраций в последние годы. В период с 2006 по 2008 гг. содержание цинка уменьшилось почти в 3 раза (от 2,33 мкг/дм³ до 0,84 мкг/дм³), после чего началось постепенное незначительное увеличение его концентраций. Уровень содержания тория изменился в 15 раз от своего максимального значения в 2007 году (0,21 мкг/дм³) до минимального в 2009 году (0,0014 мкг/дм³).

Для молибдена, бария, лития характерны плавные изменения концентраций без выраженных максимумов.

Для некоторых элементов отмечаются очень низкие содержания в воде истока р. Ангары, которые лежат ниже предела обнаружения метода ICP-MS. Среди них скандий, германий, ниобий, серебро, гафний, тантал, золото, висмут, таллий и большая часть редкоземельных элементов.

Ряд микроэлементов характеризуется наличием небольших максимумов (As, Rb, Sr, Cd, Ba, U) или минимумов (B, Cs) на кривых временной изменчивости содержаний. Практически все повышенные содержания микроэлементов в воде истока Ангары приходятся на 2008 год.

Таким образом, пятилетний мониторинг содержаний микроэлементов в воде истока р. Ангары свидетельствует об относительном постоянстве состава поверхностного стока оз. Байкал. Изменение содержаний большинства микроэлементов носит плавный характер, без резких изменений их концентраций. Исключение составляют бериллий, цинк и торий, на графиках временной изменчивости концентраций для которых отмечаются скачкообразные снижения. Ряд элементов находится в воде истока в очень низких количествах.

Анализ повышенных концентраций некоторых микроэлементов в воде истока р. Ангары не позволил установить определенной тенденции в изменении их величин. Исключение составляет ртуть, повышение концентраций которой в воде истока Ангары обусловлено природными катаклизмами. Периодичность чередования максимумов и минимумов в концентрациях микроэлементов отсутствует, нет явной приуроченности к

сезонам года. Непостоянны во времени геохимические ассоциации элементов с повышенными концентрациями в воде. Превышения концентраций микроэлементов, вероятно, отражают не колебания случайных величин, а имеют причинную связь – вариации во времени в водной системе могут отражать естественную периодическую изменчивость окружающей среды.

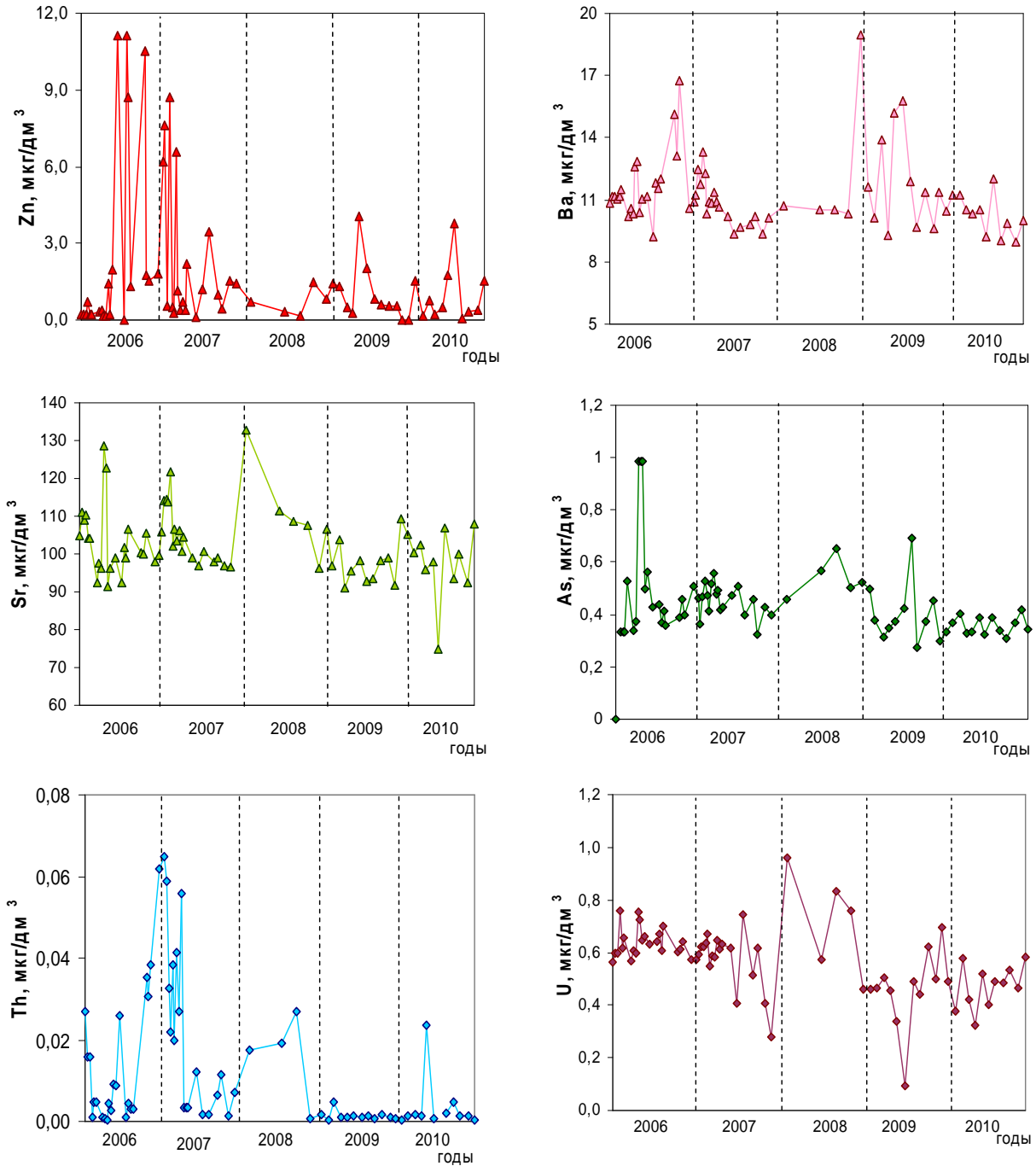


Рис. 44. Изменение содержаний цинка, бария, стронция, мышьяка, тория и урана в воде истока р. Ангары в 2006 – 2010 гг.

- **Гидрохимический мониторинг реки Крестовка и колодца в поселке Листвянка**

Продолжается ежемесячный мониторинг реки Крестовка и колодца в п. Листвянка, начатый в 1997 г. Река Ангара, являясь единственным поверхностным стоком оз. Байкал, отражает суммарный состав его вод. Сделанные ранее выводы об относительном постоянстве ионного состава и отсутствии антропогенного влияния на воды истока подтверждается данными последних 2-х лет наблюдений.

Для ионов натрия, калия, сульфатов и кислорода отмечаются слабые положительные тренды. Изменение содержаний фторид-ионов в изученный период не носят какой-либо закономерности.

Сопоставление полученных данных с ПДК для вод питьевого и рыбохозяйственного назначения показало, что содержание всех макрокомпонентов находится в пределах установленных норм.

С 2007 года в пробах воды, кроме основных гидрохимических ионов, анализировались биогенные компоненты (ион аммония, нитрат-, нитрит-ионы и фосфаты). Наибольший интерес среди биогенных компонентов представляет нитрат-ион. Его содержания изменяются в очень широких пределах, коэффициент вариации составляет 305. Кроме того, почти в 50% случаев концентрация нитратов превышает значение ПДК для питьевых вод, которое составляет 45 мг/л, почти в 2 раза. Причиной этого, очевидно, является антропогенное влияние населенного пункта. Для ряда макрокомпонентов отмечаются сезонные колебания содержаний. В первую очередь это касается натрия, калия, гидрокарбонат-иона, нитрат-иона и кислорода (Рис. 45).

Для щелочных ионов, нитрат-иона и кислорода отмечаются максимумы на графиках сезонной изменчивости в летне-осенний период. Напротив, содержание гидрокарбонат-иона в этот период минимально. Для остальных макрокомпонентов сезонные флуктуации менее значительны или отсутствуют.

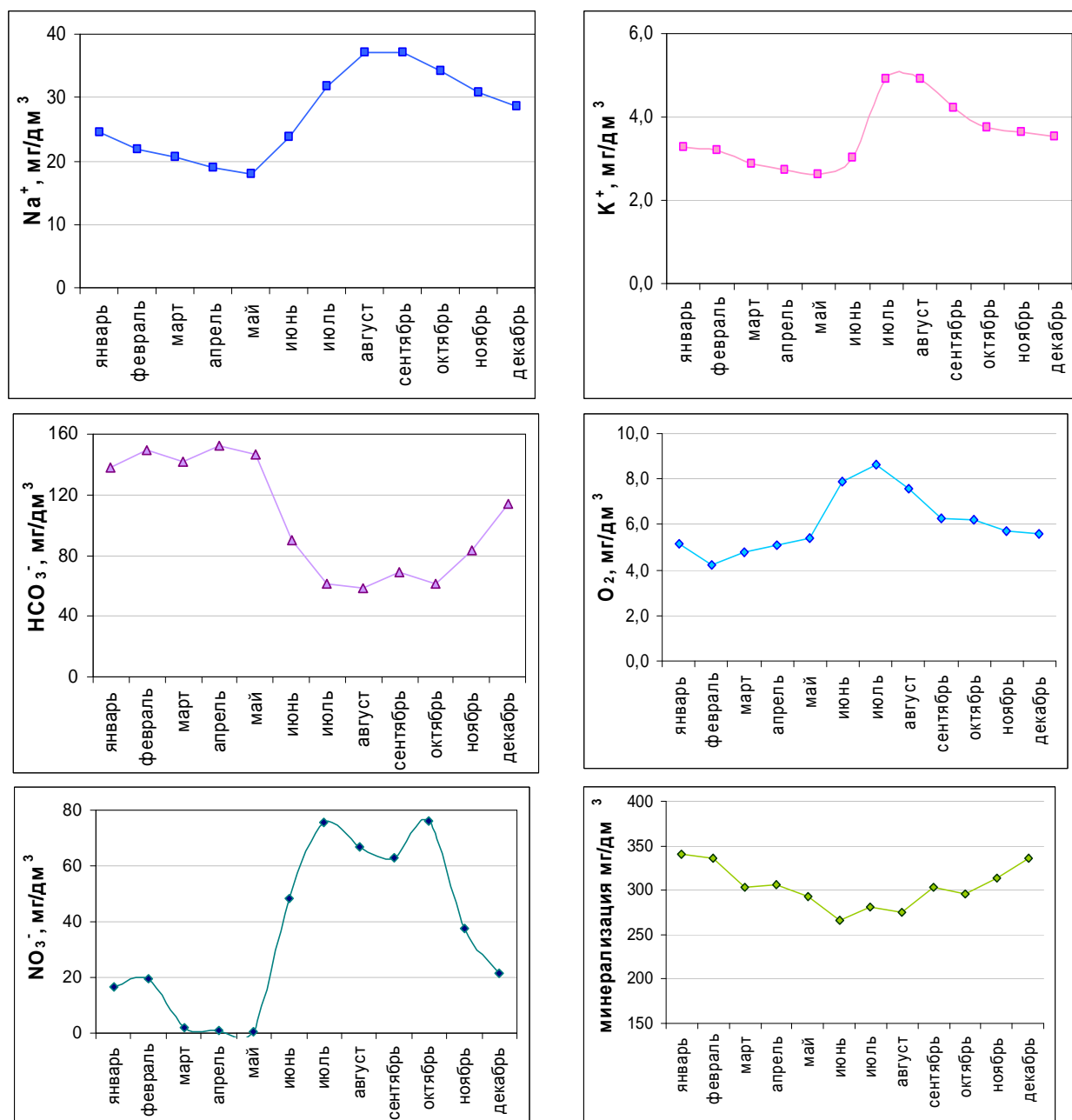


Рис. 45. Сезонные колебания концентраций натрия, калия, гидрокарбонат-иона, кислорода и нитрат-иона в воде колодца поселка Листвянка.

- Геохимические исследования экосистемы Братского водохранилища**
Гидрохимическая характеристика р. Ангары в районе влияния Усольской промзоны.

В результате исследований гидрохимического состава р. Ангары получена информация, позволившая выделить природную и техногенную составляющие макроэлементов в водах р. Ангары в районе влияния Усольской промзоны.

Распределение техногенных потоков хлора и натрия по поперечному сечению водоема показывает, что они вытянуты вдоль линии левого берега р.

Ангары. В центральной части и у правого берега створа, расположенного в 1,5 км ниже выпусков, их концентрации находятся в пределах условно фоновых значений. Увеличенные в десятки раз концентрации этих элементов на участке реки, непосредственно прилегающем к выпускам «Усольехимпром», последовательно снижаются на станциях, расположенных в 1,5, 5 и 10 км ниже впадения сточных вод. Но даже после разбавления вод р. Ангары ее притоком – р. Белой в 10 км ниже выпусков содержания Cl и Na остаются выше, чем в условно фоновом створе (Рис. 46).

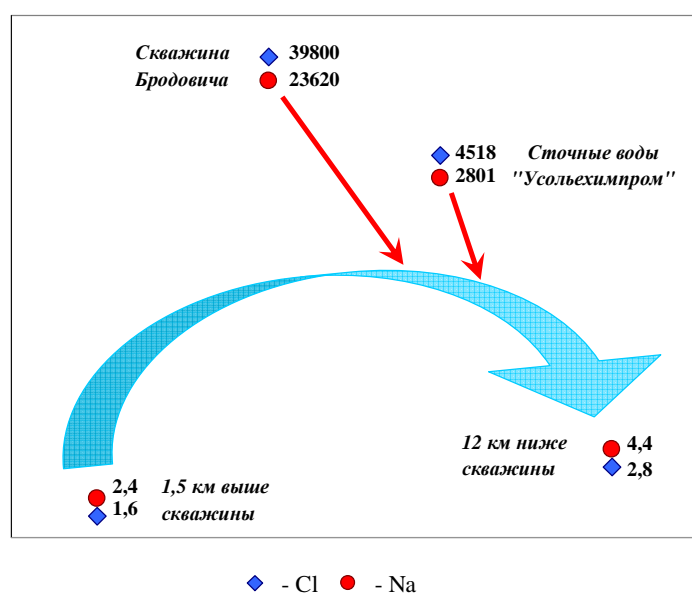


Рис. 46. Изменение концентраций хлора и натрия в воде р. Ангары в районе Усольской промзоны.

Повышенные концентрации хлора и натрия на участке р. Ангары, расположенном в 10 км ниже впадения сточных вод, связаны не только с техногенной эмиссией. Поступление этих элементов в воды реки происходит также при разгрузке подземных вод, выходящих по трещинам в бортах долины реки и обогащенных компонентами рассолов. Гидрохимический состав скважины Бродовича (глубина 190 м), находящейся в 100 м от уреза воды р. Ангары в г. Усолье-Сибирском, имеет выраженный хлоридный натриевый состав, характерный для подземных вод этого района [Пиннекер, 1966⁴⁵]. Небольшие (малый дебит), но постоянные во времени природные источники

⁴⁵ Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна (закономерности размещения, состав, динамика, формирование и использование). – М.: Наука. – 1966. – 332 с.

поступления хлора и натрия, распространенные по левому борту р. Ангары, имеют более насыщенный компонентами рассолов состав вод по сравнению со сточными водами Усольской промзоны и оказывают влияние на гидрохимический состав р. Ангары, увеличивая концентрации этих элементов на значительном расстоянии.

Исследования вод заливов нижней части Братского водохранилища, находящихся под влиянием лесозаготовительных работ.

Впервые проведены комплексные эколого-геохимические исследования заливов нижней части Братского водохранилища, используемых при лесозаготовительных работах. В процессе экспедиционных работ опробовано 17 заливов Ангарской части, 6 заливов Окинской и 4 залива Ийской части Братского водохранилища.

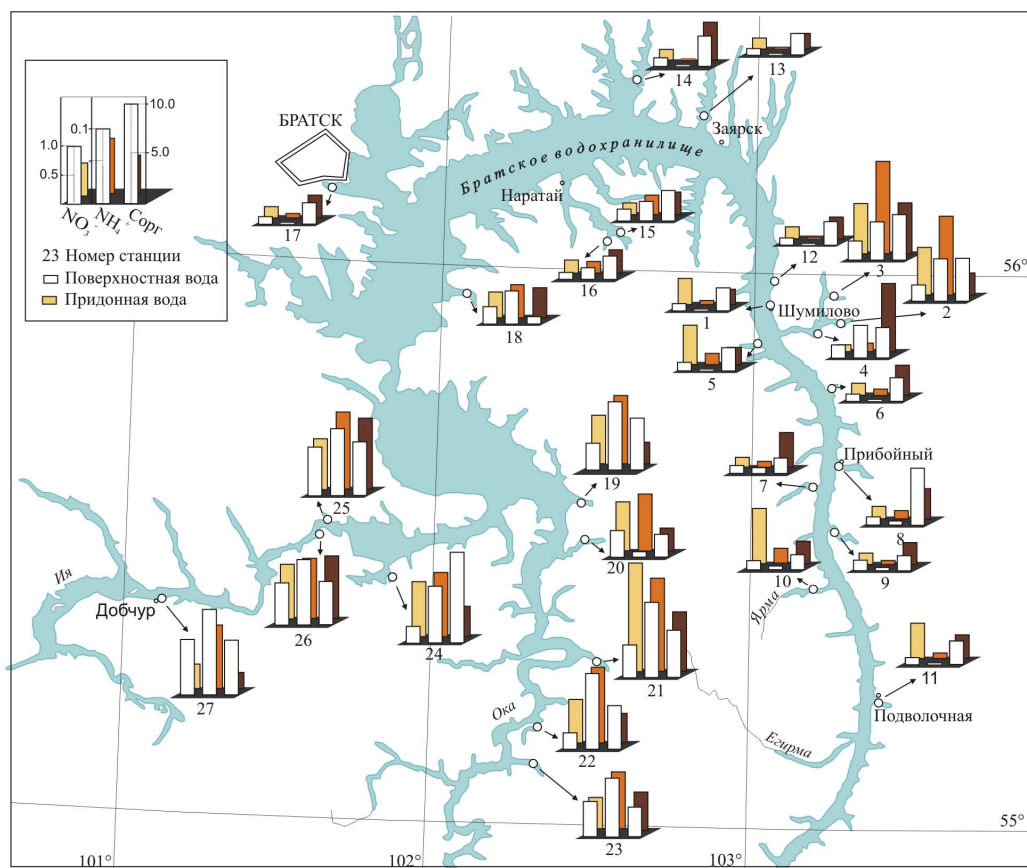


Рис. 47. Распределение нитратов, аммиака и Сорб (мг/дм^3) в воде заливов нижней части Братского водохранилища.

Заливы Братского водохранилища: 1 - Шумилово; 2 - Тарей; 3 - Травкина Бая; 4 - Бая; 5 - Озерная Бая; 6 - Бобровка; 7 - Карахун; 8 - Средний Баян; 9 - Верхний Баян; 10 - Ярма; 11 - Подволочный; 12 - Пятый ручей; 13 - Большой Мамырь; 14 - Кежма-Кежемский; 15 - Кежма-Наратайский; 16 - Тарей; 17 - Сухой Лог; 18 - Ермаковка; 19 - Омский; 20 - Индобь; 21 - Аобь; 22 - Верхний Имбей; 23 - Топорок; 24 - Худобка; 25 - Силоть; 26 - Кантин; 27 - Добчур.

Получены данные по биогенным компонентам и показателям органического вещества, содержащихся в воде заливов нижней части Братского водохранилища, т.к. именно они являются главными показателями загрязнения, созданного лесозаготовительными предприятиями. Составлена гидрохимическая характеристика заливов, которая будет являться точкой отсчета для дальнейших работ (Рис. 47).

В результате исследований сделаны следующие выводы.

- Несмотря на то, что в некоторых заливах определены концентрации кислорода, БПК (биологическое потребление кислорода), ХПК (химическое потребление кислорода), не соответствующие нормам предельно-допустимых значений для водоемов рыбохозяйственного назначения, газовый режим большинства заливов благоприятен для обитания в нем живых организмов.

- Показатели органического вещества, оценивающегося по нескольким признакам (степени деструкции вещества (БПК₂, ХПК), содержанию нитрат-иона), в большинстве заливов выше в придонном слое воды, что указывает на накопление органических остатков на дне и интенсивность протекания процессов загрязнения.

- Определены концентрации нефтепродуктов и фенолов, превышающие уровни предельно-допустимых значений. Содержание нефтепродуктов в воде заливов в большинстве случаев выше в придонной, чем в поверхностной воде. Источником нефтепродуктов в поверхностной воде могут быть потери топлива при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания. Содержание фенолов в поверхностном и придонном слое имеет обратную тенденцию по сравнению с нефтепродуктами. Превышение естественного фона фенолов указывает на загрязнение водоемов.

- Проведенные исследования показали, что большинство заливов Ангарской части водохранилища достаточно хорошо справляются с техногенной нагрузкой, связанной с лесозаготовительными работами. Наименьшей самоочищающей способностью обладают заливы Окинской и Ийской частей. Меньший потенциал этих заливов поддерживать

экологическое равновесие связан с разницей таких параметров, как скорость течения, водообмен и проточность реки, площадь и глубина заливов, температура воды. От этих характеристик напрямую зависят химические и микробиологические процессы, приводящие к уменьшению в водной среде количеств загрязняющих веществ, которые поступают в водную среду в результате накопления древесных остатков и процессов, происходящих в результате их разложения.

Гидрохимические исследования распределения и концентраций йода в воде Братского водохранилища

Получены результаты определения концентраций йода в воде р. Ангары и Братского водохранилища (Рис. 48). Характер распределения его в разных ветвях Братского водохранилища имеет некоторые различия. Ангарская и Окинская части Братского водохранилища характеризуются небольшими содержаниями этого микроэлемента, среднее содержание йода составляет $0,0019 \text{ мг/дм}^3$ и $0,0027 \text{ мг/дм}^3$, соответственно. Полученные нами результаты хорошо сопоставимы с данными по пресным и речным водам в целом и с опубликованными ранее его содержаниями на водозаборах р. Ангары в районе городов Иркутск ($0,0023 \text{ мг/дм}^3$) и Ангарск ($0,0067 \text{ мг/дм}^3$) [Савченков, 2002⁴⁶].

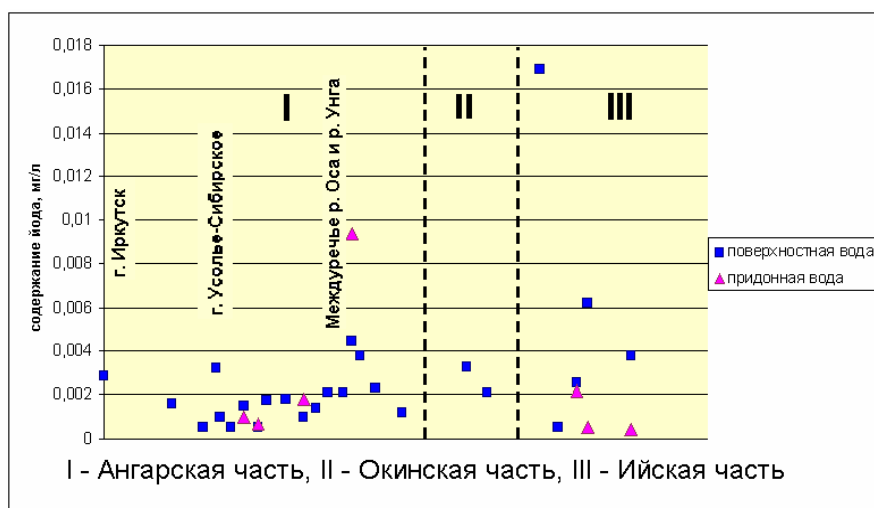


Рис. 48. Распределение йода в поверхностной и придонной воде Братского водохранилища.

⁴⁶ Савченков М.Ф., Селятицкая В.Г., Колесников С.И. и др. Йод и здоровье населения Сибири. – Новосибирск: Наука. – 2002.

Отметим, что содержание йода в истоке р. Ангара (пос. Листвянка), рассчитанная в процессе ежемесячного мониторинга в период 2009-2010 г.г., составляет $0,0013 \text{ мг/дм}^3$ и может быть использована, как фоновое значение для данного региона.

В результате исследований установлен неравномерный характер распределения йода в водах Братского водохранилища. Выявлены различия в уровнях его концентрации в разных частях водоема. Отмечены участки с содержаниями элемента, повышенными относительно среднего значения для пресных вод, которые, вероятно, могут быть приурочены к местам разгрузки трещинно-жильных подземных вод. Выявленные закономерности подтверждают данные о дефиците йода в водах р. Ангары и Братского водохранилища.

Пространственно-временная динамика накопления ртути гидробионтами Братского водохранилища

По результатам многолетних исследований показана динамика ртутного загрязнения абиотических и биотических компонентов экосистемы Братского водохранилища в маловодные и многоводные годы. Установлено, что биогеохимическая реакция компонентов окружающей среды на изменение уровня воды в Братском водохранилище, а как следствие ртутного загрязнения, обладает разной степенью «инерционности». В маловодные годы концентрация ртути в воде, планктоне и рыбах резко возрастает, напротив, поверхностный слой донных осадков имеет максимальные ртутные показатели спустя год в период высокого уровня воды (Рис. 49, 50).

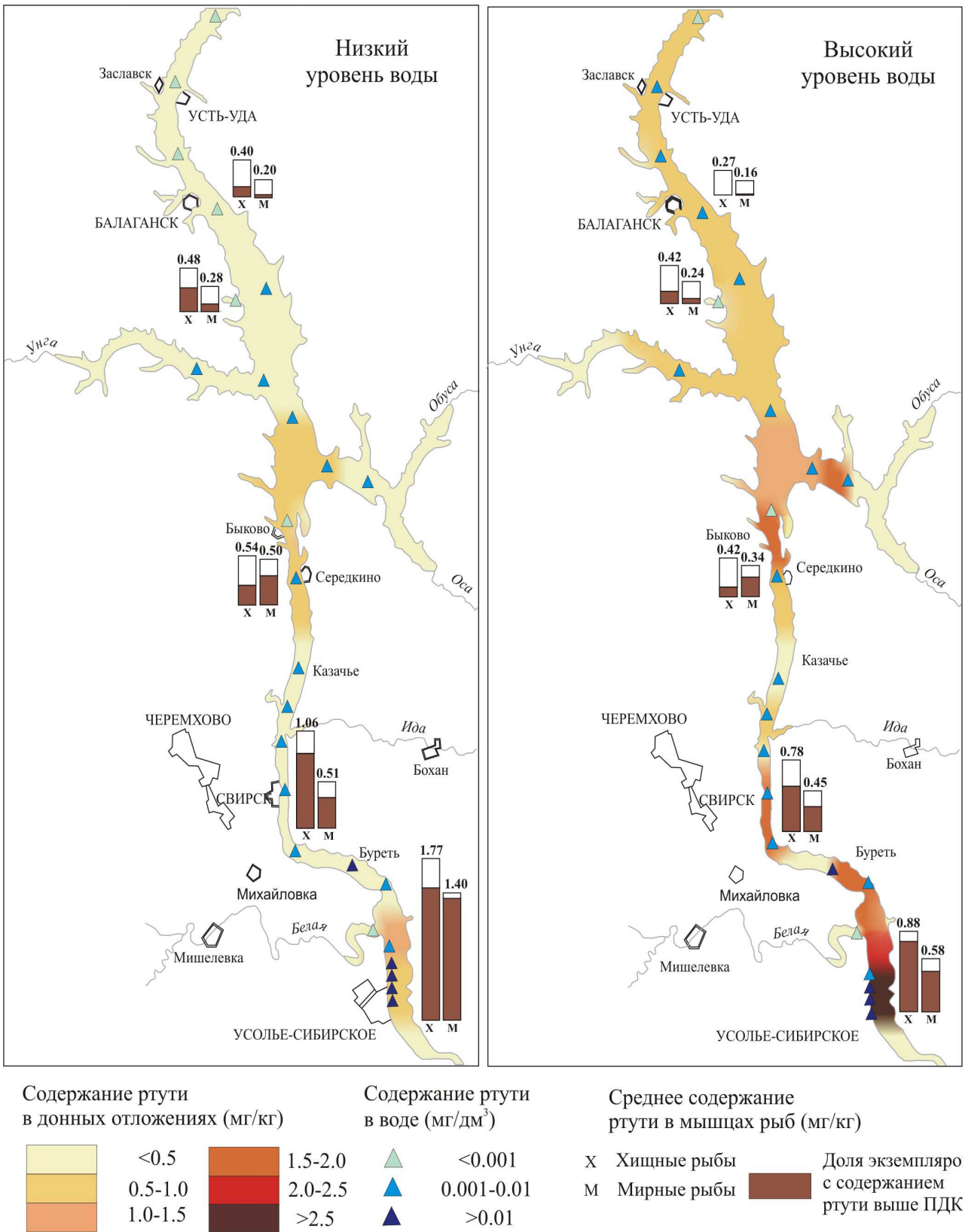


Рис. 49. Динамика ртутного загрязнения воды, поверхностного слоя донных осадков и рыб различных трофических статусов Братского водохранилища в годы разной водности.

Подобная динамика наблюдается на протяжении всего минувшего десятилетия. Большая амплитуда колебаний уровня водохранилища

активизирует процессы размыва отложений и абразии берегов, приводя к взмучиванию донных осадков и вторичному поступлению ртути в воду. В результате этого зона седиментационного барьера расширяется, смещая основной максимум загрязнения вниз по течению.

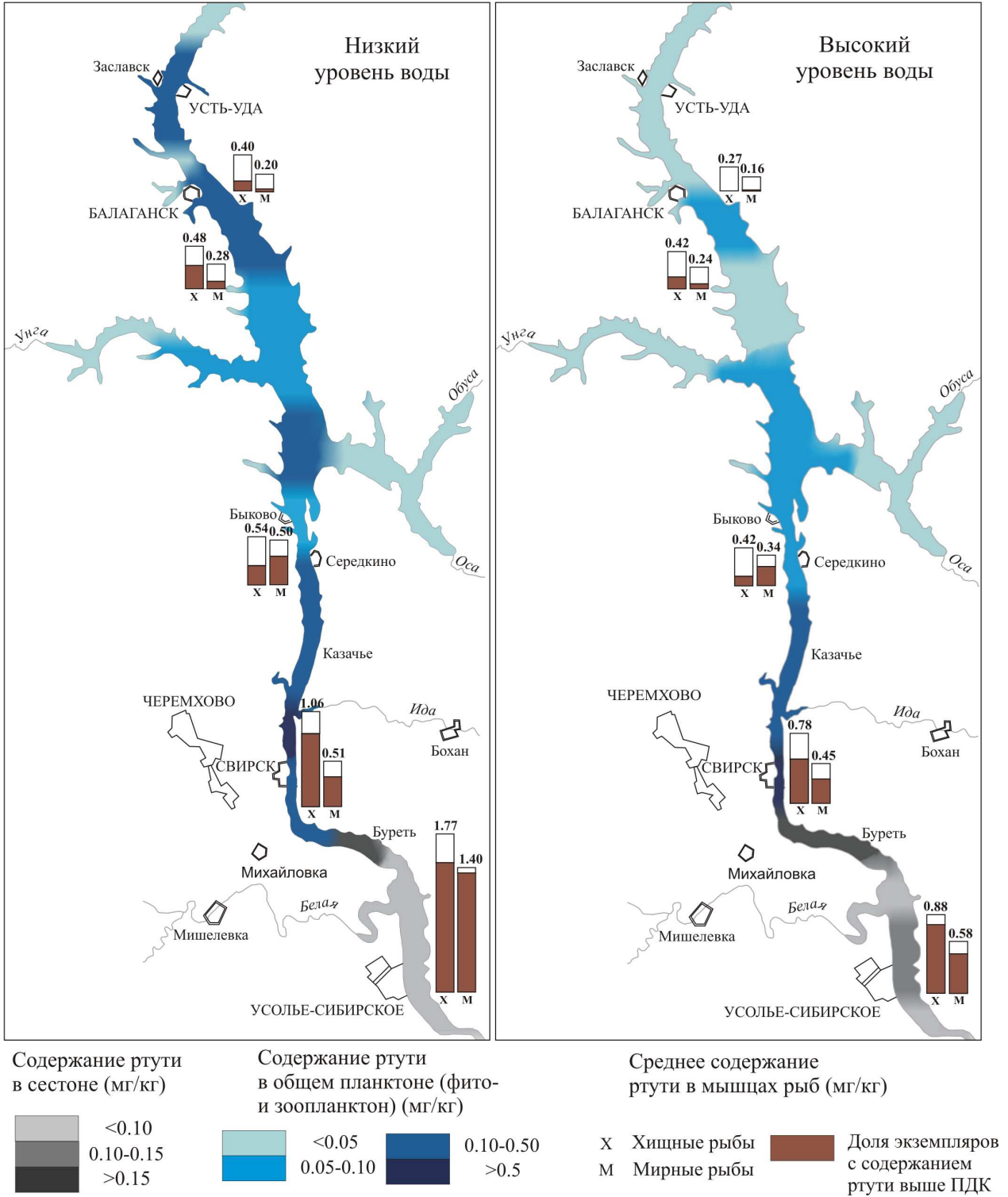


Рис. 50. Динамика ртутного загрязнения планктона и рыб различных трофических статусов Братского водохранилища в годы разной водности.

***Биоаккумуляция и распределение тяжелых металлов в водных растениях
Братского водохранилища***

Проведены исследования накопления металлов-экоотоксикантов (Hg, Pb, Cu, Zn, Ni) в органах водных растений на разных станциях Братского водохранилища. Для экспериментальных работ было выбрано 2 вида наиболее распространенных укореняющихся растений – уруть колосистая и шелковник волосистый. Растения отобраны на двух разных станциях, расположенных в 5 км выше и ниже выпусков промышленных сточных вод Усольской промзоны. Корреляционный анализ накопления металлов в растениях обнаружил общие закономерности распределения исследуемых элементов, как при внутривидовом сравнении, так и у разных видов. Сопоставление концентраций металлов в 2 видах растений, собранных на различных по техногенной нагрузке станциях, показало сходство их распределения. В листьях шелковника волосистого, отобранного ниже промышленных стоков, увеличение концентрации металлов происходит соразмерно их содержанию в листьях урути колосистой, собранной выше промстоков (Рис. 51). Это подтверждает высокий коэффициент корреляции $R^2 = 0,9957$ при $p < 0,00000$. Такая же картина наблюдается и в стеблях вышеуказанных растений, отобранных на двух разных станциях ($R^2 = 0,9935$, $p < 0,00000$). Распределение содержания тяжелых металлов в листьях исследуемых растений ранжируется по убыванию: Zn>Cu>Ni>Pb>Hg. В стеблях растений приоритетное место принадлежит меди, а ряд ранжирования выглядит следующим образом: Cu>Zn>Ni>Pb>Hg. Вероятно, отличия в накоплении Cu и Zn в листьях и стеблях растений связаны с физиологическими особенностями разных органов и превалированием тех или иных путей поступления элементов – водного или ризосферного. Такая же тенденция распределения металлов в органах укореняющихся растений обнаружена и на других участках Братского водохранилища.

В результате проведенных исследований установлены общие закономерности биоаккумуляции тяжелых металлов в разных видах укореняющихся водных растений, произрастающих в отличающихся по техногенной нагрузке участках Братского водохранилища.

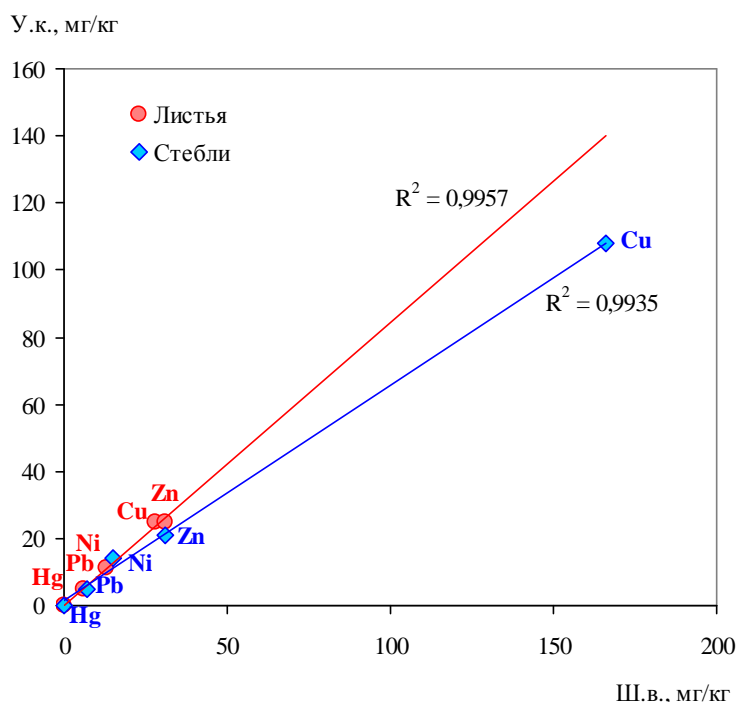


Рис. 51. Общие закономерности накопления тяжелых металлов в двух различных видах укореняющихся водных растений Братского водохранилища. У.к. – уруть колосистая, отобранная в 5 км выше промстоков; Ш.в. – шелковник волосистый, отобранный в 5 км ниже промстоков

Исследованы особенности накопления ртути в органах высших водных растений Братского водохранилища. На примере урути колосистой показано, что наибольшие уровни биоаккумуляции ртути наблюдаются в корневой системе растений, что указывает на преобладание миграционного пути этого элемента из донных осадков (Рис. 52А). Стебли, играющие роль сосудистого транспортера веществ, накапливают ртуть в заметно меньших количествах, перенося ее значительную часть в листья. Листья водных растений, обладающие значительной площадью соприкосновения с водной средой и большим потенциалом обмена веществ по сравнению со стеблями, более интенсивно накапливают ртуть как из водной среды, так и из донных осадков путем транспорта через корни и стебли. Наименьшие концентрации ртути обнаружены в плодах растений, что связано, главным образом, с барьерной функцией околоплодных структур, препятствующих проникновению токсиканта. Обнаружено аналогичное распределение ртути в органах разных растений Братского водохранилища, вне зависимости от уровня ее концентрации (Рис. 52Б). По степени биоаккумуляции ртути органы растений можно выстроить в ряд: корни>листья>стебли>плоды.

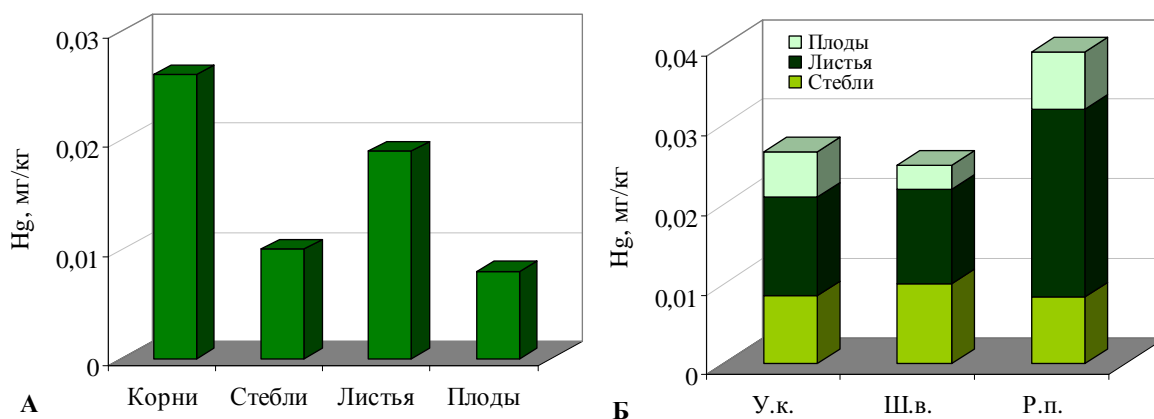


Рис. 52. Распределение и аккумуляция ртути в органах высших водных растений Братского водохранилища. А – средние значения концентраций ртути в органах урути колосистой верхней части Братского водохранилища. Б – распределение и средние значения накопления ртути в органах различных видов растений Братского водохранилища. У.к. – уруть колосистая; Ш.в. – шелковник волосистый; Р.п. – рдест пронзеннолистный.

• Геохимический мониторинг снегового покрова Прибайкалья

В 2010-2011гг. была проведена оценка поступления тяжелых металлов, сульфат-ионов и ионов фтора со снеговой водой в Братское водохранилище с прилегающей территории г. Братска (Рис. 53).



Рис. 53. Точки отбора (240, 241, 242, 244, 245, 252) проб снежного покрова и участки территории, с которой сток снеговой воды поступает в Братское водохранилище.

Для оценки валового поступления веществ из атмосферы со снеговой водой с учетом количества выпавших осадков на единицу площади за весь период снегостояния рассчитывались уровни накопления химических элементов в снеговой воде (Табл. 8).

Таблица 8

Уровни накопления металлов, сульфат-иона и ионов фтора в снеговой воде г. Братска за зимний период 2009-2010 гг.

Место отбора	Номер пробы	Be г/км ²	Cd г/км ²	Zn г/км ²	Cu г/км ²	Pb г/км ²	Hg г/км ²	Al кг/км ²	S кг/км ²	F кг/км ²
Северный Артек	240	0,42	4,21	305,8	56,96	15,43	5,8	2,1	141,7	21,04
Южный Падун	241	0,31	4,75	254,1	40,21	13,68	5,8	1,2	47,47	11,73
Энергетик	242	0,14	5,32	369,6	42,84	17,64	0,4	0,7	81,2	8,96
Сан.«Бр.Взморье»	244	0,72	4,30	277,0	20,78	7,88	0,3	2,3	77,61	14,81
Картодром	245	0,11	5017,07	289,7	60,10	33,27	0,4	0,7	53,65	6,71
Речпорт	252	0,36	3,95	150,2	35,59	17,34	0,4	7,8	958,1	227,5

Для оценки поступления металлов, сульфат-иона и водорастворимых соединений фтора из атмосферы за зимний период в водосборные бассейны (в частности, в Северную часть Братского водохранилища) проведен предварительный расчет величины поверхностного стока с талыми водами. При этом учитывалось уменьшение расхода стока, вследствие испарения, фильтрации в грунт и задержки воды на неровностях поверхности. В районе исследований почвенный покров представлен, в основном, серыми лесными и дерновыми лесными почвами. Для климатической зоны Восточной Сибири и почвогрунтов такого типа, согласно действующему в настоящее время СНиП 2.04.03-85, средневзвешенный коэффициент стока, учитывающий вышеперечисленные процессы, составляет 0,3. Для расчета стока с талыми водами учитывались величины площадей участков стока, ограниченные по водоразделам и имеющие уклон в сторону бассейна Братского водохранилища (Рис. 53, Табл. 9).

Таблица 9

Поверхностный сток металлов, сульфат-иона и ионов фтора со снеговыми водами с территории районов г. Братска в Братское водохранилище (2010 г.).

Районы г.Братска	Площадь р-на, км ²	Сток Be, г	Сток Cd, кг	Сток Zn кг	Сток Cu, кг	Сток Pb, кг	Сток Hg, г	Сток Al, кг	S тонн	F тонн
Северный Артек	40,32	11,88	0,12	8,6	1,6	0,44	164,7	60,19	3,999	0,594
Южный Падун	23,04	4,95	0,076	4,1	0,65	0,22	93,6	19,81	0,765	0,189
Энергетик	31,68	3,04	0,12	8,2	0,95	0,39	9,9	15,52	1,80	0,199
Сан.«Бр.взморье»	34,56	17,33	0,104	6,7	0,50	0,19	8,1	57,19	1,877	0,358
Картодром	20,16	1,63	70,80	4,1	0,85	0,47	6,1	9,46	0,757	0,094
Речпорт	37,44	9,57	0,104	3,9	0,93	0,45	11,2	204,07	25,11	5,963
Суммарный сток	187,2	48,4	71,32	35,6	5,48	2,16	295,7	366,24	34,31	7,4

В таблице 9 приведен сток с талыми водами экотоксикантов в Братское водохранилище с территорий города Братска, включающих зоны влияния промышленных комплексов, жилые массивы и зоны отдыха. Здесь наиболее контрастно видно, какие количества экотоксикантов поступили в 2010 г. в водохранилище со снеговыми водами. Это тонны фтора и серы и килограммы алюминия и кадмия. Наиболее неблагоприятны в этом отношении зоны отдыха – «Братское Взморье» и «Северный Артек», а также район «Речпорт». Все они расположены в зоне влияния алюминиевого и целлюлозного заводов в направлении преимущественных западных ветров. Особое место занимает район «Картодром», с которого в период активного таяния снега в 2010 г. в Братское водохранилище поступило со снеговой водой более 70 килограммов кадмия.

На территории Иркутской области за 2011 год было отобрано 46 снеговых проб и 45 дождевых проб. Более детально был изучен г. Ангарск. Схема пробоотбора составлялась на основе имеющихся расчетных данных загрязнения атмосферного воздуха, а также на основе фактической информации об экологическом состоянии на территории города.

По отношению к региональному фону элементы в составе растворимой фазы снега в г. Ангарске можно разделить на 3 группы (Рис. 54):

- ◇ элементы, концентрации которых примерно соответствуют региональному фону: Be, Fe, U, Hg, Zn;
- ◇ элементы, содержания которых повышены в талой снеговой воде: Mo, V, Cr, Co, Ni, Cu, Al, S;
- ◇ элементы, содержание которых ниже регионального фона в снеговой воде: As, Th, Pb.

Первую из этих групп формируют элементы явно терригенного происхождения, прочно связанные с минеральной основой аэрозоля. Ко второй группе относятся элементы, которые легко переходят в раствор. Третья группа – элементы, присутствующие в атмосфере преимущественно в легкорастворимых формах.

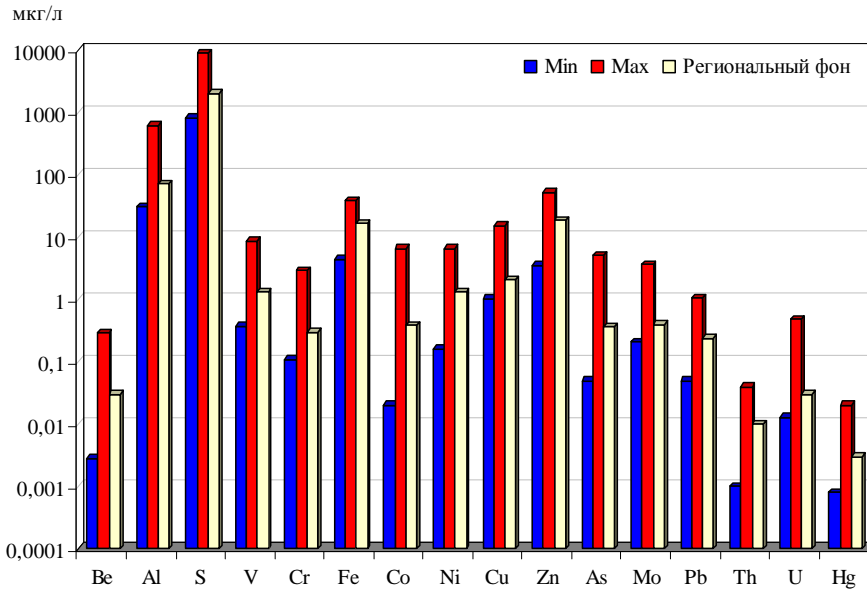


Рис. 54. Превышение максимальных содержаний микроэлементов над минимальными в снеговой воде г. Ангарска в 2011 году.

По макроэлементам обращает на себя внимание совпадение результатов анализа за последние четыре года (Рис. 55). По ионному составу снеговые воды г. Ангарска относятся к гидрокарбонатному кальциевому типу с минерализацией от 25 до 150 мг/л, рН изменяется от 6,1 до 8,8.

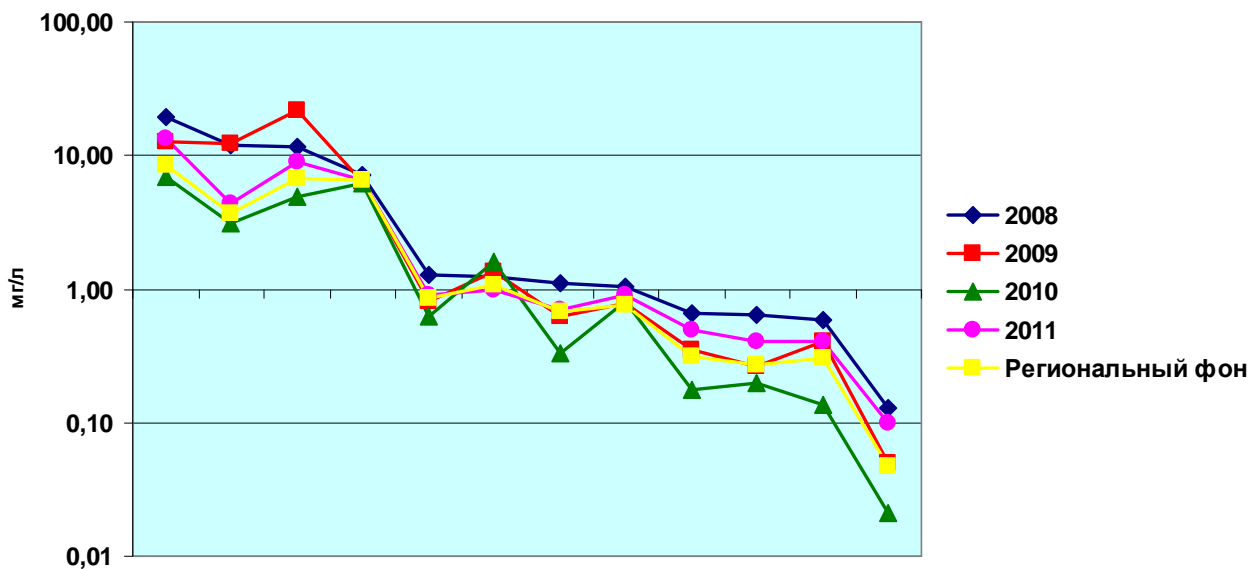


Рис. 55. Содержание макроэлементов в снеговой воде г. Ангарск за период 2008-2011 гг.

Анализ количественного распределения макроэлементов в растворимой фазе снежного покрова показывает, что среди анионов наибольшей контрастностью обладает сульфат-ион. В промышленной зоне города Ангарска содержание сульфат-иона достигает 28 мг/л. На расстоянии 6-7 км от промышленной зоны

количество сульфат-иона уменьшается до 8,4 мг/л. Наличие сульфат-ионов в снежном покрове указывает на неполноту улавливания соединений серы, высвобождающихся при сгорании органического топлива. Катионная составляющая растворимой фазы снега, особенно содержания кальция, натрия и калия, превышает фон в 1,5-2 раза и лишь на удалении от промышленных центров содержания этих элементов уменьшаются, приближаясь к фоновым по Иркутской области.

В г. Ангарске источниками техногенной нагрузки являются аэральные выбросы АНХК, завода полимеров, несущие в своем составе спектр тяжелых металлов – Cu, V, Pb, Ni, Mo и др. При прохождении атмосферных осадков через шлейф газообразных выбросов осадки насыщаются рядом элементов-примесей, что пагубно влияет на состояние окружающей среды. Поэтому оценку качества территории можно проводить по показателю химического загрязнения атмосферных осадков, который наиболее полно характеризует складывающуюся экологическую ситуацию, что позволяет прогнозировать ее изменения, а также предлагать комплекс мероприятий по ее улучшению. В дальнейшем планируется рассмотреть площадное распределение элементов в г. Ангарске и построение карт.

- **Гидрохимический анализ поверхностных вод Прибайкалья**

В 2009-2010 гг. были отобраны пробы воды некоторых рек Прибайкалья. Отбор проб проводили по следующей схеме: вдоль Байкальского тракта от г. Иркутск до пос. Листвянка, вдоль Качугского тракта–г.Иркутск–пос. Баяндай и далее до залива Мухор (западное побережье оз. Байкал), вдоль Московского тракта–г.Иркутск–г.Черемхово, а также р. Олха в районе пос. Олха и р. Черемшанка в г. Свирске.

Воды почти всех изученных нами рек имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав. Ионный состав воды в реках разных направлений заметно различается. Минерализация речных вод колеблется в широких пределах – от ультрапресных ($TDS < 200$ мг/дм³) до солоноватых ($TDS 1000-3000$ мг/дм³).

Обращает на себя внимание состав воды рек Качугского тракта. Содержание большинства ионов (кроме NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , Cl^- и SiO_2) в воде этих рек значительно выше, чем в остальных. В большинстве случаев концентрации основных ионов в воде рек превышают значения, отмеченные для истока р. Ангары.

На Рис. 56 представлены гистограммы содержаний общей минерализации, сумма катионов Na^+ и K^+ , хлор-ионов, сульфат-ионов в воде исследованных рек.

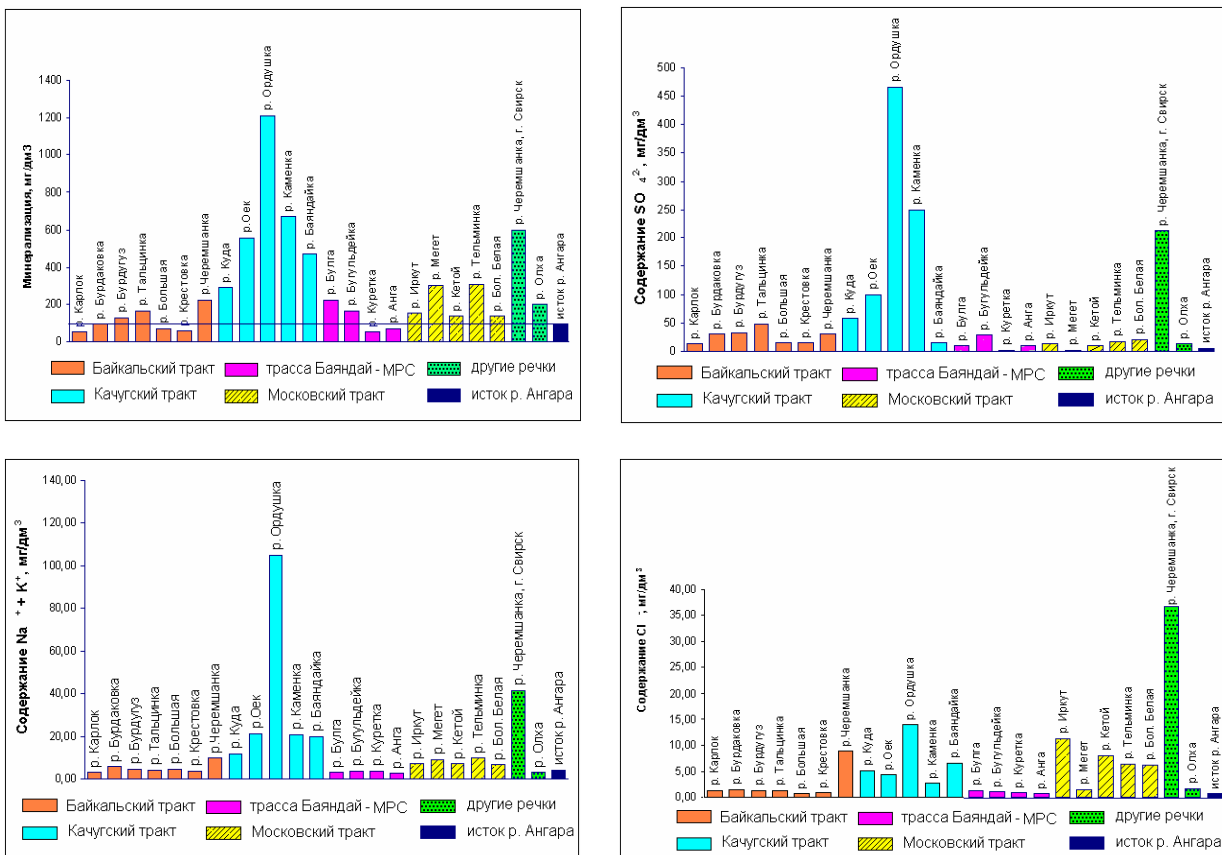


Рис. 56. Концентрации общей минерализации, суммы катионов Na^+ и K^+ , хлор-ионов и сульфат-ионов в воде рек Иркутской области.

В результате проведенных исследований установлено.

- Большая часть опробованных мелких рек Прибайкалья не подвержена серьезному влиянию антропогенных факторов. Содержание основных ионов в воде этих рек колеблется в широких пределах.

- Реки Качугского тракта заметно отличаются от остальных повышенными концентрациями большинства макрокомпонентов, что связано, по-видимому, с

особенностями формирования этих водотоков.

- Повышенные содержания некоторых ионов отмечены для р. Черемшанка Черемховского района, что является следствием техногенного влияния угольного разреза в г. Черемхово и мышьяковистых отвалов г. Свирска.

- В большинстве случаев содержания макрокомпонентов в водах изученных рек превышают фоновые значения по сравнению с истоком р. Ангара.

Блок 2. Оценка роли внутренних и внешних факторов на локализацию озер, состав воды и процессы седиментации.

На основании данных по химическому составу воды озер Приольхонья выполнен расчет недо/пересыщенности современных хлоридных растворов оз. Цаган-Тырм по отношению к ряду минералов, что является основой прогноза состава взвеси и донных осадков. В то же время, расчет термодинамических равновесий растворимости зафиксированных минералогическими исследованиями в эвапоритовых осадках этого озера твердых растворов $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$ позволил выявить возможный ход эволюции состава древних рассолов, в результате которого осаждался широкий ряд магнезиальных кальцитов. Подтверждено, что увеличение концентрации растворов приводит к осаждению все более высоко Mg-кальцитов, что может наблюдаться при аридизации климата и снижении температуры [Гаськова и др., 2011⁴⁷].

Проверка гипотезы формирования разнообразия озерных вод Приольхонья в результате смешивания атмосферных осадков с солеными подземными водами, основанная на данных изотопно-геохимических исследований озер и родников, показала несостоятельность этой гипотезы. Основными факторами, определяющими разнообразие озерных вод, являются процессы эвапоритизации и криогенеза. Расчетные данные термодинамического моделирования (Рис. 57) показывают хорошую сходимость с реальными составами озерной воды.

⁴⁷ Гаськова О.Л., Солотчина Э. П., Склярова О.А. Реконструкция эволюции состава растворов по данным осадочной летописи соленых озер Приольхонья // Геология и геофизика, 2011, Т. 52, № с. 475-481.

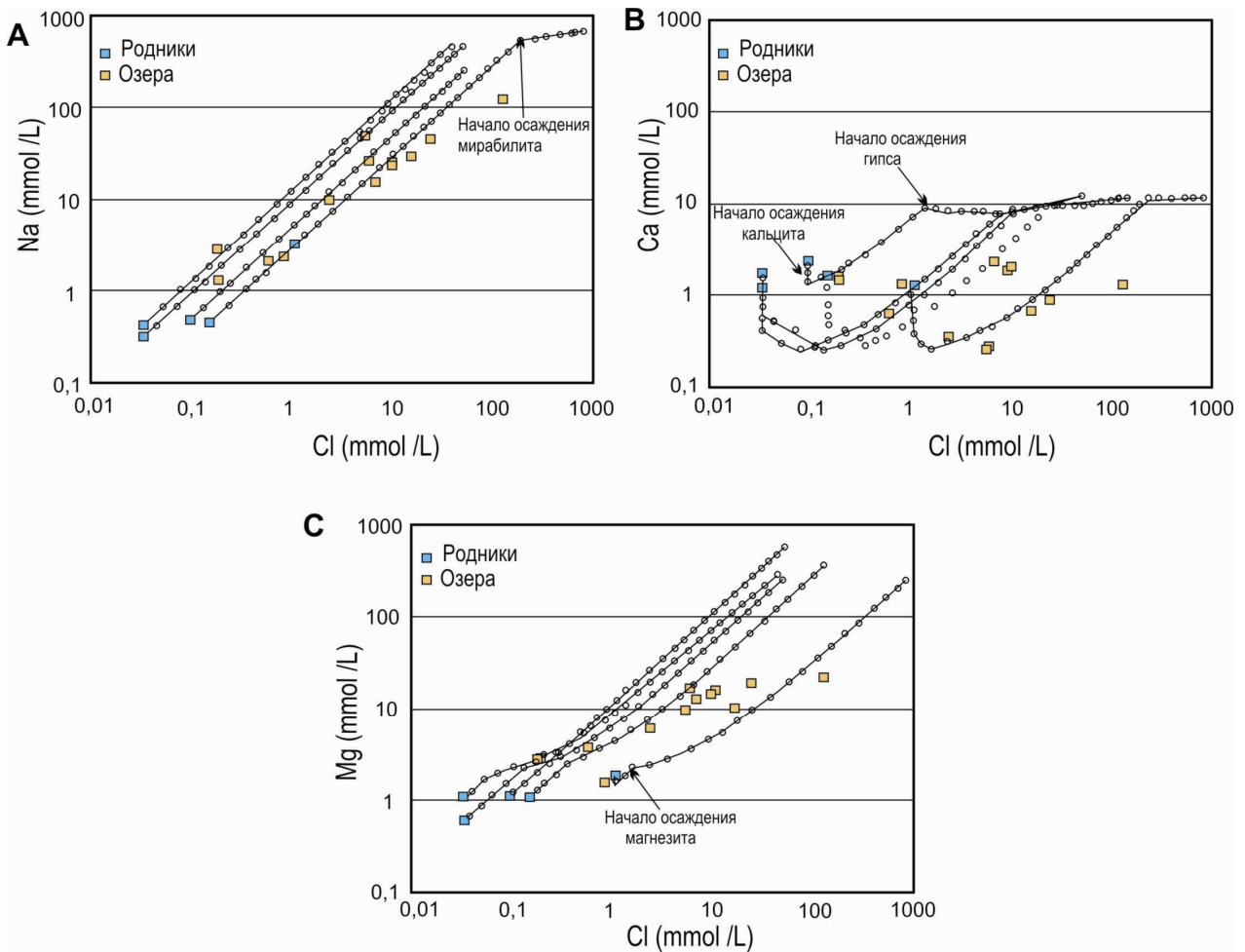


Рис. 57. Термодинамическое моделирование эволюции озерных вод Приольхонья при $0,8^{\circ}\text{C}$ для Na–Cl (а), Ca–Cl (б), Mg–Cl (в). Квадратами показаны представительные составы озерных (желтые) и родниковых (синие) вод.

Изотопные исследования (U, Sr) озерных и подземных вод Приольхонья позволили предположить устойчивое состояние озер на протяжении нескольких (6-9) тысяч лет, что хорошо согласуется с результатами моделирования и изучения озерных осадков [Склярова и др., 2011⁴⁸, Chaboux et al., 2011⁴⁹].

На основе минералого-кристаллохимического изучения карбонатов донных осадков оз. Верхнее Белое Западного Забайкалья (кern отобран в феврале 2010 г.) выделено 4 стадии его эволюции (Рис. 58).

⁴⁸ Склярова О.А., Чудненко К.В. Бычинский В.А. Физико-химическое моделирование эволюции малых озер в условиях холодного климата // Геохимия, 2011, Т. 49, № 8, с. 875-885.

⁴⁹ Chaboux F., Granet M., Larque P., Riotte J., Skliarov E., Skliarova O.Alexeieva L., Risacher F. Geochemical and isotopic (Sr,U) variation of lake waters in Ol'khon Region, Siberia, Russia: Origin and paleoenvironmental implications // Comptes Rendus Geoscience, 2011, 343, № 7, p. 462-470.

Стадия I (глубина 55-66 см) характеризуется самым высоким содержанием низко-Mg кальцита, доля которого по данным моделирования XRD профилей карбонатных минералов достигает 47% от суммы карбонатов. В его структуре содержится очень малое количество $MgCO_3$ – 0,75 мол.%, в промежуточном Mg-кальците – 12 мол. % $MgCO_3$. Общее содержание этих двух фаз в стадию I колеблется от 40 до 55% карбонатной части осадка. Высоко-Mg кальциты представлены в образцах этой стадии двумя фазами, содержание Ca-доломита меняется в пределах 13-23% от общего содержания карбонатов.

Преобладание в стадию I среди карбонатных фаз низко-Mg-кальцита сопровождается самыми низкими в разрезе Mg/Ca и Sr/Ca отношениями (Рис. 58). Осаждение преимущественно низко-Mg кальцитов, происходящее в условиях умеренной насыщенности вод по карбонатам и умеренной солености, в совокупности с малой величиной Mg/Ca-отношения в осадке указывают на высокий уровень стояния воды в озере. Об умеренной солености водоема свидетельствует величина Sr/Ca-отношения, которая составляет ~ 0,02 (Рис. 58). По данным радиоуглеродного датирования карбонатного вещества осадки нижней части разреза имеют возраст 9500 лет (^{14}C). Эта дата соответствует послеледниковому времени, переход к которому в Забайкалье, как и в других областях Северной Евразии, произошел около 10300 л. н. По данным ряда авторов [Хотинский, 1977⁵⁰] климат первой половины бореального периода в Забайкалье был теплый и сравнительно влажный, наблюдался расцвет темнохвойных еловых лесов. Господство на территории Забайкалья теплого и влажного климата в бореальный период подтверждается изотопным составом кислорода и углерода в карбонатах оз. Верхнее Белое (Рис. 58). Низкие значения $\delta^{18}O$ и $\delta^{13}C$ (особенно в начале стадии) свидетельствуют в пользу положительного гидрологического баланса озера – увеличения притока свежих метеорных вод вследствие таяния ледников, обогащенных легкими изотопами кислорода и углерода. Эта благоприятная стадия в жизни озера не отличается

⁵⁰ Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. – 192 с.

продолжительностью, соответствующий ей интервал составляет 10 см осадка.

Стадия II – самая продолжительная, она занимает интервал от 22 до 55 см. В этом интервале происходит резкое увеличение содержания высоко-Mg-кальцитов и Ca-избыточного доломита, в общей сложности на их долю приходится ~70-75% от суммы карбонатов, причем в средней части стадии среди них доминирует Ca-избыточный доломит (Рис. 58). Его содержание составляет более 30% в ансамбле карбонатных минералов. Современный ионно-солевой состав вод оз. Верхнее Белое полностью соответствует описанным геохимическим характеристикам обстановок осаждения нестехиометричного Ca-избыточного доломита в условиях, близких к поверхностным. Кроме того, в образцах этой стадии обнаруживается небольшое количество арагонита. Соосаждение небольшого количества арагонита с Mg-кальцитами и Ca-доломитом указывает не только на повышенные концентрации в воде ионов Mg^{2+} и ее соленость, но и на избыток карбонатных ионов, препятствующих активному формированию арагонита.

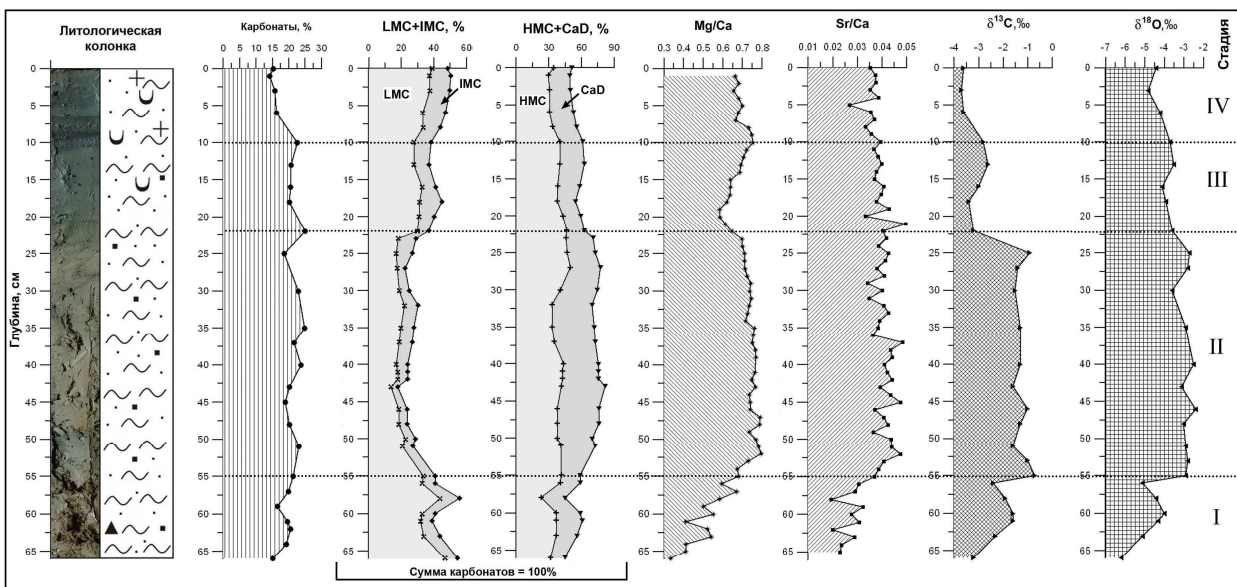


Рис. 58. Распределение компонентов, изотопов углерода и кислорода в осадочном разрезе озера Верхнее Белое (Забайкалье).

В соответствии с полученной карбонатной записью стадия II являлась самой мелководной фазой в жизни озера, скорее всего имели место перерывы в

осадконакоплении. О значительной аридизации климата и обмелении оз. Верхнее Белое в этот период времени свидетельствуют высокие значения $\delta^{18}\text{O}$ (процесс испарения превалирует над притоком) и $\delta^{13}\text{C}$ (поглощение ^{12}C при фотосинтезе за счет увеличения первичной органической продуктивности в мелководном озере и уменьшение притока свежих метеорных вод, обогащенных легким изотопом углерода).

В стадию III (гл. 10-22 см) озеро постепенно начинает обводняться, о чем можно судить по увеличению содержания в осадках низкомагнезиальных и промежуточных разностей кальцитов, легкого изотопа кислорода и уменьшению Mg/Ca отношения (Рис. 58). Значительное отрицательное смещение $\delta^{13}\text{C}$, по-видимому, связано с повышением температуры и с последующей деградацией образовавшейся органической материи ($\text{C}_{\text{орг}}$), в результате чего происходит обогащение поверхностных вод и, соответственно, растворенного в них неорганического углерода легким углеродом.

В последнюю стадию IV (гл. 0-10 см) доля низко-Mg и промежуточного кальцитов продолжает незначительно увеличиваться, приближаясь к 50% от общего количества карбонатов (Рис. 58). Отмечается синхронное уменьшение содержания тяжелых изотопов кислорода и углерода. Полученные данные свидетельствуют о некотором улучшении климатических условий в регионе [Солотчина и др., 2011⁵¹].

Блок 3. Влияние органических веществ почвы на подвижность микроэлементов в техногенных и природных условиях Южного Прибайкалья.

В городе Черемхово по координатной сети, намеченной в программе Google Earth в масштабе 1:100 000 проводилось опробование почвенного покрова. Пробы почв и грунтов отбирались методом конверта (10x10 м), которые после соответствующей пробоподготовки анализировались в ИГХ СО РАН по аттестованным методикам на pH, содержание органического вещества, ряда

⁵¹ Солотчина Э. П., Скляр Е. В., Вологина Е. Г., Солотчин П. А., Столповская В. Н., Склярова О. А., Изох О. П., Ухова Н. Н. Климатические сигналы в карбонатной осадочной летописи озера Намши-Нур, Западное Прибайкалье // ДАН, 2011, Т. 436, № 6, с. 814-819.

тяжелых металлов и мышьяка. В основном естественный почвенный покров на территории города в различной степени нарушен. В окрестностях города нарушения связаны с выемкой грунта в связи с добычей угля и последующей рекультивацией земель. На части из них имеются лесопосадки. Однако, несмотря на это, почвы находятся на начальной стадии почвообразования в соответствии с зональностью. Гумусово-аккумулятивный горизонт в них не превышает 5 см, а на открытых пространствах иногда отсутствует, и покров представлен коренными породами вскрыши.

Описанную ситуацию подтверждают и выполненные химические анализы проб почв (Табл. 10). Содержание $C_{орг.}$ варьирует в широком диапазоне: от 0,66 до 36,4 %. Точки с наименьшими содержаниями $C_{орг.}$ приурочены как раз к рекультивационным зонам. Высокие содержания $C_{орг.}$ обусловлены, вероятно, присутствием сажи, возможно и частичек каменного угля и являются результатом техногенной нагрузки.

Таблица 10

Статистические параметры распределения pH, $C_{орг.}$ и ряда химических элементов в почвенном покрове г. Черемхово и его окрестностей

Параметры	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Медиана	ОДК*
pH	6,3	7,7	7,1	7,1	-
$C_{орг.}$	0,66	36,4	5,4	3,9	-
Pb	15	130	29	23	130
Hg	0,006	0,271	0,059	0,034	2,1
Cu	6,1	120	24,5	23	132
Ni	8,2	84	49	51	80
Zn	42	1700	141	110	220

Примечание: *[Контроль..., 1998⁵²].

В отличие от $C_{орг.}$, в более узком диапазоне значений – от 6,3 до 7,7 варьирует $pH_{водн.}$, что также связано с различием в нарушенности почвенного покрова.

На основании результатов анализа выявлен ряд загрязнителей с высокими содержаниями их в почвах. Наиболее сильным загрязнителем среди

⁵² Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Под ред. Исаева Л.К. СПб, Эколого-аналитический информационный центр «Союз», 1998. – 896 с.

экотоксикантов является As, среднее и медианное значение содержаний которого превышает максимально допустимый разработанный норматив – ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК). Характерной особенностью является тот факт, что рассмотренные элементы не имеют между собой значимых корреляционных связей, а также с физико-химическими показателями – рН и содержанием $S_{орг}$. Значимая корреляционная зависимость отмечена только для металлов группы железа.

На основании результатов анализов было проведено картирование распределения содержаний химических элементов по площади и построены карты распределения элементов в почвенном покрове. Выделены участки с различной степенью химического загрязнения почв. У большинства экотоксикантов загрязнение приурочено к городской черте. Однако никель, а также и другие металлы группы железа (V, Cr, Sc, Co) распределены таким образом, что их максимальные содержания в почвах приурочены к окрестностям города. Такую ситуацию мы связываем с нарушением естественного почвенного покрова с выходом на поверхность коренных пород (с вероятно повышенным содержанием этих элементов). Однако это предположение требует уточнения. У ртути достаточно четко проявляется ее атмосферное поступление в почвы в результате сжигания угля на ТЭЦ-12, расположенной в черте города (Рис. 59).

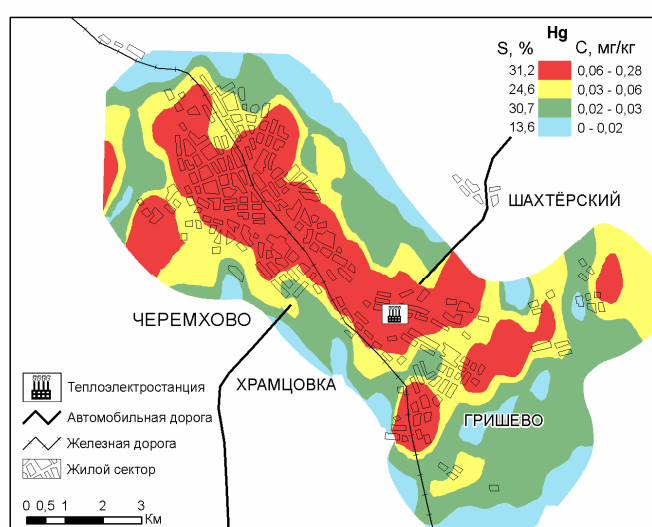
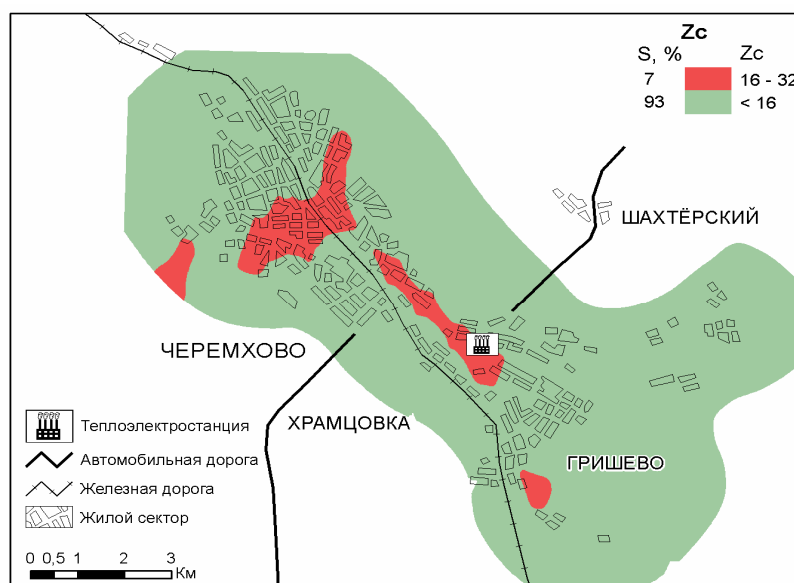


Рис. 59. Распределение ртути в почвенном покрове г. Черемхово и его окрестностей.

Общее загрязнение почв в г. Черемхово показано на Рис. 60.

Рис. 60. Оценка степени загрязнения почвенного покрова в г. Черемхово и его окрестностей



Рассчитанное суммарное загрязнение [Агроэкология, 2000⁵³] в некоторых почвах с наиболее высокими содержаниями перечисленных элементов составляет 20 и более. По этой градации почвы г. Черемхово относятся ко второй категории загрязнения. Загрязнение почвенного покрова носит в основном локальный характер, за исключением As, Ni, Hg.

Проведены работы по оценке радиоэкологического состояния почвенного покрова г. Иркутска и его периферийных площадей посредством исследования валового содержания тория и урана и их соотношения в поверхностном (аккумулятивном) горизонте. На территории города выявлены участки аномальных (повышенных) концентраций исследуемых радионуклидов.

В результате интерпретации полученных данных выявлено неравномерное распределение содержаний радионуклидов в почвах, а также разное распределение их по площади изучаемой территории города. Анализ полученных эмпирических данных проводили в сравнении с фоновым содержанием исследуемых поллютантов в верхнем горизонте почв по Иркутской области, которое для U составило 2,01 мг/кг, для Th – 6,26 мг/кг. По результатам исследования в 2010 г. в почвах г. Иркутска и его окружения фоновое содержание U оказалось идентичным региональному фону – 2,01 мг/кг, Th – несколько выше

⁵³ Агроэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др.; Под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 536 с.

регионального фона – 9,0 мг/кг. Содержание урана варьирует в пределах от < 1 до 23,30 мг/кг, тория - от 2,90 до 27,44 мг/кг. Среднее содержание урана составило 2,85 мг/кг, тория – 9,33 мг/кг. Для сравнения, по А.П. Виноградову среднее содержание в гумусовых горизонтах почв для U составляет 2 мг/кг, для Th – 6 мг/кг.

В городских почвах отмечается повышенное содержание обоих радионуклидов, о чем свидетельствуют приведенные выше результаты исследования. По урану существенно различаются максимальные значения содержаний – 23,3 и 3,06 мг/кг, а средние незначительно – примерно в 2 раза. По содержаниям тория такого изменения не отмечается, его содержание в почвах города Иркутска и прилегающих территорий близко по своим значениям, что свидетельствует об отсутствии ториевого загрязнения в городе и за его пределами.

Максимальные концентрации урана проявились в виде двух небольших по площади локальных аномалий в районе Иркутска-II: возле теплоэлектростанции, работающей на угле и вблизи взлетной полосы ОАО НПК «Иркут» (Иркутский авиазавод) – 23,30 мг/кг и 15,80 мг/кг соответственно (Рис. 61).

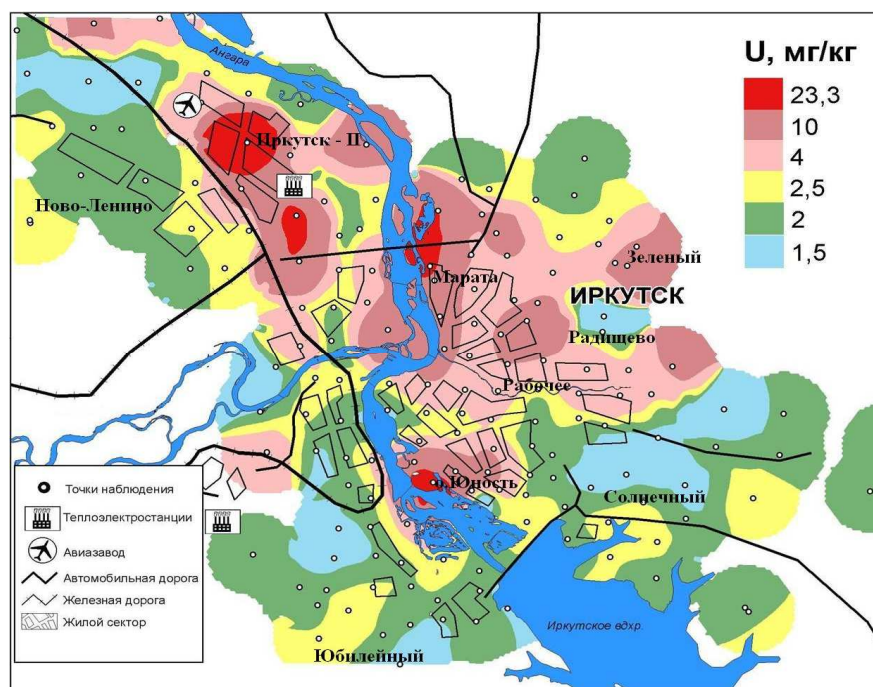


Рис. 61. Распределение валового содержания U в почвах г. Иркутска и его окружения.

Относительно повышенное содержание урана (18,74 мг/кг) в почвах в городе Иркутске наблюдается на острове Юность возле детской железной дороги. В

районе военной базы микрорайона Зеленый, вдоль промзоны микрорайона Рабочее и вблизи территории АЗС в предместье Марата (рынок «Покровский») также отмечаются отдельные небольшие участки с содержанием урана, незначительно превышающим значение регионального фона.

Максимальные концентрации тория (Рис. 62) отмечаются в Правобережном районе Иркутска – предместье Марата (16,94 мг/кг – на одном из дачных участков садоводства; а также в районе военной базы микрорайона Зеленый (27,44 мг/кг). Причина выявленных повышенных концентраций этого радионуклида к настоящему времени еще не установлена.

Слабый и фоновый уровень загрязнения почвенного покрова верхнего горизонта города как U, так и Th, занимающие более половины рассматриваемой площади города, рассредоточены, преимущественно, по окраинам города, на дачных, садовых участках и сельскохозяйственных земельных угодьях. Так как на этих территориях происходит ежегодное перепахивание, что приводит к частичному естественному выносу радиоактивных изотопов с продуктами сельского хозяйства или миграции на более глубокие почвенные горизонты, что в дальнейшем необходимо изучить по почвенным разрезам.

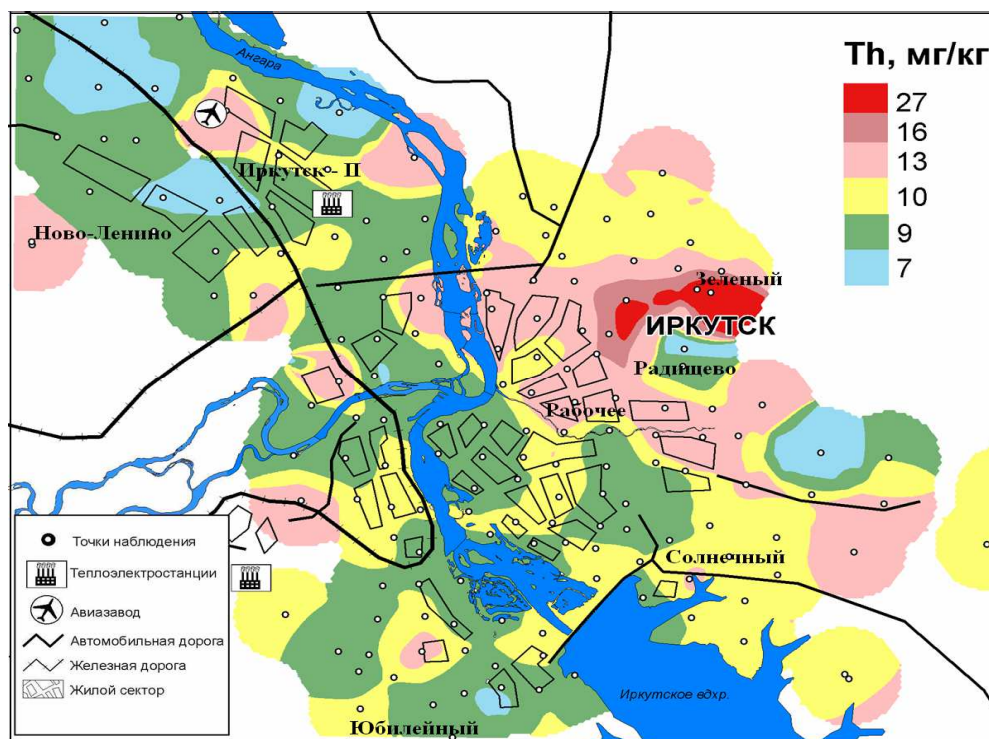


Рис. 62. Распределение валового содержания Th в почвах г. Иркутска и его периферийных площадей.

Важным оценочным показателем загрязнения почв является величина Th/U отношения. Анализ литературных данных позволяет утверждать, что Th/U отношение на уровне 3-5 наблюдается у подавляющего большинства почв разных регионов, стран и континентов вне зависимости от их генетического типа.

Результаты проведенного исследования показали, что соотношение Th/U в почвенном покрове поверхностного горизонта города Иркутска и его периферии находится преимущественно на уровне регионального значения – 3,5–5. В основном это урбанизированные территории города, зоны массовой жилой застройки.

Полученные результаты распределения валового содержания Th и U в поверхностном горизонте почв и почвогрунтов города Иркутска и его периферийных площадей свидетельствуют о широкой распространенности и изменчивости содержаний этих элементов, которые зачастую превышают региональный фон. Однако повышенные относительно фоновых значений концентрации экотоксикантов имеют локальный характер и не занимают большую площадь на территории города Иркутска.

Получены новые данные о распределении тяжелых металлов Hg, Pb, Zn, Cd и As в почвах на территории г. Иркутска и его окружения (Рис. 63).

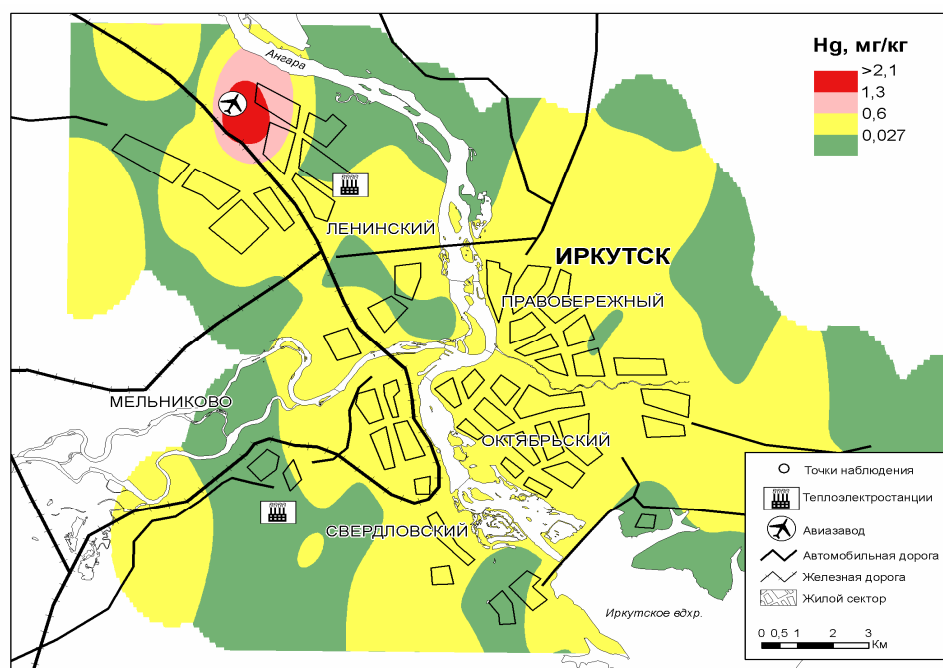


Рис. 63. Картограмма распределения валового содержания Hg в почвах г. Иркутска, мг/кг.

Установленные концентрации Hg в почвах города изменяются от 0,0029 до 2,675 мг/кг. Среднее содержание 0,1 мг/кг, что в 10 раз выше кларка в почве (0,01 мг/кг), в 3,5 раза выше условного фона (0,027 мг/кг), но в 21 раз ниже ПДК (2,1 мг/кг). Повышенная концентрация Hg в почвах отмечена вблизи авиазавода «Иркут», Иркутского Завода Металлоконструкций и большого количества несанкционированных свалок и составляет от 1,7-2,675 мг/кг, что превышает значение локального фона в 81 раз, а ПДК – в 1,04 раза.

Концентрации Cd в почвах Иркутска варьируют от 0,05-11,5 мг/кг. Средняя концентрация составляет 0,32 мг/кг, что в 16 раз выше условного фона (0,02 мг/кг) и в 0,16 раза ниже ОДК (2 мг/кг). Высокое содержание этого металла отмечено вблизи авиазавода «Иркут», где и повышенная концентрация ртути, и составляет 11,5 мг/кг, что превышает значение локального фона в 575 раз, а ОДК – в 5,75 раза.

Свинец широко распространен в почвах города, содержание его колеблется от 8,8-180 мг/кг. Средняя концентрация составляет 31,3 мг/кг, что в 3,13 раз выше кларка в почве (10 мг/кг), в 1,4 раза выше условного (23 мг/кг) и в 0,2 раза ниже ОДК (130 мг/кг). Максимальное количество Pb в почвах отмечено в пос. Селиваниха, где его содержание составляет 180 мг/кг, что превышает значение локального фона в 7,8 раза, ПДК (32 мг/кг) – в 5,6 раза и ОДК – в 1,4 раза. Так же вблизи авиазавода «Иркут» отмечено повышенное содержание Pb. Здесь оно составляет 100 мг/кг, что превышает значение локального фона в 4,3 раз, а ПДК – в 3,1 раза.

Содержание цинка изменяется от 37 до 1100 мг/кг. Средняя концентрация цинка в почве составляет 128,1 мг/кг, что в 2,6 раз выше кларка для почв (50 мг/кг), в 1,3 раза выше условного фона (96 мг/кг) и в 0,6 раза ниже ОДК (220 мг/кг). Максимальное количество Zn в почвах отмечено на окраине города вблизи предместья Рабочее, где его содержание составляет 1100 мг/кг, что превышает значение локального фона в 11,5 раза, ПДК (23 мг/кг) – в 47,8 раза и ОДК – в 5 раз. Вблизи авиазавода «Иркут», Иркутского Завода Металлоконструкций также отмечено повышенное содержание Zn в почвах, где оно составляет 670 мг/кг, что

превышает значение локального фона в 7 раз, а ОДК – в 3 раза.

Проведенные исследования показали, что почвенный покров г. Иркутска характеризуется различным уровнем содержаний химических элементов – от низких до относительно высоких. Однако повышенные концентрации имеют локальный характер и не занимают большую площадь на территории города.

Среднее содержание химических элементов в почвенном покрове города выше кларка в почвах, а также выше локального фона, рассчитанного для г. Иркутска. Эти данные свидетельствуют о существующем влиянии техногенной нагрузки, что характерно для крупных промышленных городов.

При эколого-геохимических исследованиях большое значение имеет изучение химического состава гумусового вещества почв. Активной его частью являются гумусовые кислоты, подразделяющиеся на две основные группы – гуминовые (ГК) и фульвокислоты (ФК), которые обладают большей подвижностью и биодоступностью, в отличие от (ГК), обладающих высокой сорбционной емкостью и прочно связывающих многие химические элементы в органоминеральные комплексы. Образование хелатных форм микроэлементов в виде низкомолекулярных органических соединений способствует поступлению питательных веществ в растения и повышает биодоступность тяжелых металлов. Результаты исследований позволили установить следующее.

- Среди изученных тяжелых металлов Cd обладает наибольшей способностью образовывать хелатные формы.
- В гумусовом веществе максимальные концентрации Cd установлены в фульвокислотах как в техногенных, так и в сельскохозяйственных почвах Усть-Ордынского округа.
- Кадмий может обладать максимальной миграционной подвижностью и биодоступностью для растений, на что указывает его накопление в хелатных и слабо закрепленных фракциях ФК.
- Повышенной подвижностью и способностью накапливаться в растениях обладает мышьяк. Максимально высокие концентрации этого элемента установлены в ФК техногенных почв г. Свирска. Высокие

концентрации As установлены и в хелатных формах почв г. Свирска.

○ Свинец обладает наименьшей способностью переходить в хелатные низкомолекулярные органические формы, т.к. в основном накапливается в гуминовых кислотах и в твердом остатке, что указывает на его слабую миграционную подвижность в почве и биодоступность для растений.

Общие закономерности распределения средних концентраций Cd, As, Pb по изученным фракциям органического вещества почв г. Свирска показаны на Рис. 64.

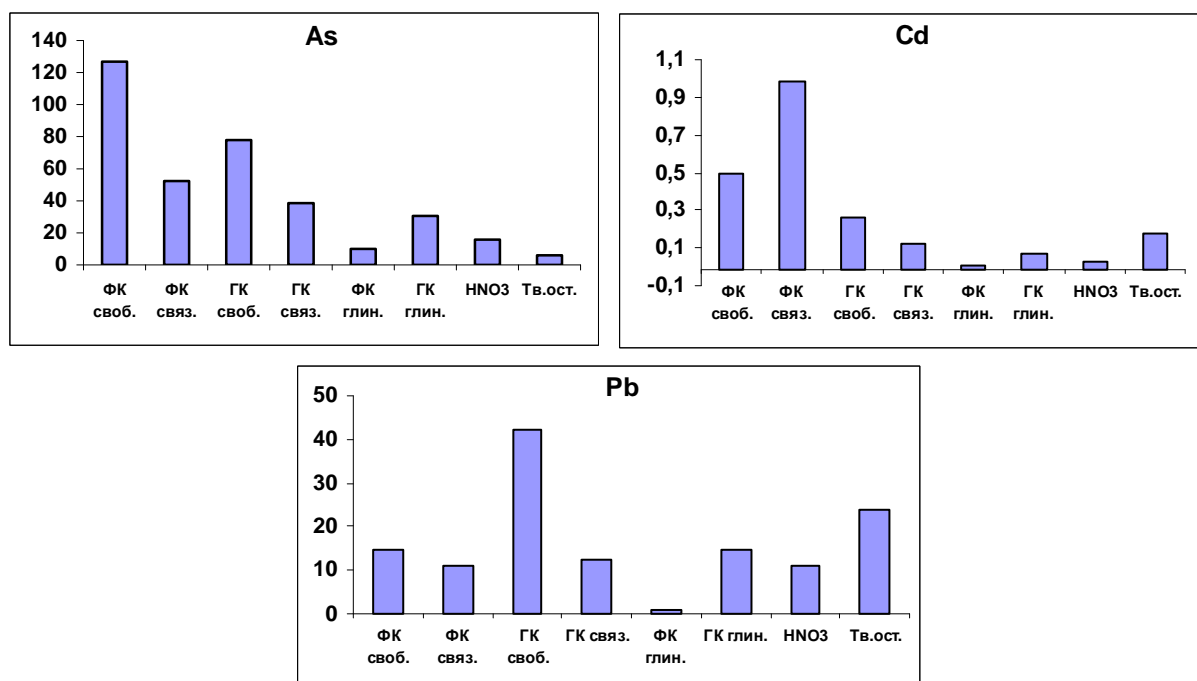


Рис. 64. Распределение средних содержаний As, Cd и Pb по фракциям органического вещества почв г. Свирска, мг/кг.

Получены новые данные о распределении ртути в почвах гг. Усолье-Сибирское и Свирск и прилегающей к ним территории, а также в пахотных почвах Усольского района.

Максимально аномальное содержание Hg установлено в почвах вблизи промплощадки Ангарского металлургического завода в г. Свирске (2,2 ПДК). В почвах других изученных участков Свирска средние и максимальные концентрации этого металла находятся в пределах допустимых норм, но выше регионального фона иногда на порядок. В условно-фоновых почвах окрестностей г. Свирска содержания Hg самые низкие, но максимальные их концентрации

остаются повышенными относительно регионального фона. При этом накопление Hg происходит преимущественно в верхнем слое почв.

В почвах «Усольехимпрома» концентрации Hg также на порядок выше регионального фона и сопоставимы с содержаниями ее в почвах вблизи аккумуляторного завода в г. Свирске. Превышения ПДК для Hg в почвах «Усольехимпрома» не наблюдается, так как почвенные образцы отбирались на расстоянии 0,5-1,5 км от цеха ртутного электролиза, под которым в настоящее время расположено техногенное месторождение Hg.

Содержания Hg в пахотных почвах гг. Свирска и Усоля-Сибирского сопоставимы и не превышают ориентировочные гигиенические концентрации для почв приусадебных и дачных участков (2 мг/кг, Ильин и др., 2001⁵⁴). Загрязненность лесных и условно-фоновых почв окрестностей г. Усоля-Сибирское выше, чем аналогичных почв г. Свирска. Кроме того, содержания Hg в почвах лесной зоны окрестностей г. Усоля-Сибирского и территории «Усольехимпрома» находятся в пределах одних порядков. В данном случае загрязнение лесных почв Hg может происходить с атмосферным переносом ртутьсодержащих газопылевых частиц с территории «Усольехимпрома» и ТЭЦ, расположенной вблизи него.

Кроме валовых содержаний, были изучены формы нахождения ртути в почве. По методике Bloom N.S. et al. (2003⁵⁵) получены последовательные фракции: водорастворимая, кислоторастворимая, органическая (включает гуматно-фульватные комплексы, метилртуть), прочносвязанная и сульфидная. Как показали исследования, содержания Hg в водо- и кислоторастворимой фракциях незначительно, а в сульфидной – ниже предела обнаружения. Тем не менее, прослеживается тенденция снижения содержания Hg в водорастворимой фракции почв (горизонты A_0+A , $A_{пах}$) по мере удаления от ЦРЭ (цех ртутного электролиза) (Рис. 65).

⁵⁴ Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

⁵⁵ Bloom N.S., Preus E., Katon J., Hiltner M. Selective extractions to biogeochemically relevant fractionation of inorganic mercury in sediment and soils // Anal. Chim. Acta, 2003, V.479, № 2, P. 233-248.

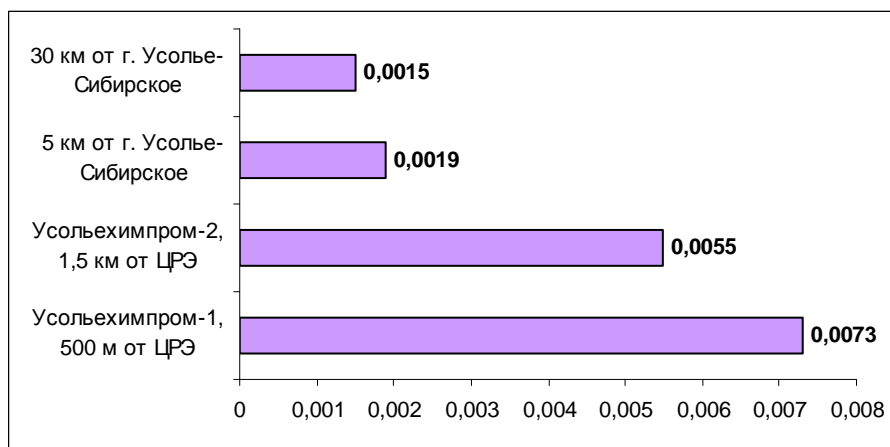


Рис. 65. Содержание ртути в водорастворимой фракции верхних горизонтов почв (A_0+A , $A_{\text{пах}}$), мг/кг.

Большая часть Hg в почвах находится в прочносвязанной и, особенно, органической фракциях. Установлена прямая корреляция между содержанием Hg в органической фракции почв и в растениях Приангарья (Рис. 66). Подобной зависимости с валовыми концентрациями Hg, а также другими ее фракциями в почве не наблюдается. Поэтому одним из основных источников поступления этого металла в растения могут быть органические соединения Hg в почвах.

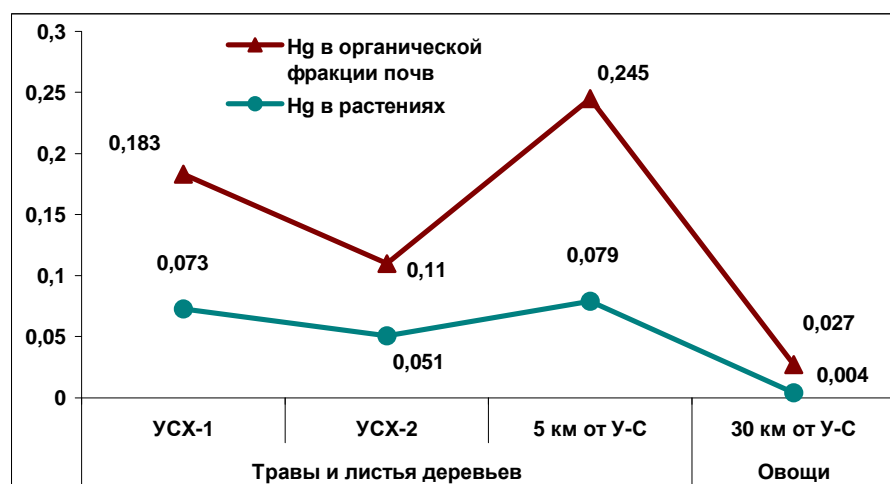


Рис. 66. Содержание ртути в органической фракции почв и в растениях, мг/кг
Примечания. УСХ – Усольехимпром, У-С – г. Усолье-Сибирское.

Блок 4. Сезонная изменчивость содержания стойких органических загрязнителей (хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов) в атмосферном воздухе на урбанизированной территории (на примере г. Иркутска и его пригорода).

В результате проведения исследований в 2011 г. изучена сезонная изменчивость содержания стойких органических загрязнителей (СОЗ) (хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов (ПХБ)) в

атмосферном воздухе г. Иркутска и его пригорода (Рис. 67). Получено, что концентрации ПХБ и ДДТ в городе и пригороде Иркутска и α -ГХЦГ в пригороде в 2011 г. были ниже, чем в 2008-2009 годах, ГХБ сравнимы, а α -ГХЦГ в городе несколько выше, чем в 2008-2009 гг. Наименьшие концентрации ПХБ, ДДТ и ГХЦГ были найдены в период с ноября по март, а наибольшие - в мае-июле. Тогда как изменения содержания ГХБ в атмосферном воздухе выражены в меньшей степени. Изменяются и соотношения отдельных соединений. Например, доля высокохлорированных ХБ наименьшая в ноябре-январе и наибольшая в апреле-мае (3,2 и 12,9 % соответственно). Отношение α/γ -ГХЦГ больше также в ноябре-январе и наименьшие – в мае-июле (16 и 2,9 соответственно). Величины ДДТ/ДДЭ изменяется от 0,17-0,35 в осенне-зимний период до 2,13 в период с середины лета по сентябрь. Содержание и относительный состав ПХБ и хлорорганических пестицидов в атмосферном воздухе зависит от природных факторов (температурный режим, осадки и др.), от физико-химических свойств СОЗ и их способности осаждаться и испаряться с поверхности почв в зависимости от температуры окружающей среды, а также от активности источника атмосферных эмиссий данных соединений.

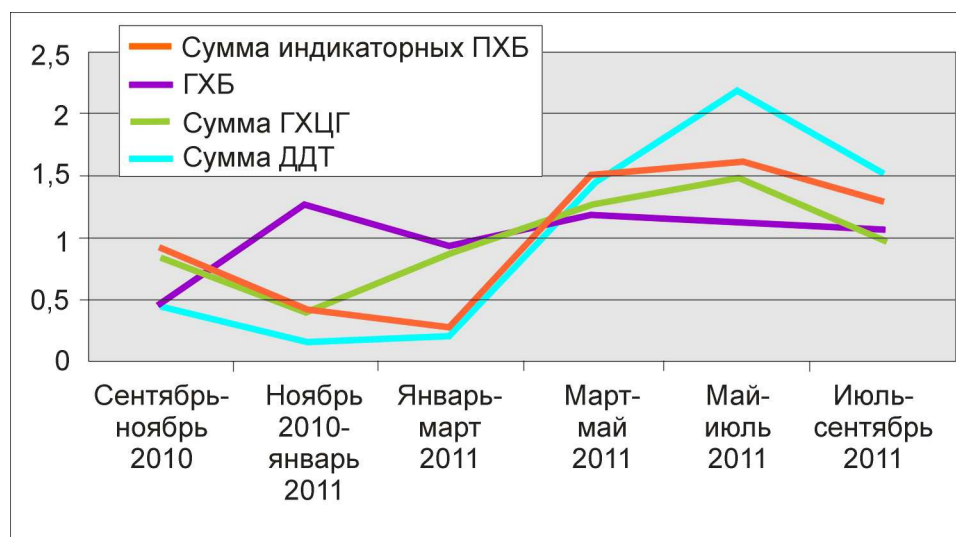


Рис. 67. Изменение содержания ПХБ и хлорорганических пестицидов в атмосферном воздухе г. Иркутска (относительно среднего).