



Final report

Tender: RFQ_EMO_2012-009

"Study on Selenga Delta water quality issues"

Executor: Baikal Institute of Nature Management SB RAS

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Байкальский институт природопользования Сибирского отделения
Российской академии наук
(БИП СО РАН)**

УДК 556.114.6 (282.256.341./5)

«УТВЕРЖДАЮ»

**Директор Байкальского института
природопользования СО РАН,
чл.-к. РАН Тулохонов А.К.**

«29» ноября 2012 г.



ОТЧЕТ

О научно-исследовательской работе

**«Исследование вопросов, связанных с качеством водных ресурсов в
дельте реки Селенги»**

по контракту RFQ_EMO_2012-009

“Study on Selenga Delta water quality issues”

в рамках проекта ГЭФ/ПРООН

**«Комплексное управление природными ресурсами трансграничной
экосистемы бассейна оз. Байкал»**

(заключительный)

Улан-Удэ - 2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель, чл.-к. РАН, директор БИП СО РАН	Тулохонов А.К.
д.г.н., зам. дир. БИП СО РАН	Гармаев Е.Ж.
к.т.н., н.с. БИП СО РАН	Урбазаева С.Д.
к.б.н., с.н.с. БИП СО РАН	Болданова Н.Б.
к.х.н., м.н.с. БИП СО РАН	Пинтаева Е.Ц.
к.фарм.н., вед.инж. БИП СО РАН	Павлов И.А.
инж. БИП СО РАН	Базарсадуева С. В.
к.х.н., инж. БИП СО РАН	Попов Д.В.
отв. исполнитель от ЛИН СО РАН, к.г.н., с.н.с.	Сороковикова Л.М.
д.б.н., с.н.с. ЛИН СО РАН	Поповская Г.И.
к.г.н., с.н.с. ЛИН СО РАН	Синюкович В.Н.
к.г.н., н.с. ЛИН СО РАН	Томберг И.В.
вед.инж. ЛИН СО РАН	Башенхаева Н.В.
вед.инж. ЛИН СО РАН	Сезько Н.П.
вед.инж. ЛИН СО РАН	Лопатина И.Н.

Реферат

Отчет состоит из 83 машинописных страниц, содержит 9 таблиц и 25 рисунков, использовано 112 источников.

Дельта, водный сток, донные отложения, pH, концентрация главных ионов, растворенный кислород, биогенные элементы, тяжелые металлы, стойкие органические загрязнители, бактериопланктон, микроорганизмы, качество воды.

Объект исследования – дельта р. Селенги.

Цель данного проекта – исследование физико-химических и биологических процессов в дельте р. Селенги и оценка качества вод в современный период.

В работе использованы современные методы определения химического состава и санитарно-микробиологического состояния пресных вод и донных отложений в дельте р. Селенга.

В результате выполненных исследований получены данные, характеризующие условия формирования водного стока р. Селенги и ее дельты, пространственную динамику pH, растворенного кислорода, биогенных элементов, главных ионов, тяжелых металлов, бактериопланктона, фитопланктона в воде и донных отложений основных протоков дельты р. Селенги.

Обозначения и сокращения

ГСН	Государственная сеть наблюдений
ГХ-МС	газо-хромато-масс-спектрометрия
ГХБ	гексахлорбензол
ГХЦГ	гексахлорциклогексан
ДДТ	дихлордифенилтрихлорэтан
ДДЭ	дихлордихлорфенилэтилен
ДО	донные отложения
ДХФ	дихлорфенол
ЖК	жирные кислоты
КОЕ	колониеобразующая единица
МПА	мясопептонный агар
МЭЖК	метилловые эфиры жирных кислот
ОБУВ	ориентировочно безопасные уровни воздействия
ОМЧ	общее микробное число
ПАУ	полиароматические углеводороды
ПДК	предельно-допустимая концентрация
ПХФ	пентахлорфенол
ПЦР	полимеразная цепная реакция
СОЗ	стойкие органические загрязнители
ТМ	тяжелые металлы
ТМСЭ	триметил-силильные эфиры
ТХФ	тетрахлорфенол
ХОП	хлорорганические пестициды
ХФ	хлорфенол

Оглавление

Введение.....	7
1. Литературный обзор	8
1.1. Химический состав вод р. Селенги и проток ее дельты.....	8
1.2. Микрокомпонентный состав	12
1.3. Стойкие органические загрязнители	15
1.3.1. Загрязненность хлорфенолами бассейна р. Селенги и идентификация источников их поступления.....	17
1.3.2. Источники поступления хлорфенолов	20
1.4. Использование липидных компонентов как маркеров определения микробных сообществ донных осадков	22
2. Материалы и методы исследований.....	24
2.1. Гидрологические методы измерений	24
2.2. Методы исследования химического состава воды	24
2.2.1. Методы исследования микрокомпонентного состава воды и донных отложений	25
2.3. Методика исследования микробиологических характеристик	25
2.3.1. Метод газ-хромато-масс-спектрометрии	26
3. Результаты и обсуждение	32
3.1. Анализ и выбор точек наблюдения	32
3.1.1. Гидрологическая характеристика дельты р. Селенги	33
3.1.2. Распределение стока по протокам дельты	34
3.1.3. Тенденции межгодовой и сезонной изменчивости стока	38
3.2. Температура воды, растворенные газы и рН.....	42
3.3. Электропроводность, главные ионы и сумма ионов	43
3.4. Биогенные элементы	44
3.5. Изменение химического состава вод в протоке Харауз (пос. Кабанск- устье).....	48
3.6. Санитарно-микробиологическая характеристика	50



3.7. Липидные маркеры и структура микробного сообщества донных осадков проток дельты р. Селенги.....	52
3.8. Фитопланктон	55
3.9. Тяжелые металлы в поверхностной воде и донных отложениях	57
Заключение	64
Литература	67

Введение

Река Селенга – главный приток Байкала. Длина ее составляет 1024 км, из них 615 км река протекает по территории Монголии и 409 км в пределах России. Она несет в озеро до 50% водного и более половины химического стока. В нижнем течении Селенга разделяется на многочисленные протоки, образуя обширную дельту площадью 1120 км² [Богоявленский, 1974]. Наиболее интенсивное разделение русла отмечается ниже пос. Мурзино, откуда начинается нижняя дельта, занимающая около 600 км², большая часть из которых (85%) – периодически затапливается. Дельта – это уникальное природное образование, где органический и биогенный материковый сток трансформируется качественно и количественно вследствие интенсивного биотического круговорота (продукционно-деструкционных процессов), различных физических и химических факторов, включая обмен веществом в системе вода-грунт. Она служит естественным “биофильтром”, защищающим водоем от воздействия речных загрязненных вод, поступающих с водосбора. Трансформирующая и очищающая роль дельты р. Селенги максимальна в весенне-летний период и минимальна – в зимний. Основными аккумуляторами химических веществ в водотоках являются погруженная водная растительность, фитопланктон, фитобентос и бактериопланктон, развитие которых ограничивается теплым периодом.

В условиях интенсификации хозяйственной деятельности в бассейне р. Селенги, включая территорию Монголии, исследование физико-химических и биологических процессов в дельте реки является одной из актуальных задач в решении проблемы качества вод главного притока оз. Байкал, в значительной степени определяющего качество вод озера.

1. Литературный обзор

В рамках выполнения проекта был проведен аналитический обзор современной научно-технической и методической литературы по базовой информации, имеющей отношение к балансу воды и колебанию ее уровня, ее качеству, исследуемую в рамках НИР, в том числе обзор научных информационных источников.

1.1. Химический состав вод р. Селенги и проток ее дельты

Интенсивная хозяйственная деятельность на территории водосбора озера и в бассейнах его главных притоков осуществляется с начала 50-х годов прошлого века. В бассейне р. Селенги период 1950-1970 гг. характеризуется интенсивным развитием сельского хозяйства (распашка земель и орошение), строительством новых промышленных комплексов, ростом народонаселения. Эти преобразования повлекли за собой увеличение поступления промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод в русло реки. Многолетние комплексные исследования р. Селенги [Богданов, 1973, 1976; Младова, 1973; Поповская, 1960, 1974; Вотинцев, 1985; Сороковикова и др., 2000; Тулохонов, 2008] свидетельствуют о значительных изменениях динамики концентраций загрязняющих компонентов в воде, численности, биомассы и видового разнообразия бактерио- и фитопланктона. В 1970-е гг. концентрация минерального азота в воде реки достигала 3.2 мг/л, фосфора 0.110 мг/л [Обожин и др., 1984], тогда как в 1950-е годы их значения в основном не превышали 0.9 и 0.078 мг/л соответственно [Вотинцев и др., 1965]. Высокая биогенная нагрузка на реку остается и в настоящее время. Антропогенная составляющая в общем стоке нитратного азота с водами р. Селенги в створе пос. Мурзино достигает 57%, а минерального фосфора 42% [Сороковикова и др., 2001]. Увеличение концентраций азота и фосфора в воде р. Селенги не могло не отразиться на жизнедеятельности экосистемы реки в целом. В начале 1970-х годов Г.И. Поповская [1973; 1974] отмечает первые изменения в структуре фитопланктона – это увеличение

мелкоцентрических форм и общей численности фитопланктона. Биомасса фитопланктона в июне-августе 1958-1959 гг. составляла 340 мг/м^3 , в 1970-1971 гг. – $1000-1400 \text{ мг/м}^3$. Величина первичной продукции и деструкции в среднем за вегетационный период в нижнем течении реки составляли $0.61-0.98$ и $0.37-0.47 \text{ мг С/(л сут)}$ соответственно [Вотинцев, 1985]. Исследования, выполненные в конце 1980-х и начале 1990-х гг. показали, что максимальная численность фитопланктона в Селенге уже достигала 28 млн. кл/л и более чем в 2.5 раза превышала плотность 70-х годов [Поповская, Кузьмина, 1988]. При этом величина первичной продукции изменялась от 0.41 до $0.94 \text{ мг С/(л сут)}$, в среднем оставаясь близкой к таковой в 1970-х гг. ($0.62 \text{ мг С/(л сут)}$). При этом активность деструкционных процессов несколько снизилась и в среднем составляла $0.17 \text{ мг С/(л сут)}$ [Сороковикова, Авдеев, 1992]. Надо полагать, что высокие концентрации биогенных элементов в воде реки, привели к нарушению сбалансированности экосистемы, как это наблюдалось на других водоемах [Драбкова, Стравинская, 1989] подверженных загрязнению хозяйственно-бытовыми сточными водами. Снижение активности деструкционных процессов в реке обуславливает накопление в воде нетрансформированных органических веществ и ведет к ухудшению ее качества. Исследования, выполненные в 2001-2008 гг. [Сороковикова и др., 2009, а] показали, что в нижнем течении р. Селенги и протоках дельты с повышенным водообменом (протоки Харауз, Левобережная, Лобановская) качество воды близкое, концентрации компонентов в воде соответствуют уровню таковым в «чистых» и «удовлетворительно чистых» водотоках (таблица 1). Высокое содержание органических веществ (БО – 37.7 мг О/л) в протоке Колпинная, перемерзающей в верхнем течении зимой, приводит к снижению качества ее вод до уровня 4 класса – «загрязненная». В таблице 1 представлены результаты, характеризующие качество вод р. Селенги и проток дельты в наиболее оптимальные периоды развития планктона.

Таблица 1

Экологическая характеристика вод р. Селенга и проток ее дельты,
2001-2008 гг. [Сороковикова и др., 2009, б]

Показатели	р. Селенга		устье прот. Харауз		устье прот. Колпинная	
	зима	лето	зима	лето	зима	лето
рН	7.1-7.4	7.5-8.5	7.1-7.5	7.5-8.5	7.0-7.1	7.5-8.5
NH_4^+ , мг N/л	0.01-0.04	0.03-0.21	0.02-0.04	0.04-0.15	0.61-1.51	0.12-0.27
NO_2^- , мг N/л	0-0.002	0.001-0.002	0-0.002	0.001-0.003	0-0.002	0.001-0.003
NO_3^- , мг N/л	0.50-0.77	0.01-0.30	0.50-0.80	0.01-0.25	0.10-0.14	0.05-0.15
PO_4^{3-} , мг P/л	0.012-0.042	0.002-0.018	0.012-0.042	0.001-0.021	0.003-0.011	0.003-0.014
O_2 ,% насыщ.	48-62	91-102	53-67	90-101	4-8	77-109
ПО, мг O/л	0.8-1.3	2.6-3.3	0.9-1.9	2.4-3.8	2.0-3.9	2.5-3.9
БО, мг O/л	3.5-9.6	7.7-17.6	4.2-9.6	8.8-17.9	16.6-37.7	10.0-15.3
БПК ₅ , мг O ₂ /л	1.3-1.8	1.2-2.0	1.0-1.8	1.5-2.7	2.4-2.8	1.2-2.5
Биомасса фитопланктона, мг/л	0.1-0.2	0.5-5.0	0.2-0.8	1.0-5.0 (макс. 37)	14.0-16.0 (макс. 32.0)	1.0-5.0

Поступление в русло реки промышленных сточных вод с высоким содержанием главных ионов, также ведет к снижению качества воды. В 1971 г. сброс промышленных сточных вод в р. Селенгу в г. Улан-Удэ ежедневно составлял 39 тыс. м³, из которых 20 тыс. поступало без очистки. В р. Уду, впадающую в р. Селенгу в черте города, сбрасывалось до 40 тыс. м³ стоков после локальной очистки и 5 тыс. м³ без очистки. При этом, в сточных водах авиационного завода концентрация сульфатов достигала 340 мг/л [Грошева и др., 1991]. По данным [Ветров, 1997] за период с 1973 по 1983 г. в районе пос. Наушки концентрация сульфатов в селенгинской воде возросла с 10 до 20 мг/л, а в устье реки с 6.5 [Вотинцев и др., 1965] до 15-17 мг/л. Соответственно увеличился вынос сульфатов рекой – от 176-220 [Бочкарев, 1958; Вотинцев и др. 1965] до 450-490 тыс. т/год или в 2.8 раза. По данным Е.Н.Тарасовой и А.И. Мещеряковой [1992] за период с 1973 по 1987 гг. увеличение выноса сульфатов в Байкал с водами р. Селенги не превышало 30% . Как видно из приведенных данных, в этот период авторами получены неоднозначные оценки по выносу сульфатов, что, вероятнее всего, связано с использованием ими разных методов анализа.

Исследования химического состава воды р. Селенги, выполненные в последние годы в замыкающем створе реки (пос. Мурзино) показали, что концентрация сульфатов в воде в среднем составляет 8.4 мг/л, тогда как в 1950-ые годы она была 6.5 мг/л, а в 1970-ые достигала 12.4 мг/л [Обожин и др., 1984]. В составе селенгинской воды увеличилась доля сульфатов и одновалентных катионов, снизилась гидрокарбонатов и кальция. При этом вынос сульфатов с водами реки в Байкал в сравнении с 1950-ми годами увеличился примерно на 25% [Сороковикова и др., 2000]. Тенденция повышения сульфатов в речных водах сохраняется и в настоящее время.

В последнее десятилетие изменения климата в бассейне Байкала сопровождаются снижением водного стока, что ведет к снижению самоочищающей способности реки, повышению концентраций загрязняющих компонентов, увеличению интенсивности развития бактерио-

и фитопланктона. Наиболее отчетливо эти нарушения проявляются в периоды исключительно низкой водности. Так, в июле 2003 г. расходы воды Селенги составляли всего 52% месячной нормы, вследствие чего ионный сток реки, несмотря на повышенные значения минерализации, снизился до 0,34 млн. т. при средних июльских значениях 0.48-0.51 млн. т. В среднем за 1996-2005 гг. ионный сток Селенги из-за низкой водности был на 20% ниже нормы, а в наиболее маловодный 2002 г. – на 32% [Синюкович и др., 2010]. В этих условиях развитие фитопланктона достигало величин, характерных для гиперэвтрофных водоемов [Сороковикова и др., 2009].

О процессах эвтрофирования оз. Байкал, в котором сосредоточено более 80% пресных вод России до настоящего времени единого мнения нет [Бондаренко, 1997; Грачев, 1999, 2002]. О стабильности качества воды озера свидетельствует постоянство химического состава в глубоководной зоне озера [Грачев и др., 2004, Домышева, 2010]. Однако многолетние исследования фитопланктона свидетельствуют об изменении численности, биомассы и структуры фитопланктона в заливах Байкала и в районах мелководий [Измestьева и др., 2001; Генкал, Поповская, 2003].

1.2. Микрокомпонентный состав

Один из наиболее объективных и надежных показателей загрязнения водоема и общей антропогенной нагрузки на него является содержание тяжелых металлов (ТМ) в воде, донных отложениях (ДО) и биоте. В отличие от органических веществ, ТМ не подвержены деградации и могут лишь мигрировать и накапливаться в различных компонентах природной экосистемы. Накопление ТМ в ДО до концентраций, превышающих допустимые нормативы и фоновые, представляет собой опасность для качества вод из-за возможного вторичного загрязнения – выноса микроэлементов из ДО в воду [Мур, Рамамурти, 1987, Нахшина, 1985, 1993, Линник, 1986]. Высокие концентрации ТМ в ДО неблагоприятно отражаются на биологических компонентах [Бреховских, 2001; Яковлев, 2000]. Поскольку гидробионты активно аккумулируют из воды химические

соединения, в частности, соединения ТМ, информация о содержании последних в природных водах важна для понимания физиологического действия соединений металлов на водные организмы. Представляют большой интерес работы Папиной Т.С. [Папина, 1999, 2001, 2004; Третьякова, 2000], В.И. Осадчего [Осадчий, 1991, 1993], которые посвящены анализу существующих методов и подходов по изучению особенностей распределения тяжелых металлов в речных экосистемах.

До настоящего времени химический состав воды и донных отложений (ДО) в протоках дельты р. Селенги изучен преимущественно в период открытого русла. Изученность подледного периода исчерпывается наблюдениями в протоке Харауз в конце 1950-х – начале 1960-х гг [Вотинцев, 1965].

Основные исследования по стоку микроэлементов с водами р. Селенга в оз. Байкал выполнены Ветровым В.А., впервые в обзоре [Ветров, 1979] опубликованы сведения о содержании в водах р. Селенга 22 микроэлементов, в т.ч. металлов, полученные в 1973-1976 гг. Позднее эти сведения были дополнены данными о содержании Al, V, Ni, Cu и Pb, за 1978-1979 гг. [Ветров, 1983]. По результатам, полученным за 1970-1990 гг. [Ветров, Кузнецова, 1997] средняя многолетняя концентрация железа составила - 185, меди – 0.78, марганца – 12.5, цинка – 12.2, свинца – 0.24, никеля – 0.65, кобальта – 0.10 мкг/л.

В настоящее время изучением загрязнения поверхностных вод в т.ч. тяжелыми металлами р. Селенги занимается Бурятский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета, Государственная сеть наблюдений (ГСН). Наблюдения за качеством вод р. Селенги главного притока оз. Байкал производятся на участке от государственной границы с Монголией (пгт. Наушки) до устья (с. Мурзино), всего в 5 пунктах (9 створах). По данным ежегодно публикуемого Государственного доклада «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране» у пгт. Наушки в 100% случаев наблюдалось превышение ПДК по

содержанию Fe общ. и Mn, а также в 80% по меди [Государственный доклад, 2010]. В самой дельте р. Селенги исследования на содержание ТМ не проводятся.

Системные исследования поверхностных вод и донных отложений на загрязнение тяжелыми металлами проводятся с 2001 г. по настоящее время сотрудниками Байкальского института природопользования. По данным многолетних результатов комплексного исследования дельты р. Селенга, полученных с 2001-2012 гг. [Хажеева, 2004, 2005, 2008; Урбазаева, 2012] отмечено, что изменение гидрологических условий на р. Селенга в значительной степени определяет динамику концентраций химических компонентов в реке и протоках ее дельты. Получены данные сезонной динамики концентрации металлов Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Cd и Pb в воде, донных отложениях. За период наблюдений установлены общие тенденции распределения ТМ по протокам. В воде проток дельты средние концентрации свинца изменяются от 0.1 до 11 мкг/л. Максимальные концентрации этого элемента отмечались в зимний период. Летом и осенью концентрации снижаются до минимума 0.1 – 0.5 мкг/л, вследствие увеличения разбавляющего влияния водного стока. Внутригодовая динамика концентрации железа имеет свои особенности. В воде проток с высоким водообменом, как и в р. Селенге, наибольшие концентрации Fe зарегистрированы в период весеннего половодья или летних паводков за счёт поступления с водосбора. Минимальные концентрации 55-169 мкг/л отмечались зимой, когда питание реки осуществляется за счёт грунтовых вод. В то же время в воде устьев проток центральной части Колпинная, Средняя, которые замерзают зимой и отличаются низким водообменом, содержание железа больше и колеблется в пределах 450-600 мкг/л. Приведённые концентрации превышают в 2-12 раз ПДК для рыбохозяйственных водоёмов. Содержание растворённого марганца в воде устьев магистральных проток Харауз и Лобановская варьирует в пределах 50-70 мкг/л, а в устьях проток с малым водообменом Колпинная, Средняя –

100- 120 мкг/л. Концентрации марганца превышают в 2 раза ПДК для рыбохозяйственных водоёмов. Средние концентрации растворённых Zn и Cu в воде проток и устье реки п. Кабанск практически близки и изменяются в интервале 3-8 мкг/л и 5-20 мкг/л соответственно. Сравнение с ПДК рыбохозяйственных водоёмов обнаруживает, что концентрации Zn не превышают нормативы, тогда как концентрации растворённого Cu превышают в 5-20 раз. Концентрация растворённого Cd в устьях проток с высоким водообменом Харауз, Лобановская и р. Селенга не превышает 0,6 мкг/л, а в устьях проток центральной дельты Колпинная, Средняя повышается до 2,0 мкг/л. В недавно вышедшей работе [Чебыкин, 2012] подробно рассмотрены результаты экспедиций 2010 г. по современному состоянию поверхностных вод р. Селенги. Авторы отмечают в основном створе р. Селенги и ее притоков наблюдаются превышение ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения по Mo, Mn, Cu, Al, Fe, V.

Несмотря на обширный накопленный материал необходимо продолжение исследований с целью выявления механизма трансформации тяжелых металлов в системе «река - дельта - оз. Байкал».

1.3. Стойкие органические загрязнители

Для сохранения биоразнообразия озера необходимо установить уровень загрязнения и пути поступления загрязнителей. Особого внимания заслуживают стойкие органические загрязнители (СОЗ), признанные опасными экотоксикантами. В мае 1995 г. Совет управляющих ЮНЕП принял решение 18/32 по стойким органическим загрязнителям, согласно которому опубликован список особо опасных 12 СОЗ (пентахлорбензол, диоксины, фураны, альдрин, дильдрин, дихлордифенилтрихлорэтан, эндрин, хлордан, гексахлорбензол, мирекс, токсафен, гептахлор). Поэтому высокую актуальность приобретают исследования содержания хлорорганических пестицидов (ХОП) в экосистемах как самого озера, так и его бассейна, в том числе из «списка 12». В таблице 2 приведены данные измерений ХОП в донных отложениях [Тулохонов, 2008].

Содержание хлорорганических пестицидов в донных отложениях

Место отбора проб	А-ГХЦГ	Г-ГХЦГ	ДДЭ	ДДТ
	нг/г сухой массы			
Харауз, дельта	-	0.5	0.31	-
Харауз, 1 км от выхода (бакен)	2.3	1.3	1.2	5.0
Харауз, 3 км от выхода	-	0.71	2.4	18
Харауз, 5 км от выхода	-	1.5	-	-
Харауз, 7 км от выхода	0.76	0.32	0.38	3.4
Средняя, 3 км от выхода	-	1.0	0.30	2.3
Средняя, 5 км от выхода	0.14	0.6	0.50	3.0
Средняя, 7 км от выхода	-	0.32	0.51	9.6

ДДТ. В исследованных пробах содержание дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) изменялось от 0.6 до 18 нг/г сухой массы, содержание дихлордихлорфенилэтилена (ДДЭ) составило 0.3/2.6 нг/г, а суммарное содержание ДДТ и ДДЭ (Σ ДДТ) – 0.31-20 нг/г (таблица 2). Обнаруженные концентрации достаточно высоки, так как в ранее исследованных пробах донных отложений притоков оз. Байкал содержание Σ ДДТ не превышало 1.6 нг/г [Цыденова и др., 2003], а в донных отложениях самого озера – 2.7 нг/г [Iwata et al., 1995]. Повышенные концентрации ДДТ, вероятно, связаны с выносом его р. Селенгой. Отношение концентрации ДДТ к концентрации его основного метаболита ДДЭ (ДДТ/ДДЭ) используется для

определения времени попадания технического ДДТ в окружающую среду [Тулохонов и др., 2008]. Например, соотношение $ДДТ/ДДЭ \geq 0.91$, установленное для донных отложений в Бразилии, свидетельствует об использовании ДДТ не более чем за пять лет до проведенного исследования [Travares et al., 1999].

ГХБ. Присутствие ГХБ в экосистеме дельты р. Селенги обусловлено поступлением ГХБ с водами р. Селенги, где содержание ГХБ составляет 0.2–1.2 нг/л (в донных отложениях р. Селенги содержание ГХБ составляет 8.8–16.2 нг/г сухого веса) (станции с. Творогово – 15 км ниже г. Улан-Удэ) [Чебунина, 2011].

ГХЦГ. Суммарное содержание Σ ГХЦГ в зоне впадения Селенги в оз. Байкал изменялось в интервале 0.32–3,7 нг/г (таблица 2), что сопоставимо с содержанием Σ ГХЦГ в донных отложениях притоков оз. Байкал (0,64–4,6 нг/г) [Цыденова и др., 2003], но на порядок выше, чем в донных отложениях самого озера (0,019–0,12 нг/г) [Iwata et al., 1995].

Высокие концентрации ГХЦГ в исследованных донных отложениях Селенгинского мелководья оз. Байкал и в исследованных ранее донных отложениях притоков озера [Цыденова и др., 2003] по сравнению с концентрациями в донных отложениях самого озера [Iwata et al., 1995] свидетельствуют о поступлении ГХЦГ с водой и донными отложениями р. Селенги. Такое предположение было высказано ранее [Iwata et al., 1995], когда при исследовании донных отложений оз. Байкал было обнаружено, что концентрации ГХЦГ выше в зоне впадения р. Селенги [Тулохонов и др., 2008].

1.3.1. Загрязненность хлорфенолами бассейна р. Селенги и идентификация источников их поступления

Хлорфенолы (ХФ) относятся к токсичным органическим загрязнителям, которые практически всегда присутствуют в природных водах. Токсичность фенолов повышается с увеличением числа атомов хлора в молекуле, поэтому среди хлорфенолов наиболее токсичным является

пентахлорфенол, обуславливающий возникновение так называемого «хлоракногенного фактора». Например, пентахлорфенол и 2,4,6-тетрахлорфенол обладают выраженными канцерогенными и мутагенными свойствами и могут вызывать хромосомные изменения.

В Байкальском регионе источником поступления ХФ в водные экосистемы являются сточные воды и отходы БЦБК, где ХФ образуются из лигнина на стадии отбелики целлюлозы хлором.

Был исследован уровень загрязнения хлорфенолами бассейна р. Селенги в поверхностных водах проток дельты Селенги (таблица 3) [Тулохонов и др., 2008].

Таблица 3

Содержание хлорфенолов в водных пробах

№ станции	Станции отбора проб (дельта р. Селенги)	Соединение, мкг/л				
		2-ХФ	ΣДХФ	ΣТХФ	ПХФ	ΣХФ
1	прот. Средняя	0.39	1.19	0.11	"	1.69
2	прот. Харауз	0.43	0.58	0.76	"	1.77
3	прот. Лобановская	0.39	нд	0.15	"	0.54
4	прот. Колпинная	нд	1.33	0.05	"	1.38

Примечание: нд – нет данных, не обн. – соединение не обнаружено в пробе.

2-ХФ. Во всех пробах концентрации 2-ХФ не превышают предельно допустимую концентрацию (ПДК) для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (1.0 мкг/л) [Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.689-98, 1998], но не превышают ПДК для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение (0.1 мкг/л) [Перечень..., 1999] (рисунок 1).



Рисунок 1. Содержание 2-хлорфенола в природной воде (мкг/л)

Следует отметить, что повышенное содержание 2-ХФ (до 0,48 мкг/л) в воде Селенги характерно как для придельтовой части (с. Мурзино), так и для самой дельты реки (протоки Средняя, Харауз, Лобановская) [Тулохонов и др., 2008].

2,4-ДХФ и 2,6-ДХФ. В воде р. Селенги и ее притоков суммарные концентрации изомеров дихлорфенола (ДХФ), как и в случае 2-ХФ, не превышают ПДК согласно [Гигиенические нормативы ГН ГН 2.1.5.1315-03, 2003] – 2.0 мкг/л, но превышают ПДК для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение (0.1 мкг/л) [Перечень..., 1999] (рисунок 2).

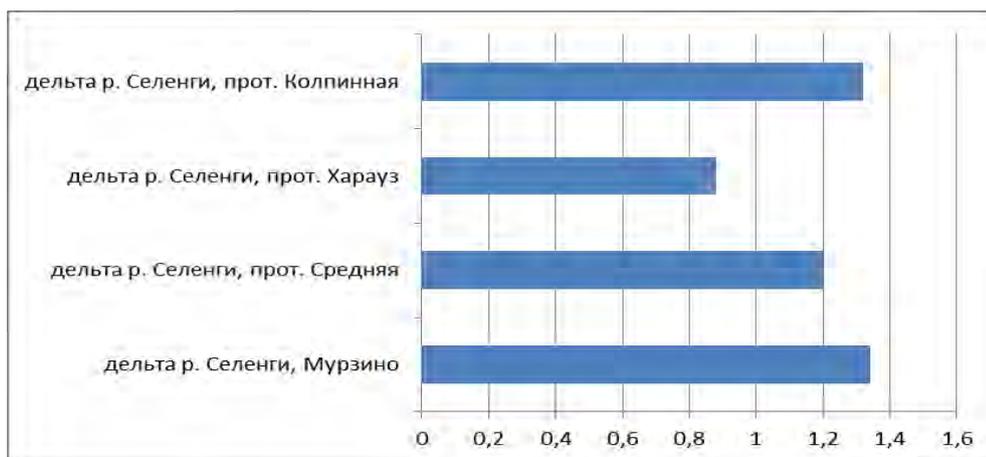


Рисунок 2. Содержание 2,4- и 2,6-дихлорфенола в природной воде (мкг/л)

В дельте Селенги обнаружены максимальные концентрации изомеров ДХФ (0,58-1,33 мкг/л), сопоставимые с уровнем ДХФ в воде оз. Байкал ниже сброса сточных вод БЦБК (1,11 мкг/л) [Тулохонов и др., 2008].

2,4,5-ТХФ и 2,4,6-ТХФ. Изомеры тетрахлорфенола (ТХФ) обнаружены во всех исследованных водных пробах. 2,4,6-ТХФ считается самым распространенным ХФ природного происхождения. До настоящего времени он определялся в незагрязненных озерных и речных водах в Швеции и Финляндии, насыщенных гумусовыми веществами [ATSDR, 1999; The Natural Chemistry..., 1999; Hodin et al., 1991]. Поэтому присутствие ТХФ в воде р. Селенги может быть обусловлено, прежде всего, его продуцированием в результате естественного хлорирования растворенных в воде гумусовых веществ. Максимальные концентрации изомеров ТХФ обнаружены в пробах воды в р. Селенги, отобранных в районе п. Кабанск и с. Мурзино (0.92 и 0.63 мкг/л), в прот. Харауз в дельте реки (0.76 мкг/л); источники их здесь преимущественно природные, поскольку значительно превышают содержание в воде оз. Байкал ниже выпуска сточных вод БЦБК и пруда-аэрата (антропогенный источник).

ПХФ. Пентахлорфенол (ПХФ) обнаружен в воде р. Селенги у границы с Монголией (пгт. Наушки) и в районе с. Новоселенгинск – 0.13 и 0.08 мкг/л соответственно. Максимальная концентрация ПХФ обнаружена в воде пруда аэрата БЦБК (2,99 мкг/л) [Тулохонов и др., 2008].

1.3.2. Источники поступления хлорфенолов

Как известно, антропогенными источниками поступления ХФ в водные экосистемы являются промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды. ХФ образуются при обеззараживании питьевой воды хлором и при использовании антисептических средств в медицине [ATSDR, 1999; Environmental Handbook, 1995]. Кроме того, ХФ поступают в экосистемы в результате дезинфекции оборудования на пищевых предприятиях и использования населением хлорсодержащих средств для отбеливания и чистки [Тулохонов и др., 2008].

ПАУ. В донных отложениях дельты р. Селенги уровень загрязнения ПАУ составил 5.9–501.1 нг/г сухого веса (протоки Средняя – Лобановская).

Для донных отложений р. Селенги содержание ПАУ было значительно ниже и составило 35.2–53.5 нг/г сухого веса (станции с. Кабанск – пос. Никольск).

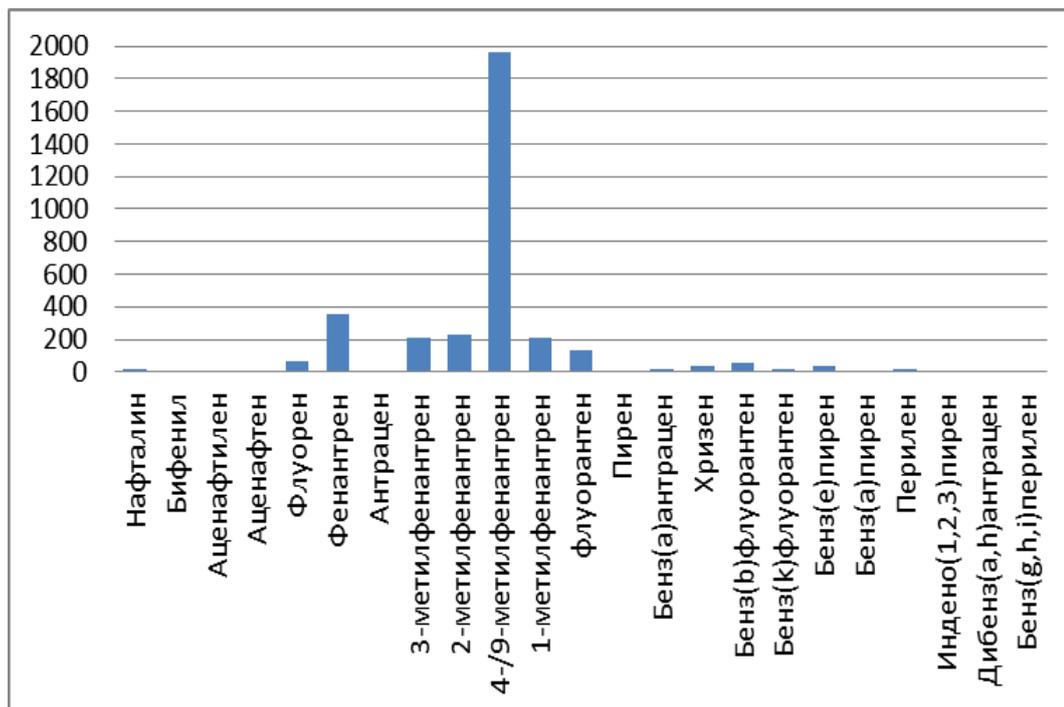


Рисунок 3. Содержание ПАУ в образцах донных отложений дельты реки Селенги, нг/кг сухой массы [Batoev et al., 2003]

По данным другого исследования [Nikanorov et al., 2011] в дельте Селенги наблюдалось увеличение содержания бенз(а)пирена в 3.9 раз при переходе от прибрежных песков на глубине ~10 м к глубинам 20-25 метров. На глубине 25-60 м концентрация бенз(а)пирена уменьшалась в 1.4 раза (рисунок 4).

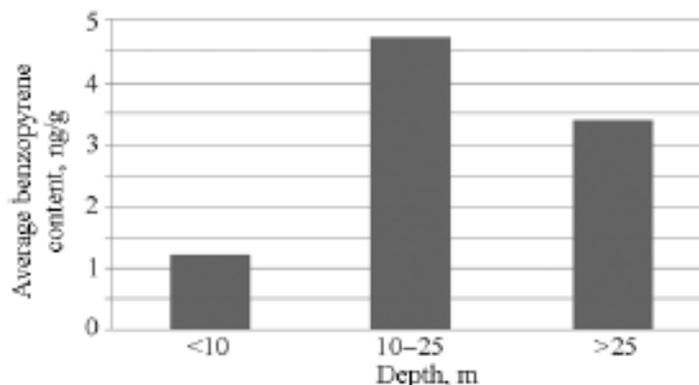


Рисунок 4. Средняя концентрация бенз(а)пирена в донных отложениях дельты р. Селенги на различных глубинах

1.4. Использование липидных компонентов как маркеров определения микробных сообществ донных осадков

Донные осадки традиционно используются в качестве индикатора для выявления состава, интенсивности и масштаба техногенного загрязнения водных экосистем [Янин, 2004]. Аккумулируя загрязняющие вещества донные отложения с одной стороны способствуют самоочищению водной среды, с другой стороны – являются постоянным источником вторичного загрязнения [Кондратьева, 2000].

В донных отложениях водных экосистем формируется микробное сообщество, благодаря жизнедеятельности которой осуществляются такие глобальные биосферные процессы, как деструкция органического вещества и биогеохимический круговорот веществ. Микробное сообщество представляет совокупность взаимодействующих между собой организмов занимающих определенные фундаментальные ниши в экосистеме и связанных между собой трофическими взаимодействиями [Заварзин, 2004, 2008]. Трофическая структура микробного сообщества определяется взаимодействиями между функциональными или эколого-трофическими группами микроорганизмов, а экофизиологическое разнообразие микробов определяется условиями среды. В связи с этим актуально исследование экологических аспектов структуры и функционирования донных микробных сообществ.

Исследованиями многих авторов показано, что состав клеточных липидных компонентов, определяемый методом газо-хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС), может служить достоверным таксономическим признаком и использоваться для идентификации ряда микроорганизмов [Moss, Lewis, 1967; Moss et al., 1972].

Наличие специфических веществ (маркеров) в клеточных компонентах и метаболитах микроорганизмов открывает возможность для направленного поиска и идентификации микроорганизмов в сообществах с использованием метода ГХ-МС. Нечетные, разветвленные и циклопропановые жирные кислоты и жирные альдегиды встречаются исключительно у бактерий, а

высшие жирные бета-оксикислоты присущи только граммотрицательным микроорганизмам. К настоящему времени состав жирных кислот большинства микроорганизмов изучен, показана его воспроизводимость, доказана родо- и видоспецифичность ЖК. Метод детектирования микроорганизмов по ЖК-маркерам сходен с генетическим анализом (ПЦР – полимеразная цепная реакция, определение последовательности нуклеотидов 16sРНК и пр.), поскольку состав ЖК детерминирован в ДНК и воспроизводится путем репликации участка генома транспортными РНК и последующего синтеза ЖК по матричным РНК. То есть профиль ЖК так же консервативен, как и строение ДНК [Stead, 1992; Вейант, 1999].

Жирные кислоты клеточных мембран микроорганизмов можно с успехом применять в качестве биологических маркеров для определения путей передачи органического вещества в биологических системах, присутствия и вклада отдельных групп макро- и микроорганизмов, а также для определения таксономических связей различных групп растений и животных [Gunstone, 1994; Имбс, 2012].

Таким образом, анализ литературных данных показал, что за последние 50 лет под влиянием антропогенных факторов природный химический состав, качество воды р. Селенги и вынос компонентов в оз. Байкал претерпевают изменения. Цель данного проекта – исследование физико-химических и биологических процессов в дельте р. Селенги и оценка качества вод в современный период.

2. Материалы и методы исследований

2.1. Гидрологические методы измерений

Измерение глубин и определение их координат (широты и долготы) выполнялось прибором GARMIN Fishfinder 250 с высококонтрастным жидкокристаллическим дисплеем с подсветкой. Позиционирование точек измеренных глубин осуществлялось прибором GARMIN GPS 72 с 12 параллельными каналами для использования данных от 12 спутников, обеспечивающими точность позиционирования до 4-5 м. Прибор сохраняет в памяти координаты отмеченных точек в формате широта/долгота и автоматически записывает координаты пути. Для непосредственного измерения глубины в комплектацию прибора входит двухчастотный трансдюсер (50/200 кГц), передающий звуковые волны в направлении дна в форме конуса и позволяющий определять глубину водного объекта с точностью до 0,1 м. Пределы измерения глубин составляют 0.5 – 600 м.

Дисплей и GPS приемник устанавливались и закреплялись в лодке. Измерения глубин на створе осуществлялись в два прохода с записью результатов через одну секунду. Данные из обоих приборов считываются в память компьютера и обрабатываются специальной программой компании GARMIN. Из памяти компьютера информация извлекалась программой GARMIN MAPSOURCE. Общее число измеренных эхолотированием значений глубины в каждом створе изменялось от АА до ВВ в зависимости от ширины русла в конкретной протоке.

2.2. Методы исследования химического состава воды

Пробы на химический анализ фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм. Химический анализ выполнен общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [Руководство..., 2010; Барам, 1999; Wetzel, 1991]. Определение катионов выполнено атомно-абсорбционным и пламенно-эмиссионным методами. Относительная погрешность составляет 2-3%. Анионов – методом ВЭЖХ, относительная погрешность – 5-10%.

Определение биогенных элементов выполнено колориметрическим методом: фосфаты – относительная погрешность метода – $\pm 1.5\%$, аммонийный азот – $\pm 4-5\%$, нитритный азот – $\pm 3-5\%$, нитратный азот – 4% .

Достоверность полученных результатов концентраций биогенных элементов проверялась регулярным проведением контроля качества анализов в рамках международной программы EANET по тестированию стандартных образцов поверхностных вод. Измеренные концентрации главных ионов контролировали путем расчета ошибки ионного баланса (R_1) и ошибки сравнения рассчитанной и измеренной удельной электропроводности (R_2).

2.2.1. Методы исследования микрокомпонентного состава воды и донных отложений

Пробы воды на определение тяжелых металлов (ТМ) отфильтровывали через мембранный фильтр 0.45 мкм, затем консервировали концентрированной азотной кислотой. Содержание Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Co определяли атомно-эмиссионным методом на спектрометре Profile Plus производства Teledyne, США. Относительная погрешность составляла $2 - 5\%$. Пробы донных отложений отбирали с помощью дночерпателя Петерсона, помещали в двойные полиэтиленовые пакеты, анализ проводили стандартной методикой разложения. Так как большинство водных объектов р. Селенга относятся к бассейну оз. Байкал, к составу и свойствам поверхностных вод применяются более жесткие нормы содержания ТМ сопоставляли с предельно допустимыми концентрациями (ПДК_{вр}) загрязняющих веществ рыбохозяйственных водоемов. Нормативы ПДК_{вр} для водных объектов рыбохозяйственного назначения даны в «Перечне ПДК и ориентировочно безопасных уровней воздействий (ОБУВ) вредных веществ в воде», в котором содержится 1109 ПДК и 79 ОБУВ химических веществ.

2.3. Методика исследования микробиологических характеристик

Для санитарно-бактериологической оценки использованы общепринятые критерии: ОМЧ – общее микробное число, эта группа

является чувствительным индикатором вторичного загрязнения, ПДК – не более 50 кл. в 1 мл; численность энтерококков – показатель фекального загрязнения – отсутствие в источниках питьевого и рекреационного назначения. Пробы воды отбирали согласно общепринятым методам в водной микробиологии [Романенко, 1974]. Определение общего микробного числа (ОМЧ) мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов проводили на мясопептонном агаре (МПА), посеvy экспонировали при 37°C в течение 24 ч [МУК 4.2.1884 – 04, 2005]. Результаты представляли числом колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 мл исследуемой пробы воды. Выявление и идентификацию бактерий рода *Enterococcus* проводили по методике, предложенной МУК 4.2.1884-04 и EN ISO 7899-2: 2000 [EN ISO 7899-2, 2000]. Результаты представлены числом колониеобразующих единиц (КОЕ) в 100 мл исследуемой пробы. Фитопланктон фиксировали раствором Люголя с последующим добавлением формалина. Для количественного учёта водорослей использовали отстойный метод. Подсчёт клеток проводили на световом микроскопе «Peraval», при увеличении в 400 раз, для мелкоклеточных форм в 1000 раз по методу Гензена [Кожова, Мельник, 1978]. Биомассу фитопланктона определяли по среднему объёму, приравнивая форму клеток к близкой геометрической фигуре [Макарова, Пичкилы, 1970].

2.3.1. Метод газ-хромато-масс-спектрометрии

Метод газовой хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией, (ГХ-МС) позволяет детектировать в исследуемых образцах маркеры, компоненты клеток широкого спектра микроорганизмов губок. Метод является высокочувствительным, быстрым, универсальным, экономичным. Он легко поддается стандартизации, для его реализации используются доступные любым лабораториям химические реактивы и методики пробоподготовки. Метод автоматизирован, что обуславливает простоту лабораторной диагностики. Предлагаемый метод ГХ-МС обеспечивает возможность детектировать одновременно множество маркеров

микроорганизмов при проведении анализа одного образца. Диагностические возможности метода для выявления микробных маркеров в природных образцах представляются перспективными. Внедрение ГХ-МС позволяет сократить время и стоимость исследования, минуя стадии повторных пересевов первичных колоний и тестовых ферментаций, которые особенно сложны, трудоемки и длительны для анаэробов. Метод позволяет не только определять маркерные вещества (жирные кислоты, альдегиды, спирты и стеринны) в чистых культурах микроорганизмов, выделенных из клинического материала [Вейант, 1999], но и выявлять и количественно определять состав микробного сообщества, который кроется за набором маркеров конкретной пробы [White, 1988; Осипов, 1996].

Газовая хроматография в сочетании с масс-спектрометрией (ГХ-МС) позволяет получить уникальную информацию о составе особых мономерных химических компонентов микробной клетки, характерных для тех или иных таксонов [Wilians&Wilkins, 1984; Осипов, 1996; Вейант, 1999]. Эти компоненты (маркеры) могут быть определены среди других химических составляющих суммарной биомассы биологических объектов и использованы для детектирования микроорганизмов соответствующего рода или вида [White, 1988; Турова, 1996; Osipov, 1997].

Масс-фрагментография. Масс-спектрометр работает в режиме периодического сканирования от восьми до пятнадцати ионов в пяти интервалах времени. Интервалы и ионы выбраны таким образом, чтобы селективно детектировать маркеры определяемых видов микроорганизмов. В том числе, для детектирования малых количеств микробных кислот с длиной углеродной цепи C10-C24 в спектрах ЖК использован интенсивный ион с отношением массы (m) к заряду (z) $m/z = 87$. Для детектирования β -оксикислот взят ион 175, для которых он специфичен и характеризуется достаточной интенсивностью в спектре. Общим для альдегидов выбран ион 75 – максимальный в их масс-спектре. В итоге, для селективного детектирования маркерных веществ микроорганизмов используют

программу с накоплением сигналов более 30-и ионов. Площади пиков маркеров на масс-фрагментограммах интегрируют автоматически по специальной программе. Затем эти данные вводят в программу расчета, подготовленную в электронных таблицах EXCEL. Такой алгоритм детектирования масс-спектральных параметров пробы позволяет определять около двухсот известных ЖК, спиртов и стеролов микроорганизмов, что достаточно для выявления и количественного определения более 170 таксонов микроорганизмов на уровне рода, а иногда и вида.

Частично данные автоматической обработки требуют ручной проверки измерения пиков. Это относится к непользованным разделенным на хроматограмме пикам или малым пикам, находящимся в соседстве с более интенсивными. Эти пики находят, руководствуясь закономерностями их появления на хроматограмме – т.е. абсолютными и относительными временами удерживания, подтверждением дополнительными ионами и соотношением площадей ионов. Для облегчения поиска нужного иона используют шаблоны.

Расчет концентрации маркеров и отнесение их к конкретным микроорганизмам проводят по программному продукту, поставляемому разработчиком [Осипов, 1993].

Программный продукт состоит из следующих компонент:

1. Состав и порядок детектирования специфических ионов при ГХ-МС анализе (метод сбора данных), задаваемый в рамках программного обеспечения прибора (группа файлов в формате программы сбора данных прибора) – файл формата method.m;
2. Макрос обработки данных формы в файле method.m и перевод их в формат электронных таблиц EXCEL (рисунок 5);

	Вещество		Время	Ион	Площадь, А	А/10000
1	10:0	79	4.70	87	785402	79
2	i11	38	6.79	87	379094	38
3	12:0	3004	7.98	87	30037342	3004
4	3h10	164	0.00	175	1635799	164
5	i13	0	9.18	87	0	0
6	a13	188	9.33	87	1884281	188
7	13:0	57	9.89	87	565503	57
8	i14	57	11.13	87	569762	57
9	14:1	656	11.45	87	1312741	656
10	14:1d11	82	11.64	87	164875	82
11	14a	146	12.83	75	1463618	146
12	14:0	3262	11.86	87	32618462	3262
13	3h12	38	12.18	175	376254	38
14	2h12	7	12.22	243	71063	7
15	10Me14	169	12.85	87	1693619	169
16	i15	1406	13.10	87	14062955	1406
17	a15	172	13.26	87	1724509	172
18	hi13	4	13.36	175	38368	4
19	3ha13	4	13.36	175	38033	4
20	15:1	215	13.26	87	429820	215
21	15:0	1407	13.83	87	14072483	1407
22	3h13	2	13.90	175	23419	2
23	a15a	43	14.22	75	430375	43

Рисунок 5. Лист 1 содержит площади пиков масс-фрагментограмм с указанием иона, по которому они измерены

Группа формул для расчета численности микроорганизмов с учетом возможного происхождения ЖК из клеток разных таксонов.

Площадь пика маркера пропорциональна его концентрации, а, следовательно, концентрации соответствующего микроорганизма, которая определяется как число клеток N_1 в единице объема или веса пробы по формуле:

$$N_1 = A_i [M_{st} / (q_2 \times M_{sam} \times A_{st})] / R_{i1},$$

где выражение в квадратных скобках, постоянный коэффициент:

$$k = M_{st} / (q_2 \times M_{sam} \times A_{st}) = M_{st}(mg) / (5,1 \times 10^{(-15)} (г) \times M_{sam}(мг) \times A_{st}).$$

В этих формулах A_i – площадь пика маркера, M_{st} – количество введенного в пробу стандарта в мг, M_{sam} – количество пробы, A_{st} – площадь пика стандарта, R_{i1} – доля в% маркера с индексом i в профиле ЖК определяемого микроба с номером 1 (N_1), q_2 – коэффициент, равный $5,1 \times 10^{(-15)}$ г. При этом предполагается, что г микробной биомассы содержит $5,9 \times 10^{(-15)}$ г.

10^{12} клеток бактерий, а содержание ЖК в клетке равно в среднем трем процентам.

Соответственно, число клеток любого следующего микроорганизма можно рассчитать по аналогичной формуле $N_2 = A_i \times k / Ri_2$ и так далее, умножая площади пика A_i маркера, по которому проводятся вычисления, на коэффициент k и деля на содержание маркера (%) в составе ЖК этого микроорганизма.

Вещества (жирные кислоты, оксикислоты и альдегиды) обозначены по общепринятой системе с центральным числом, обозначающим количество углеродных атомов в молекуле и дополнительными символами, показывающими класс веществ, степень насыщенности и разветвленности. Например, в символе $3hi17:0$ содержатся сведения о том, что это оксикислота (h - гидроху) с 17 атомами углерода (гептадекановая), насыщенная (0 после двоеточия) с гидроксильной группой на третьем атоме углерода от карбоксильного конца молекулы. Значок «a» в конце аббревиатуры означает альдегид. В символе $16:d11$ содержатся сведения о том, что это гексадеценная кислота, одна двойная связь которой (единица после двоеточия) расположена после 11 атома углерода (d11).

Пробоподготовка. Средние образцы донных осадков высушивают до воздушно-сухого состояния и в таком состоянии хранят до проведения анализа. Из навесок массой 100 мг экстрагируют липидные компоненты методом кислого метанолиза в 0.4 мл 1М HCl в метаноле в течение одного часа при 80°C. На этой стадии происходит освобождение жирных кислот и альдегидов из сложных липидов микроорганизмов и других клеток ткани в виде метиловых эфиров и диметилацеталей. Эти компоненты экстрагируют гексаном (400 мкл) в течение 5 мин. К экстракту добавляют 0.3 мкг стандарта (дейтерометиловый эфир 13:0 кислоты) в гексане. Затем гексановый экстракт высушивают, а сухой остаток обрабатывают 20 мкл N,O-бис(триметилсилил)-трифторацетамида в течение 7 мин при 80°C для получения триметилсилильных эфиров окси-кислот и стеролов. К реакционной смеси

эфиров добавляют 80 мкл гексана и 1-2 мкл раствора вводят в инжектор ГХ-МС системы.

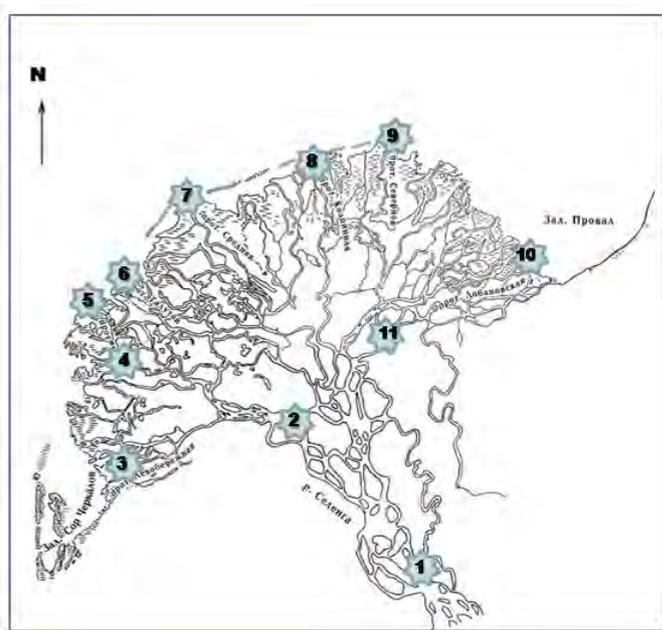
Условия хроматографирования. Метилловые эфиры (МЭЖК) и триметил-силильные эфиры (ТМСЭ) ЖК исследовались методом хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе Agilent Packard HP 6890 с квадрупольным масс-спектрометром HP MSD 5973N в качестве детектора. Для хроматографирования МЭЖК использовали колонку DB-Wax с внутренним диаметром 0.25 мкм, а для ТМСЭ – колонку HP-5MS с внутренним диаметром 0.25 мкм. Газ-носитель – гелий (постоянный поток 1.5 мл/мин.). Температура колонки: 90°C (изотерма 4 мин.), 90-165°C (30°C/мин.), 165-225°C (3°C/мин., изотерма 10.5 мин.), температура испарителя – 250°C. Объём пробы – 1 мкл раствора с разделением потока 40:1. Процентный состав смеси вычислялся по площади газо-хроматографических пиков. Качественный анализ основан на сравнении времен удерживания и полных масс-спектров соответствующих чистых соединений с использованием библиотеки данных NIST02.L и стандартных смесей (Bacterial Acid Methyl Esters (CP Mix, Supelco, Bellefonte, PA, USA), а также по количеству введенного стандарта (дейтерометилловый эфир тридекановой кислоты).

Для определения компонентов (маркеров) среди других химических составляющих суммарной биомассы биологических объектов и использования их для детектирования микроорганизмов соответствующего рода или вида, проведен анализ образцов в режиме SIM (режим сканирования по селективным ионам или масс-фрагментографии) при периодическом сканировании до тридцати ионов в пяти интервалах времени. Анализ хроматограмм продуктов кислого метанолиза донных отложений, полученных при помощи метода SCAN (режим непрерывного сканирования), проводится с помощью штатной программы NIST ГХМС системы AT-6890/5973N и руководства по идентификации липидных компонент микроорганизмов [Осипов, 1993; Осипов, 2010].

3. Результаты и обсуждение

3.1. Анализ и выбор точек наблюдения

На основе проведенных многолетних исследований, выполненных коллективами БИП СО РАН и ЛИИ СО РАН в период с 2001 г. по настоящее время, выбраны наиболее репрезентативные станции отбора проб воды в нижнем течении р. Селенги и протоках дельты (рисунок 6). Комплексные гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования в дельте р. Селенга проведены в июле-октябре 2012 г. Координаты отбора проб приведены на рисунке 6: в нижнем течении реки и протоках ее дельты.



название протоки	широта	долгота
1. Кабанск	52.05357	106.37434
2. Мурзино	52.12225	106.28213
3. Левобережная	52.16245	106.29956
4. Харауз	52.17140	106.16814
5. устье-Харауз	52.17059	106.16498
6. Галутай	52.28286	106.27982
7. Средняя	52.20967	106.22240
8. Колпинная	52.19430	106.29729
9. Северная	52.20165	106.30369
10. устье-Лобановская	52.30611	106.76108
11. Лобановская	52.18497	106.45725

Рисунок 6. Карта-схема с координатами отбора проб

Измерения расходов воды, отбор проб на анализ различных химических компонентов (растворенные газы, рН, главные ионы, биогенные элементы, тяжелые металлы, органические соединения) проводился на выбранных станциях. На этих же станциях одновременно отбирали пробы на определение численности, биомассы и видовое разнообразие бактерио- и фитопланктона. Для оценки качества воды, а также возможности выбора дополнительных станций отбора проб выполнены ежемесячные исследования по длине главной протоки дельты – Хараузу от входа потока в дельту до его выхода в озеро.

3.1.1. Гидрологическая характеристика дельты р. Селенги

В соответствии с программой работ по проекту в 2012 г. выполнялись исследования закономерностей распределения водного стока р. Селенги по отдельным протокам и оценки многолетних тенденций его изменения.

Анализ опубликованных данных показывает, что в начале 1970-х гг. [Айнбунд и др., 1975] в период открытого русла при расходах воды порядка 2000 м³/с (средняя водность летнего времени) около 55-65% стока Селенги поступало к внешнему краю дельты по южным протокам, а в зимний сезон - до 95%. При повышении расходов воды в реке до 3500-4500 м³/с большая часть стока (до 55%) уже осуществлялась через протоки северной группы. В последующие годы распределение стока по отдельным протокам постепенно изменялось, особенно после прохождения высоких паводков. При этом в транзите селенгинских вод постоянно снижалась роль Основного русла, тогда как водообмен через другие крупные протоки активизировался.

К началу XXI в. уменьшение перетока воды по Основному руслу (при средней водности) составило около 20% от общего стока реки, при увеличении на 14% доли в транзите стока Левобережной протоки. В протоках северного рукава доля стока Лобановской возросла с 23 до 31%, а в Галутае - с 7 до 9%. Вклад протоки Дологан при низких расходах воды понизился на 1-2%, а при более высокой водности, наоборот, увеличился [Синюкович и др., 2004].

В период 1994-2003 гг. наблюдалась некоторая стабилизация русловой сети дельты в отношении распределения стока по протокам в указанных створах, что может быть объяснено отсутствием аномально высоких расходов воды р. Селенги после наводнения 1993 г. При этом русловые деформации в данные годы на отдельных участках дельты были достаточно существенными [Ильичева и др., 2012], однако сток взвешенных наносов Селенги, основной индикатор активности русловых процессов, заметно снизился. Несмотря на некоторые особенности распределения стока по протокам в зависимости от уровня водности в целом можно говорить, что до

последнего времени большая часть стока (50-55% летом и до 90% зимой) по-прежнему осуществлялась через левый край дельты. В ее правой части наиболее многоводной оставалась протока Лобановская – около 30% стока реки в летний период и примерно 10% зимой. Менее всего был обводнен средний сектор дельты (протоки Колпинная и Средняя), где проходило около 3% общего стока реки. С середины зимы и до весны эти протоки обычно перемерзают и сток здесь практически отсутствует.

3.1.2. Распределение стока по протокам дельты

Как известно, основные протоки дельты подразделяются на две группы – южную (Левобережная и Основное русло) и северную (Лобановская, Дологан, Галутай, Колпинная и Средняя). Колпинную и Среднюю иногда относят к протокам центрального сектора дельты. Для решения гидрологических задач, предусмотренных программой, в июле и октябре 2012 г. были выполнены измерения расходов воды на основных протоках дельты в начале их отклонения от основного русла. Расположение створов максимально приближено к местам их местонахождения при проведении подобных работ Кабанской Устьевой станцией Росгидромета, выполняемых в период 1973-1994 гг., а также Лимнологического института СО РАН [Синюкович, 2004]. Контроль полученных результатов осуществлялся путем увязки суммарного стока по протокам со стоком реки по замыкающему створу Росгидромета у с. Кабанск.

Координаты гидрометрических створов и измеренные значения расходов воды представлены в таблице 4, а их местоположение – на рисунке 7.

Таблица 4

Координаты створов и значения расходов воды

Название протоки	Расход воды, м ³ /с	Широта	Долгота
Левобережная (Глубокая)	469	52.195823	106.391487
Селенга (основное русло)	377	52.226117	106.337928

Лобановская левая	130	52.263535	106.532936
Лобановская правая (Дологан)	202	52.251346	106.558342
Колпинная+Средняя	81	52.265636	106.497231
Галутай	164	52.240415	106.467018
вершина дельты (разъезд Мостовой)	1480		



Схема расположения протоков в дельте р. Селенга

№	Название протоки
1	Основное русло
2	Левобережная (вместе с протокой Глубокая)
3	Галутай
4	Лобановская
5	Дологан
6	Колпинная + Средняя (Среднеустье)

Рисунок 7. Место замера расхода воды

В день проведения измерений расход воды р. Селенга в одном русле в вершине дельты на посту разъезд Мостовой составил 1480 м³/с. Значения расходов воды по основным протокам, а также в процентах от общего расхода представлены в таблице 5 и на рисунке 8.

Значения расходов воды по основным протокам

	Название протоки	Расход воды, м ³ /с	в % от Q
1.	Основное русло	377	26.5
2.	Левобережная	469	32.9
3.	Галутай	163	11.4
4.	Лобановская	130	9.1
5.	Дологан	202	14.2
6.	Колпинная+Средняя	81	5.7

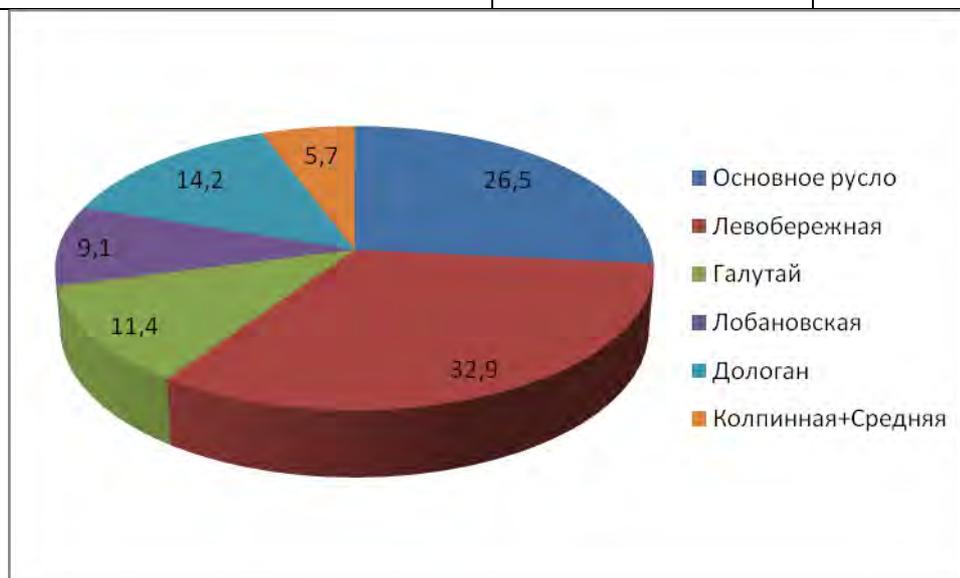


Рисунок 8. Расход воды по основным протокам, %

Как видно из диаграммы, наибольшая часть стока воды приходится на протоку Левобережную (с Глубокой) и собственно основное русло Селенги – в сумме 59.4% от общего стока. Таким образом, большая часть водного стока выносится в южную окраину дельты и залив Сор-Черкалов.

В соответствии с указанными изменениями стока Селенги увеличился также суммарный меженный приток в озеро с 1970 г. (на ~10%), однако после 1996 г. он стал пониженным в соответствии с уменьшением водности р. Селенги.

Расчеты расходов воды в отдельных протоках выполнялись по методу «площадь-скорость». Средняя скорость течения определялась по

соотношению с ее максимальным поверхностным значением, измеренным поплавками. Значения соответствующих переходных коэффициентов приняты по данным натуральных гидрометрических измерений в протоках в 1975-1993 гг. и сведений [Синюкович, 2010].

Результаты оценки распределения стока в июле и октябре 2012 г. не выявили значительных отклонений от приведенных ранее данных, однако, строго говоря, это относится к расходам воды менее 1500 м³/с, т.е. к стоку реки в период исследований. Во время выполнения работ в июле водность р. Селенги хоть и была сравнительно высокой, но по результатам измерений 05.07.2012 г. составляла только 1400-1500 м³/с. Следует отметить, что даже такое повышение летних расходов воды уже не часто происходит после 1993 г., а с учетом того, что в последующие 10-15 дней они продолжали расти, это могло привести к перестройке речной сети в дельте, в том числе и перераспределению стока воды по отдельным протокам. Ответ на этот вопрос мог быть получен после проведения повторных измерений расходов воды в основных протоках дельты при близком к июльскому, или более высокому уровню водности реки. Анализ предшествующих исследований показывает, что именно при таких расходах воды становятся видными происходящие изменения перераспределения стока по отдельным притокам, сопровождающиеся, как правило, увеличением доли стока через северный сектор дельты, а при более низкой водности соотношение стока отдельных проток меняется незначительно. Во время проведения повторных исследований в октябре 2012 г. сток реки оказался существенно ниже, чем в июле и характер распределения стока по отдельным протокам изменился незначительно.

С учетом более ранних работ и по результатам выполненных исследований можно констатировать, что, начиная с 1973 г. изменение распределения стока р. Селенги в ее дельте носило направленный характер, выражающийся в снижении «транзитной» роли южного рукава в целом и основного русла реки - в частности. После 1993 г. эти явления заметно

ослабли, что, вероятно, объясняется невысокой водностью р. Селенги в последующие годы, в которых не отмечалось паводков редкой повторяемости. Относительно небольшие подъемы воды, в том числе и в июле 2012 г., способствовали незначительным изменениям общей картины распределения стока р. Селенги в ее дельте, по крайней мере, до расходов воды, не превышающих 1400-1500 м³/с.

В целом, их роль в транзите стока за последние 15-20 лет даже несколько возросла (на 3-4%) и в основном за счет прот. Левобережная. Самое существенное перераспределение стока произошло в северной части дельты, где наиболее многоводной теперь является протока Дологан, доля которой за период после 1993 г. в общем стоке реки выросла. При этом стал также выше сток через протоку Галутай, а также Средней и Колпинной. Одновременно с этим втрое сократился сток через прот. Лобановскую.

3.1.3. Тенденции межгодовой и сезонной изменчивости стока

Сопоставление некоторых характеристик стока главных рек и общего притока воды в озеро показывает, что в расчетный период происходило общее снижение водности р. Селенги, обусловившее пониженные значения суммарного стока с байкальской водосборной территории, в то время как водность некоторых других крупных притоков, наоборот, возрастала. Особенно явно асинхронность (противофазность) стока Селенги стала проследиваться по отношению к Верхней Ангаре. Если до потепления коэффициент корреляции (r) их водности составлял 0.26, то в последующий период он стал отрицательным (-0.15). Примечательно, что в 1971-1995 гг. водность Баргузина была более тесно связана со стоком Селенги, чем Верхней Ангары.

Для оценки происходящих колебаний стока р. Селенги и их роли в изменчивости общего притока воды в озеро параметры их многолетней динамики были приведены к одному расчетному периоду, в качестве которого принят промежуток с 1959 по 2010 гг., включающий два полных цикла водности. Внутри указанного расчетного периода отдельно

рассматривались периоды потепления (1971-2010 гг.) и прекращения роста среднегодовых температур воздуха (1996-2010 гг.). Последний период совпадает с ослаблением активности зональной циркуляции в регионе [Шимараев, Старыгина, 2010].

Основной причиной межгодовых колебаний стока р. Селенги, как и других рек, является разное количество выпавших осадков. Анализ многолетних колебаний осадков, основной стокоформирующей характеристики климата, показывает, что с начала 1970-х гг. они отличались заметной разнонаправленностью по территории байкальского бассейна. В бассейне Селенги тренды осадков также были неодинаковыми, но в целом можно говорить о незначительном их снижении. Хотя это несколько и отличается от официальных данных [Доклад..., 2011], указывающих на слабый положительный тренд осадков в годы потепления, однако последний больше относится к Прибайкалью. Кроме того, данная тенденция рассчитана на весь период потепления, в то время как 1996-2010 гг. были засушливыми. Также следует указать, что в более ранних обзорах [Изменения климата..., 1999] непосредственно для Байкальского региона отмечалась специфическая реакция увлажнения на потепление с начала 1970-х гг., состоящая в постоянном снижении осадков со средней интенсивностью 7 мм/100 лет. Несмотря на это, общей тенденцией изменения годовых сумм осадков в котловине Байкала и бассейнах Баргузина и Верхней Ангары в период потепления было наличие небольшого положительного тренда, характерного и для остальных регионов Сибири [Доклад..., 2011].

Тем не менее, если снижение осадков в бассейне Селенги с 1996 г. все же было незначительным, то оно не может объяснить столь существенного уменьшения стока реки и предполагает участие других факторов. Принимая во внимание, что более 80% бассейна Селенги относятся к очень сухим, сухим и умеренно влажным территориям, т.е. испытывают дефицит влаги, то во время потепления этот дефицит должен только увеличиваться из-за роста потерь влаги на испарение. Повышение доли испарившихся осадков, таким

образом, способствует дополнительному снижению стока р. Селенги с ростом температуры воздуха. И, наоборот, для водотоков, дренирующих территории с умеренным увлажнением, распространением многолетней мерзлоты и повышенным зимним снегонакоплением, потепление должно способствовать вовлечению в питание рек дополнительной влаги [Синюкович и др., 2012].

Анализ полученных результатов показывает, что в расчетный период сток р. Селенги снижался со скоростью $63 \text{ м}^3/10 \text{ лет}$, что вызвало снижение общего притока воды в озеро со скоростью около $1 \text{ км}^3/10 \text{ лет}$, а с начала потепления до $12 \text{ км}^3/10 \text{ лет}$. За период потепления снижение стока р. Селенги происходило с такой же интенсивностью, а в период 1996-2010 гг. оно становится особенно существенным - скорость снижения достигла $120 \text{ м}^3/\text{с}$ за 10 лет, в результате которого к 2011 г. его среднее значение уменьшилось на 23%, и только благодаря росту стока других байкальских рек, в первую очередь, Верхней Ангары и Баргузина, снижение суммарного притока воды в озеро было не столь масштабным.

Общая картина изменений стока р. Селенги и общего притока воды в озеро Байкал (рисунок 9) и свидетельствует о существенной трансформации пространственно-временной структуры поверхностного стока в современный период, в особенности после прекращения роста среднегодовых температур воздуха в регионе (1996 г.), сопровождающимся также снижением активности зональной циркуляции.

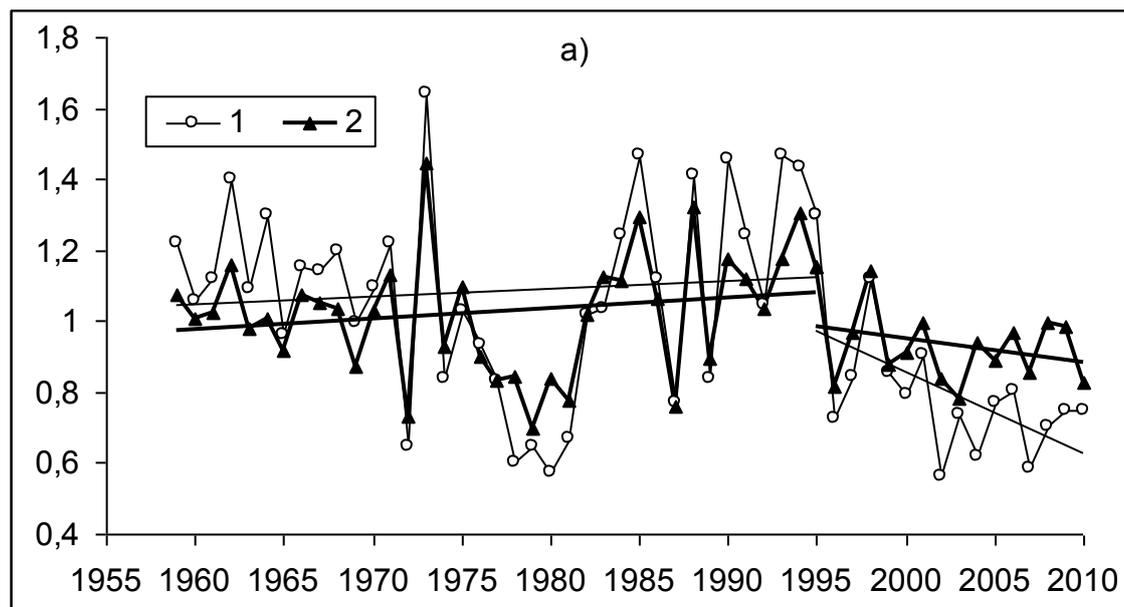


Рисунок 9. Динамика колебаний стока р. Селенги (1) и общего притока воды в оз. Байкал (2) относительно 1996 г. Прямые линии – кусочно-линейные тренды до и после 1996 г.

Помимо межгодовой изменчивости притока воды в оз. Байкал и стока отдельных рек, потепление отразилось и на их внутригодовом распределении, очевидно, вследствие сезонно-мерзлотного регулирования стока [Джамалов, Потехина, 2010]. Рост мощности летнего талого слоя в зоне распространения многолетней мерзлоты при повышении температуры воздуха ведет к росту аккумулярующе-регулирующей способности водосборов. При этом вытаявание льда в деградирующих многолетнемерзлых породах также ведет к повышению запасов подземных вод и речного стока. Анализ среднемеженного (ноябрь-март) стока р. Селенги показывает, что с начала 1970-х гг. ее зимние расходы воды в среднем стали на $20 \text{ м}^3/\text{с}$ (13%) выше. С 1935 г. рост стока происходил со скоростью $5.2 \text{ м}^3/\text{с}$ за 10 лет, однако с 1996 г. он заметно снизился в связи со снижением влагонасыщения деятельного слоя и запасов подземных вод из-за общего падения увлажнения в бассейне Селенги. Пока можно говорить, что такой значительный сток реки не отмечался после 1993 г. В этих условиях можно ожидать более существенной перестройки речной сети в дельте, в том числе и перераспределения стока воды по отдельным протокам. На данном этапе исследований можно констатировать, что начиная с 1973 г. изменение

распределения стока р. Селенги в ее дельте носило направленный характер, выражающийся в снижении «транзитной» роли южного рукава в целом и основного русла реки - в частности, что подтверждают и другие исследования [Потемкина, 1995]. После 1993 г. эти явления заметно ослабли, что, вероятно, объясняется невысокой водностью р. Селенги в последующие годы, в которых не отмечалось паводков редкой повторяемости.

3.2. Температура воды, растворенные газы и pH

Выполненные исследования показали, что температура воды независимо от сезона на 1-1.5°C ниже на входе в дельту (пос. Мурзино), чем в протоках в центральной ее части и на выходе. Кроме того, температура ~ на 0.5-1°C различается в крупных и мелких протоках дельты. Так, температура воды в начале июля изменялась от 19.4 до 22.4°C. Пониженная температура (19.4°C) отмечена на входе в дельту, по мере продвижения и снижения скорости течения она постепенно повышалась, равняясь в центральной части 20.4- 20.6°C, а в устье Харауза 21.4°C, в малой протоке Средняя 22.4°C. При повышении водности в середине июля температура воды во всех протоках была одинаковой 20.3°C. В осенний период температура изменялась в пределах 7.3-8.8°C, ее изменения в пределах дельты были аналогичны таковым в начале июля, т.е. в центральной части и в устье значения были выше.

Концентрация растворенного кислорода в воде протоков изменялась от 7.35 до 11.4 мг/л, или от 86 до 107% насыщения. В сезонно аспекте повышенное содержание кислорода отмечено в осенний период, что обусловлено увеличением растворимости при понижении температуры воды. Выделяются отдельные участки дельты, заросшие растительностью с высоким содержанием водорослей, где концентрация кислорода достигала 16.7 мг/л (196% насыщения). Динамика растворенного кислорода в протоках дельты в сезонном и межгодовом аспекте остается близкой [Тулохонов и др., 2008].

Величина рН воды изменялась от 7.22 до 8.33 (рисунок 10), повышенные ее значения отмечены в октябре. Динамика величины рН зависит от многих факторов: поступления с водосбора осадков с низкой кислотностью или повышенным содержанием органических веществ, поглощения CO_2 при массовом развитии фитопланктона и др. В июле 2012 г величина рН воды была заметно ниже, чем в июле 2003 г., что связано с повышенной водностью из-за прошедших дождей, поступлением с водосбора органических веществ и более высокими концентрациями диоксида углерода при низком уровне развития фитопланктона. В 2003 г. ситуация была

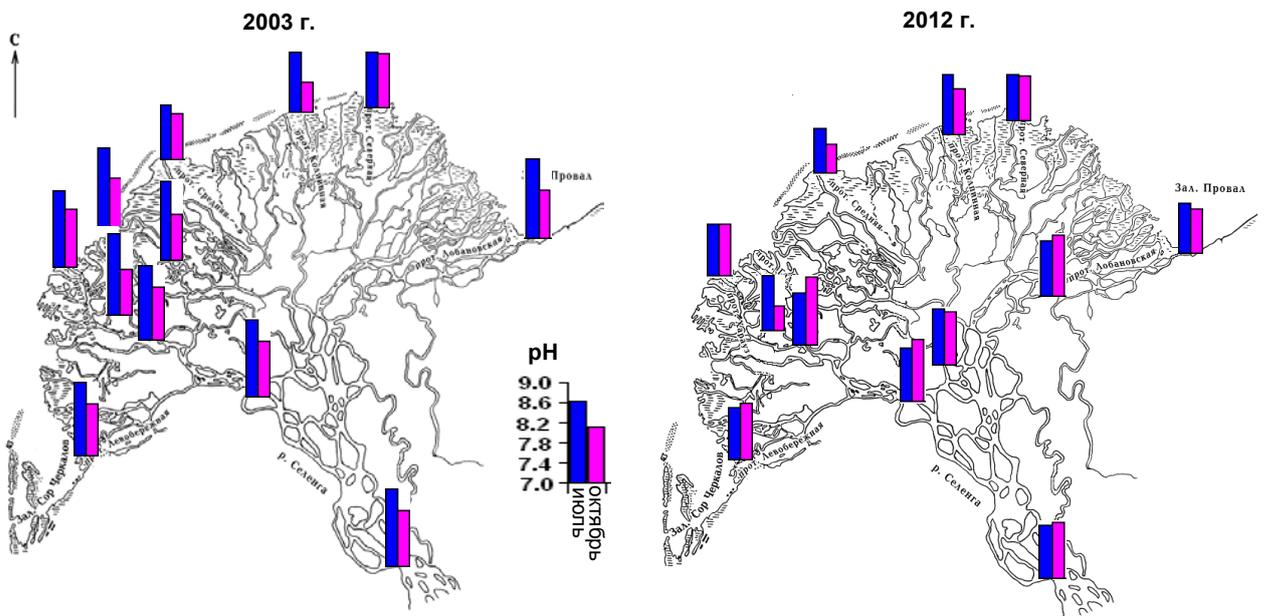


Рисунок 10. Величина рН в воде проток дельты р. Селенги в 2003 и 2012 гг

3.3. Электропроводность, главные ионы и сумма ионов

Величина электропроводности в воде проток дельты в период исследования изменялась от 118 до 178 mS/m, максимальные ее значения наблюдались в октябре, минимальные – в середине июля. Значительные изменения электропроводности отмечены в июле на фоне повышения водности – в начале месяца она колебалась в пределах 147-158 mS/m, в середине снизилась до 118-123 mS/m. Во время отдельной съемки электропроводность воды в протоках изменялась незначительно, это

указывает на то, что ионный состав в воде проток на всем их протяжении остается достаточно стабильным. Снижение или повышение величины электропроводности на отдельных станциях в дельте определяется изменением концентраций главных ионов в воде, которые, в свою очередь, зависят от водности или от локального подтока подземных высокоминерализованных вод, особенно в зимний период [Сороковикова и др., 2005].

Концентрации главных ионов HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ в воде проток дельты изменялись в пределах 65-96.4, 6.9-10.2, 0.6-1.2, 15.1-19.9, 2.9-5.1, 3.7-6.2, K^+ - 1.1-1.5 мг/л.

По составу ионов вода проток, как и вод р. Селенга относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция (рисунок 11). По сезонам года и по длине проток относительный состав ионов остается постоянным. Незначительные изменения относительного состава воды в крупных и малых протоках может быть связано с особенностями водообмена в них.

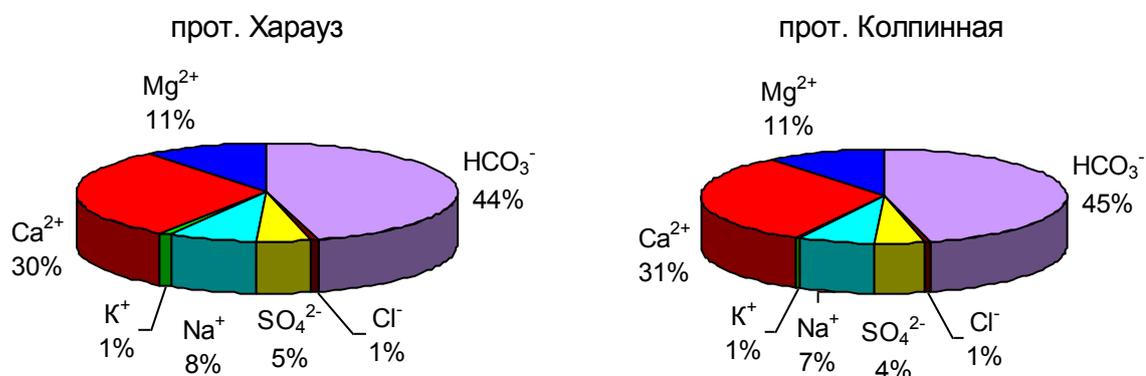


Рисунок 11. Относительный состав ионов в воде проток дельты р. Селенги 2012 г, % экв

3.4. Биогенные элементы

Полученные результаты показали, что концентрации биогенных элементов в дельте существенно изменяются по отдельным протокам и в сезонном аспекте. Содержание нитратного азота в 2012 г. в воде изменялось от 0.03 до 0.15 мг N/л (рисунок 12). Максимальные его концентрации отмечены в июле, в августе после прохождения паводка и интенсификации развития фитопланктона они снизились до 0.06-0.09 мг N/л. В сентябре и

октябре концентрации NO_3^- в воде были минимальными. По длине проток определенной закономерности в динамике концентраций нитратного азота не просматривается. В межгодовом аспекте изменение концентраций биогенных элементов, включая нитратный азот, в значительной степени определяется условиями водности и уровнем развития фитопланктона. При низкой водности и высоком развитии фитопланктона его концентрации снижаются. Наиболее низкая водность зарегистрирована в 2003 г., тогда же наблюдались

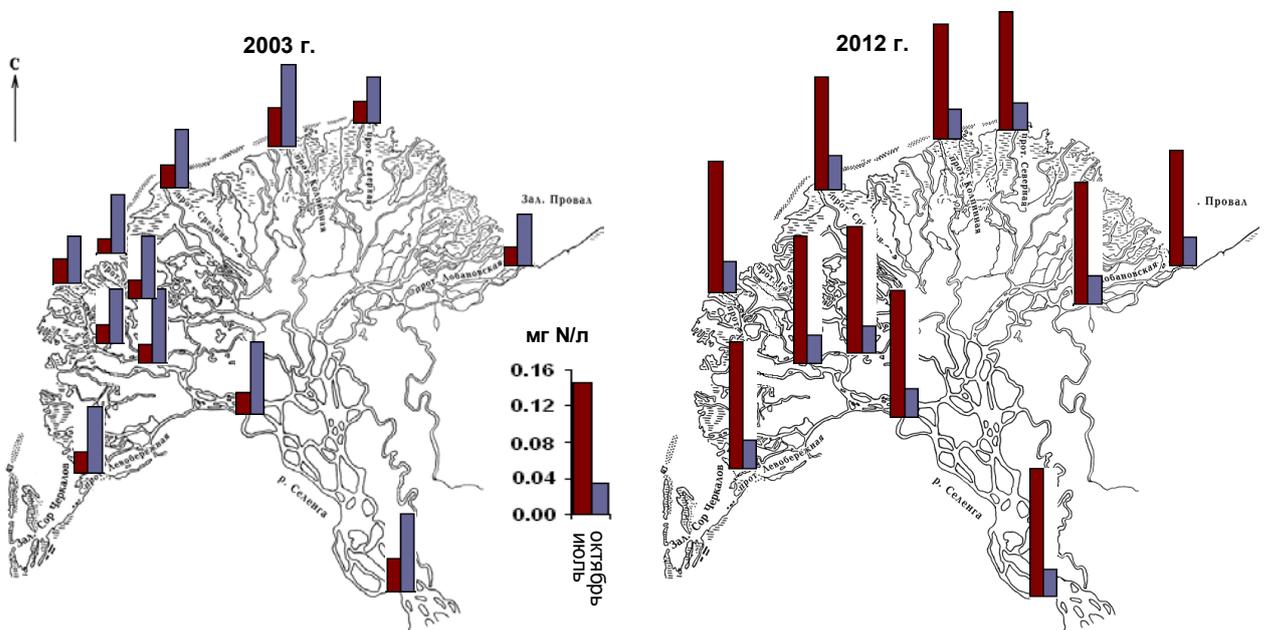


Рисунок 12. Динамика концентраций нитратного азота в условиях низкой (2003 г.) и повышенной водности (2012 г.)

Сезонная динамика концентраций аммонийного азота, как и нитратного, хорошо выражена, но имеет свои особенности. В воде проток с высоким водообменном, как и в р. Селенге, максимальные концентрации NH_4^+ наблюдаются в период весеннего половодья или летних паводков, за счет его поступления с водосбора. Минимальные зимой, когда питание реки осуществляется за счет грунтовых вод. В протоках же Средняя и Колпинная максимальные концентрации NH_4^+ наблюдаются в зимний период, что связано с питанием грунтовыми водами и высоким содержанием органических веществ [Тулохонов и др., 2008]. В период открытой воды в

2012 г. динамика концентраций аммонийного азота в протоках представлена на рисунке 13. Как видно, концентрации NH_4^+ в сравнении с таковыми 2003 г.

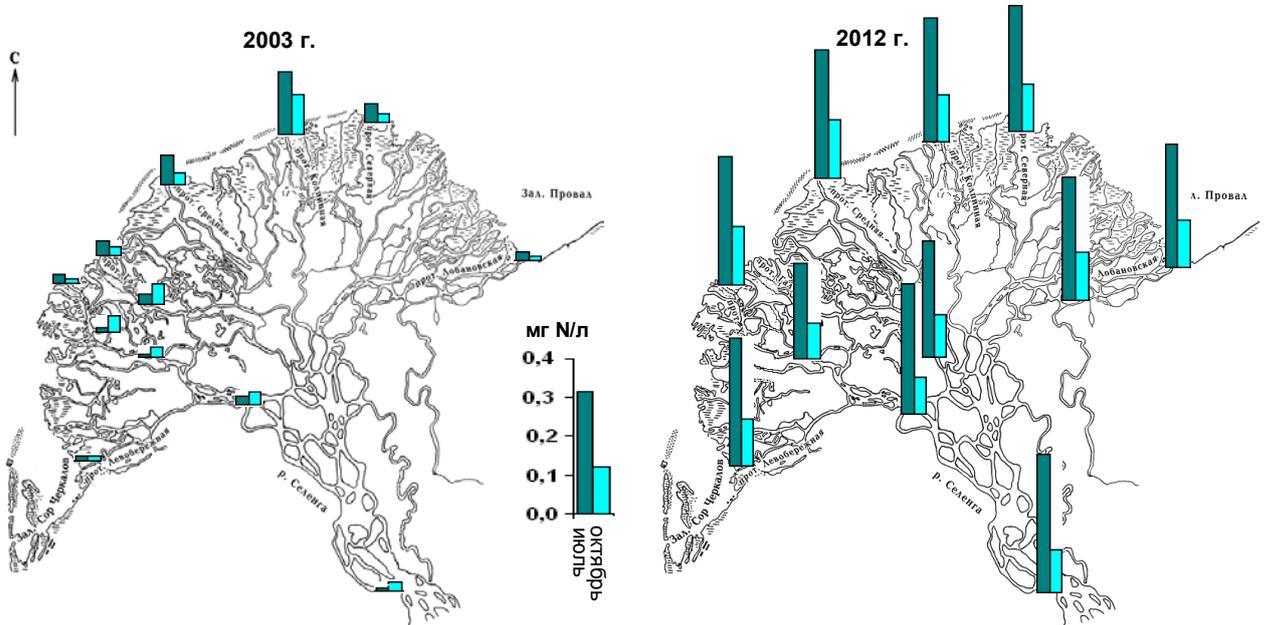


Рисунок 13. Концентрации аммонийного азота $\text{mg NH}_4^+/\text{л}$ в воде р. Селенги и проток ее дельты в 2003 и 2012 гг.

Выполненные ранее исследования [Сорокикова и др., 2005, 2009; Тулохонов, 2008] показали, что по мере поглощения азота планктоном содержание обеих форм в воде р. Селенги и проток понижалось, но скорость поглощения аммонийного, в отдельные периоды, вероятно, была выше, о чем свидетельствовало резкое снижение его концентраций после паводка на фоне повышения величины рН. Есть сведения [Шокодько, Ляшенко, 1981], что в водоемах при значениях величины рН выше 7.0, а в воде проток Селенги она изменяется в пределах 7.2-8.9, поглощение аммонийного азота водной растительностью в 2 раза превышает скорость поглощения нитратного. В результате, в июле-сентябре концентрации как NH_4^+ , так и NO_3^- снижаются до минимума.

Содержание нитритного азота в воде изменялась от 0.010 до 0.016 $\text{mg NO}_2^-/\text{л}$, оно также, как аммонийного и нитратного азота было на порядок выше, чем в 2003 г.

Внутригодовые и пространственные изменения концентраций минерального фосфора в воде проток близки к таковым нитратного азота. Как видно из рисунка 14 они изменялись в пределах 3-24 мкг Р/л. Как правило, в июне-октябре концентрации минерального фосфора в воде р. Селенги и проток дельты снижаются до минимума [Сороковикова и др., 2009]. В 2012 г. из-за поступления с водосбора с паводковыми водами и низким развитием фитопланктона его концентрации были повышены. На рисунке 14 представлены особенности динамики концентраций минерального фосфора в протоках дельты при разных условиях водности. В 2003 г. в результате интенсивного потребления концентрации PO_4^{3-} на многих станциях регистрировались в следовых количествах, в 2012 г. его концентрации не опускались ниже 3 мкг Р/л. По длине проток от пос.

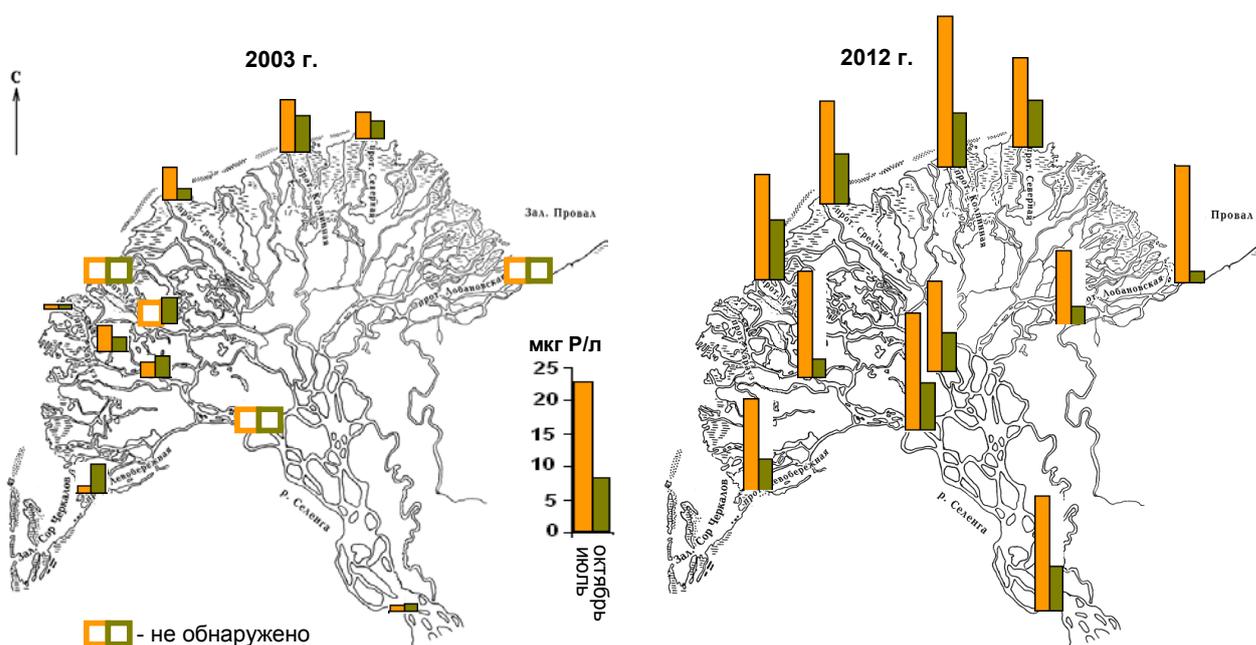


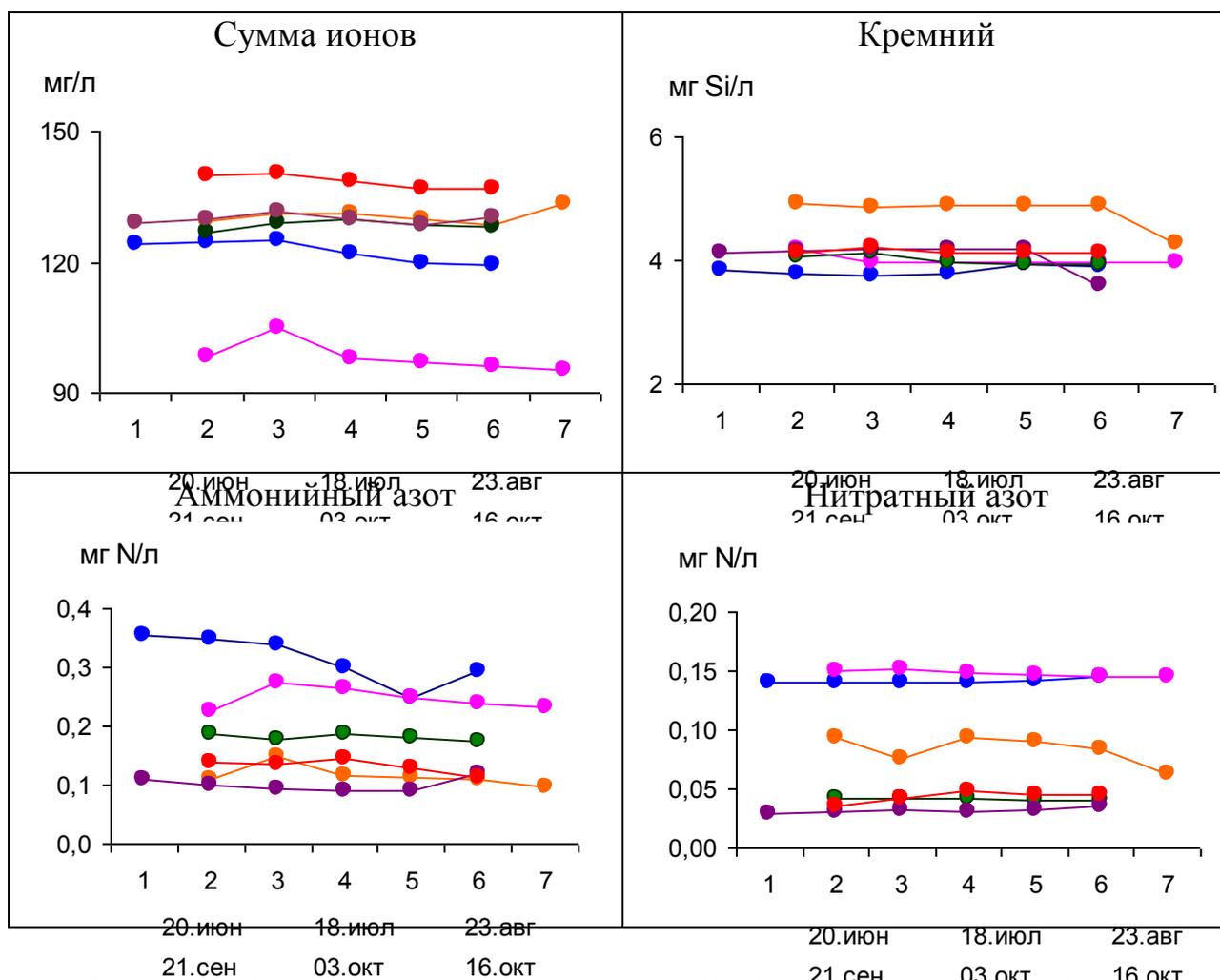
Рисунок 14. Изменение концентраций минерального фосфора в воде р. Селенги и проток ее дельты, 2003, 2012 гг.

Концентрации общего фосфора изменялись от 20 до 139 мкг Р/л. Максимальные его концентрации (77-139 мкг Р/л) отмечены в июле, что обусловлено поступлением с водосбора во время паводка. При этом наиболее высокие значения фосфора наблюдались на входе потока в дельту, в

пределах дельты определенных различий в воде крупных и малых проток не установлено. В августе концентрации снизились до 41-86 мкг Р/л, а осенью – до 18-47 мкг Р/л.

3.5. Изменение химического состава вод в протоке Харауз (пос. Кабанск-устье)

В рамках данного проекта для решения одной из задач необходимо было выбрать наиболее репрезентативные станции мониторинга будущих исследований. Основные станции были намечены по результатам анализа предыдущих (2001-2011 гг.) исследований в дельте. В 2012 г. расширенные исследования были проведены по протоке Харауз, которая является главной, по ней проходит основной сток р. Селенги. Наблюдения были проведены на 7 станциях, характеризующих изменение химического состава вод от входа в дельту до поступления в оз. Байкал (авандельта – 0,5 км от устья протоки Харауз) (рисунок 15).



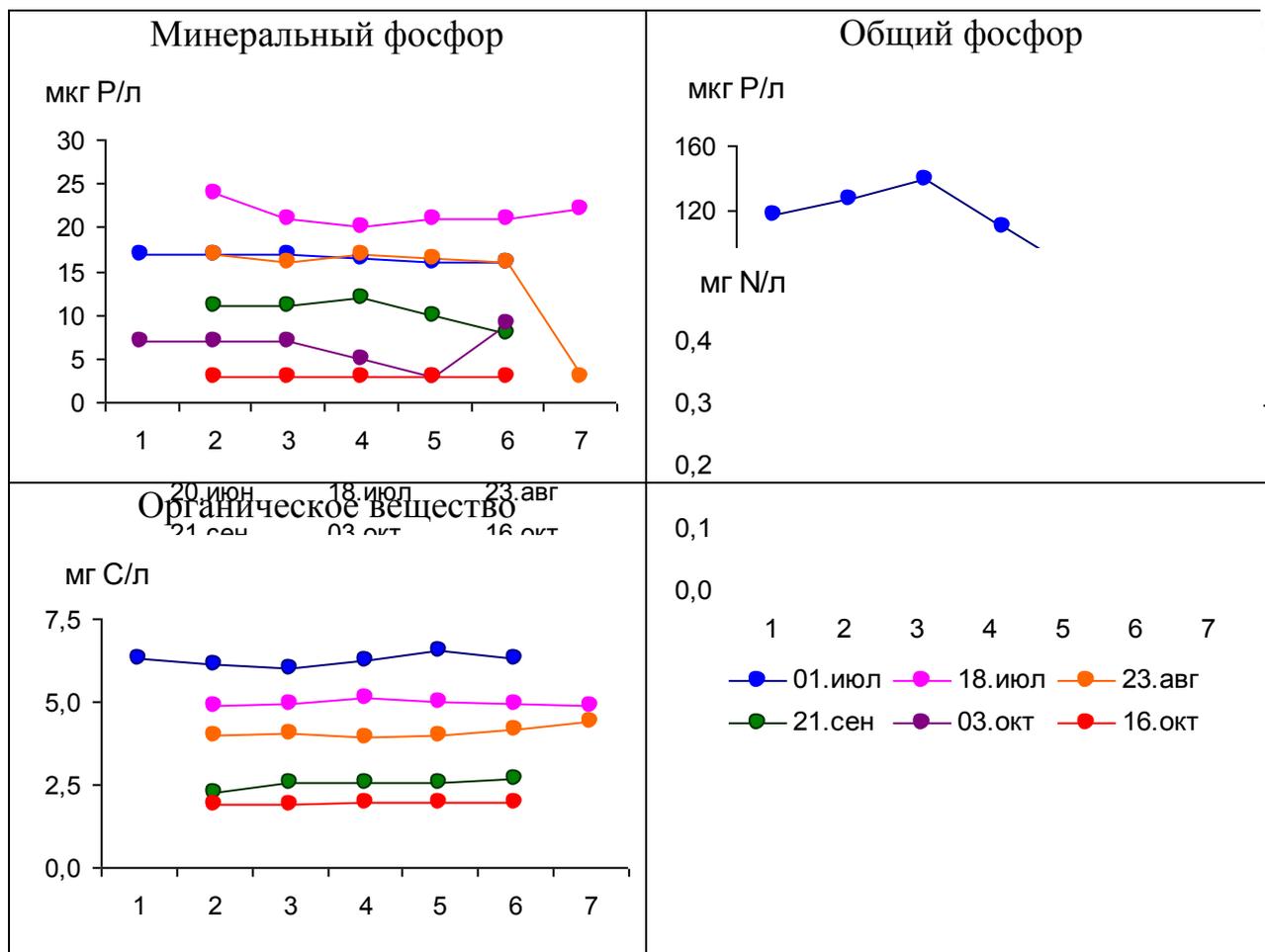


Рисунок 15. Изменение химического состава воды по длине протоки Харауз (Кабанск-Устье), 2012 г.: 1-пос. Кабанск, 2-пос. М. Колесово, 3-пос. Мурзино, 4-выше о. Сорокоустовский, 5-выше о. Семеновский, 6-устье прот. Харауз, 7-авандельта (0.5 км от устья)

Как видно из полученных результатов (рисунок 15) существенных изменений суммы ионов, концентраций биогенных элементов и органического углерода по длине протоки не наблюдалось. Снижение азота кремния и минерального фосфора на станции 7, находящейся на Селенгинском мелководье в 0.5 км от устья протоки Харауз говорит о том, что в Байкале в этот период концентрации данных компонентов были ниже, чем в речных водах. В Байкале концентрации фосфора в этот период в поверхностном слое не превышают 0.004 мг Р/л [Домышева, 2001]. На фоне снижения минеральных форм биогенных элементов, отмечено незначительное повышение общего фосфора и $C_{орг.}$, что может быть связано с более интенсивным развитием планктона на этом участке [Sorokovikova et al., 2012]. Динамика концентраций ионов и их суммы определяется

сезонными изменениями водности и остается близкой на всех станциях (рисунок 15). Анализируя полученные результаты можно сказать, что для оценки качества воды по химическим, микробиологическим и гидробиологическим показателям водной толщи можно ограничиться выбранными ранее станциями. Однако для исследования особенностей развития бентосного комплекса в озерах дельты, заросших водной растительностью мелководьях и заводях необходимо также проводить исследования химического состава на этих станциях.

В соответствии с классификацией [Жукинский и др., 1981], качество воды в протоках по содержанию биогенных элементов и органического вещества в основном относится к разряду “достаточно чистая” и “удовлетворительно чистая”. Концентрации минерального и общего фосфора в воде р. Селенги и протоках характерны для мезо- и эвтрофных водоемов.

3.6. Санитарно-микробиологическая характеристика

Численность органотрофных микроорганизмов, деятельность которых связана с трансформацией органического вещества, изменялась в протоках летом от 678 до 3448 КОЕ/1 мл (таблица 6), осенью – от 41 до 488 КОЕ /1 мл.

Таблица 6

Микробиологическая и санитарно-бактериологическая характеристика вод проток дельты р. Селенги, июль 2012 г.

Место отбора	Органотрофы, КОЕ /1 мл	ОМЧ, КОЕ /1 мл	ОКБ, КОЕ /100 мл	<i>Enterococcus</i> , КОЕ/100 мл
Р. Селенга (пос. Мурзино)	1472	460	1540	24
Устье прот. Колпинная	484	156	1520	28
Устье прот. Северная	3448	368	1380	20
Устье прот. Средняя	2936	2080	2800	32

Устье прот. Харауз	678	176	1630	12
Прот. Харауз (о. Семеновский)	996	522	1770	52
Средняя часть прот. Галута	748	256	1800	56
Устье прот. Лобановская	1187	3600	2300	32
Устье прот. Левобережная	1778	512	2480	34

Необходимо отметить, что значения численности микроорганизмов, превышающие 3000 КОЕ/1 мл, могут быть связаны с повышенным содержанием аллохтонного органического вещества, поступающего с водосбора. Повышенное содержание микроорганизмов в воде проток Средняя и Северная, вероятно, связаны с их небольшим стоком и многочисленными гнездовьями птиц. Наименьшая численность микроорганизмов летом отмечена в наиболее многоводной протоке Харауз (таблица 6), осенью отмечено снижение органотрофов в основном до 41-56 КОЕ/1 мл, исключение составляли протоки Колпинная и Средняя, где их значения составляли 82 и 138 КОЕ/1 мл. ОМЧ в воде исследованных водотоков изменялось летом в пределах 156-3600 КОЕ/1 мл, осенью – от 51 до 175 КОЕ/1 мл, эти данные свидетельствуют о низком качестве воды в летний период. ОКБ для вод нецентрализованного водоснабжения не должно превышать 100 КОЕ/1 мл [Вода. СанПиН, 2004]. Основным показателем санитарного состояния водотоков является наличие в воде микроорганизмов группы кишечной палочки. В период наблюдений в 2012 г. уровень ОКБ (таблица 6) превышал допустимые нормы, установленные санитарно-эпидемиологическим контролем для питьевой воды, так как нормативный уровень – это отсутствие ОКБ в 100 мл воды. Осенью, значения ОКБ снижались (4-168 КОЕ/1 мл), но их присутствие в воде было постоянным. За последние годы [Сорокикова и др., 1995, 2005] количество колиформных

бактерий в исследуемом районе постоянно растет. Это связано с активной сельскохозяйственной деятельностью, поступлением промышленных и коммунально-бытовых стоков на протяжении всей реки. Максимальные значения, превышали даже нормы для хозяйственно-бытового водоснабжения (не более 1000 КОЕ/100 мл), а также нормы для рекреационного водопользования (не более 500 КОЕ/100 мл) [Вода. СанПиН, 2004]. Дополнительным микробиологическим индикатором загрязненности водного объекта является наличие бактерий рода *Enterococcus*, при числе энтерококков свыше 50 в 100 мл предполагается поступление фекального загрязнения и потенциальная эпидемиологическая опасность. Количество бактерий рода *Enterococcus* летом изменялось в пределах 12-56 КОЕ/100 мл, осенью – 8-50 КОЕ/100 мл, летом максимальные значения отмечены в воде протоки Харауз, осенью в протоке Средняя.

3.7. Липидные маркеры и структура микробного сообщества донных осадков протоков дельты р. Селенги

В метанолизате липидной фракции донных осадков обнаружено и идентифицировано 81 соединений. Основными компонентами метанолизата липидной фракции исследованных образцов являются насыщенные (52.2-66.1%) и мононенасыщенные (7.9–26.9%) прямоцепочечные и разветвленные жирные кислоты, а также стерины (3.8-15.1%). Присутствует ряд длинноцепочечных кислот C22-C30, дикарбоновых кислот C8-C9 и 2-гидрокси-кислот C22-C24.

Были определены насыщенные ЖК с длиной цепи от C10 до C30. Основными ЖК в исследуемых нами образцах были насыщенные 16:0 (15.0-31.8%), 18:0 (4.4-17.9%) и 14:0 (1.4-9.9%). Среди сверхдлинноцепочечных ЖК 24:0 определена в наибольшем количестве и составила от 2.1 до 7.9%.

Содержание цис- и транс-изомеров мононенасыщенной жирной кислоты 18:1d9 в исследуемых образцах было максимальным и составило до 14.2% и 12.0%, соответственно. Также основной вклад в сумму жирных кислот внесли содержания пальмитолеиновой кислоты 16:1d7 – от 1.1 до

6.9%. Высокие количества МНЖК 16:1 и 18:1 обычно содержатся в мембранных липидах сероокисляющих [Katayama-Fujimura et al., 1982; Jannasch et al., 1989; Guezannec, Fiala-Medioni, 1996] и метанотрофных бактерий [Virtue et al., 1996]. МНЖК также характерны для грамм-отрицательных клеточных мембран [Macnaughton et al., 1999; Ringelberg et al., 1997].

Обнаружение в пробе жирных кислот с числом атомов углерода от 12 до 19 считается признаком бактериальной биомассы. Высокая концентрация ненасыщенных жирных кислот, особенно 16:1 и 18:1, в донных отложениях, очевидно, связана с активной деятельностью микроорганизмов. Состав исследованных проб характерен для микробного сообщества, но не отдельного микроорганизма. Анализ липидных компонентов пробы донных отложений показывает, что некоторые из них могут быть отнесены к вполне определенным родам или даже видам микроорганизмов. Например, 10-гидроксистеариновая кислота характерна для *Clostridium perfringens* и некоторых других бактерий (в том числе нокардий), окисляющих олеиновую кислоту в богатых органических субстратах. Дикарбоновые кислоты, жирные спирты, обнаруженные в донных отложениях, свидетельствуют об активных окислительных процессах, которые относятся к деятельности микроорганизмов [White, 1988; Осипов, 1993; Simoneit, 2004].

Содержание альдегидов невысокое и составило от 2.1-9.2%. В природных водах карбонильные соединения, к которым относятся альдегиды, могут появляться в результате прижизненных выделений водорослей, биохимического и фотохимического окисления спиртов и органических кислот, распада органических веществ типа лигнина, обмена веществ бактериобентоса. Источником этих соединений являются также наземные растения, в которых образуются альдегиды и кетоны алифатического рядов и фурановые производные. Значительная часть альдегидов и кетонов поступает в природные воды в результате деятельности человека [Вакуленко, 2006].

Среди стерингов всех исследуемых донных осадков преобладает бета-ситостерол (до 10.2%), который является один из наиболее распространенных среди растительных стерингов. Содержание холестерина несколько ниже – 1.9-5.5%. Бета-ситостерол имеет структурное сходство с холестерином, однако отличается от него дополнительной этиловой группой [Санталова, 2005].

Таксономическая структура. В результате исследований микробного сообщества донных осадков притоков р. Селенги методом масс-фрагментографии выявлено 42 таксона видовых рангов из домена *Bacteria*. Ведущую роль в формировании качественного состава сообщества играют представители филума *Firmicutes* и в меньшей степени представители филумов *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Cyanobacteria* (рисунок 16). Остальные таксоны представлены единично.

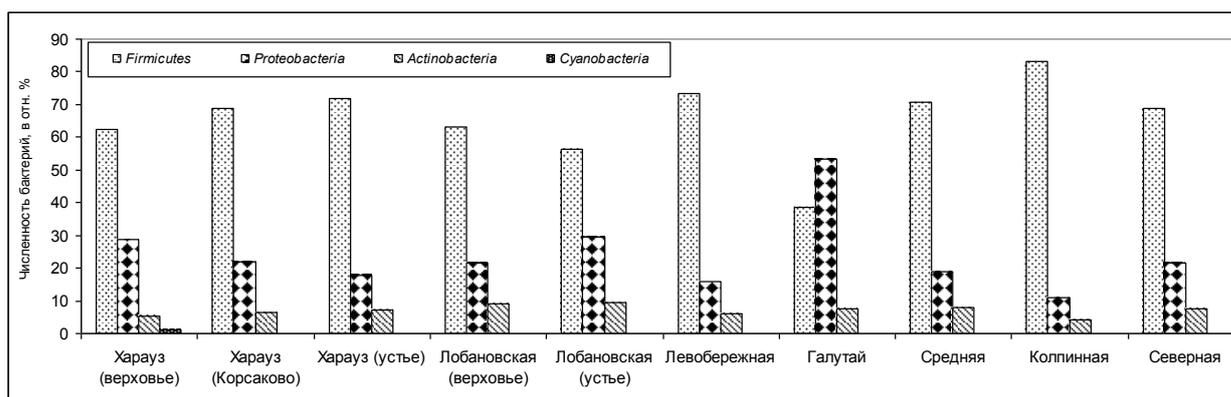


Рисунок 16. Численность бактерий донных осадков притоков р. Селенги, отн. %

Из рисунка 16 видно, что основными в структуре микробного сообщества протоки Галутай р. Селенги являются представители филума *Proteobacteria*. Наибольший вклад в сумму *Proteobacteria* донных осадков протоки Галутай в отличие от остальных притоков вносят микроорганизмы рода *Aeromonas* (рисунок 17), которые относятся к условно-патогенным микроорганизмам [Racicot, 1975; Rhodes, 1994]. Их развитию способствуют такие факторы внешней среды как маловодье, высокая температура воды, низкое содержание кислорода. Вероятно, это обусловлено гидрологическими

особенностями самой протоки, а также смывами из почвы от находившейся там зверофермы [Тулохонов, 2008].

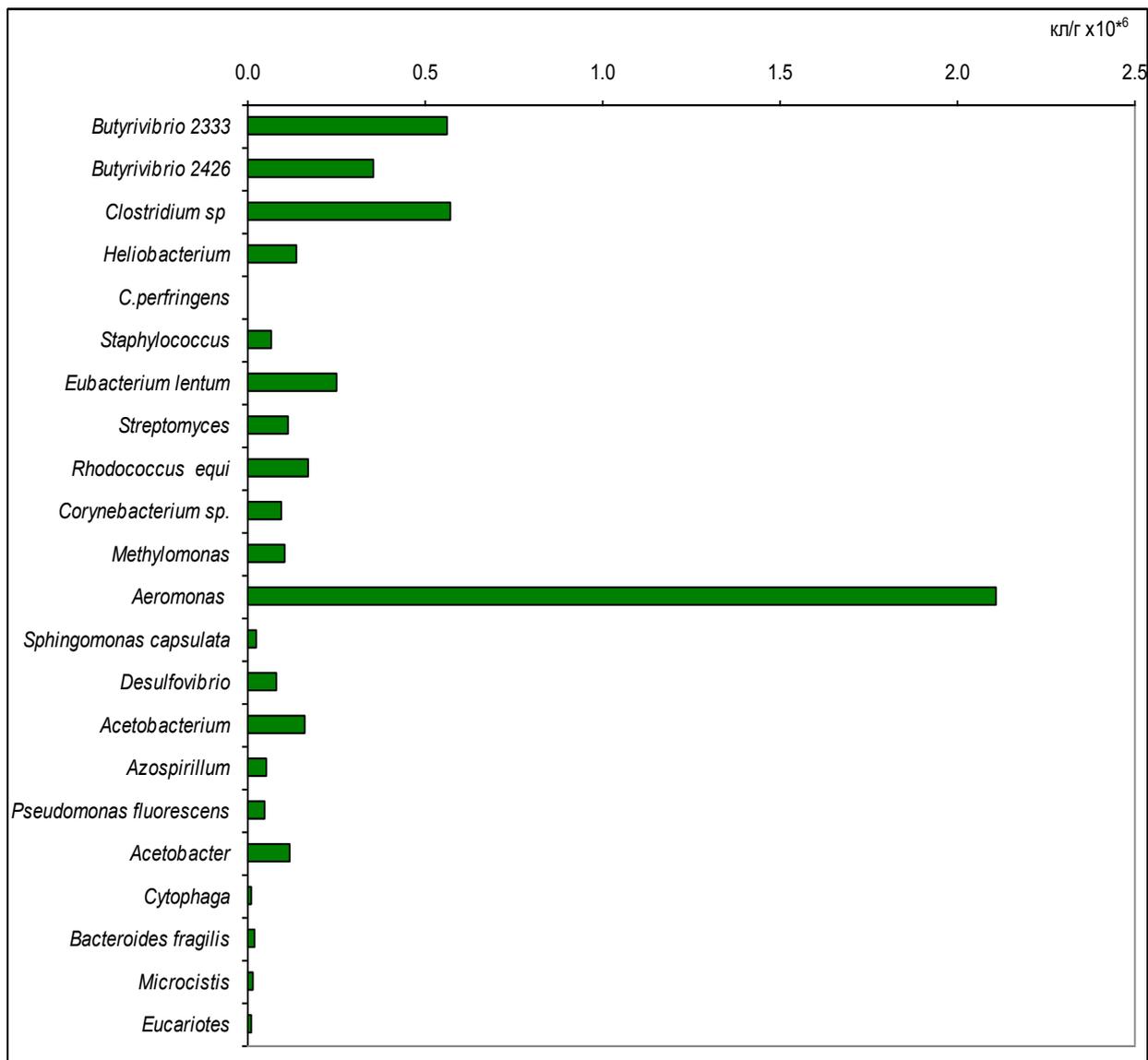


Рисунок 17. Видовой состав и численность микробного сообщества донных осадков протоки Галутай

3.8. Фитопланктон

Фитопланктон р. Селенги состоит преимущественно из широко распространенных видов, обычных для многих водоемов Сибири и Европейской части, и только некоторые из них имеют более узкое распространение. В 2012 г. в основном русле и дельтовых протоках обнаружено 112 видов планктонных водорослей, из них: синезеленых – 16, динофитовых – 3, криптофитовых – 2, золотистых – 8, диатомовых – 22,

эвгленовых – 3, зеленых – 56. Наибольшим разнообразием характеризуются зеленые водоросли, к постоянным компонентам которых относятся виды – *Monoraphidium*, *Dictyosphaerium*, *Scenedesmus* и *Actinastrum*. Из диатомовых определяющая роль принадлежит мелкоклеточным центрическим диатомовым из рода *Stephanodiscus* и *Cyclostephanos*, а из пеннатных *Nitzschia gracilliformis*. Характерной особенностью фитопланктона р. Селенги является очень слабое развитие синезеленых водорослей, что обусловлено большой мутностью воды, содержащей массу взвешенных частиц преимущественно минерального происхождения и значительной скоростью течения.

В июле 2012 г. наблюдался высокий паводок, который оказал влияние на состав и количественные показатели фитопланктона. В воде основного русла реки отмечалось большое количество взвешенных минеральных частиц, прозрачность была очень низкая и не превышала 15 см, что привело к уменьшению количества мелкоклеточных центрических диатомовых водорослей в сравнении с маловодными годами [Поповская, Ташлыкова, 2008]. Основу фитопланктона составляли зеленые водоросли. Максимальные показатели планктона в основном русле отмечались в нижнем течении реки, где общая численность фитопланктона составляла 1.1-1.7 млн кл./л. Обращает на себя внимание очень большая численность бентосных диатомовых водорослей в воде, что обусловлено увеличением скорости течения во время паводка в основном русле реки. В дельтовых протоках наблюдалась несколько иная картина. Численность водорослей в ряде протоков была выше, чем в основном русле реки. Так в протоках Средняя, Северная и Левобережная численность фитопланктона составляла соответственно 1.7, 1.4, 1.4 млн кл./л, а количество бентосных диатомовых в водной толще было существенно меньше, чем в основном русле реки и не превышало 0.2 млн кл./л. На большинстве станций р. Селенги биомасса водорослей составляла менее 0.5 г/м³. Среди дельтовых протоков выделяются протоки Средняя и Северная, где биомасса была повышенной, достигая соответственно 4.6-1.6

г/м³. В этих протоках наряду с зелеными развивались мелкоклеточные центрические диатомовые, а в Северной обнаружены также и крупные динофитовые водоросли (*Ceratium hirundinella*). В целом биомасса фитопланктона во время июльской съемки 2012 г. была низкой по сравнению с другими годами [Поповская, Ташлыкова, 2008]. Пробы, отобранные в октябре, находятся в обработке.

В 2012 г. (июль) индекс сапробности в основном русле и дельтовых протоках изменялся от 1.6 до 2.4. В соответствии с эколого-санитарной классификацией и индекса индикаторных организмов по Пентле-Букку в модификациях Сладечика [Sladecsek, 1973; Маркушин, 1974; Барина и др., 2006] воды р. Селенги в 2012 г. относились к III классу чистоты (умеренно-загрязненные). Только в протоке Левобережная в этом году индекс сапробности был несколько выше (2.75), воды относятся к IV классу загрязненных вод.

По величинам биомассы фитопланктона воды р. Селенги в маловодные годы относятся к мезотрофному типу с чертами эвтрофии [Сороковикова и др., 2009]. В годы высокой водности, таковым соответствует и 2012 г. р. Селенга относится к олиготрофному типу, биомасса фитопланктона была менее 1 г/м³.

3.9. Тяжелые металлы в поверхностной воде и донных отложениях

В 2012 г. пробы воды были отобраны в летний паводок, по сравнению с предыдущими годами водность реки была повышена за счет обильных осадков. Эта ситуация существенным образом оказала влияние на содержание тяжелых металлов в поверхностных водах р. Селенги.

Содержание общего железа в исследуемых пробах воды изменялось в интервале 63 до 88 мкг/л (рисунок 18). Значение ПДК_{вр} железа составляет 50 мкг/л. Повышенное содержание железа характерно практически для всех пунктов отбора проб. Основная причина, как и для меди, заключается в высоких фоновых значениях.

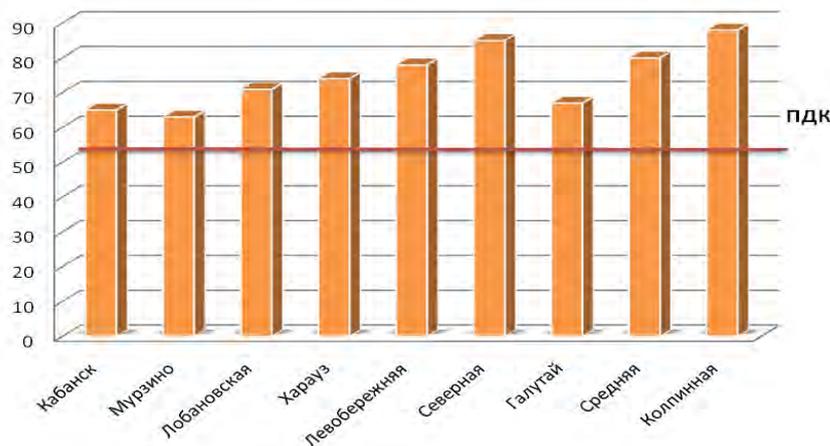


Рисунок 18. Содержание железа протоках дельты р. Селенги

Концентрация марганца в исследуемых водах изменялась в пределах 3-27 мкг/л (рисунок 19). Значение ПДК_{вр} составляет 10 мкг/л. Особенно высокие концентрации марганца отмечались в протоках центральной части дельты Северная, Средняя, Колпинная. Следует отметить, что повышенные содержания железа и марганца характерны для заболоченной местности, вследствие разложения растительности.

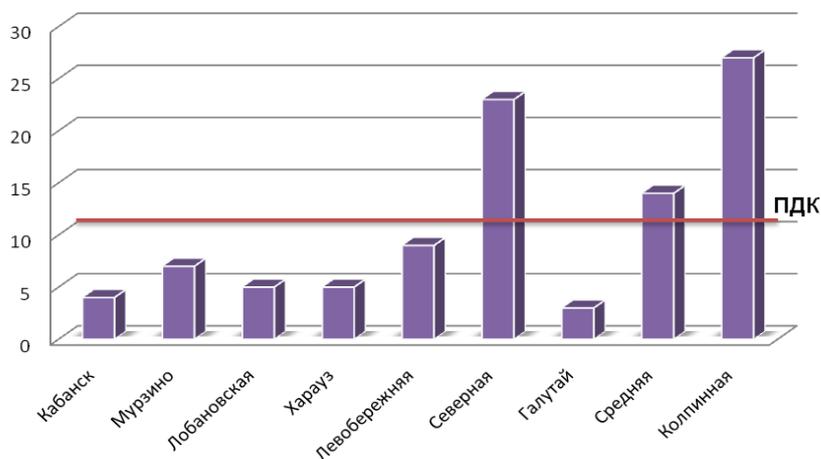


Рисунок 19. Содержание марганца протоках дельты р. Селенги

По результатам исследований отмечено повышенное содержание меди в протоке Харауз 2 мкг/л, в остальных протоках на пределе ПДК_{вр}, что характерно для всех пунктов отбора проб (рисунок 20). Основная причина этого заключается в высоких фоновых значениях, характерных для рассматриваемой территории, что отмечено ранее проведенными исследованиями. Значение ПДК_{вр} для меди составляет 1 мкг/л.

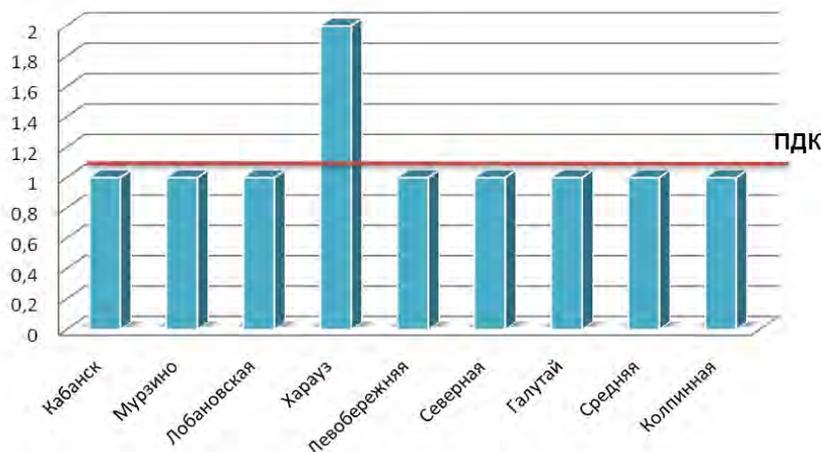


Рисунок 20. Содержание меди в протоках дельты р. Селенги

Концентрации цинка изменялись от 0 до 0.2 мкг/л, кадмия от 0.2 – 0.3 мкг/л, находились в пределах допустимых концентраций и не превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов. ПДК_{вр} для цинка составляет 10 мкг/л, для кадмия 1 мкг/л.

Такие элементы как свинец, никель и кобальт в поверхностных водах не были обнаружены.

Изменение условий водности реки оказывает значительное влияние и на содержание тяжелых металлов (ТМ) в воде, так концентрации ТМ в поверхностной воде в протоках дельты в 2012 г. в условиях повышенной водности значительно понизились вследствие разбавляющего эффекта, содержание железа и марганца уменьшилось в 5-10 раз (рисунок 21), меди в 2-3 раза, цинка в 8-12 раз в сравнении с 2003 г. (рисунок 22).

По результатам анализа проб поверхностной воды, отобранных в ходе экспедиции с 2 по 10 октября 2012 года, концентрации меди, свинца, цинка, хрома, кадмия не были обнаружены. Определены средние концентрации железа и марганца, содержание которых также были сравнительно ниже, чем в летних пробах (таблица 7). Все это согласуется с полученными прежде данными о снижении средних концентраций в летне-осенний периоды.

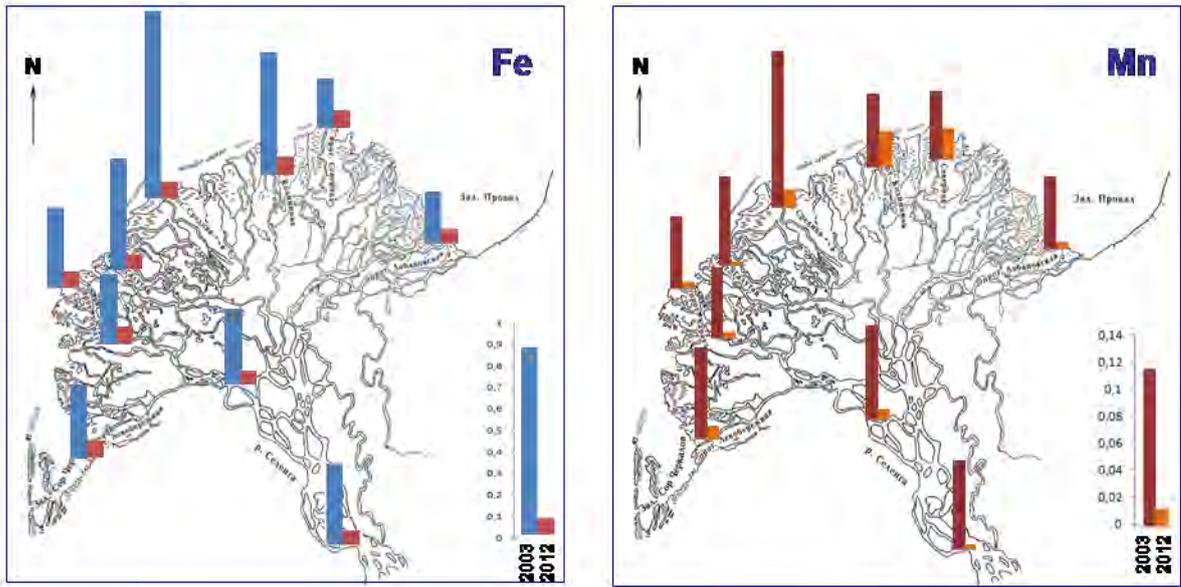


Рисунок 21 Содержание железа и марганца в 2003 и 2012 гг.

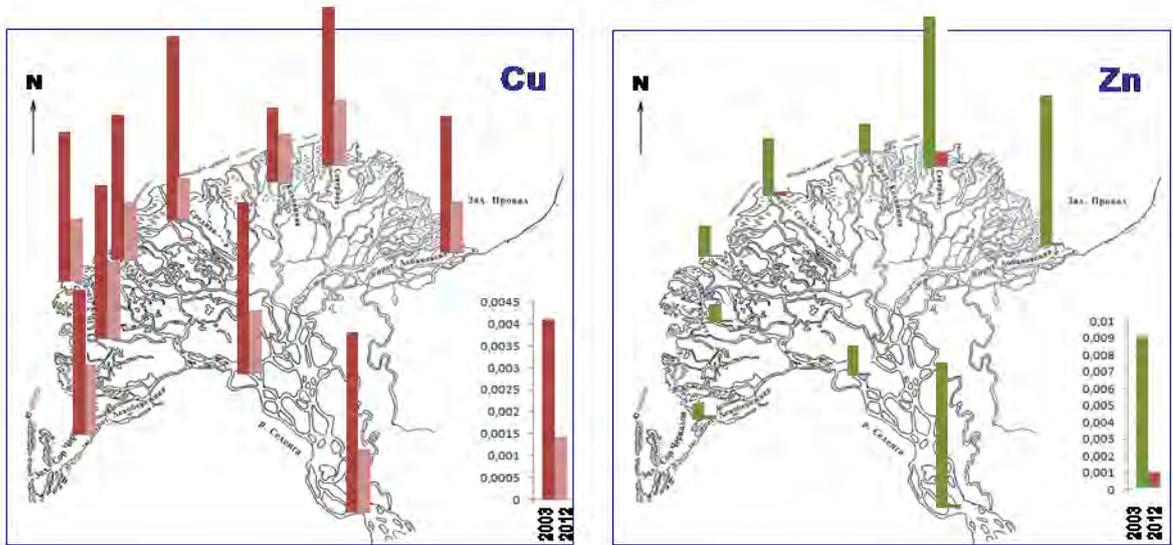


Рисунок 22 Содержание меди и цинка в 2003 и 2012 гг.

Таблица 7

Результаты химического анализа поверхностной воды в дельте р. Селенги,
 октябрь 2012 г.

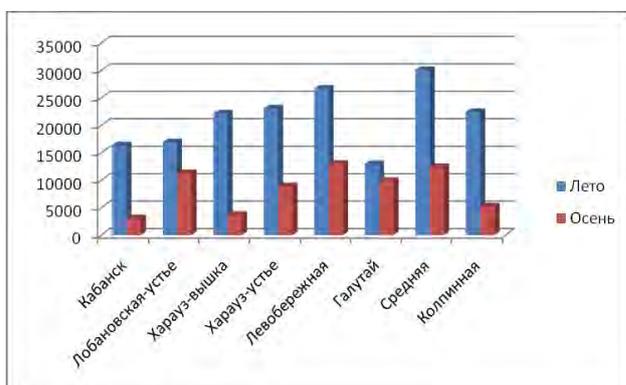
Место отбора	Fe	Cu	Zn	Cr	Pb	Cd	Mn
Кабанск	0.13	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.006
Мурзино	0.059	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.009
Лобановская верховье	0.040	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.002
Лобановская	0.12	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.017

устье							
Харауз вышка	0.051	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.003
Харауз устье	0.06	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.005
Левобережная	0.069	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.005
Северная	0.085	0.001	0.001	0.003	0	0.0002	0.023
Галутай	0.047	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.002
Средняя	0.062	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.010
Колпинная	0.061	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	0.05

Донные отложения являются одним из наиболее стабильных компонентов водных экосистем. В химическом составе донных отложений достаточно четко фиксируются антропогенные воздействия, приводящие к загрязнению водного объекта (или его участков) и характере происходящих в нем процессов самоочищения за счет гидрофизических, геохимических и биологических процессов.

В 2012 году на фоне низких значений содержания тяжелых металлов в поверхностных водах проток р. Селенги, наблюдается снижение концентраций ТМ в донных отложениях летне-осенний периоды (рисунки 23 – 25).

а)



б)

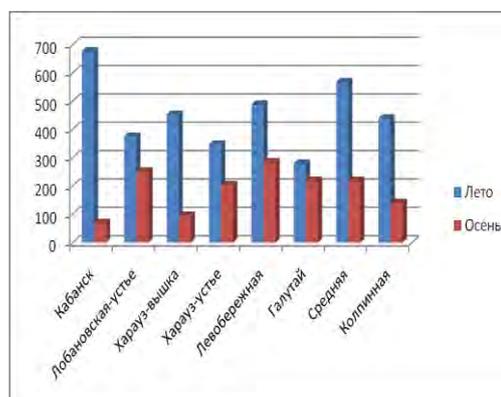


Рисунок 23. Содержание железа(а) и марганца (б) в донных отложениях

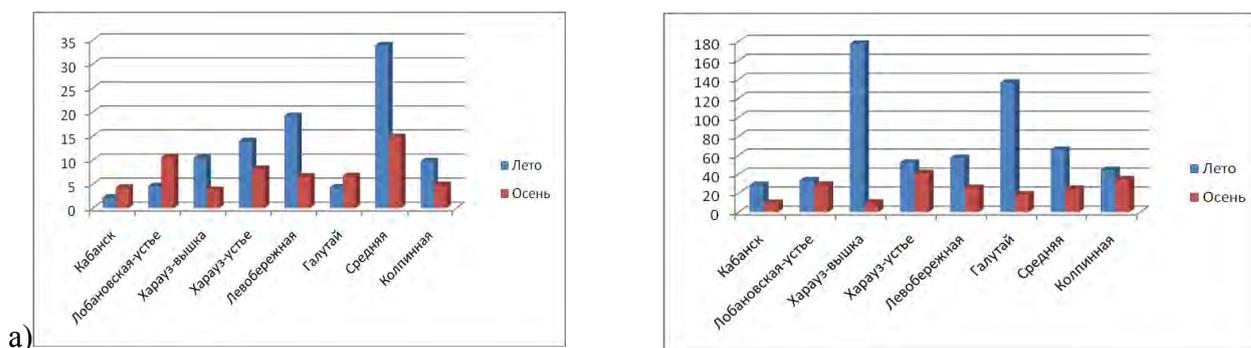


Рисунок 24. Содержание меди (а) и цинка (б) в донных отложениях

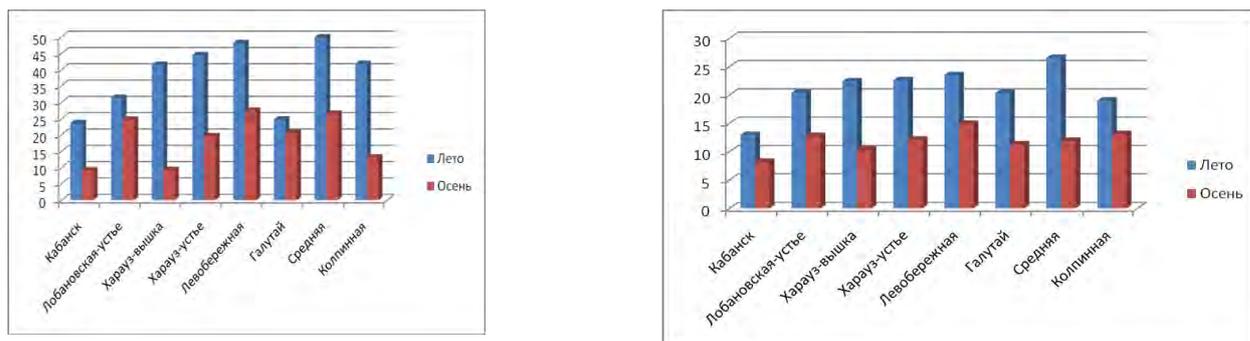


Рисунок 25. Содержание хрома (а) и свинца (б) в донных отложениях

Сопоставляя полученные данные по содержанию ТМ в донных отложениях с данными, полученными Ветровым В.А. в 1994 г. [Ветров, 1994], можно сказать, что содержания основных микроэлементов в донных отложениях остаются довольно стабильными (таблица 8) на протяжении почти 20 лет.

Таблица 8

Сравнение данных по микроэлементному составу донных отложений
 Селенгинского мелководья

Элемент	Селенгинское мелководье	
	данные [Ветров, Кузнецова, 1997]	наши данные
Fe	1.9-3.7%	0.3-3.0%
Mn	0.03-0.09%	0.01-0.07%
Cu	12-30 мкг/г	2-34 мкг/г
Zn	220-340 мкг/г	10-177 мкг/г
Cr	40-90 мкг/г	13-50 мкг/г
Pb	12-21 мкг/г	10- 27 мкг/г

Согласно классификации донных отложений природных вод по оценке загрязненности тяжелыми металлами, приведенных в таблице 9 [Contaminants..., 1996], донные отложения дельты р. Селенги можно отнести к умеренно-загрязненным.

Таблица 9

Классификация донных отложений природных вод, мкг/г

Донные отложения	Cd	Cr	Cu	Pb
Незагрязненные	-	<25	<25	<40
Умеренно загрязненные	-	25-70	25-50	40-60
Сильно загрязненные	>6	>75	>50	>60

Заклучение

В 2012 г. в дельте р. Селенги исследования выполнены на 11 постоянных и 5 дополнительных станциях, включающих нижнее течение р. Селенги, протоки в центральной части дельты и устьевые участки крупных и малых проток. Показано, что основная часть стока р. Селенги в настоящее время проходит по южным протокам ее дельты. За последние 15-20 лет возрос транзит по прот. Левобережная до 29 %. Произошло перераспределение стока в северной части дельты, где наиболее многоводной теперь является протока Дологан (до 19 %). При этом втрое сократился сток через прот. Лобановскую.

Полученные результаты достаточно репрезентативно отражают экологическую ситуацию в реке в условиях повышенной водности. Газовый режим и рН среды в протоках были благоприятными для жизнедеятельности водных организмов. Концентрация кислорода не снижалась ниже 7.3 мг/л, а величина рН изменялась от 7.88 до 8.90. Концентрации биогенных элементов в воде изменялись в широких пределах, при этом максимальные значения суммы минерального азота (0.50 мг N/л), общего и минерального фосфора (139 и 24 мкг P/л) достигали достаточно высоких значений, соответствующих таковым в водоемах повышенной трофности. Качество воды в протоках по содержанию биогенных элементов и органических веществ в основном относилось к разрядам "достаточно чистая" и "умеренно загрязненная". Развитие фитопланктона при повышенной водности в р. Селенге соответствовало олиготрофному типу водоемов, биомасса не превышала 1 г/м³. Индекс сапробности в основном русле и дельтовых протоках изменялся от 1.6 до 2.4, что соответствовало III классу чистоты (умеренно-загрязненные). Повышенное содержание микроорганизмов, в том числе и патогенной микрофлоры в воде проток свидетельствует о низком качестве воды и о необходимости ограничения использования ее в рекреационных целях.

Изменение условий водности реки оказало значительное влияние на содержание тяжелых металлов (ТМ) в воде и донных отложений, так концентрации ТМ в поверхностной воде в протоках дельты в 2012 г. в условиях повышенной водности значительно понизились вследствие разбавляющего эффекта, в сравнении с 2003 г. Тем не менее следует отметить стабильно высокие значения содержания железа общего, меди, марганца (в центральных протоках дельты). Сопоставляя полученные данные по содержанию ТМ в донных отложениях с данными, полученными Ветровым В.А. в 1994 г. [Ветров, 1994], можно сказать, что содержания основных микроэлементов в донных отложениях остаются довольно стабильными на протяжении почти 20 лет.

Впервые методом ГХ-МС определен состав липидных компонентов (различные ЖК, альдегиды и стеринны) в донных осадках протоков р. Селенги: обнаружено свыше 100 соединений, среди которых определены специфические липидные маркеры, позволяющие идентифицировать различные группы микроорганизмов. Впервые методом масс-спектрометрии микробных маркером проведен скрининг микробного сообщества: по количественному содержанию липидных маркеров определен состав микроорганизмов донных осадков. Анализ липидных компонентов образцов показал, что некоторые из них могут быть отнесены к вполне определенным родам или даже видам микроорганизмов. Ведущую роль в формировании качественного состава сообщества играют представители филумов *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Actinobacteria* и *Cyanobacteria*.

По результатам работ сделаны **доклады** на

1. V Международной научно-практической конференции «Селенга – река без границ» (Комплексное управление природными ресурсами трансграничной экосистемы озера Байкал), которая состоялась 05-06 июля 2012 г. в г. Улан-Удэ (Россия) и в г. Улан-Батор (Монголия) в третьей декаде июля 2012 г.;
2. Втором международном совещании «Социально-экономические и экологические проблемы и перспективы международного сотрудничества России-Китая-Монголии» 20-23 ноября 2012 г., в г. Чита.

Литература

1. Айнбунд, М.М. Исследование динамики устьев рек и придельтовых частей водоемов на примере р. Селенги и оз. Байкал / М.М. Айнбунд, Н.А. Давтян, А.С. Судольский, В.А. Фиалков // Труды IV всесоюз. гидрол. съезда. Л.: Гидрометеиздат. – Т.5. – 1975. – с.356-365.
2. Барам, Г.И. Применение микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды / Г.И. Барам, А.Л. Верещагин, Л.П. Голобокова // Аналит. Химия. – 1999. – Т.54. – № 9. – с. 962-965.
3. Богданов, В.Т. Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах / В.Т. Богданов // Лиственничное. – 1973. – с. 5-8.
4. Богданов, В.Т. Химический сток р. Селенги в многоводный и маловодный годы / В.Т. Богданов // Тезисы VIII совещания по подземным водам. – Иркутск-Улан-Удэ. – 1976. – С. 82.
5. Богоявленский, Б.А. Урочища дельты р. Селенги / Б.А. Богоявленский // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. – 1974. – с. 5-16.
6. Бондаренко, Н.А. Структура и продукционные характеристики фитопланктона оз. Байкал / Н.А. Бондаренко // Автореф. канд.дис. – Борок. – 1997. – 23 с.
7. Бочкарев, Н.Ф. Гидрохимия реки Селенги / Н.Ф. Бочкарев // Труды Ирк. гос. ун-та. – 1958. – т. XXIV. – С. 143.
8. Бреховских, В.Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в донных отложениях и высшей водной растительности заливов Иваньковского водохранилища / В.Ф. Бреховских, З.В. Волкова, Н.В. Кирпичникова, А.Г. Кочарян, Л.П. Федорова // Водные ресурсы. – 28, 4. – 2001. – с. 441.
9. Вакуленко, В.Ф. Влияние режимов фотоокисления природных вод на выход карбонильных соединений / В.Ф. Вакуленко, М.В. Милюкин, В.В. Гончарук // Журнал прикладной химии. – 79. – №3. – 2006. – с. 397-403.

10. Вейант, Р. Определитель нетривиальных патогенных грамотрицательных бактерий / Р. Вейант, У. Мосс, Д. Холлис, Дж. Джордан, Э. Кук, М. Дейншвар // М.: Мир. – 1999. – 791 с.
11. Ветров, В.А. Микроэлементы в незагрязненных пресных и ультрапресных природных водах суши / В.А. Ветров, Н.И. Белова // Обнинск: ВНИИГМИ МЦД. – 1979. – 57 с.
12. Ветров, В.А. Микроэлементы в природных средах региона оз. Байкал / В.А. Ветров, Кузнецова А.И. // Новосибирск: Наука. – 1997. – 234 с.
13. Вода. Санитарные правила, нормы и методы безопасного водопользования населения // М.: ИнтерСЭН. – 2004. – 754 с.
14. Вотинцев, К.К. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал / К.К. Вотинцев, И.В. Глазунов, А.П. Толмачева // М.: Наука. – 1965. – 495 с.
15. Вотинцев, К.К. Первичная продукция фитопланктона р. Селенги и ее роль в процессах самоочищения / К.К. Вотинцев // Водные ресурсы. – 1985. – № 4. – с. 155.
16. Генкал, С.И. Центрические диатомовые водоросли Селенгинского мелководья озера Байкал / С.И. Генкал, Г.И. Поповская // Биология внутренних вод. – 2003. – № 2. – с. 9-14.
17. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы", утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 27.04.2003). – Зарегистрировано в Минюсте РФ 19.05.2003 N 4550.
18. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал» и мерах по его охране в 2010г.». – Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП «Росгеолфонд». – 2010. – 443 с.
19. Грачев, М.А. О современном состоянии экологической системы озера Байкал / М.А. Грачев // Иркутск. – 2002. – с.153.
20. Грошева, Е.И. Гидрохимическая характеристика сточных вод очистных сооружений г. Улан-Удэ / Е.И. Грошева, З.А. Климашевская, Р.П. Лосева, Т.Е.

- Афони́на и др. // Мониторинг состояния озера Байкал. Л.: Гидрометеоиздат. 1991. – С.70.
21. Дельта реки Селенги – естественный биофильтр и индикатор состояния оз. Байкал // Новосибирск: издательство СО РАН. – 2008. – 310 с.
22. Джамалов, Р.Г. Природно-климатические и антропогенные причины изменения подземного стока бассейна Лены / Р.Г. Джамалов, Е.В. Потехина // Электронное научное издание «Георазрез» (<http://georazrez.uni-dubna.ru>). – 30 с.
23. Драбкова, В.Г. Интенсивность круговорота фосфора и углерода в озерах разного уровня трофии. Трансформация органического и биогенных веществ при антропогенном эвтрофировании озер / В.Г. Драбкова, Е.А. Стравинская // Л.: Наука. – 1989. – С. 243.
24. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 год. // М.: Росгидромет. – 2011. – 66 с.
25. Жукинский, В.Н. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши / В.Н. Жукинский, О.П. Окснюк, Г.Н. Олейник, С.И. Кошелев // Гидробиол. журнал. – 1981. – т. 17. – №2. – с. 38-49.
26. Заварзин, Г.А. Будущее отбирается прошлым / Г.А. Заварзин // Вестник РАН, 2004. – Т. 74. - № 9. – с. 813-822.
27. Заварзин, Г.А. Планета бактерий / Г.А. Заварзин // Вестник РАН, 2008. – Т. 78. - № 4. – с. 328-345.
28. Изменения климата. Обзор состояния и тенденций изменения климата России 1998 г. // М.: Изд. ИГКЭ. – 1999. (<http://climatechange.igce.ru>)
29. Измestьева, Л.Р. Современное состояние озера Байкал и тенденции его изменения / Л.Р. Измestьева, Б.К. Павлов, С.В. Шимараева // Тез. докл. VIII съезда гидробиологического общества РАН. – Калининград. – 2001. – с. 12.
30. Ильичева, Е.А. Тенденции русловых процессов в дельте р. Селенги / Е.А. Ильичева, М.В. Павлов // Экологический риск и экологическая безопасность. – Иркутск: изд. Ин-та Географии СО РАН. – 2012. – с. 201.

31. Ильичева, Е.А. Тенденции русловых процессов в дельте р. Селенги // Е.А. Ильичева, М.В. Павлов, И.В. Амосова // География и природные ресурсы. – 2012. – № 3.
32. Имбс, А.Б. Липиды и жирные кислоты кораллов Вьетнама: состав, хемотаксономическое значение, возможные пути биосинтеза и передачи между симбионтами и организмом-хозяином: Дис. ... докт. биол. наук: 03.01.04. – Владивосток. – 2012.
33. Кожова, О.М. Инструкция по обработке проб планктона счетным методом / О.М. Кожова, Н.Г. Мельник // Иркутск, изд-во Иркутского Госуниверситета, 1978. – 51 с.
34. Кондратьева, Л.М. Вторичное загрязнение водных экосистем / Л.М. Кондратьева // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27. – № 2. – С. 221-231, Т. 26. – №3. – с. 149-159.
35. Линник, П.Н. Формы миграции тяжелых металлов в пресных поверхностных водах / П.Н. Линник, Б.И. Набиванец // Л.:Гидрометеиздат. – 1986. – 270 с.
36. Макарова, И.В. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона / И.В. Макарова, Л.О. Пичкилы // Ботан. Журн., 1970. – т. 55. – № 10. – с. 1488-1494.
37. Младова, Т.А. Микробиологическая характеристика р. Селенги и влияние антропогенного фактора / Т.А. Младова // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Лиственичное. – 1973. – с. 10-13.
38. МУК 4.2.1884 – 04. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов // М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – 2005. – с. 25 – 58.
39. Мур, Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Мур, С. Рамамурти // М.: Мир. – 1987. – 288 с.
40. Нахшина, Е.П. Микроэлементы в водохранилищах Днепра / Е.П. Нахшина // Киев:Наук.думка. – 1993. – 160 с.

41. Нахшина, Е.П. Тяжелые металлы в системе «вода – донные отложения водоёмов (обзор) / Е.П. Нахшина // Гидробиологический журнал. –21. – 2. – 1985. – 80 с.
42. Обожин, В.Н. Гидрохимия рек и озер Бурятии / В.Н. Обожин, В.Т. Богданов, О.Ф. Кликунова // Новосибирск: Наука. – 1984. – 152 с.
43. Осадчий, В.И. Распределение, накопление и миграция тяжелых металлов в бассейне Днепра / В.И. Осадчий // Автореф. дисс... канд. геогр. наук: 11.00.07. Ростов - на - Дону. – 1991. – 23 с.
44. Осадчий, В.И. Распределение тяжелых металлов в воде, взвешенных веществах и донных отложениях Дуная / В.И. Осадчий, В.И. Пелешенко, В.Н. Савицкий, В.В. Кирничный, В.В. Гребень, О.С. Годун // Вод. ресурсы. – 1993. – Т. 20. – № 4. – с.455- 461.
45. Осипов, Г.А. Способ определения родового (видового) состава ассоциации микроорганизмов / Патент РФ № 2086642. С12N 1/00, 1/20, С12Q 1 /4, 24.12.1993.
46. Осипов, Г.А. Хромато-масс-спектрометрический анализ микроорганизмов и их сообществ в клинических пробах при инфекциях и дисбиозах / Г.А. Осипов // Химический анализ в медицинской диагностике – М.: Наука. – 2010. – С.293-368.
47. Осипов, Г.А. Хромато-масс-спектрометрическое обнаружение микроорганизмов в анаэробных инфекционных процессах / Г.А. Осипов, А.М. Демина // Вестник РАМН. – 1996. – Т. 13. – №2. – с. 52-59.
48. Папина, Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода - взвешенное вещество - донные отложения речных экосистем / Т.С. Папина // Аналит. Обзор. ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. – Новосибирск. – 2001. – 58 с. – (Сер. Экология. Вып.62).
49. Папина, Т.С. Факторы, влияющие на распределение тяжелых металлов по абиотическим компонентам водных экосистем Средней и Нижней Оби / Т.С. Папина, Е.И. Третьякова, А.Н. Эйрих // Химия в интересах устойчивого развития. – 1999. – №7. – с. 553-564.

50. Папина, Т.С. Эколого-аналитическое исследование распределения тяжелых металлов в водных экосистемах бассейна р. Обь / Т.С. Папина // Дис. ... д-ра хим. наук. – Барнаул. – 2004. – 259 с.
51. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИР. – 1999.
52. Петрова, Н.А. Сукцессии фитопланктона при антропогенном эвтрофировании больших озер / Н.А. Петрова // Л.: Наука. – 1990. – 197 с.
53. Поповская, Г.И. Многолетние изменения фитопланктона реки Селенги / Г.И. Поповская, А.Е. Кузьмина // Проблемы экологии Прибайкалья: Тез. докл. к III Всесоюз. науч. конф. – 1988. – Ч.2. – с. 123-124.
54. Поповская, Г.И. О фитопланктоне дельтовых протоков р. Селенга / Г.И. Поповская // Изв. СО РАН СССР. – 1960. – № 3. – с. 71-78.
55. Поповская, Г.И. Об эвтрофикации р. Селенги и зал. Провал на Байкале / Г.И. Поповская // Первый Всесоюзный симпозиум по антропогенному эвтрофированию водоемов. Черноголовка. – 1974. – с. 149.
56. Потемкина, Т.Г. Распределение стока воды и наносов в протоках дельты реки Селенги / Т.Г. Потемкина // География и природные ресурсы. – 1995. – №1. – с. 75.
57. Романенко, В.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов / В.И. Романенко, С.И. Кузнецов // М.: Наука, Ленингр. – 1974. – с. 181-188.
58. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону. «НОК». – 2009. – 1044 с.
59. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод // М.: Минздрав России. – 2000.
60. Санталова, Е.А. Структурное изучение стеринов и некоторых сопутствующих токсинов морских губок: Дис. ... канд. хим. наук: 02.00.10 / Е.А. Санталова. – Ин-т биологии моря ДВО РАН. – Владивосток. – 2005. – 162 с.

61. Синюкович, В.Н. Водный баланс бассейна р. Селенги / В.Н. Синюкови // География и природ. ресурсы. – 2008. – № 1. – с.72– 75.
62. Синюкович, В.Н. Изменение климата и химический сток реки Селенги / В.Н. Синюкович, Л.М. Сороковикова, И.В. Томберг, А.К. Тулохонов // ДАН. – 2010. – № 6. – с. 817-821.
63. Синюкович, В.Н. Сток реки Селенги в ее дельте / В.Н. Синюкович, Н.Г. Жарикова, В.Д. Жариков // География и природ. ресурсы. – 2004. – № 3. – с. 64-69.
64. Сороковикова, Л.М. Качество вод в дельте р. Селенги / Л.М. Сороковикова, А.К. Тулохонов, В.Н. Синюкович, Г.И. Поповская, И.Г. Никулина, И.В. Томберг, Н.В. Башенхаева, С.Ю. Максименко, Т.В. Погодаева, Е.А. Ильичева, А.В. Некрасов // География и природные ресурсы. – 2005. – №1. – с 73-80.
65. Сороковикова, Л.М. Первичная продукция и деструкция органического вещества р. Селенги / Л.М. Сороковикова, В.В. Авдеев // Вод. ресурсы. – 1992. – № 5. – с.163-165.
66. Сороковикова, Л.М. Пространственно-временная изменчивость содержания биогенных и органических веществ и фитопланктона в воде р. Селенги и протоках ее дельты / Л.М. Сороковикова, Г.И. Поповская, И.В. Томберг, Н.В. Башенхаева // Водные ресурсы. – 2009. – № 4. – с. 465-474.
67. Сороковикова, Л.М. Формирование ионного стока Селенги в современных условиях / Л.М. Сороковикова, В.Н. Синюкович, Л.П. Голобокова, М.П. Чубаров // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27 (5) . – с. 560-565.
68. Сороковикова, Л.М. Химический состав воды и фитопланктона водных объектов дельты р. Селенги в подледный период / Л.М. Сороковикова, Г.И. Поповская, В.Н. Синюкович, И.В. Томберг, Н.В. Башенхаева, Н.А. Ташлыкова // Вод. ресурсы. – 2006. – Т. 33. – № 3. – с. 349-356.
69. Сороковикова, Л.М. Экологические особенности р. Селенги в условиях наводнения / Л.М. Сороковикова, В.Н. Синюкович, В.В. Дрюккер, Т.Г.

- Потемкина, О.Г. Нецветаева, В.А. Афанасьев // География и природные ресурсы. – 1995. – №4. – с. 64-71.
70. Тарасова, Е.Н. Современное состояние гидрохимического режима озера Байкал / Е.Н. Тарасова, А.И. Мещерякова // Новосибирск: Наука. – 1992. – 144 с.
71. Томберг, И.В. Сток ионов в дельте р. Селенги в условиях малой водности / И.В. Томберг, Л.М. Сороковикова, В.Н. Синюкович, Т.В. Погодаева // Метеорология и гидрология. – 2006. – № 12. – с. 87-95.
72. Третьякова, Е.И. Особенности распределения тяжелых металлов по компонентам водоемов различной минерализации / Е.И. Третьякова, Т.С. Папина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2000. – № 8. – с. 429-438.
73. Тулохонов, А.К. Дельта реки Селенги – естественный биофильтр и индикатор состояния озера Байкал / отв. ред. А.К. Тулохонов, А.М. Плюснин; Рос. акад. Наук, Сиб. отд-ние, Байкальский институт природопользования [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 314 с.
74. Урбазаева, С.Д. Основные формы миграции и распределение тяжелых металлов в воде, на взвесах и в донных отложениях проток дельты р. Селенга / С.Д. Урбазаева, З.И. Хажеева, Л.Д. Раднаева, А.К. Тулохонов, А.Н. Бешенцев // Инженерная экология. – 2012. – №4. – с. 36-41.
75. Хажеева, З.И. Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и биоте Черкалов сора оз. Байкал / З.И. Хажеева, Н.М. Пронин, Л.Д. Раднаева, Ж.Н. Дугаров, С.Д. Урбазаева // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – №1. – с. 95-102
76. Хажеева, З.И. Тяжелые металлы в воде и донных отложениях дельты р. Селенга / З.И. Хажеева, С.Д. Урбазаева, Н.В. Бодоев, Л.Д. Раднаева, Ю.О. Калинин // Вод. ресурсы. – 2004. – Т.31. – № 1. – с. 69-72.
77. Хажеева, З.И. Тяжелые металлы в воде и донных отложениях проток дельты р. Селенги / З.И. Хажеева, С.Д. Урбазаева, А.К. Тулохонов, А.М.

Плюснин, Л.М. Сороковикова, В.Н. Синюкович // Геохимия. – 2005. – №1. – с. 105-111.

78. Цыденова, О.В. Загрязнение бассейна озера Байкал: хлорорганические пестициды / О.В. Цыденова, В.Б. Батоев, Л. Вайсфлог, К.Д. Венцель // Химия в интересах устойчивого развития. – 2003. – № 2. – с. 67-73.

79. Чебунина, Н.С. Сравнительная оценка аккумуляции стойких органических загрязнителей в экосистемах дельты реки Селенги и озера Гусиного / Н.С. Чебунина // Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 – Улан-Удэ. – 2011. – 24 с.

80. Чебыкин, Е.П. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам / Е.П. Чебыкин, Л.М. Сороковикова, И.В. Томберг, Е.Н. Воднева, С.В. Рассказов, Т.В. Ходжер, М.А. Грачев // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – № 5. – с. 613-631.

81. Шимараев, М.Н. Зональная циркуляция атмосферы, климат и гидрологические процессы на Байкале (1968-2007 гг.) / М.Н. Шимараев, Л.Н. Старыгина // География и природные ресурсы, 2010, № 3. С. 62-68.

82. Шокодзько, Т.И., Ляшенко А.Н. Ассимиляция высшими водными растениями ^{15}N аммонийных и нитратных ионов при изменении рН среды / Т.И. Шокодзько, А.Н. Ляшенко // V Всесоюз. Лимнологическое совещ. «Круговорот вещества и энергии в водоемах». Иркутск, 1981. Ч. 1. С.142.

83. Яковлев, В.А. Трофическая структура зообентоса как показатель состояния водных экосистем и качества воды / В.А. Яковлев // Водные ресурсы. – 27 (4). – 2000. – с. 237.

84. Янин, Е.П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка) / Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 94 с.

85. ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology. Toxicological significance // Biochem. and Biophys. Res. Communications. – 1970. – Vol. 39. – pp. 1104-1107.

86. Batoev, V.B. Pollution of the Basin of the Lake Baikal: Polyaromatic Hydrocarbons / V.B. Batoev, L. Weissflog, K.-D. Wenzel, O.V. Tsydenova, S.S. Palitsyna // Chemistry for Sustainable Development. – 2003. – Vol. 11. – pp. 829-834.
87. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology // Baltimore, London. – Wilians&Wilkins. – 1984.
88. Compendium of environmental standards // Environmental Handbook. Vol. III. – Leverkusen, Vieweg. – 1995.
89. Contaminants in the Mississippi River, 1987-1992 / Ed. by R.H.Meade.- Denver, 1996. – 140 p.
90. "Estimating the Pollution Conditions of Lake Baikal and Its Basin under Conditions of Regional Anthropogenic Impact and Effects of Global Factors, Theme 1.4.4," in Report of IGCE Stage of FDP and RDP Plan of Roshydromet for 2007 (Inst. Global Climate and Ecology, Moscow) [in Russian].
91. EN ISO 7899-2: 2000. Detection and enumeration of intestinal enterococci. Part 2: Membran filtration method.
92. Guezennec, J. Bacterial abundance and diversity in the Barbados Trench determined by phospholipids analysis / J. Guezennec, A. Fiala-Medioni // FEMS microbiology ecology. – 19. – 1996. – pp. 83-93.
93. Gunstone, F.D. The Lipid Handbook / F.D. Gunstone, J.L. Harwood, F.B. Padley // London; New-York: Chapman and Hall. – 1994. – pp. 47-223.
94. Hodin, F. Formation of chlorophenols and related compounds in natural and technical chlorination processes / F. Hodin, H. Boren, A. Grimwallv // Water Sci. Technol. – 1991. – Vol. 24. – P. 403.
95. Iwata, H. Persistent organochlorine residues in air, water, sediments and soils from the Lake Baikal region, Russia / H. Iwata, S. Tanabe, K. Ueda, R. Tatsukawa // Environment. Sci. Technol. – 1995. – Vol. 29 – pp. 792-801.
96. Jannasch, H.M. Massive natural occurrence of unusually large bacteria (*Beggiatoa* sp.) at a hydrothermal deep-sea vent site / H.M. Jannasch, D.C. Nelson, C.O. Wirsen // Nature. – 342. – 1989. – pp. 834-836.

97. Katayama-Fujimura, Y. Ubiquinone, fatty acid and DNA base composition determination as a guide to the taxonomy of the genus *Thiobacillus* / Y. Katayama-Fujimura, N. Tsuzaki, H. Kuraishi // *Journal of general microbiology*. – 128. – 1982. – pp. 1599-1611.
98. Macnaughton, S.J. Microbial population changes during bioremediation of an experimental oil spill / S.J. Macnaughton, J.R. Stephen, A.D. Venosa, G.A. Davis, Y.J. Chang, D.C. White // *Applied and environmental microbiology*. – 65. – 1999. – pp. 3566-3574.
99. Moss, C.W. Characterization of Clostridia by gas chromatography / C.W. Moss, V.J. Lewis // *Applied Microbiology*. – 1967. – 15, No. 2. – pp. 390-397.
100. Moss, C.W. Cellular fatty acid composition of selected *Pseudomonas* species / C.W. Moss, S.B. Samuels, R.E. Weaver // *Applied Microbiology*. – 1972. – 24, No. 4. – pp. 596-598.
101. Nikanorov, A.M. Monitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Baikal Basin in the Areas of Intensive Anthropogenic Impact / A.M. Nikanorov, S.A. Reznikov, A.A. Matveev, V.S. Arakelyan // *Russian Meteorology and Hydrology*. – 2012. – Vol. 37. – pp. 477-484.
102. Racicot, J. Blood and liver enzymes in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich) with emphasis on their diagnostic use: Study of CCI, toxicity and a case of *Aeromonas* infection / J. Racicot, M. Gaudet, C. Lerou // *J. Fish Biol.* – 1975. – Vol. 7. – pp. 825-835.
103. Rhodes, M.W. Seasonal occurrence of mesophilic *Aeromonas* spp. as a function of biotype and water quality in temperate freshwater lakes / M.W. Rhodes, H. Kator // *Water Research*. – Volume 28. – Issue 11. – 1994. – pp. 2241-2251.
104. Ringelberg, D.B. Biomass, bioactivity and biodiversity: microbial ecology of the deep subsurface: analysis of ester-linked phospholipid fatty acid / D.B. Ringelberg, S. Sutton, D.C. White // *FEMS microbiology ecology*. – 20. – 1997. – pp. 371-377.

105. Simoneit, B.R.T. Biomarkers (Molecular Fossils) as Geochemical Indicator of Life / B.R.T. Simoneit // *Advances in Space Research*. – 2004. – 33. – pp. 1255-1261.
106. Sorokovikova, L.M. Plankton composition and water chemistry in the mixing zone of the Selenga River with Lake Baikal / L.M. Sorokovikova, G.I. Popovskaya, O.I. Belykh, I.V. Tomberg, S.Yu. Maksimenko, N.V. Bashenkhaeva, V.G. Ivanov, T.I. Zemskaya // *Hydrobiologia*. – 2012. – № 695. – P. 329-341.
107. Stead, D.E. Evaluation of a commercial microbial identification system based on fatty acid profiles for rapid, accurate identification of plant pathogenic bacteria / D.E. Stead, J.E. Sellwood, J. Wilson, I. Viney // *Journal of Applied Bacteriology*. – 1992. – 72. – pp. 315-321.
108. The Natural Chemistry of Chlorine in the Environment. // A Series of Overviews by a Panel of Independent Scientists. World Chlorine Council. Brussel. – 1999.
109. Travares, T.M. Ratio of DDT/DDE in the All Saints bay, Brazil and its use in environmental management / T.M. Travares, M. Beretta, M.C. Costa // *Chemosphere*. – 1999. – Vol. 38. – № 6. – pp. 1445-1452.
110. Virtue, P. Simultaneous estimation of microbial phospholipid fatty acids and diether lipids by capillary gas chromatography / P. Virtue, P.D. Nichols, P.I. Boon // *Journal of microbiological methods*. – 25. – 1996. – pp. 177-185.
111. Wetzel, R.G. *Limnological Analyses* / R.G. Wetzel, G.E. Likens // N.Y.: Springer-Verlag. – 1991. – 391 p.
112. White, D.C. Validation of quantitative analysis for microbial biomass, community structure, and metabolic activity / D.C. White // *Adv. Limnol.* – 1988. – №31. – pp. 1-18.

