

2.6. Научные исследования ¹⁾

Институтом геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН в 2009 году продолжены многолетние (с 1997 г.) исследования единственного стока озера Байкал – истока реки Ангары.

Река Ангара является единственным поверхностным стоком озера Байкал, соответственно вода истока Ангары отражает средний химический состав воды Байкала. Изучение ионного состава ангарской воды проводилось многими исследователями (Бочкарев, 1959; Николаева, 1964; Глазунов, 1963; Вотинцев и др., 1975 и др.). С 1997 года в Институте геохимии СО РАН были начаты мониторинговые наблюдения за составом воды в истоке Ангары (Коваль и др., 2003, 2005). До июля 2007 года проводилось подекадное опробование, далее пробы отбирались ежемесячно. Химический анализ на основные ионы (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) проводился по стандартным методикам (аналитик Чернигова С.Е.).

Вода истока р. Ангары низкоминерализованная, гидрокарбонатно-кальциевого состава. Сумма основных ионов в течение года варьирует в незначительных пределах. В последние годы наблюдается некоторое снижение амплитуды колебаний минерализации (рис. 2.6.1), о чем свидетельствует уменьшение коэффициентов вариации. Максимальный интервал колебаний (89,8-102,4) за 13-тилетний период исследований отмечен в 1998 году. Сезонные изменения происходят на фоне общего слабо выраженного положительного тренда, обусловленного преимущественно гидрокарбонат-ионом.

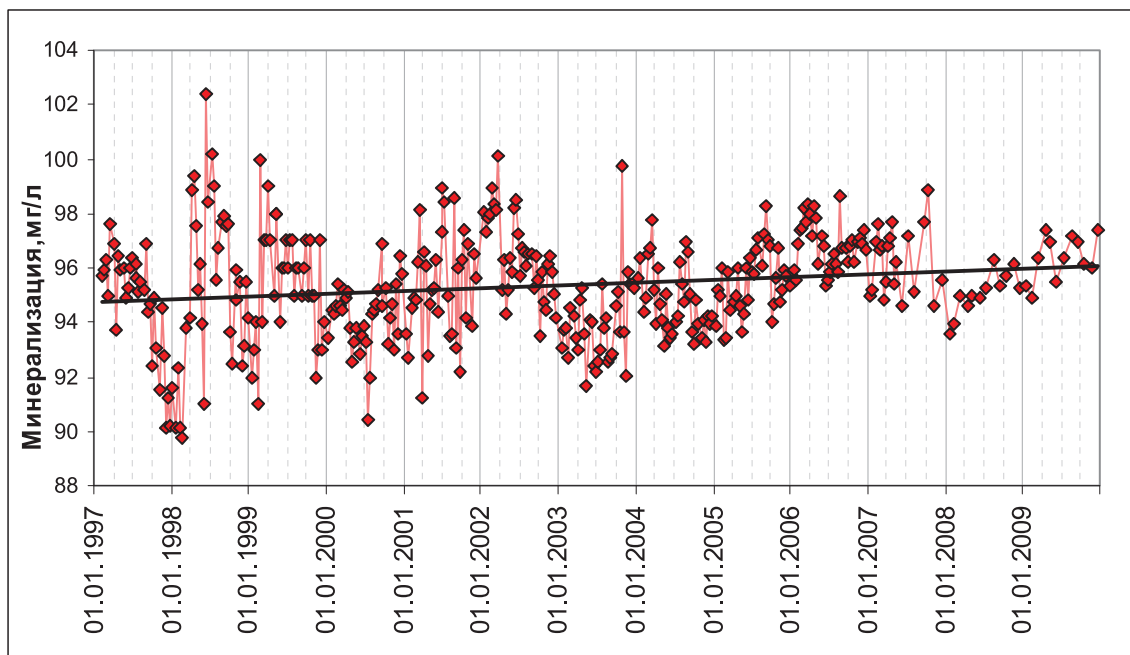


Рис. 2.6.1. Тренд изменения минерализации в воде поверхностного стока оз. Байкал (исток реки Ангары) за период 1997-2009 гг.

¹⁾ Включены материалы, представленные в ответ на запрос Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, направленный руководителям Иркутского и Бурятского научных центров СО РАН и Читинского института природных ресурсов СО РАН.

Сведения о научных исследованиях, выполненных по госконтрактам с Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации в целях реализации его полномочий по охране озера Байкал, приведены в подразделе 2.2.

Содержание основных ионов в воде истока р. Ангара незначительно меняется в течение года. В большинстве случаев эти изменения не превышают ошибки анализа. Исключения составляют гидрокарбонаты и хлориды, для которых характерны небольшие значимые сезонные флуктуации содержаний. Минимальные значения их отмечаются преимущественно в зимний период.

Для ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в рассматриваемый период исследований не отмечено каких-либо определенных тенденций. Некоторое повышение содержаний Ca^{2+} в период 1997-2004 гг. (Коваль и др., 2005) (табл. 2.6.1) полностью компенсируется снижением его концентрации в последующие годы (2005-2009 гг.).

Таблица 2.6.1

Средние содержания основных ионов в воде истока р. Ангара, мг/л

Компонент	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl	SO_4^{2-}	$\Sigma\text{М}$
1957-1961 гг.*	5,6	15,3	3,2	64,7	1,9	4,5	94,4
1997-2003 гг.**	4,2	15,4	3,34	65,6	0,60	5,9	95,0
2004 г.	3,95	16,0	3,25	66,1	0,56	5,0	94,8
2005 г.	3,79	15,7	3,38	66,4	0,63	5,3	95,4
2006 г.	4,39	15,6	3,50	66,9	0,62	5,7	96,8
2007 г.	4,44	15,4	3,44	66,5	0,63	5,7	96,3
2008 г.	4,49	14,8	3,31	65,4	0,72	5,3	95,1
2009 г.	4,71	15,0	3,27	66,5	0,73	5,6	96,4

* - данные приведены из работы (Николаева, 1964)

* * - данные приведены из работы (Коваль и др., 2005)

Результаты исследований соответствуют общепринятому мнению о постоянстве ионного состава ангарской воды, как соответственно и воды Байкала. Отмечены положительные тренды в изменении содержаний в последние годы гидрокарбонатов, хлоридов, общей суммы ионов и слабое понижение содержаний сульфат-иона.

Геохимические особенности снегового покрова в гг. Иркутске и Усолье-Сибирском в 2009 году. Снеговой покров является интегральным компонентом, состав которого свидетельствует о состоянии воздушного бассейна и окружающей среды в целом. В г. Иркутске снеговой покров накапливается и сохраняется в течение более 5 месяцев и его геохимические особенности хранят информацию о происходящих изменениях в окружающей среде за весь зимний период времени.

Опробование и анализ снегового покрова в Иркутской области проводится Институтом геохимии СО РАН уже более 15 лет (Пампура и др., 1993; Коваль и др., 1993; Эко-геохимия городов, 1993; Королева и др., 2005; Руш и др., 2007 и др.). Отбор проб снега осуществляется обычно в феврале-марте, до начала снеготаяния. Рассмотрим особенности снегового покрова в двух городах Иркутской области – Иркутске и Усолье-Сибирском.

Иркутск. В 2009 г. в г. Иркутске в разных частях города была отобрана 21 проба снега (рис. 2.6.2) на удалении более 100 м от основных автомобильных дорог. При этом одна проба (М-1, рис. 2.6.2) специально взята рядом с объездной дорогой в районе Академгородка возле заправки вблизи р. Ангара. Для сравнения приводятся данные по снеговому покрову, отобранному также в 2009 г. в наиболее чистом месте Прибайкалья, в районе западной части озера Байкал (залив Мандархан). Кроме этого, приводятся литературные данные (Пампура и др., 1993; Покатилов, 2006) по химическому (фоновому) составу снегового покрова в Прибайкалье в 1992 г.

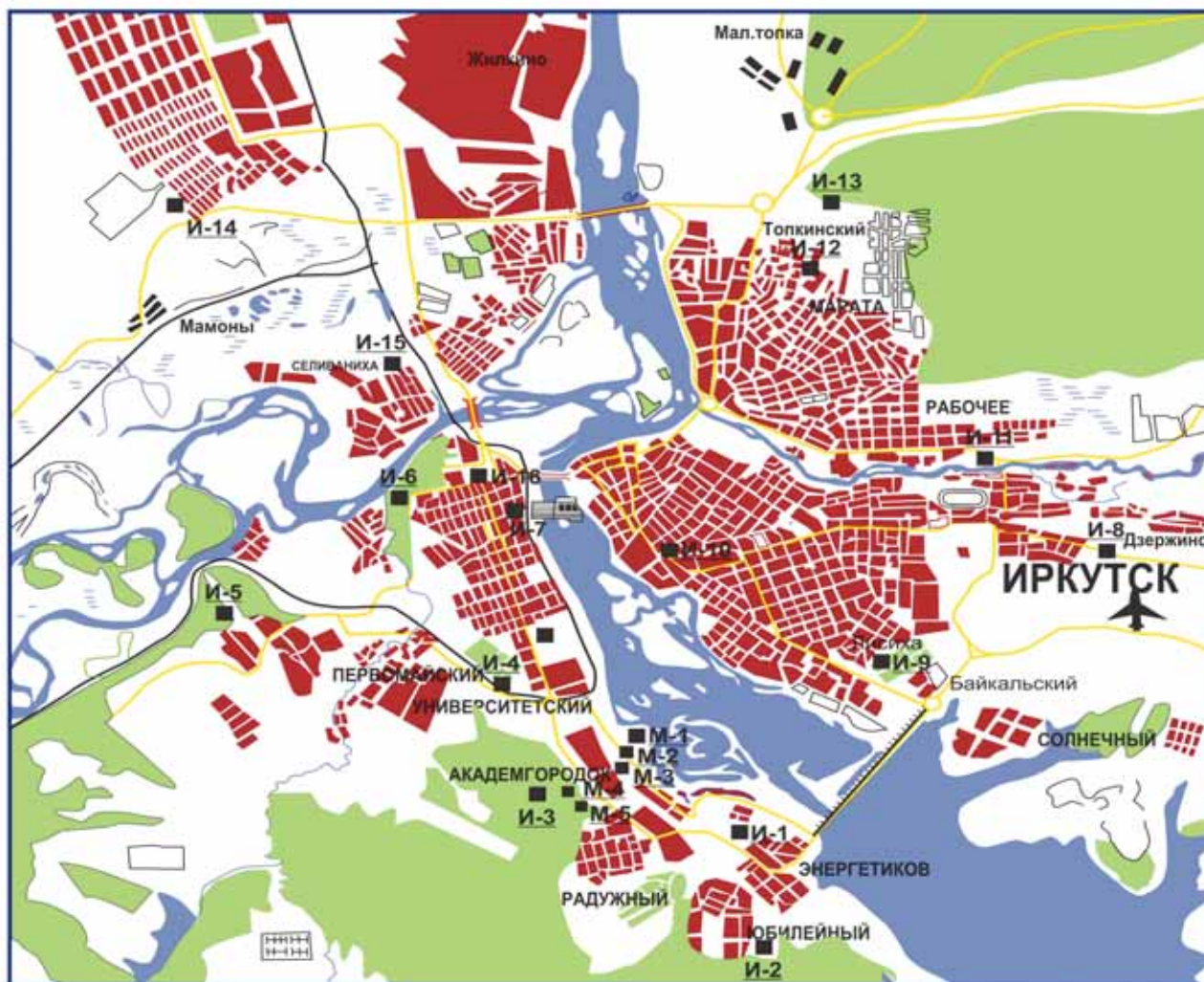


Рис. 2.6.2. Схема отбора проб снегового покрова в г. Иркутске в марте 2009 г.

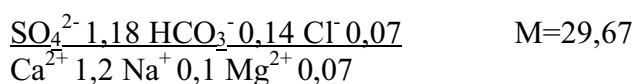
Анализ снеговой воды выполнен в Институте геохимии СО РАН. Микрокомпоненты в снеговой воде определялись с помощью метода масс-спектрометрии, прибор Element 2 (аналитики Ложкин В.И., Пахомова Н.Н, Смирнова Е.В., Склярова О.А.).

Макрокомпоненты (группа катионов, анионов и рН) анализировались по общепринятым в гидрохимии методикам анализа природных вод (аналитики Чернигова С.Е., Арсенюк М.И., Судакова Н.Д., Галкина Т.Н.).

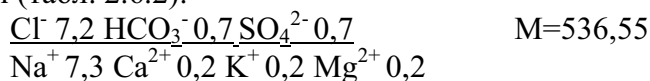
Ртуть определялась атомно-абсорбционным методом на приборе РА-915⁺ с приставкой РП-91 при компьютерной регистрации. Снижение предела обнаружения до 0,0005 мкг/дм³ достигалось концентрированием пробы (аналитики Андрулайтис Л.Д. и Рязанцева О.С.).

По концентрации ионов водорода (рН) снеговая вода в г. Иркутске близка к нейтральной – 6,4 (пределы колебаний 6,2-7,2). Повышенная концентрация рН (7,2) отмечается в п. Селиваниха на старице, на остальной территории г. Иркутска рН везде примерно одинакова – 6,2-6,6. Следует отметить, что рН снеговых вод в заповедных зонах Прибайкалья (фоновые районы), где ограничен доступ автотранспорта и людей, изменяется в пределах 4,37-5,83, составляя в среднем 4,73 (Нецветаева и др., 2004), т.е. снеговая вода здесь слабо кислая.

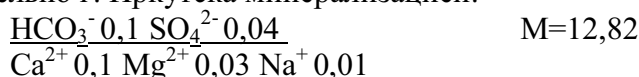
По макроэлементному составу средняя проба водной фазы снегового покрова г. Иркутска относится к гидрокарбонатно-сульфатному кальциевому классу вод с общей минерализацией 29,67:



Снеговая вода возле заправки на объездной дороге в Академгородке относится к гидрокарбонатно-хлоридному натриевому классу вод и характеризуется высокой минерализацией за счет высоких концентраций хлор-иона, гидрокарбонат-иона, сульфат-иона и натрия (табл. 2.6.2):



Снеговая вода на Байкале (залив Мандархан) по составу дистиллированная и относится к сульфатно-гидрокарбонатному магний-кальциевому классу вод с пониженной относительно г. Иркутска минерализацией:



Следует сразу отметить, что по сравнению с фоновыми значениями содержаний макрокомпонентов в снеговой воде Прибайкалья в 1992 г. (Пампура и др., 1993) в Иркутске в 2009 г. отмечается увеличение содержаний всех катионов и анионов (табл. 2.6.2). Максимальное увеличение концентраций характерно для ионов SO_4^{2-} (>20 раз), NO_2^- , NO_3^- и NH_4^+ (>6 раз), катионов калия (> 15 раз) и натрия (> 10 раз). Рост оксидов азота объясняется влиянием в зимний период выбросов небольших котельных и автомобильного транспорта.

Таблица 2.6.2

**Химический состав и минерализация снеговой воды (медиана)
в некоторых объектах Прибайкалья (мг/л)**

Элемент	Региональный фон в 1992 г. (Пампура и др., 1993)	Иркутск, март 2009 г.	Район заправки на объездной дороге в Академгородке, март 2009 г.	Оз. Байкал (залив Мандархан), март 2009 г.
pH	5,48	6,40	6,90	6,35
HCO_3^-	3,86	8,42	45,38	6,22
Cl^-	0,68	2,38	254,07	0,51
SO_4^{2-}	0,37	8,90	35,00	2,20
F^-	0,14	0,38	0,45	0,06
NO_3^-	0,20	1,24	1,21	1,05
NO_2^-	0,01	0,07	0,87	0,03
NH_4^+	0,09	0,58	1,48	0,05
K^+	0,08	0,53	7,65	0,16
Na^+	0,17	2,26	168,90	0,34
Ca^{2+}	0,70	4,00	19,50	1,90
Mg^{2+}	0,11	0,91	2,04	0,30
Минер-я	6,36	29,67	536,55	12,82
Кол-во проб		21	1	4

На фоне г. Иркутска и особенно района заправки на объездной дороге в Академгородке отчетливо выделяется чистая снеговая вода залива Мандархан на Байкале. Если в ней и есть превышения некоторых макрокомпонентов по сравнению с региональным фоном Прибайкалья 1992 г. (Пампура и др., 1993), то они незначительны (табл. 2.6.2).

Состав снеговой воды в районе заправки Академгородка возле объездной дороги (табл. 2.6.2., рис. 2.6.2., номер пробы М-1) однозначно указывает на огромное влияние автотранспорта. Здесь в снеговой воде в 100 раз увеличено содержание хлорид-иона, в 16 раз – аммоний-иона, в 4 раза – сульфат-иона, а также отмечаются высокие содержания катионов натрия, калия и магния. При этом в г. Иркутске на удалении более 50 м от транспортных магистралей содержания перечисленных компонентов значительно ниже.

Подобное явление отмечается всеми исследователями, изучавшими снеговой покров вдоль автомагистралей с максимальной транспортной нагрузкой.

По микросоставу (табл. 2.6.3., рис. 2.6.3) различия в содержаниях элементов в снеговой воде в сравнении г. Иркутска сегодняшнего и регионального фона 1992 г. менее значимые, чем по макрокомпонентам. Так, на прежнем или близком уровне остались содержания в снеговой воде Be, Fe, Cd, Mn, As, Pb, Co, Ni. При этом в 10 раз увеличилась концентрация Mo, в 4 раза – Zn, в 2 раза – Cu.

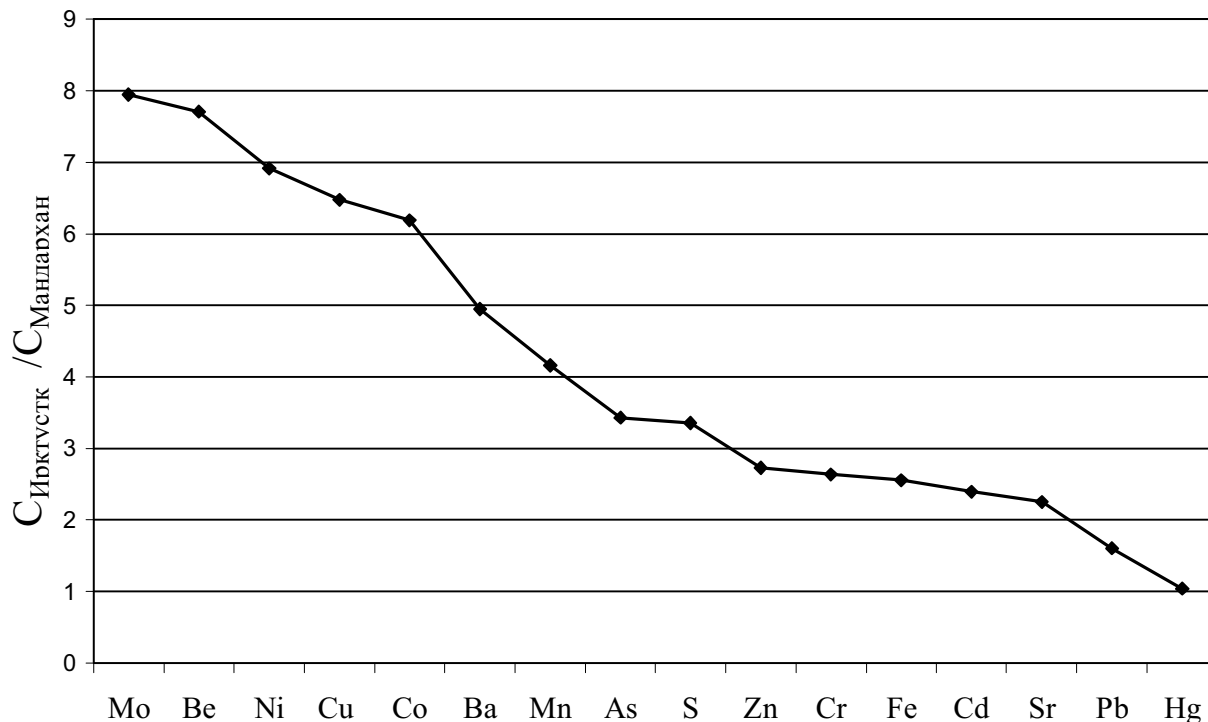


Рис. 2.6.3. Сравнительный тренд концентраций микроэлементного состава снеговой воды г. Иркутска относительно снеговой воды залива Мандархан (оз. Байкал) в 2009 г.

Чистой по содержаниям микроэлементов является снеговая вода в заливе Мандархан. Однако по сравнению с настоящим фоновым Мандарханом город Иркутск накапливает в снеговой воде многие элементы – Mo, Be, Ni, Cu, Co и другие (рис. 2.6.3), но концентрации их ниже ПДК питьевых вод.

Снеговая вода в районе заправки обогащена многими микроэлементами, которые поступают преимущественно за счет влияния автомобильного транспорта. Это касается Sr, Fe, Mn, Cu, а также S, U, Th.

Среднее содержание ртути в снеговой воде г. Иркутска и в заливе Мандархан близко к фоновому и только в районе объездной дороги в 5 раз выше регионального фона для Прибайкалья (табл. 2.6.3).

Таблица 2.6.3

**Микроэлементный состав снеговой воды (медиана)
некоторых объектов Прибайкалья (мкг/л)**

Элемент	Региональный фон в 1992 г. (Пампура и др., 1993; Показилов, 2006)	Иркутск, март 2009 г.	Район заправки на объездной дороге в Академгородке, март 2009 г.	Оз. Байкал (залив Мандархан), март 2009 г.
Ba		40	70	8
Sr		27	101	12
Be	0,05	0,04	0,03	0,01

Элемент	Региональный фон в 1992 г. (Пампура и др., 1993; Показитов, 2006)	Иркутск, март 2009 г.	Район заправки на объездной дороге в Академгородке, март 2009 г.	Оз. Байкал (залив Мандархан), март 2009 г.
Al		83	233	28
Fe	74	49	238	19
Cd	0,12	0,1	0,08	0,04
Mn	15	36	111	9
Cu	3,5	7	17	1
Mo	0,068	0,7	1,7	0,09
As	1,0	0,8	1,7	0,24
Ni	1,0	2,0	3,1	0,4
Pb	0,51	0,5	0,7	0,3
Co	0,5	0,77	0,97	0,12
Cr	2,0	0,4	0,7	0,1
Zn	11,4	40	36	15
S		3152	16582	939
Th		0,01	0,16	0,01
U		0,04	0,35	0,02
Hg	0,0005	0,0013	0,0028	0,0013
Кол-во проб		21	1	4

Таким образом, полученные данные по содержаниям макро- и микрокомпонентов в снеговой воде г. Иркутска в 2009 г. показывают, что в последние годы в связи с усилением автотранспортной нагрузки закономерно возрастают содержания многих элементов. Однако, судя по снеговому покрову, обстановка в г. Иркутске не достигла высокой степени загрязнения (по классификации Ю.Г. Показитова, 2006). Лишь отдельные элементы достигают ПДК для питьевых вод (хлор-ион, сульфат-ион, калий), но натрий и марганец незначительно превышают ПДК. Следует отметить, что перечисленные элементы отмечаются в повышенных содержаниях только в снеговом покрове рядом с интенсивными транспортными магистралями (0-50 м от них), а в целом по городу экологическую обстановку можно считать вполне благополучной.

Усолье-Сибирское. По уровню загрязнения снегового покрова город Усолье-Сибирское относится к числу наиболее загрязненных городов в России. Усолье-Сибирское – крупный промышленный центр. Здесь находится химическая, фармацевтическая, соледобывающая промышленность, машиностроительный завод, ТЭЦ и ряд комбинатов (фанерно-спичечный, домостроительный, мебельный), которые оказывают негативное влияние на экологическое состояние в городе (Мусихина, 2009). Проблема ртутного загрязнения промплощадки «Усольехимпром» давно обсуждается в литературе (Коваль и др., 2000; Коваль и др., 2004; Гребенщикова и др., 2008; Китаев и др., 2008 и др.).

В 2009 г. для получения данных о количественном и качественном изменении химического состава снежного покрова и сравнения с предыдущими годами опробование проводилось в районе промплощадки «Усольехимпром», на территории города и в его окрестностях на площади около 74 км². Отбор проб снега осуществлялся согласно направлению преобладающих ветров в конце зимнего сезона – северо-западных. Точки пробоотбора размещались на открытых участках местности с учетом расположения застроек, ближайших локальных источников (автотрасса, частный сектор, мелкие котельные), лесной и парковой зон. Всего отобрано 9 проб снега: 3 пробы на территории промплощадки (У-1 – У-3), 6 проб – на территории города и его окружения (У-4 – У-9) (рис. 2.6.4). За природный фоновый объект был принят снежный покров залива Мандархан (Гребенщикова и др., 2009), который находится на западном побережье озера Байкал и значительно удален от промышленных центров и их влияния (табл. 2.6.4).

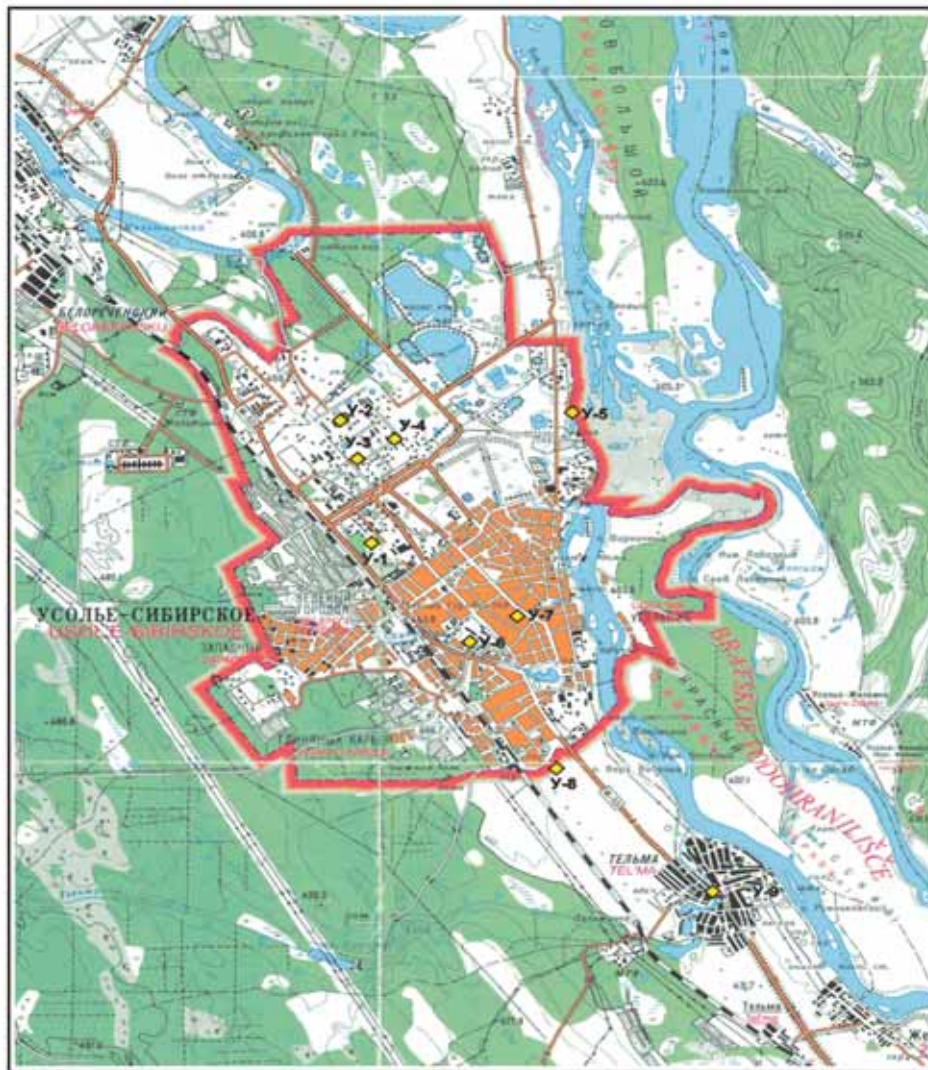


Рис. 2.6.4. Карта-схема отбора проб снегового покрова в г. Усолье-Сибирское в 2009 г.

Как показали многолетние исследования (с 1996 г.) по изменению содержаний ртути в снеговом покрове, в отдельные годы отмечалось и уменьшение, и увеличение ее концентраций, несмотря на закрытие цеха ртутного электролиза в 1998 г. В последние четыре года среднее содержание ртути (промплощадка и город) стабильно повышено по сравнению с 2005 г.

Минерализация снеговых вод в г. Усолье-Сибирское в 2009 г. варьирует в широких пределах (табл. 2.6.4) – от 5,41 до 167,65 мг/л. Максимальная минерализация отмечается на промплощадке вблизи бывшего цеха ртутного электролиза. Высокая минерализация обусловлена повышенными содержаниями в снеговой воде ряда макрокомпонентов – HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ и Ca^{2+} . Особенностью химического состава снеговых вод территории промплощадки являются достаточно высокие величины pH, достигающие 10. На территории самого города рассмотренные макрокомпоненты распределяются независимо от расстояния до промплощадки. Скорее всего, распределение их обусловлено влиянием выбросов ТЭЦ, находящейся на промплощадке, с последующим ветровым переносом.

По сравнению с фактически дистиллированной снеговой водой фонового участка залива Мандархан на Байкале (Гребенщикова и др., 2009) такие компоненты, как Na^+ и Cl^- превышают фоновые содержания примерно в 30 раз на территории промплощадки. В городской снеговой воде в повышенных концентрациях отмечаются другие макрокомпоненты – NH_4^+ , Mg^{2+} , NO_2^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} . Превышение их содержаний по сравнению с фоновыми составляет 5-11 раз (рис. 2.6.5, 2.6.7).

Запыленность снегового покрова в г. Усолье-Сибирское изменяется от 0,65 до 63,6 г/м³, уступая только г. Шелехово. При чем, в максимально запыленной пробе снега отмечается и максимальное содержание ртути в твердом осадке – 33,28 мг/кг.

В снеговой воде возле цеха ртутного электролиза отмечаются высокие содержания многих металлов (рис. 2.6.8). Содержания ртути, кремния и бора в 50-400 раз больше, чем фоновые. Кроме этого, в 10-40 раз выше фоновых концентрации Sc, V, Al, Mo, Cr, W, S.

Таблица 2.6.4

**Концентрации макрокомпонентов (мг/л)
в снеговой воде г. Усолье-Сибирское в 2009 г.**

№ пробы	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	TDS
У-1	10,00	44,77	33,21	15,4	0,30	1,18	0,424	0,503	0,65	14,68	6,5	0,56	138,18
У-2	9,10	67,08	18,09	30,7	0,80	1,26	0,512	0,735	0,61	12,56	4,7	0,61	167,65
У-3	8,40	37,70	4,43	10,7	0,25	0,76	0,505	0,477	0,47	1,65	7,0	1,03	74,97
У-4	8,70	26,84	1,40	16,1	0,29	1,16	0,087	0,632	0,56	1,58	2,0	1,91	62,56
У-5	7,10	19,40	0,65	13,7	0,24	1,20	0,312	0,503	0,31	0,64	9,6	0,85	47,40
У-6	7,80	2,93	0,38	0,2	0,02	0,32	0,076	0,632	0,10	0,13	0,5	0,12	5,41
У-7	6,70	12,57	1,08	16,2	0,33	2,08	0,075	0,670	0,39	0,85	4,9	3,34	42,49
У-8	7,40	35,14	1,40	15,9	0,32	1,74	0,234	0,800	0,90	1,64	1,7	2,84	72,62
У-9	7,20	28,06	0,65	13,9	1,13	1,02	0,555	0,053	0,96	0,22	5,2	0,97	62,72
Фон	6,50	7,32	0,38	0,7	0,04	0,47	0,011	0,064	0,15	0,28	1,8	0,24	11,46

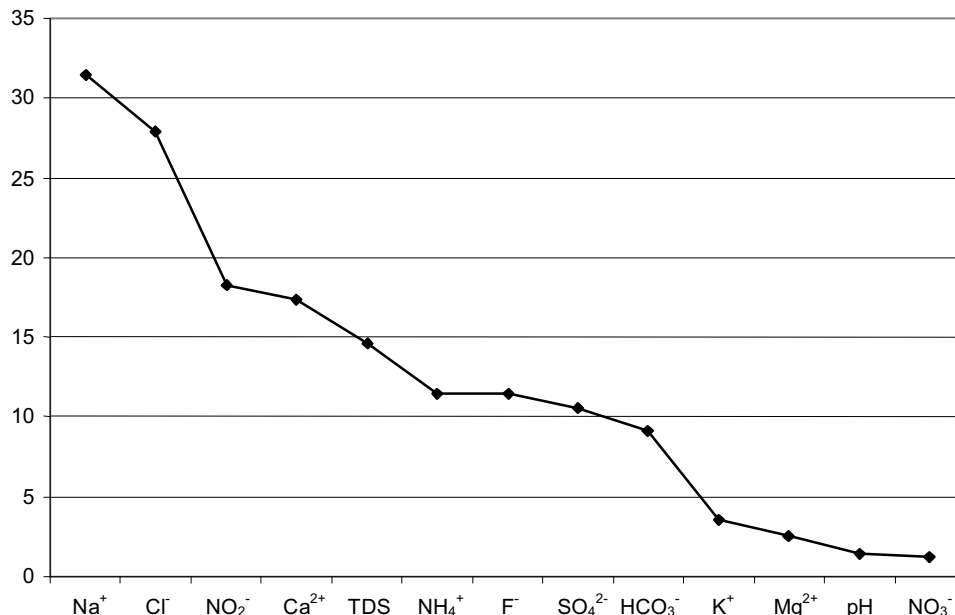


Рис. 2.6.5. Сравнительный тренд концентраций макрокомпонентов в снеговой воде возле цеха ртутного электролиза в г. Усолье-Сибирское относительно фоновых значений (снеговая вода залива Мандархан на Байкале)

Для снеговой воды в черте города к микроэлементам, превышающим фоновые содержания в 5-40 раз, относятся B, Sb, V, W, Mo, As, Sc (рис. 2.6.9). Для остальных металлов, в том числе и для ртути, превышения фоновых значений составляет 2-4 раза. Харак-

терным является то, что набор элементов в геохимической ассоциации с повышенными содержаниями в городской среде и в районе промплощадки фактически остается одним и тем же, меняются только коэффициенты контрастности, что свидетельствует о единых источниках загрязнения.

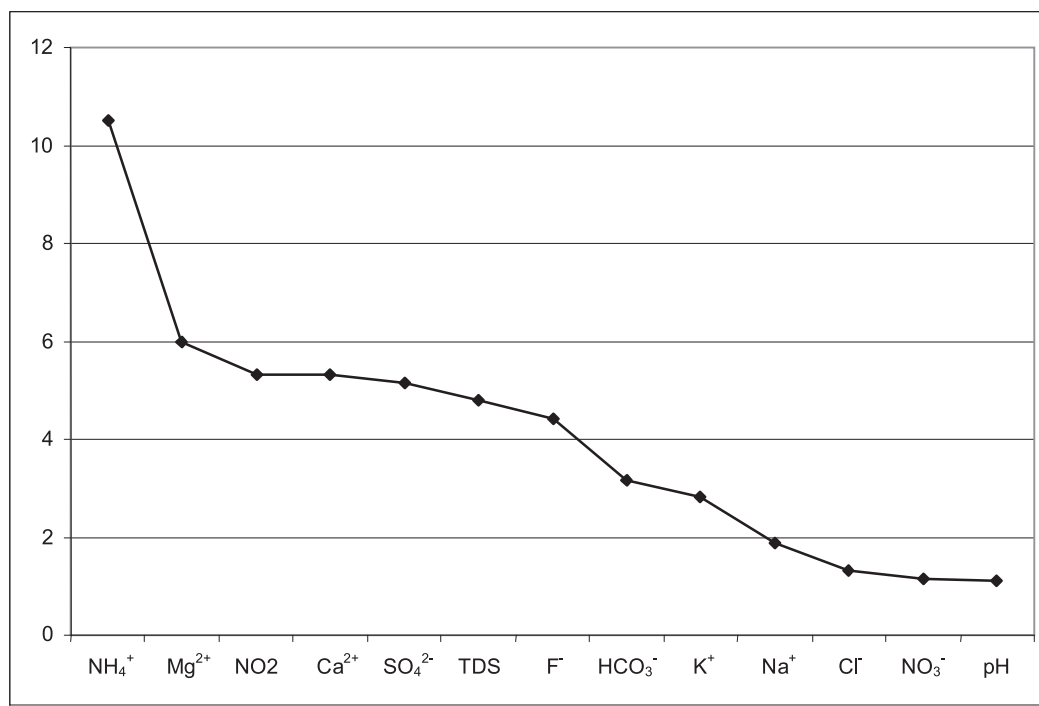


Рис. 2.6.7. Сравнительный тренд концентраций макрокомпонентов в снеговой воде на территории г. Усолье-Сибирское относительно фоновых значений (снеговая вода залива Мандархан на Байкале).

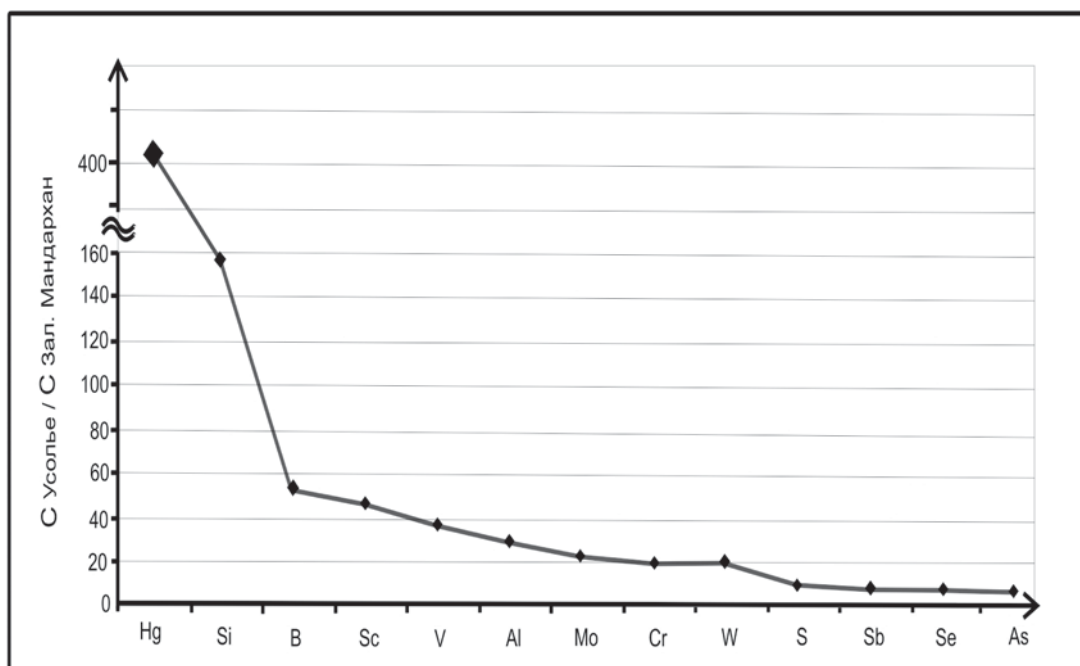


Рис. 2.6.8. Сравнительный тренд концентраций микрокомпонентов в снеговой воде возле цеха ртутного электролиза в г. Усолье-Сибирское относительно фоновых значений (снеговая вода залива Мандархан на Байкале).

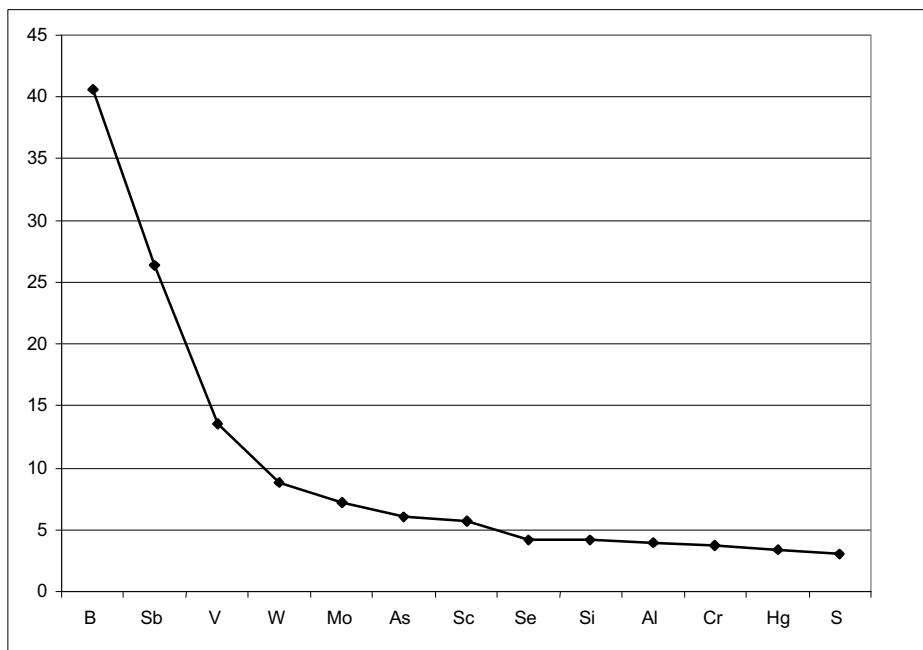


Рис. 2.6.9. Сравнительный тренд концентраций микроэлементов в снеговой воде на территории г. Усолье-Сибирское относительно фоновых значений (снеговая вода залива Мандархан на Байкале).

Судя по составу снеговой воды и твердого осадка снега, экологическая обстановка в г. Усолье-Сибирское в 2009 г. достигла значительной степени загрязнения по содержаниям ртути, кремния, молибдена, алюминия и некоторым другим элементам согласно классификации Ю.Г. Покатилова (Покатилов, 2006) и полученным нами аналитическим данным.

Особенности распределения ртути в снеговом покрове акватории Южного Байкала. Способность ртути к переходу в газообразное состояние при невысоких температурах окружающей среды, обеспечивает ее чрезвычайную мобильность, по сравнению с другими тяжелыми металлами. Благодаря этой особенности, основным путем миграции ртути, как в глобальном, так и в региональном масштабе является ее атмосферный перенос. Ртуть транспортируется воздушными потоками не только в форме ее паров, но и в виде летучих органических соединений, а также в составе аэрозолей твердых частиц. Важную роль в выведении ртути из воздушных масс, ее осаждении на земную и водную поверхность играют атмосферные осадки. Исследование содержания ртути в атмосферных выпадениях, а, следовательно, и ее атмосферного переноса на акваторию оз. Байкал, особенно актуально в связи с существованием на территории Иркутской области источников ртутного загрязнения – химических предприятий городов Усолье-Сибирское и Зима, ТЭЦ, котельных и пр.

Для определения атмосферного переноса ртути в зимний период на акваторию Южного Байкала, нами была проведена снегогеохимическая съемка на льду озера. Отбор снега производился на трех поперечных разрезах с западного на восточный берег: 1) пос. Маритуй – пос. Мурино; 2) пос. Листвянка – пос. Танхой; 3) пос. Б. Голоустное – пос. Мишиха, а также в центральных точках между разрезами и на удалении 25 от крайних разрезов по продольной оси озера. Концентрация ртути в снеговом покрове акватории Южного Байкала определена в 19 объединенных пробах с 95 точек. Помимо того, снег проанализирован в городах и поселках, находящихся непосредственно на берегу Южного

Байкала: Култук, Слюдянка, Байкальск, Мурино, Танхой Мишиха, Бабушкин, Листвянка, Голоустное, Бугульдейка. Концентрация общей ртути определялась как в снеговой воде, так и в твердом осадке атомно-абсорбционным методом холодного пара на ртутном анализаторе РА 915⁺.

Результаты проведенного анализа показали неоднородность распределения ртути в снеговом покрове на акватории Южного Байкала. Среднее содержание ртути в пробах снеговой воды, отобранных в западной части озера (0,0025 мкг/л) заметно выше, чем в восточной (0,0009 мкг/л). Наибольшие концентрации ртути обнаружены в пробах снеговой воды со станции удаленной на 2 км от пос. Голоустное и в центре разреза Листвянка – Танхой (рис. 2.6.10). В твердом осадке снега наблюдается подобное снеговой воде пространственное распределение ртути на акватории Южного Байкала – повышенные концентрации также обнаружены возле поселков Голоустное и Листвянка (рис. 2.6.11).

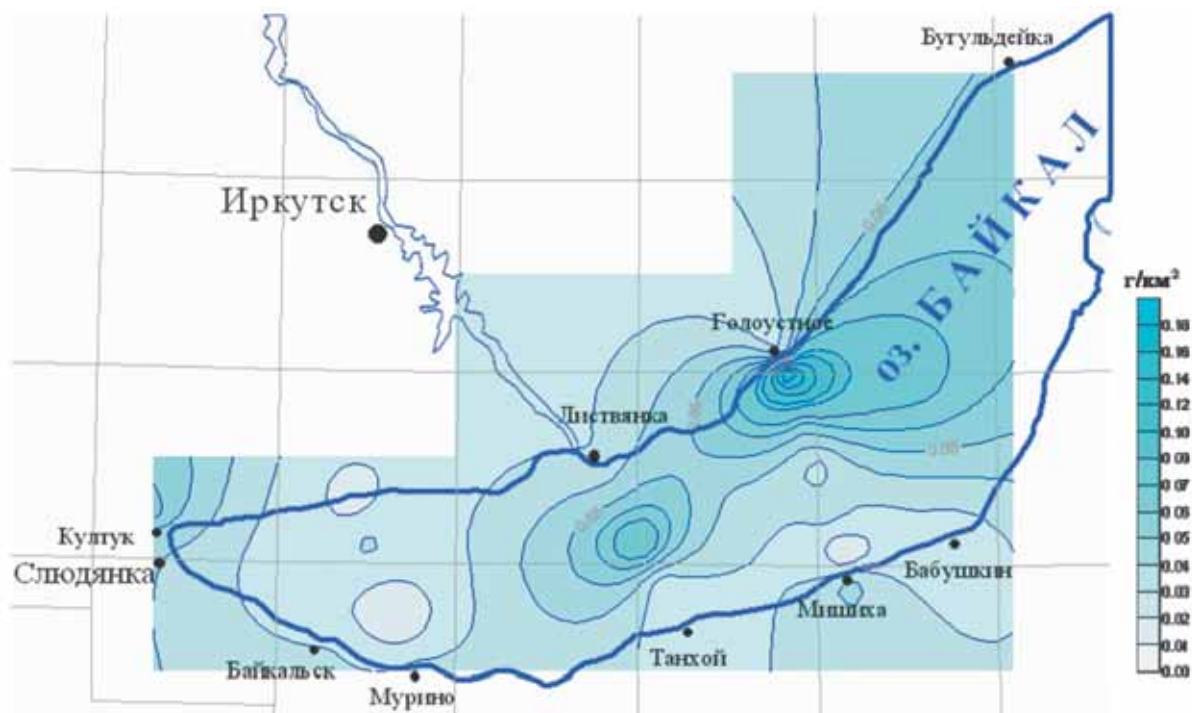


Рис. 2.6.10. Распределение концентраций ртути в снеговой воде на акватории Южного Байкала

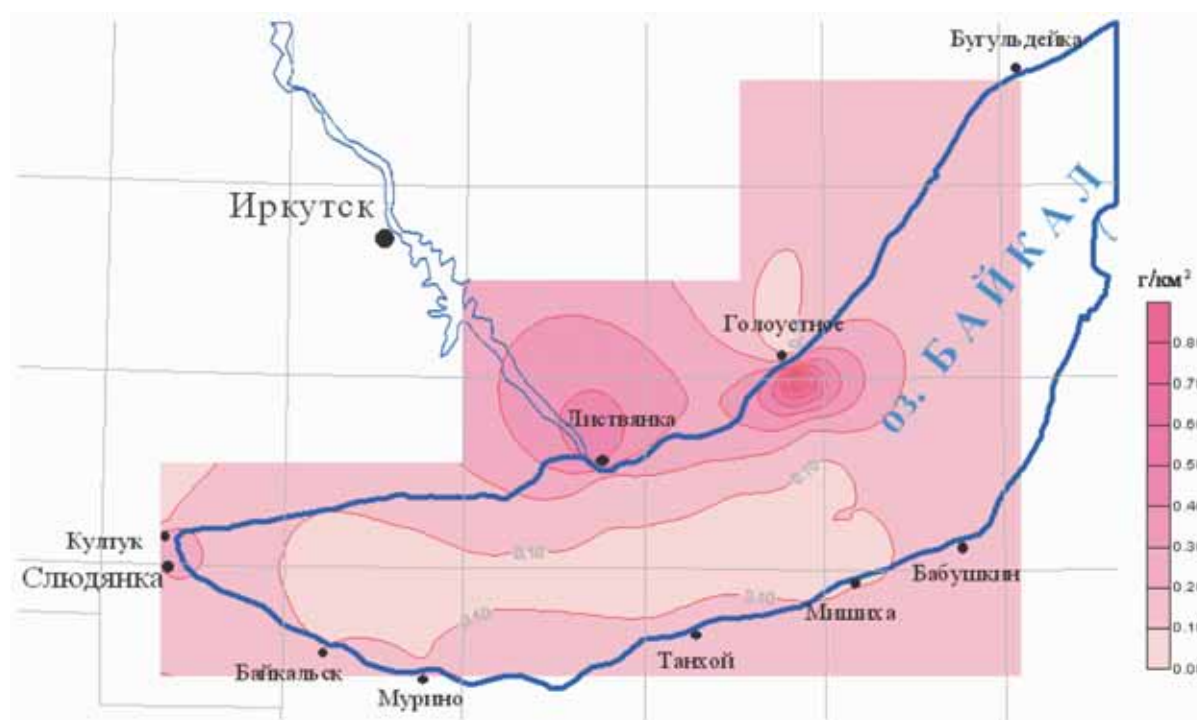


Рис. 2.6.11. Распределение концентраций ртути в твердом осадке снега на акватории Южного Байкала

В западной части озера среднее содержание ртути в твердом осадке снега вдвое выше, чем в восточной – 0,504 и 0,238 мкг/г соответственно. Такое распределение ртути, главным образом, связано с особенностями золотого переноса. Преобладающие в зимний период северо-западные ветры, разгоняющие воздушные массы по долинам рек Ангара и Голоустная, беспрепятственно переносят газообразные формы и аэрозоли на дальние расстояния, а также выдувают минеральные и органические частицы с западного берега. Массовая доля ртути, поступающей из атмосферы с твердой фазой снега на единицу площади акватории Южного Байкала, значительно выше доли вносимой водной фазой (растворенными формами). Исключение составляет проба снега, отобранная в центральной части разреза Листвянка – Танхой, где вклад растворенных форм в общее содержание ртути составлял более 50% (рис. 2.6.12). В этой же пробе зарегистрированы наибольшие концентрации ртути в снеговой воде – 0,0048 мкг/л. В данном случае, это вероятно говорит о дальнем атмосферном переносе газообразных форм ртути по долине р. Ангара от техногенных источников. Однако, такой перенос незначителен, ввиду низких показателей накопления ртути в снеговой воде – даже самая высокая концентрация намного ниже уровня ПДК для воды водоемов рыбохозяйственного назначения (0,01 мкг/л).

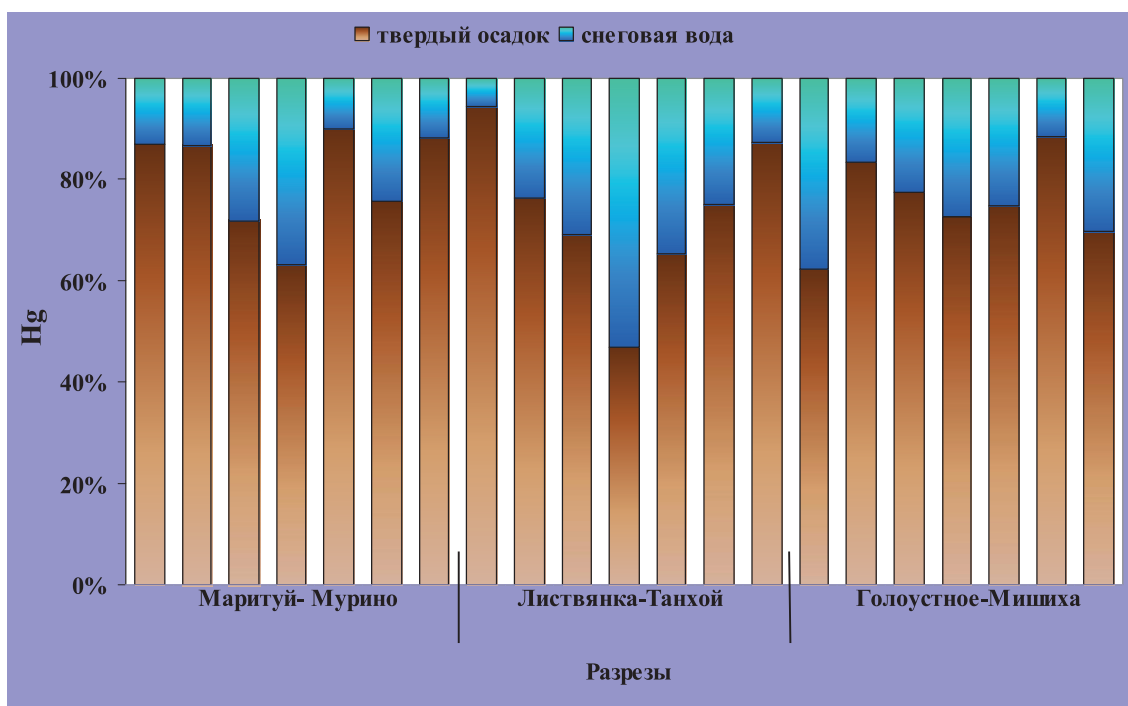


Рис. 2.6.12. Процентное соотношение ртути в снеговой воде и твердом осадке снега на разных станциях отбора проб по акватории Южного Байкала

Твердый осадок на станциях с повышенным содержанием ртути в большинстве случаев представлен природными минеральными частицами с близлежащих берегов – полевыми шпатами, кварцем, кальцитами и др. Концентрация ртути в твердом осадке снега, отобранного с определенной площади на станциях Южного Байкала, находится в значимой корреляционной зависимости от общего веса осадка (рис. 2.6.13). Это еще раз указывает на природную составляющую твердого осадка снега. В техногенно загрязненных районах подобной зависимости не наблюдается, т.е. при малом весе твердого осадка, представленного хлопьевидными частицами сажи, сульфидами и др. могут наблюдаться высокие концентрации ртути.

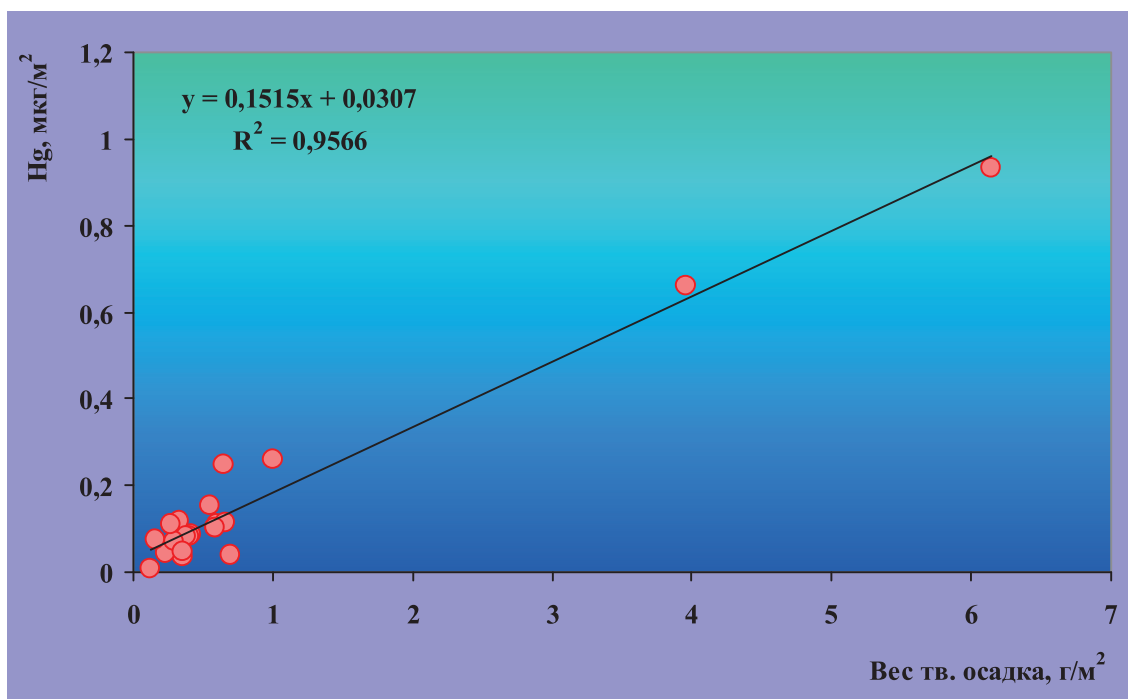


Рис. 2.6.13. Зависимость концентрации ртути в твердом осадке снега от его веса

Сравнительный анализ распределения ртути в снеговом покрове по исследованным разрезам показал, что минимальный уровень накопления обнаружен на разрезе Маритуй – Мурино, наиболее защищенном от северо-западного ветра Олхинским плато; максимальный – на разрезе Голоустное – Мишиха (табл. 2.6.5, рис. 2.6.14).

Таблица 2.6.5

Содержание и распределение ртути в снежном покрове Южного Байкала

Разрезы	Hg в снеговой воде, мкг/л	Hg в твердом осадке, мкг/г	Hg в снеговом покрове, мкг/м ²
Маритуй – Мурино	<u>0,0012</u> * 0,0009-0,0024	<u>0,223</u> 0,097-0,385	<u>0,0998</u> 0,053-0,1185
Листвянка – Танхой	<u>0,0022</u> 0,001-0,0048	<u>0,232</u> 0,172-0,354	<u>0,116</u> 0,0173-0,1732
Голоустное – Мишиха	<u>0,0021</u> 0,0002-0,0046	<u>0,544</u> 0,133-1,79	<u>0,3391</u> 0,0542-1,1188

*в числителе – среднее значение, в знаменателе – min-max

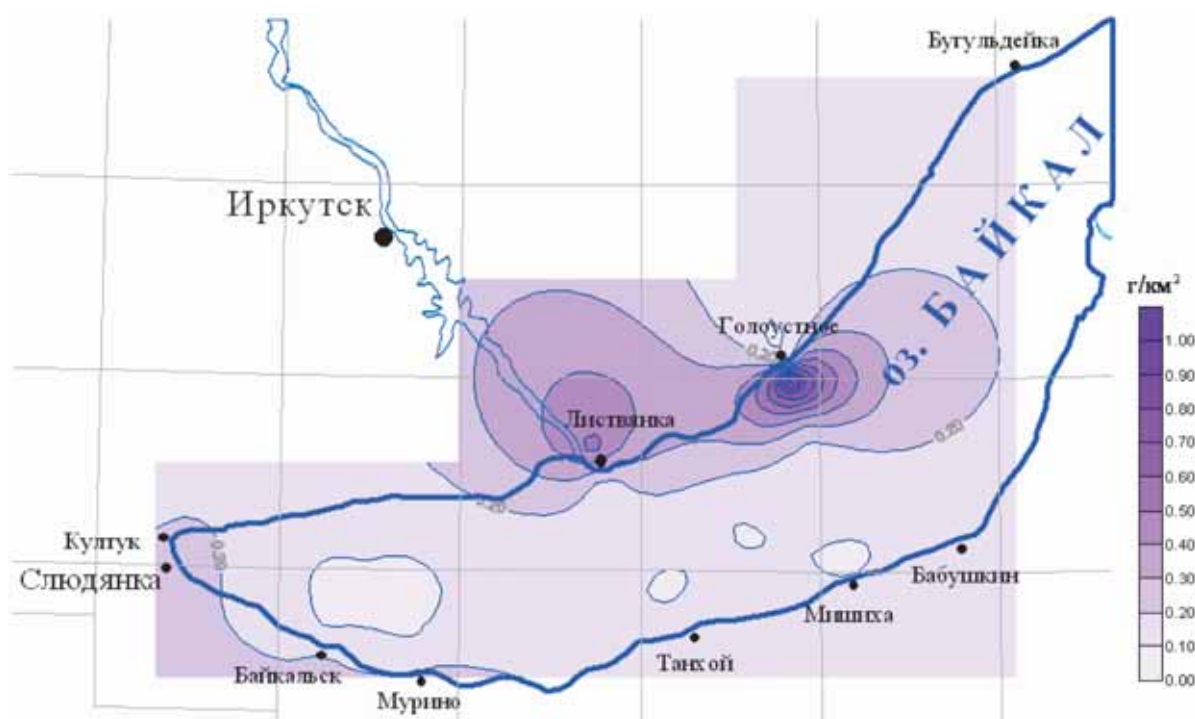


Рис. 2.6.14. Распределение концентраций ртути в снеговом покрове на акватории Южного Байкала

В целом, уровень накопления ртути в снеговом покрове Южного Байкала соизмерим с таковыми незагрязненных территорий Байкальского региона, но превышает фоновые значения севера Иркутской области (0,03 мкг/м²). Наибольшие концентрации ртути обнаружены в районах, прилегающих к населенным пунктам – Листвянка и Голоустное. Большая часть ртути в снеговом покрове Южного Байкала сорбирована на твердых частицах природного происхождения (в среднем 73%), что указывает на их определяющую роль в переносе ртути на акваторию озера. Концентрации ртути в большинстве исследованных проб снеговой воды и водах открытого Байкала близки по своим значениям. Все вышесказанное свидетельствует о слабом атмосферном переносе ртути в зимний период

на акваторию Южного Байкала, который главным образом осуществляется по долинам рек Ангара и Голоустная.

Биоаккумуляция ртути и других элементов в пелагической трофической цепи озера Байкал. Материалом для исследования послужили пробы гидробионтов различных трофических уровней пелагической пищевой цепи оз. Байкал (фитопланктона, мезозoopланктона, макрозоопланктона, органов и тканей пелагических бычковых рыб и байкальских тюленей), отобранные в разных котловинах озера (рис. 2.6.15).

Проведенные исследования по оценке содержания ртути в байкальской нерпе и ее трофической цепи свидетельствуют о низкой концентрации этого токсичного элемента в пелагической пищевой цепочке озера Байкал. Уровень накопления ртути в печени байкальского тюленя почти на два порядка ниже, чем у близкородственных видов пресноводных тюленей из озер Ладога и Сайма (рис. 2.6.15). Так как нерпа представляет собой высшее звено трофической цепочки Байкала, полученные данные отражают уровень содержания ртути во всей пелагиали озера. На основе этих результатов можно сделать заключение, что Байкал не подвержен значительному загрязнению этим токсикантом, несмотря на серьезную проблему техногенной эмиссии ртути в Прибайкалье.

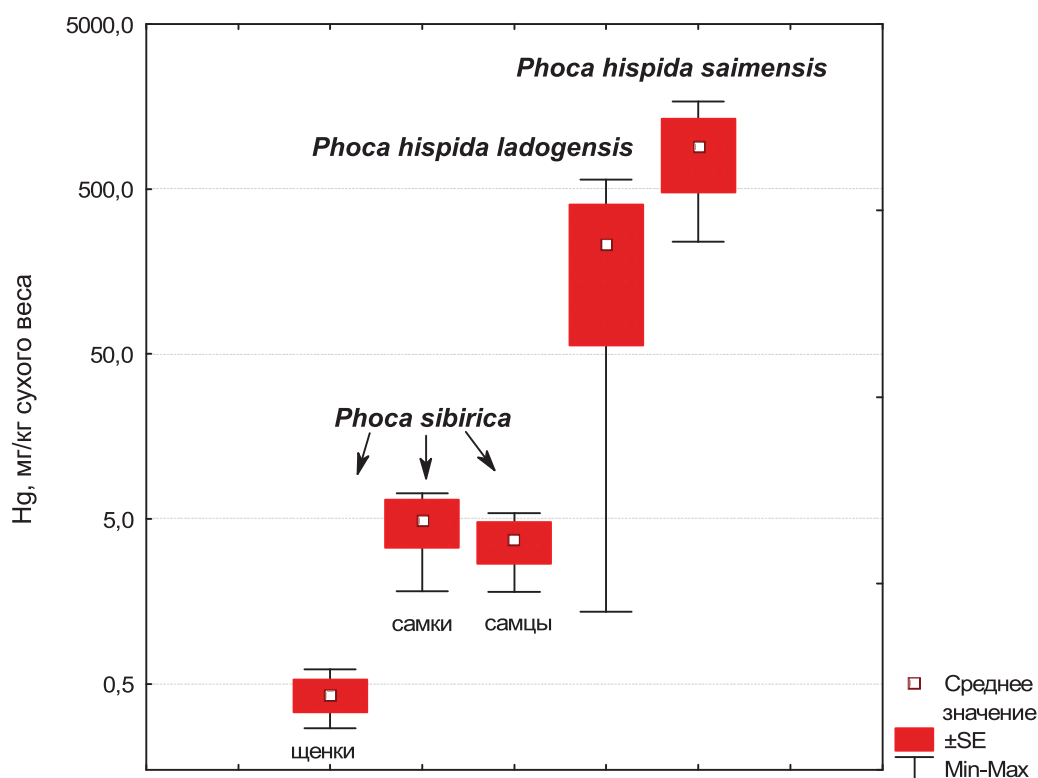


Рис. 2.6.15. Концентрация ртути в печени пресноводных тюленей: *Phoca sibirica* (озеро Байкал), *Phoca hispida ladogensis* (Ладожское озеро) (Medvedev, Kari, 1997) и *Phoca hispida saimensis* (озеро Сайма, Финляндия) (Kauranen, 1998)

Одним из методов измерения степени аккумуляции химических элементов в живых организмах является сравнение концентрации элементов в исследуемой ткани и в окружающей среде. Вычисленный коэффициент концентрации для ртути в печени нерпы ($CF = 4,36 \times 10^5$) демонстрирует высокую степень усвоения ртути организмом из всех источников поступления (вода, пища, воздух), в значительной степени превышая ее выделение в результате биологических процессов.

По сравнению с ртутью, фактор концентрации других элементов варьировал в промежутке от $< 3,5 \times 10^2$ для Si, Sr, Ba до $3,5 \times 10^4$ для Cd. Таким образом, ртуть имеет наибольший фактор концентрации в сравнении с другими химическими элементами, содержащимися в печени байкальской нерпы. Концентрация ртути находилась в позитивной корреляции ($p < 0,001$) с биометрическими параметрами, такими как длина и вес тела, толщина и вес жирового слоя, объем тела. Также концентрация ртути находилась в позитивной корреляции с Cd ($p < 0,00001$) и в негативной – с Mn ($p < 0,01$), Mo ($p < 0,01$) и Zn ($p < 0,05$). Ртуть аккумулируется в организме нерпы с возрастом, в то время как концентрация Mn, Zn и Mo была выше у щенков, чем у взрослых нерп. Результаты показали сильную статистическую зависимость концентрации ртути от пола исследуемых тюленей ($p < 0,01$, $F = 8,5$) и возраста ($p < 0,0000001$, $F = 44,9$), а также значительную степень взаимодействия между этими переменными ($p = 0,014$, $F = 5,3$). Нашим исследованием не было обнаружено различий в концентрации ртути в нерпе, обитающей в северном, южном и центральном бассейнах озера Байкал, а также как и между пойманными нерпами и найденными погибшими. Фактор биомagniфикации (BMF), основанный на отношении концентраций ртути хищник – жертва, был в несколько раз больше в высшем звене пищевой цепочки оз. Байкал (байкальском тюлене) в сравнении с нижними звеньями – планктоном и рыбой.

Учреждением Российской академии наук Институтом общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН (ИОЭБ СО РАН) в 2009 г. продолжены сезонные исследования микробных сообществ воды и прибрежных грунтов мелководных заливов озера Байкал - Провал и Посольский Сор. В заливе Провал общая численность микроорганизмов в воде составляла 0,1-3,1 млн кл/мл, в осадках – 0,4-1,4 млрд кл/мл, численность сапрофитных бактерий – 0,07-1,9 млн кл/мл в воде, 1,5-2,8 млн кл/мл в осадках. Количество бактерий в воде и в осадках залива Посольский Сор было меньше, чем в Провале. В воде заливов выявлена значительная доля сапрофитных бактерий, потребляющих легкоусвояемое органическое вещество. Сезонные колебания численности и в воде, и в осадках происходили в пределах одного порядка.

В заливе Провал изучено распределение численности бактерий и микробных процессов продукции по глубине водной толщи. Величины темновой ассимиляции углекислоты и фотосинтеза были сопоставимы (колебания от 0,4 до 1 мкг С дм⁻³ сут⁻¹). Общая численность микроорганизмов, численность сапрофитных и целлюлозоразрушающих бактерий с глубиной воды не снижались, как и скорости ассимиляции углекислоты и фотосинтеза. Численность бактерий в воде и в осадках по трансекте от берега на протяжении 40 м также существенно не менялась. Выявлены высокие значения темновой фиксации CO₂ в период интенсивного цветения воды 0,6-1,0 мкг С дм⁻³ сут⁻¹, как показатель высокой активности гетеротрофного микробного сообщества воды. Разложение первичных биополимеров – белка и целлюлозы - в заливе Провал было выше, чем в заливе Посольский Сор.

В воде и осадках изучаемых заливов озера определены продукция и деструкция органического вещества, их сезонная динамика. Продукция и деструкция в прибрежной воде были одного порядка. В заливе Провал продукция в воде колебалась от 0,013 до 0,21 мг С/л в сут, деструкция – от 0,013 до 0,15 мг С/л в сут. Интенсификация обоих процессов была отмечена в сентябре. Значения аэробной и анаэробной деструкции в осадках также были сопоставимы – аэробная деструкция протекала со скоростью 9,0-644 мг С/м² в сут, анаэробная - со скоростью 29-113 мг С/м² в сут. Максимальные значения зарегистрированы в августе. В заливе Посольский Сор средние значения продукции и деструкции были меньше, чем в Провале. Максимальные значения процессов в воде и в осадках были также отмечены в сентябре. Таким образом, в воде изученных заливов величины процессов продукции и деструкции были соизмеримы, наибольшие значения были отмечены в раннеосенний период. В осадках деструкция протекала как в аэробных, так и в анаэробных условиях, аэробная деструкция в большинстве измерений превалировала. Полученные дан-

ные позволяют говорить о том, что процессы продукции и деструкции в прибрежье заливов сбалансированы и зависят от условий окружающей среды.

Коллективом исследователей (ИОЭБ СО РАН, ЛИН СО РАН, Отдела физических проблем при БНЦ СО РАН, Иркутского государственного университета, Байкальского филиала ФГУ «Госрыбцентр», Бурятской республиканской научно-производственной ветеринарной лаборатории, Улан-Удэнского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Бурятского государственного университета) выполнены исследования по изучению состояния экосистемы озера Котокельское и экологической ситуации в связи со вспышкой Гаффской болезни.

Озеро Котокельское является одним из крупных в Забайкалье и самым большим по площади в Прибайкалье. Оно долгое время было самым высокопродуктивным водоёмом в Байкальской Сибири.

В процессе антропогенной эвтрофикации в экосистеме озера начались деструктивные процессы и оно потеряло рыбохозяйственное значение к началу 21 века. С начала апреля 2008 г. (акт от 03.04.2008) на оз. Котокельское началась массовая гибель рыб, а затем заболевания населения, проявляющиеся в парезе скелетной мускулатуры и острой почечной недостаточности, диагностируемые как синдром алиментарно-токсической пароксизмальной миоглобинурии (АТПМ), в том числе тяжелые и смертельные. Проведены исследования, характеризующие современное состояние экосистемы озера.

Гидрология озера. Исключительной особенностью оз. Котокельское, водоема с низким показателем водосбора (акватория – 70 км², водосбор – 183 км²) является своеобразие гидрологического режима в сезонном аспекте. Уровень воды в озере повышается в течение мая и июня за счет поверхностного стока, обеспеченного зимними осадками, достигает максимума в конце первой декады июля и понижается в течение июля – сентября. Тогда как в водоемах с большим показателем водосбора, как оз. Байкал, уровень воды повышается в течение всего вегетативного периода с максимумом в сентябре – октябре.

Качество вод озера. По градации качества водной среды по глубине видимости диска Секки (0,5–0,6 м в летний период и до 1,0 м – в зимний) оз. Котокельское относится к сильно *загрязненным* водоемам, которое нельзя использовать в целях рекреации.

По показателям водородного потенциала реакция воды значительно увеличились зимой и летом (2009 г.). Вместе с тем кислородный режим озера остался удовлетворительным (8,9 – 11,3 мг/л) летом и в подледный период (10,8 – 11,3 мг/л).

Содержание основных ионов в воде оз. Котокельское значительно ниже ПДК, определенных СанПиН для питьевой воды. Среди катионов преобладают ионы кальция и натрия, среди анионов – Cl^- и HCO_3^- . По показателям солености и концентрации различных ионов, исходя из экологии водных организмов (ГОСТ 17.1.2.04-77), вода в водоеме пресная, зона галобности – ксеногалобная.

Цветность и температура воды максимальны в июле. Содержание взвешенных веществ максимально в августе (до 19-29 мг/дм³). Максимальное превышение ПДК (предельно допустимые концентрации) отмечено для железа (в 10 раз), меди и цинка (в 4 раза). Превышение ПДК по нефтепродуктам локальное и невысокое (до 1,6 ПДК). Кроме того, превышение ПДК отмечено для марганца и фенолов, среди анионов отмечено преобладание серы в южной части и хлора в канализационных сливах в северной части озера.

В августе содержание азота нитритов повышалось до 1,2 ПДК. В поверхностных водах выявлено увеличение ХПК (до 2 ПДК в июле-августе), а также БПК₅ (до 3,7 ПДК – в августе). Эти показатели наилучшим образом отражают качество воды, связанное с ее загрязнением органическими веществами.

За период май-август 2009 г. в воде накапливался аммонийный азот в количествах, значительно превышающих ПДК. Согласно классификации качества воды по трофосапробным показателям (ГОСТ 17.1.2.04.-77), по содержанию данного иона озеро можно

отнести к *загрязненным* водоемам (май и август) и к *грязным* – в июне и начале июля. В этот же период в воде отмечены концентрации фосфатов, близкие к ПДК.

В воде притоков озера установлено низкое содержание нитратного азота и высокое количество аммония и фосфатов. По величине общей щелочности отмечено превышение ПДК в воде ручья, протекающего вдоль прохождения канализационного слива из базы отдыха «Сосновый бор».

Первичная продукция и фитопланктон озера. По содержанию хлорофилла *a* в воде (109 – 172 мкг/л) оз. Котокельское относится к *эвтрофным* водоемам с высокой продуктивностью фитопланктона в течение всего летнего периода. Высокая продуктивность озера связана с летним прогреванием водной толщи, присутствием и доступностью биогенных элементов.

В фитопланктоне оз. Котокельское в летний период 2009 г. наблюдалось массовое развитие одноклеточной цианобактерии *Microcystis aeruginosa* (50-70%).

Микроскопическими и молекулярно-генетическими методами в планктоне озера выявлены цианобактерии (*Microcystis aeruginosa*, *Limnothrix redekei*), близкородственные к цианобактериям - продуцентам токсинов. Предварительные исследования показали, что биомасса фитопланктона проявила существенный цитотоксический эффект против Sp2 и клеточных линий YAC-1. Токсичность воды в оз. Котокельское в несколько раз выше токсичности воды в устье р. Турки. В биомассе фитопланктона из озера был обнаружен *гепатотоксин Микроцистин – LR*.

Микробиологические исследования. По микробиологическим показателям (общая численность микроорганизмов и численность сапрофитов) воду оз. Котокельское можно отнести к *загрязненным* водам.

В донных отложениях общая численность микроорганизмов (ОЧМ) была на порядок выше, чем в воде. Наиболее высокая численность бактерий-деструкторов выявлена в июле - августе на всех исследуемых станциях, что связано с повышением температуры воды и их активной деятельностью в этот период.

Донные беспозвоночные. Ретроспективный и современный анализ состояния сообщества донных беспозвоночных (зообентос) оз. Котокельское показал значительные изменения его структуры и количественного состава за более чем 70-летний период исследований. Наибольшие трансформации отмечены в песчаной литорали озера, где от середины 1930-х к середине 1980-х годов наблюдалось резкое увеличение численности и биомассы двустворчатых моллюсков - фильтраторов, что вероятно, может быть следствием интенсификации рекреационной нагрузки в 1970-е годы. Южная глубинная зона к этому времени также претерпевает значительные изменения – на илистых грунтах наблюдается увеличение количественных показателей эвриоксибионтных личинок хирономуса («мотыля» - р. *Chironomus*). В эти годы мезотрофный водоем, не отличающийся высоким уровнем развития зообентоса, переходит в стадию *высокоэвтрофного и высококормного озера*.

Возрастающая в 1980-1990 гг. хозяйственная и рекреационная нагрузка и последствия вселения чужеродного вида водных растений – элодеи канадской (1986-2000 гг.), впервые отмеченной на участке поступления сточных вод санатория «Байкальский бор» - источника поступления биогенных элементов, явились катализатором катастрофических изменений в донных сообществах озера. Быстрая экспансия элодеи, ее вспышка в развитии в 1992 г. и последующее массовое отмирание к 2000 г. вызвали аноксичные условия в озере. В 1990-2000-е гг. на песчаных грунтах исчезают ранее обильные по биомассе двустворчатые и брюхоногие моллюски, заметно увеличивается доля олигохет, которые отличаются широким диапазоном условий существования и имеют большое значение в переработке органического вещества водоемов. В результате произошло резкое снижение (в десятки раз) продуктивности зообентоса, в том числе биомассы двустворчатых моллюсков – фильтраторов, наиболее чувствительных к недостатку кислорода, которая уменьшилась, по сравнению с 1986 г., в 1000 раз, а гаммарид – в 60 раз.

Одним из определяющих факторов процесса изменения структуры зообентоса является многолетние колебания уровня воды. При минимальных уровнях в маловодные годы происходит снижение численности и биомассы бентосных организмов вплоть до полного исчезновения на илах южной части (1995 г.). В многоводные годы наблюдалось некоторое улучшение экологической ситуации в донных биоценозах.

Феномен упрощения структуры зообентоса оз. Котокельское с низким уровнем количественного развития (по материалам 1990-2000 гг.) продолжался и в 2007-2008 гг. (до и во время вспышки «Гаффской» болезни), как свидетельство *длительной депрессии в сообществах донных биоценозах водоема*.

Наблюдения 2009 г. выявили начало процесса восстановления биоразнообразия зообентоса озера. На песчаных и илисто-песчаных грунтах увеличились (по сравнению с 2007-2008 гг.) численность и биомасса олигохет, брюхоногих моллюсков, амфипод и хирономид. В незначительном количестве на илисто-песчаных грунтах обнаружены двустворчатые моллюски, личинки поденок и бабочниц.

Ихтиофауна. В составе ихтиофауны оз. Котокельское в последнее десятилетие произошли значительные структурные изменения, выражающиеся в значительном увеличении доли мелкочастиковых видов плотвы и окуня и снижении численности ельца и крупночастиковых видов леща и язя, а также исчезновение щуки, голяна, налима, широколобки. Ранее самое высокопродуктивное озеро Забайкалья полностью потеряло рыбохозяйственное значение, а сейчас и как водоем любительского рыболовства.

В настоящее время установлено *катастрофическое* снижение характеристик линейного и весового роста всех видов рыб, обитающих в озере, а также практически их остановка после достижения половозрелости и дистрофические изменения формы их тела.

При сравнении с предыдущими десятилетиями, в современный период отмечено снижение интенсивности питания всех видов рыб от 2–3 раз до 10 и более. Из рациона рыб практически исчезли моллюски, и снизилось потребление амфипод – наиболее калорийных и доступных объектов питания, что наряду с другими факторами и определяет современное биологическое и физиологическое состояние рыб, населяющих озеро.

Паразитофауна рыб. В таксономическом составе паразитофауны (44 вида из 9 классов) промысловых рыб (плотва, окунь, лещ) преобладают трематоды – 11 видов и миксоспоридии – 9 видов, т.е. паразиты со сложным циклом развития через моллюсков для трематод и олигохет для миксоспоридий. Установлены видовые особенности паразитофаун плотвы и окуня и наличие локальных различий по зараженности рыб в южных и северных частях озера.

Доминантными видами по экстенсивности и интенсивности инвазий являются метарцеркарии трематод родов *Diplostomum* (паразитов глаз) и *Ichtyocotilurus* (паразитов полости тела), а также миксоспоридии *Myxidium rhodei*. Эти же виды имеют наибольшее эпизоотическое значение. Отсутствующие у плотвы ракообразные, пиявки, и глохидии двустворчатых моллюсков следует отнести к исчезающим видам в процессе эвтрофикации водоема. К этой же категории относятся цестоды *Proteocephalus torulosus* и *Ligula intestinalis*, промежуточными хозяевами которых являются планктонные копеподы. Ленточный червь *Trienophorus nodulosus*, исчезнувший вид в связи с выпадением из состава ихтиофауны щуки – облигатного окончательного хозяина этого гельминта.

Патогистология рыб. Характер патогистологических изменений (нарушение кровоснабжения, зернистая и жировая дистрофия, наличие очагов некроза и увеличение числа мелано-макрофагических центров) у незараженной плотвы свидетельствует о токсическом воздействии на рыб в оз. Котокельское. Усиление дистрофических и некротических процессов в печени зараженных особей свидетельствует о том, что паразитарный фактор усугубляет воздействие токсина и в совокупности с ним приводит к клеточной недостаточности печени и, вероятно, к первоочередной гибели зараженной рыбы.

Патогистологические изменения в почках плотвы вызваны как паразитарным фактором (миксоспоридиями), так и действием токсина. При этом, такие изменения как зер-

нистая дистрофия эпителиоцитов проксимальных канальцев нефронов, склероз стенки артерий и нарушение целостности стенки вен вызваны исключительно действием токсина.

Заболевание людей «Гаффской болезнью». На основании клинических проявлений АТПМ, эпидемиологических и литературных данных можно сделать предположение, что причиной АТПМ в Бурятии могут быть микроорганизмы, которые вырабатывают термоустойчивый миотоксин, разобщающий процессы окислительного фосфорилирования и не проникающий через гематоэнцефалический барьер.

Байкальским институтом природопользования СО РАН проведена оценка природно-антропогенного риска (на примере наводнений в приграничной части бассейна реки Селенга (РФ)) на основе ранее разработанной методики (2007-2008 гг.). Рассчитаны основные показатели опасности (повторяемость, величина наводнений и площадь затопления) по гидропостам бассейна на основе статистических данных многолетних наблюдений за уровнями воды за период 1936-2008 гг. Определение зон затопления выполнено с использованием дистанционного метода и ГИС технологий в масштабе 1:100000, что позволило уточнить площади сельскохозяйственных потерь. Разработаны три сценария развития наводнений, которые послужили объективным основанием для расчета показателей физического риска (возможных потерь). Показатель «удельный физический риск» является основным при картографировании и сравнительной оценке риска (табл. 2.6.5). Проведенное ранжирование территории по подверженности позволило выделить зоны разного уровня рисков от наводнений в бассейне реки Селенга (рис. 2.6.16, 2.6.17).

Таблица 2.6.5

Физический риск от наводнений в бассейне реки Селенга

№ п/п	Бассейны рек	Вероятность проявления наводнений, $P_{(H)}$, случаем/год	Территориальный риск (по бассейнам рек)		Сельскохозяйственный риск для Республики Бурятия		Социальный риск	
			Физический, $R_f(H) = S_{(H)} * P_{(H)}$, тыс. га / год	Удельный физический, $Rs_f(H) = S_{(H)}/S_{(O)} * P_{(H)}$, $n * 10^{-3}$ тыс.га / тыс.га год	Физический, $R_f(H) = S_{(H)} * P_{(H)}$, тыс. га / год	Удельный физический, $Rs_f(H) = S_{(H)}/S_{(O)} * P_{(H)}$, $n * 10^{-3}$ тыс.га / тыс.га год	Плотность населения по бассейнам рек, чел/км ²	Риск поражения населения, $Rs(H) = R_f(H) * d_p$, чел/год
1	Р. Джида	0,63	11,3	1,7	9,7	7,6	2,8	101,6
2	Р. Чикой	0,65	32,5	3,3	16,1	31,8	1,1	111,1
3	Р. Хилок	0,27	9,7	0,7	3,4	2,8	3,6	60,0
4	Р. Уда	0,44	21,0	2,0	17,2	10,8	5,9	587,5
5	Собственно р. Селенга	0,48	17,2	3,8	13,3	10,6	19,1	1239,9
6	Дельта р. Селенги	0,11	7,0	3,6	2,9	9,5	4,2	138,6
Итого в бассейне р. Селенга			98,7	2,5	62,6	12,2		2238,7

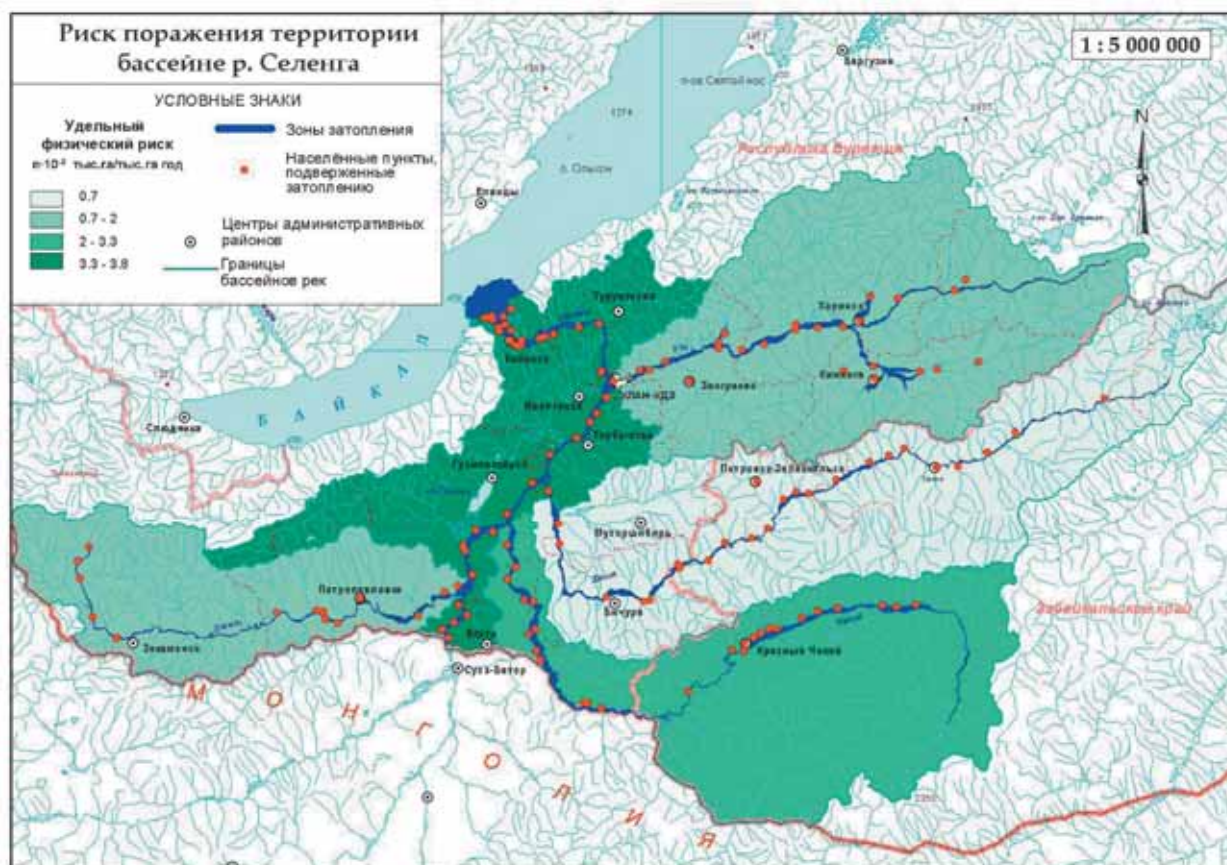


Рис. 2.6.16. Карта риска поражения территории в бассейне р. Селенги

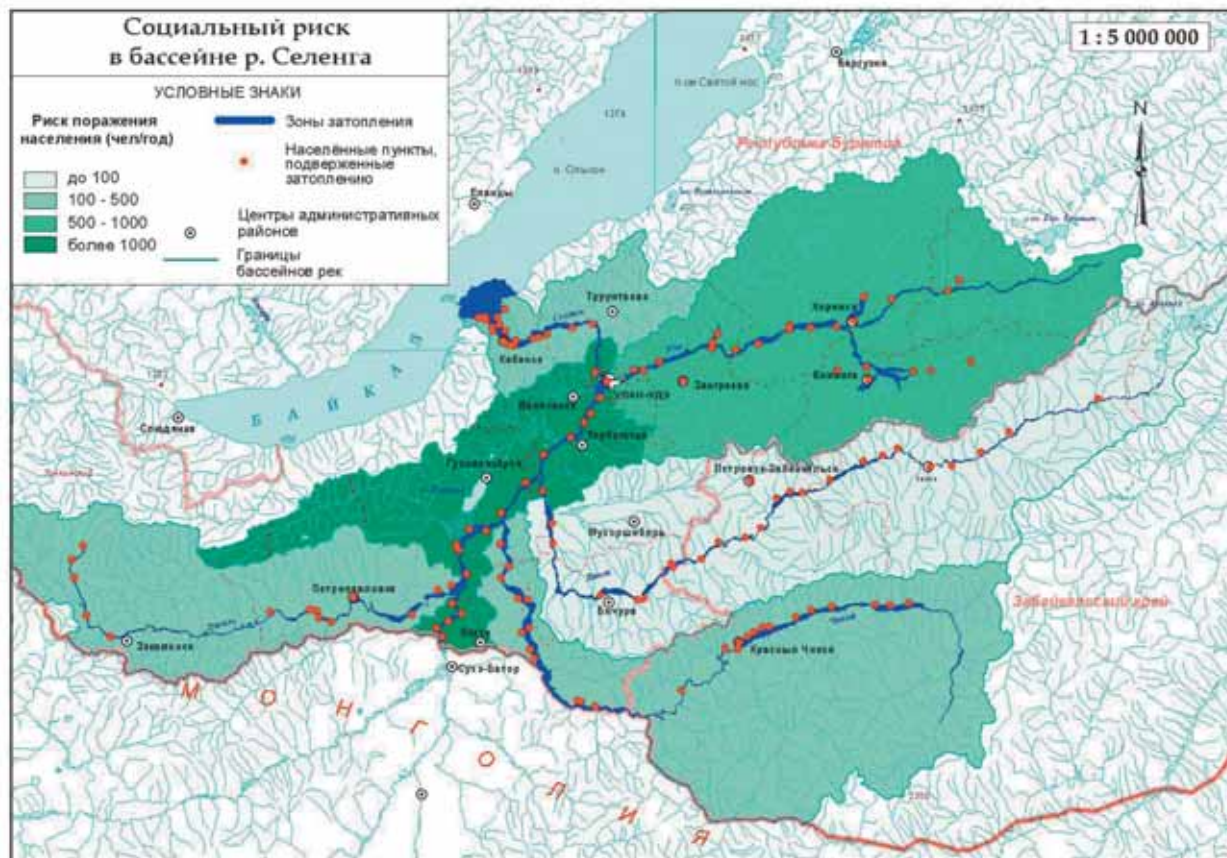


Рис. 2.6.17. Карта риска поражения населения в бассейне р. Селенги

Предложена блок-схема, отражающая структуру и функционирование международных трансграничных ООПТ, представляющих собой природоохранный тип географических структур (рис. 2.6.18). Установлено, что основной проблемой в развитии и функционировании международных трансграничных ООПТ является необходимость правового регулирования взаимоотношений между сопредельными государствами в области сохранения и рационального использования уникальных экосистем. Показано создание трансграничных ООПТ возможное при достижении межправительственных соглашений на базе единых международных правовых документов.



Рис. 2.6.18. Блок-схема структуры и функционирования международных трансграничных ООПТ

Проведена рекреационная дифференциация трансграничной территории Байкал – Хубсугул на основе послойного анализа следующих компонентов: природно-ландшафтная структура, природные, историко-культурные рекреационные ресурсы, рекреационная инфраструктура, структура землепользования, система расселения с выделением 4 рекреационных подрайонов и 6 ареалов рекреационного освоения (рис. 2.6.19). Границы рекреационных подрайонов в основном определены физико-географическими рубежами и приуроченностью к туристским инфраструктурным центрам, в основном к крупным населенным пунктам. Рекреационные подрайоны содержат ареалы рекреационного освоения, которые представляют собой территории с наибольшей концентрацией используемых рекреационных ресурсов. Границы ареалов проведены по крайним точкам осуществления рекреационной деятельности. Данный вариант районирования может использоваться для дальнейшего планирования развития туристской деятельности на трансграничных рекреационных территориях.

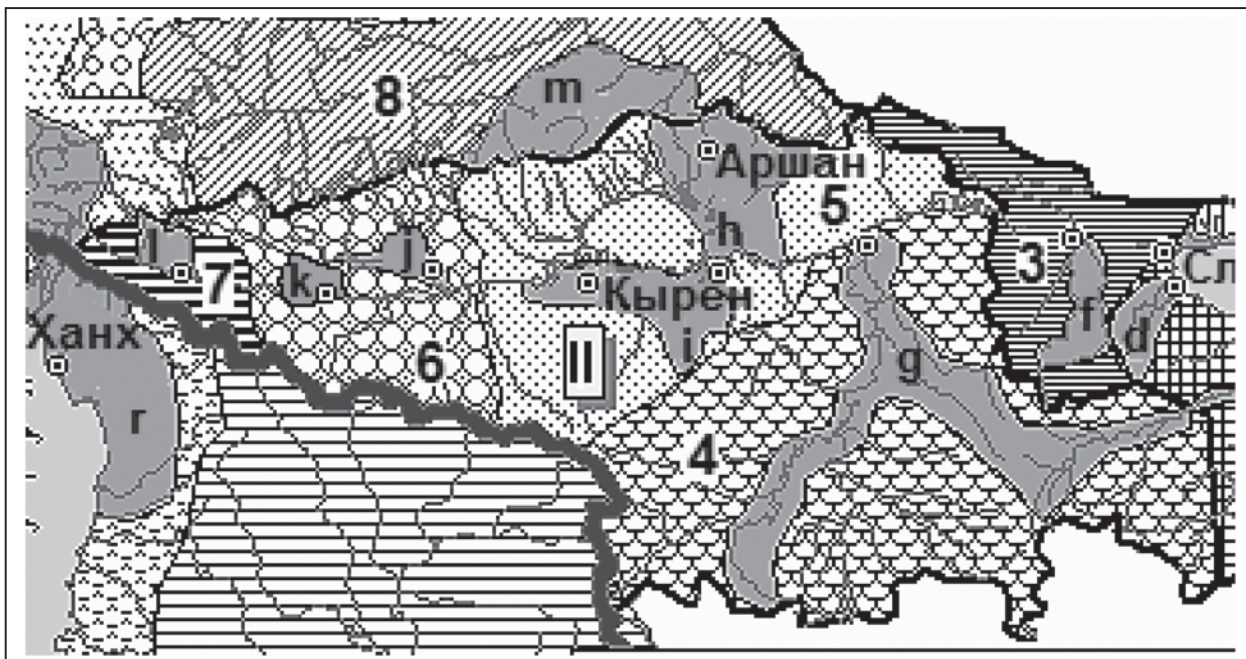


Рис. 2.6.19. Рекреационная дифференциация территории

Рекреационные подрайоны: 4) Хонгорульский, 5) Тункинский, 6) Туранско - Хойтогорьский, 7) Мондинский.

Ареалы рекреационного освоения: g – Зун-Муринский, h – Аршанский, i – Кыренский, j – Ниловский, k – Мойготский, l – Мондинский

На основе анализа взаимодействия экономических, экологических и социальных процессов трансграничных территорий объектом исследования определена единая трансграничная эколого-экономическая система, характеризующаяся определенными принципами формирования, критериями оптимизации и задачами управления трансграничной территорией. Все это позволило определить и сформулировать методические подходы к эколого-экономической оценке природных ресурсов и отдельных видов потребительской стоимости, разработать и адаптировать методические подходы по оценке экологических функций природных сред, предложить экономические регуляторы эколого-безопасного лесо- и рекреационного природопользования в условиях трансграничности. На основе предложенных методических подходов определена экономическая оценка истощения лесных ресурсов через рентную оценку, а также рассчитана величина предотвращенного экономического ущерба в результате проведения мер, снижающих негативное воздействие лесозаготовок на лесную среду.

Впервые для экономической оценки природного капитала предложены методологические подходы, рассматривающие стоимостную оценку общего потока выгод и оценку изменений в потоках выгод, поступающих от экосистем (рис. 2.6.20).

		Виды продукции, экологических услуг			
Выгоды от экосистемы сегодня		B_1	B_2	...	B_i
А) Выгоды от экосистемы в будущем без природоохранных мер		B_{1a}	B_{2a}	...	B_{ia}
Стоимость природоохранных мер	Б) Выгоды от экосистемы в будущем с природоохранными мерами (устойчивое лесопользование)	B_{1b}	B_{2b}	...	B_{ib}
Упущенная выгода (Ув)	Стоимость природоохранных мер (Сп)	Чистое увеличение выгод от экосистемы			
		? B_1	? B_2	...	? B_4

Рис. 2.6.20. Изменения в выгодах от экосистемы в зависимости от устойчивости

Проведенные исследования структурно-функциональной организации ландшафтов трансграничных и приграничных территорий позволили выявить особенности природопользования приграничных районов России и аймаков Монголии, степень трансформации природных комплексов, изменения в структуре природопользования и на их основе разработать методологию определения вероятности возникновения экологических рисков на трансграничных территориях, провести районирование территории по степени опасности возникновения природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, а также разработать карту природно-хозяйственного районирования бассейна р. Селенга (Россия и Монголия) (рис. 2.6.21).

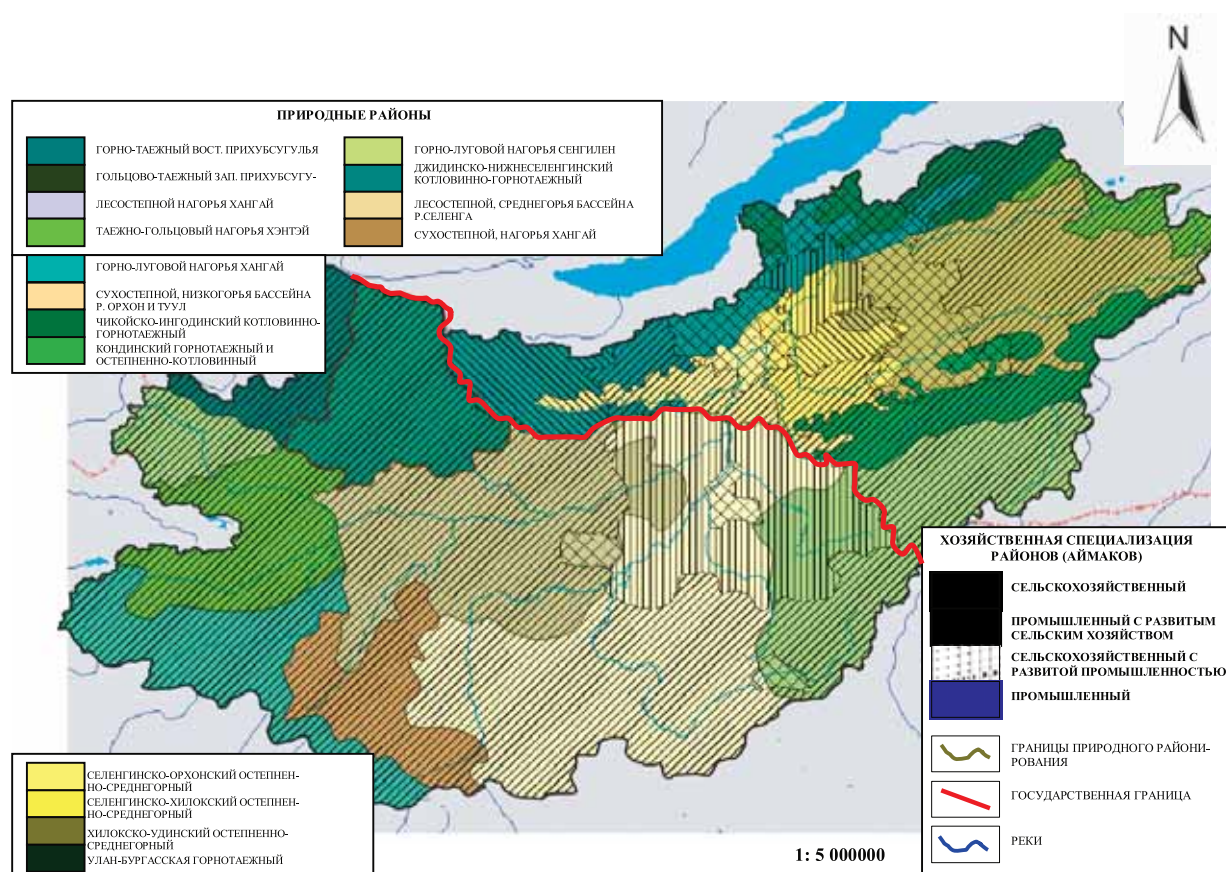


Рис. 2.6.21. Природно-хозяйственное районирование бассейна р. Селенга

В соответствии с принципами комплексного исследования трансграничной эколого-экономической системы выполнен анализ систем управления трансграничными территориями, нормативно-правовое регулирование, экономические инструменты в природопользовании России и Монголии (рис. 2.6.22). Проведен ретроспективный анализ программно-целевого управления природопользованием, выявлены особенности реализации программ различного уровня, источники финансирования и эффективность осуществления экологических мероприятий. Разработаны принципы формирования, критерии отбора и организационная структура для оптимизации управления трансграничной территорией. На основе выполненного эколого-экономического анализа природопользования предложены методические подходы к обоснованию платежей за загрязнение природной среды как целевого источника финансирования программного управления природопользованием. Предложенная базовая ставка платежей за загрязнение природных сред зависит от ассимиляционного потенциала природных компонентов трансграничных территорий, объемов выбросов и класса опасности поллютантов, что очень важно для внедрения данного экономического механизма в Монголии, снижения негативного воздействия на трансграничные объекты, человека и окружающую среду в целом. (РГНФ МинОКН Монголии № 07-02-92102 а/Г).

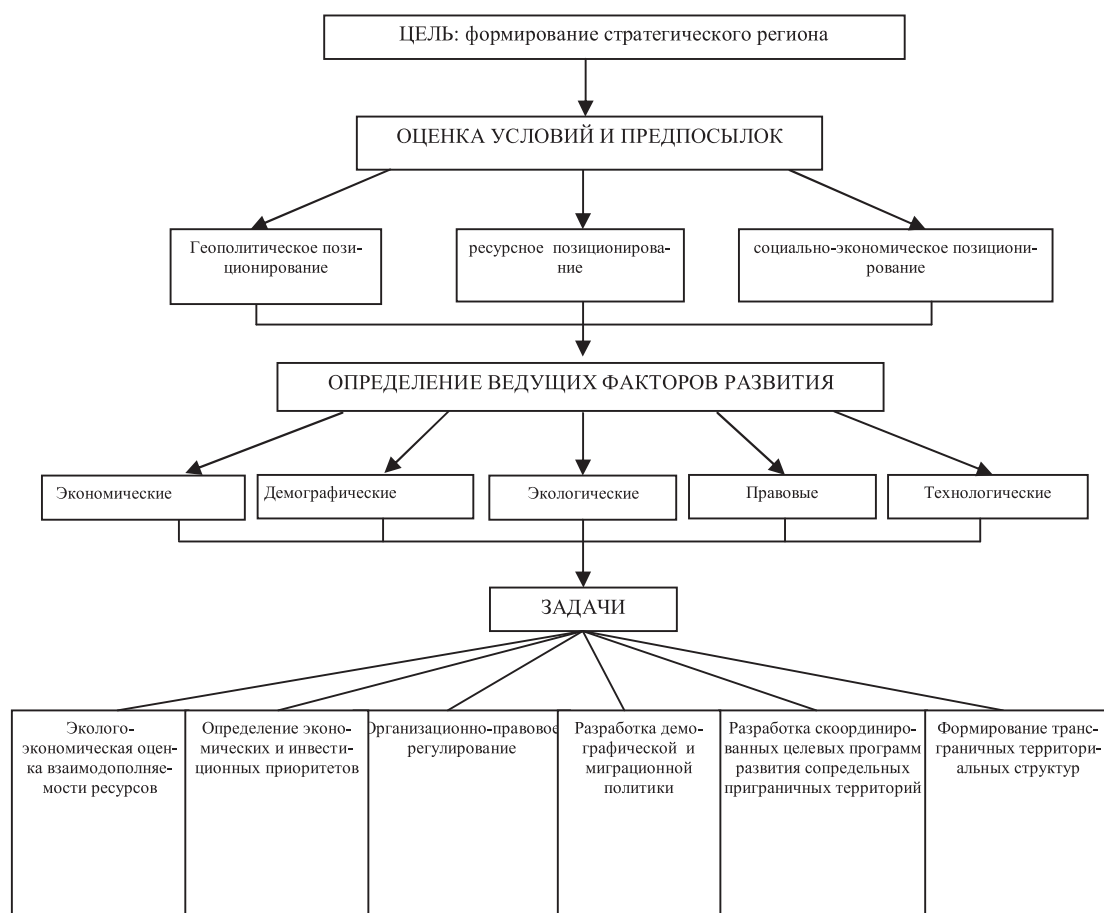


Рис. 2.6.22. Структура разработки Концепции сбалансированного эколого-экономического развития Байкальского приграничья и трансграничья

Создана Геоинформационная система природопользования трансграничной территории Байкальского региона, как технологическая база реализации стратегии управления региональными информационными потоками в целях устойчивого развития территории (рис. 2.6.23).



Рис. 2.6.23. Структура ГИС



а



б

Рис. 2.6.25. Заболевания пихты, вызванные сумчатым грибом *Lirula nervisequia* (а) и ржавчинным грибом *Melampsorella caryophyllacearum* (б).

Установлено также, что в высокогорном поясе Хамар-Дабана пихтовые древостои периодически поражаются солнечными ожогами (эффект Эбермайера), что ранее неоднократно принималось лесохозяйственными службами за действие атмосферных выбросов БЦБК (рис. 2.6.26). Суть этого явления заключается в интенсивной транспирации хвои при аномально высоких дневных температурах до схода снежного покрова. При этом активность корневой системы невелика и не обеспечивает необходимого поступления воды в кроны деревьев. От эффекта Эбермайера сильнее страдает молодая прошлогодняя хвоя, двухлетняя хвоя повреждается меньше, более старая нередко остается живой. Вполне жизнеспособными остаются «юбки» нижней части крон деревьев, скрытые под снегом, тогда как выше по стволам значительная часть ветвей усыхает, и кроны на протяжении многих лет остаются сильно изреженными. Такие ожоги пихты случались в Хамар-Дабане и задолго до строительства БЦБК (см. рис. 2.6.25 б).

На основе проведенных режимных наблюдений сделаны следующие выводы:

1. В пределах ареала пихты сибирской, наибольшим видовым разнообразием грибов-микровицетов выделяются пихтовые леса, подверженные избыточному атмосферному увлажнению (свыше 700-800 мм в год). Здесь же наибольшее развитие получают и грибные болезни;



a



б



в

Рис. 2.6.26. Последствия поражения хвои пихты солнечными ожогами (эффект Эбермайера) в субальпийском поясе Хамар-Дабана: *a* – состояние деревьев после ранневесеннего усыхания хвои в 2004 г., *б*, *в* – состояние деревьев спустя несколько лет после усыхания хвои: в 1960 г. и 1996 г.

2. Сублетальное воздействие серосодержащих загрязнителей на пихтовые древостой обуславливает активизации в них грибных эпифитотий. Комплексное ослабление пихтовников под влиянием атмосферного увлажнения;

3. Для получения объективного представления о состоянии деревьев, подверженных действию атмосферного загрязнения, недостаточно разовых снятий тех или иных физиолого-биохимических показателей; необходимы многолетние режимные наблюдения;

4. На территориях с повышенным атмосферным увлажнением обнаружена положительная корреляционная связь активности грибных эпифитотий с объемом серосодержа-

щих веществ в составе промышленных эмиссий и с уровнем накопления серы в хвое пихты.

5. Показано, что удовлетворительная фитопатологическая ситуация в пихтовых лесах Хамар-Дабана возможна при объеме промышленных эмиссий города Байкальска не превышающих 7-8 тыс. тонн в год;

6. Недопустимо размещение новых источников техногенных эмиссий на территориях, где горные леса из пихты сибирской произрастают в условиях избыточного атмосферного увлажнения.

2. *Исследована адвентизация флоры и фауны Байкальской природной территории (проект РФФИ 08-04-98058-р_сибирь_а).* Усиливающийся процесс адвентизации (внедрения чужеродных для региона видов) ведет не только к обеднению аборигенных сообществ, утрате региональной специфики биоты, но и к ее унификации, смешению флор и фаун отдельных регионов. Значительная часть адвентивных растений является сорняками, в том числе карантинными, а многие насекомые – опасными вредителями запасов и изделий, а также видами, ухудшающими санитарно-эпидемиологическую обстановку.

Процесс адвентизации имеет прогрессирующий характер и особенно усилился (в том числе в Иркутской области) в последние десятилетия. Всего на территории области в разное время отмечались 409 адвентивных видов растений – около 18 % флоры региона. Это почти на 2 % больше, чем доля заносных видов в Байкальской Сибири, которая включает помимо Иркутской области, Бурятию и Забайкальский край. Причем на территории области встречаются почти 90% всех заносных видов, приводимых нами для Байкальской Сибири.

Большая часть адвентивных видов растений и насекомых попадает на территорию области с транспортом, в основном по железной дороге и автомобильным трассам. К видам дичающих растений, «сбегающих из культуры», относятся менее 20 % видов, хотя их число в последнее время значительно возросло вместе с расширением ассортимента выращиваемых, особенно садоводами-любителями, культур. Часть культивируемых видов, дичая, проявляет себя агрессивно, внедряясь в естественные сообщества и вытесняя аборигенные растения.

Наибольшее число заносных видов растений закономерно регистрируется в южной равнинной части Иркутской области, по которой проходят основные транспортные магистрали. К тому же эта территория отличается самым мягким климатом, наибольшей плотностью населения и активной сельскохозяйственной деятельностью.

На примере Прибайкальского национального парка проведено исследование комплекса адвентивных растений особо охраняемых природных территорий. На территории парка отмечено 117 видов заносных растений, что составляет 8,4 % флоры парка. Это невысокий процент, учитывая, что во флоре области адвентивных видов 18 %. Но совершенно очевидно, что число заносных видов на территории парка будет увеличиваться и вполне возможно катастрофически с увеличением антропогенной нагрузки. Например, нарушенные степные участки могут послужить прекрасным плацдармом для поселения адвентов.

В настоящее время на юге Восточной Сибири также зарегистрировано 115 синантропных насекомых, из них 55 – являются адвентивными, внедрившимися в результате непреднамеренной интродукции.

Изучение вопросов влияния чужеродных видов на структурно-функциональную организацию биоты Иркутской области, мониторинг биологических инвазий и биоповреждений имеет большое значение как для сохранения естественной флоры и фауны региона, так и для оптимизации карантинных защитных мероприятий.

3. *Изучение биологии роста и размножения эндемичных бобовых растений прибайкальской флоры, находящихся под угрозой исчезновения (проект РФФИ № 08-04-98049-р_сибирь_а).* Повышение надежности сохранения редких и эндемичных растений может быть обеспечено при одновременном использовании разных способов их сохране-

ния. Наряду с охраной мест естественного обитания этих растений комплексный подход должен включать создание: 1) банка длительного сохранения жизнеспособных семян, 2) коллекций культур *in vitro*, 3) коллекций вегетирующих в открытом грунте растений в научных учреждениях и 4) возврат растений в места их произрастания (реинтродукция).

Разработка такого комплексного подхода на примере редких и эндемичных бобовых растений Байкальского региона, находящихся под угрозой исчезновения, является целью данного проекта, в рамках которого уточнены современные места произрастания и популяционная структура редких и эндемичных видов из семейства Fabaceae, собраны семена для закладки в банк семян редких растений Прибайкалья (хранение при -80°C), в том числе и с восточного берега Байкала (Бурятия), разрабатываются способы клонального микроразмножения и на этой основе создается коллекция выращиваемых в изолированной культуре растений. Создана коллекция растущих в открытом грунте растений, которая будет использоваться для изучения их роста и развития. На территории Прибайкальского национального парка выбраны участки, куда уже реинтродуцированы несколько видов исчезающих эндемичных растений из этой коллекции.