

На правах рукописи

Хажеева Зинаида Ивановна

**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ГЕОХИМИЯ РЕЧНЫХ ВОД,
ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕК
БАССЕЙНА Р. СЕЛЕНГА**

Специальность 25.00.36 – геоэкология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Иркутск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте Сибирского отделения РАН

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук
Плюснин Алексей Максимович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Жмодик Сергей Михайлович
доктор геолого-минералогических наук
Кравцова Раиса Григорьевна
доктор географических наук
Ходжер Тамара Викторовна
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры СО РАН

Защита состоится « 15 » мая 2014 г. в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 003.059.01 при Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А, т. (3952)42-65-00, 42-66-00.

E-mail: korol@igc.irk.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1А.

Автореферат разослан « » 2014г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.г.-м.н.



Королева Г.П.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Трансграничная река Селенга – главная водная артерия Республики Бурятия и Монголии. Она выполняет основные хозяйственные функции: снабжает водой население и промышленные предприятия, принимает хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды, является рыбохозяйственным водоемом высшей категории и имеет существенное значение в воспроизводстве омуля.

Интенсификация экономического развития в бассейне р. Селенга требует увеличения в хозяйственный оборот все больше водных ресурсов. В связи с этим комплексное использование поверхностных водных ресурсов обуславливает необходимость создания научных основ рационального водопользования в регионе. Учитывая трансграничный характер бассейна реки Селенга, для стабилизации водохозяйственной и экологической обстановки в регионе, необходимо создание единой международной научно-методической основы наблюдений за водопотреблением, сбросами и выбросами промышленных и сельскохозяйственных предприятий, располагающихся в бассейне р. Селенга.

Одним из показателей функционирования природно - территориальных комплексов является гидрохимический сток, характеризующий перемещение, трансформацию вещества и энергии в водосборных бассейнах. Величина гидрохимического стока, общие закономерности его формирования и пространственно-временных изменений обусловлены механизмами и масштабами взаимодействия между компонентами природной среды. Информация о современном водном и химическом стоке, его распределении по водосборной территории и природно-антропогенной трансформации в последние десятилетия необходима для понимания закономерностей функционирования экосистемы региона.

Десятилетиями хранящиеся в открытом виде в огромных количествах отходы и промпродукты горнорудных предприятий – один из мощных источников тяжелых металлов. Вынос тяжелых металлов в речную сеть с горнорудных отвалов продолжается неограниченно долго без существенно заметного снижения их концентраций.

Целью настоящей работы является изучение закономерностей природно-антропогенной трансформации химического состава вод, потоков рассеяния жидкой и твердой составляющих рек бассейна р. Селенга в современных условиях, установление регионального геохимического фона и выявление природных и антропогенных факторов,

определяющих подвижность и накопление элементов в донных отложениях.

Задачи.

1. Выявить особенности климатических условий и среднемноголетний суммарный водный сток рек в период наблюдений 2001-2010 гг.

2. Определить природно-антропогенную трансформацию химического состава речных вод, среднегодовой химический сток и выявить его пространственно-временные изменения. Установить региональный фон концентрации макро- и микроэлементов в речной воде, сезонную изменчивость и соотношения их растворенных и взвешенных потоков.

3. Провести сопряженное изучение минерального, гранулометрического и элементного состава различных типов аллювиальных отложений, формирующихся в реках.

4. Установить особенности вещественного преобразования донных осадков и формирования в них геохимических барьеров. Определить уровни концентрирования химических элементов в техногенных отложениях на локальных участках рек бассейна р. Селенга.

Объектами исследования послужили реки бассейна р. Селенга. В продуктах геологической деятельности рек, их воды и отложений, отражаются особенности континентального литогенеза и антропогенного воздействия. Качество водной среды определяют состав, степень концентрирования, формы нахождения, интенсивность водной миграции химических элементов.

Выбор объекта обусловлен трансграничным характером бассейна р. Селенга, отсутствием или недостаточностью достоверных сведений о современном химическом составе речных вод, гидрохимическом и твердом стоке, условиях их формирования и закономерностях пространственно-временных изменений. Геохимические процессы, происходящие в речной системе, играют важную роль в миграции химических элементов, поскольку водная масса является связующим звеном между источником загрязнения и их аккумуляцией в донных отложениях.

В основу работы положены результаты многолетних (2001-2010 гг.) гидрогеохимических комплексных исследований, а также материалы наблюдений Росгидромета за период с 1934 по 2010 гг. за расходами воды рек Селенга, Чикой, Хилок, Уда, Джиды и Темник и химическом составе воды рек для дополнения данных и материалы наблюдений Росгидромета за температурой приземных слоев воздуха и атмосферными осадками на метеостанциях у п. Кабанск, г. Улан-Удэ, с.

Новая Курба, с. Новоселенгинск, с. Петропавловка, г. Кяхта с 1980 по 2011 гг.

Всего отобрано и проанализировано более 480 проб поверхностных и 90 придонных вод, 120 проб речной взвеси и более 760 проб донных осадков. При проведении комплексных исследований использовались гидролого-гидрогеологический, ландшафтно-геохимический и статистические методы анализа данных. В отобранных природных образцах выполнено 58 тысяч элементоопределений по 36 показателям. Для анализа образцов использованы рентгенофлуоресцентный анализ, атомно-абсорбционная спектрометрия, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, рентгеновская порошковая дифрактометрия и оптическая поляризационная микроскопия. Для оценки метрологического качества результатов химического анализа проб проводились межлабораторные эксперименты. Их результаты показали, что расхождения в данных для макрокомпонентов составляют 12-15%, для микроэлементов – 5-10 %. Образцами для контроля правильности являлись государственные стандартные образцы донных отложений, почв, горных пород. Значительная часть химических определений была выполнена в ведущих российских и зарубежных лабораториях, имеющих международные сертификаты: Институт Геохимии СО РАН (г. Иркутск), Институт географии и лимнологии КАН (Китай, г. Нанкин).

Автором проведена статистическая компьютерная обработка аналитических данных, включающая оценку параметров распределения элементов в компонентах речной системы, проверка гипотез о виде распределения, оценка корреляций. В основном выборки по содержаниям элементов имеют логнормальное распределение. Аномальные значения определялись как выходящие за пределы интервала - средние значения $\pm$ три среднеквадратичных отклонения.

Научная новизна. В работе впервые:

- доказано повышение среднегодовой температуры приземных слоев воздуха в 1980-1990 годах. В период 2001-2010 гг. в лесостепной и степной зонах бассейна р. Селенга установлено уменьшение максимальных расходов воды в реках, увеличение повторяемости маловодий. В юго-западных горных районах (бассейн рек Джида и Темник) за этот же период водный сток увеличился.

- выявлено, что изменение кислотно-щелочной реакции воды, химического состава рек бассейна р. Селенга имеет локальный характер и связано с антропогенным поступлением сточных вод с очистных сооружений и стоков с хвостохранилищ.

- установлена климатическая обусловленность макроэлементного состава взвешенного вещества рек бассейна р. Селенга. Выявлена сезонная изменчивость состава элементов мигрирующих во взвешенной форме и изменение их соотношения в зоне влияния источников техногенного загрязнения.

- показано, что формирование гидрогенно-минерального комплекса определяется интенсивностью водообмена, процессами выветривания, денудации и эрозии пород водосбора. На участках антропогенного воздействия проявляются локальные геохимические аномалии халькофильных и сидерофильных элементов в донных отложениях.

Практическая значимость работы. Закономерности природно-антропогенной трансформации химического состава вод, потоков рассеяния жидкой и твердой составляющих рек бассейна р.Селенга могут быть использованы для научного обоснования водопользования поверхностными речными ресурсами. Материалы работы позволят оценить роль стока р. Селенга в формировании современного химического баланса оз. Байкал.

Полученные величины регионального геохимического фона могут быть использованы как основа для мониторинговых наблюдений и экогеохимического картирования территории. Выделенные локальные участки техногенной нагрузки могут быть включены в систематические мониторинговые исследования.

Установленные геохимические особенности поведения элементов в различных природных и техногенных средах в сопоставлении с геоэкологическими нормативами могут быть использованы для очистки сточных вод при разработке месторождений полезных ископаемых.

Личный вклад автора. Автором осуществлялась постановка проблемы, планирование и проведение полевых исследований, обработка, систематизация и интерпретация полученных данных, апробация и публикация результатов. Работа выполнена в соответствии с планами НИР СО РАН по проекту VII. 65.1.5. «Эко- и геосистемы Байкальского региона в позднем кайнозое: мультидисциплинарные исследования». Исследования проводились в рамках Интеграционных проектов СО РАН № 90 « Комплексное исследование состояния и динамики развития экосистемы дельты р. Селенги как естественного биофильтра и индикатора современного состояния в условиях интенсификации антропогенного загрязнения озера Байкал», № 99 « Анализ и моделирование трансформации вещества в системе « р. Селенга- дельта- оз. Байкал», грантов РФФИ № 05-022-97279 «Познание зави-

симости биоценозов речных систем от абиотических факторов (на примере бассейна реки Селенги)» (руководитель), РФФИ рБайкал № 05-05-97267 « Анализ и моделирование трансформации вещества в дельте р. Селенга как естественного биофильтра и индикатора состояния экосистемы оз. Байкал» (исполнитель).

Апробация работы и публикации. Основные положения работы опубликованы в 21 статье в рецензируемых журналах, в 2-х коллективных монографиях и 32 сборниках материалов международных и российских конференций. Результаты исследований по тематике диссертации докладывались автором в 22 устных сообщениях на международных и российских совещаниях и симпозиумах, в том числе : Российская научная конференция «Гидрогеохимия речных бассейнов» (Томск, 2007г.), Российско-Китайский научный форум (г. Москва, 2007г.), III Всероссийская научная конференция с международным участием « Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов» (г. Барнаул, 2010 г.), Международная научная конференция « Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии» (Иркутск, 2012 г.), Всероссийское совещание с участием иностранных учёных « Современные проблемы геохимии» (Иркутск, 2012 г.), Всероссийская конференция с участием иностранных ученых « Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Томск, 2012 г.), Международная научно-практическая конференция « Селенга – река без границ» (Улан-Батор, 2012г.), III Всероссийская научно-практическая конференция « Минералогия Северо-Восточной Азии» (Улан-Удэ, 2012 г.).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, общим объемом 245 страниц текста, содержит 81 рисунков, 68 таблиц. Список литературы включает 207 наименования.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту проф. д.г.-м.н. А.М. Плюснину, а также коллективу лаборатории гидрогеологии и геоэкологии. Диссертант выражает искреннюю благодарность всем соавторам. Выполнение работы было бы невозможно без ее аналитической части. Приношу свою благодарность Цыреновой А.А., Онходоевой Л.А., Жалсараеву Б.Ж., Астахову Н.Е.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Положение1. На основе данных многолетних наблюдений установлено, что на территории бассейна р. Селенга произошло потепление климата. Температура воздуха за 30 лет возросла на 0,81°C, наибольший градиент повышения температуры отмечен в 1980-1990

годах. В период 2001-2010 гг. в лесостепной и степной зонах бассейна р. Селенга установлено уменьшение максимальных расходов воды в реках, увеличение повторяемости маловодий. В юго-западных горных районах (бассейн рек Джиды и Темника) за этот же период водный сток увеличился.

В результате комплексной и статистической обработки данных метеостанций п. Кабанск, г. Улан-Удэ, с. Новая Курба, с. Новоселенгинск, с. Петропавловка и г. Кяхта установлены современные изменения климата на территории бассейна р. Селенга и реакции на них гидрологических систем. Расположение метеостанций различно по географическому положению. Станции с. Петропавловка и с. Новая Курба расположены в четко выраженной межгорной впадине, г. Улан-Удэ – в межгорной котловине, с. Новоселенгинск – долина реки, г. Кяхта – на вершине холма, п. Кабанск – обширная равнина, открытая к оз. Байкал. Абсолютные высоты их расположения варьируют в пределах 456-618 м над уровнем моря (рис.1).

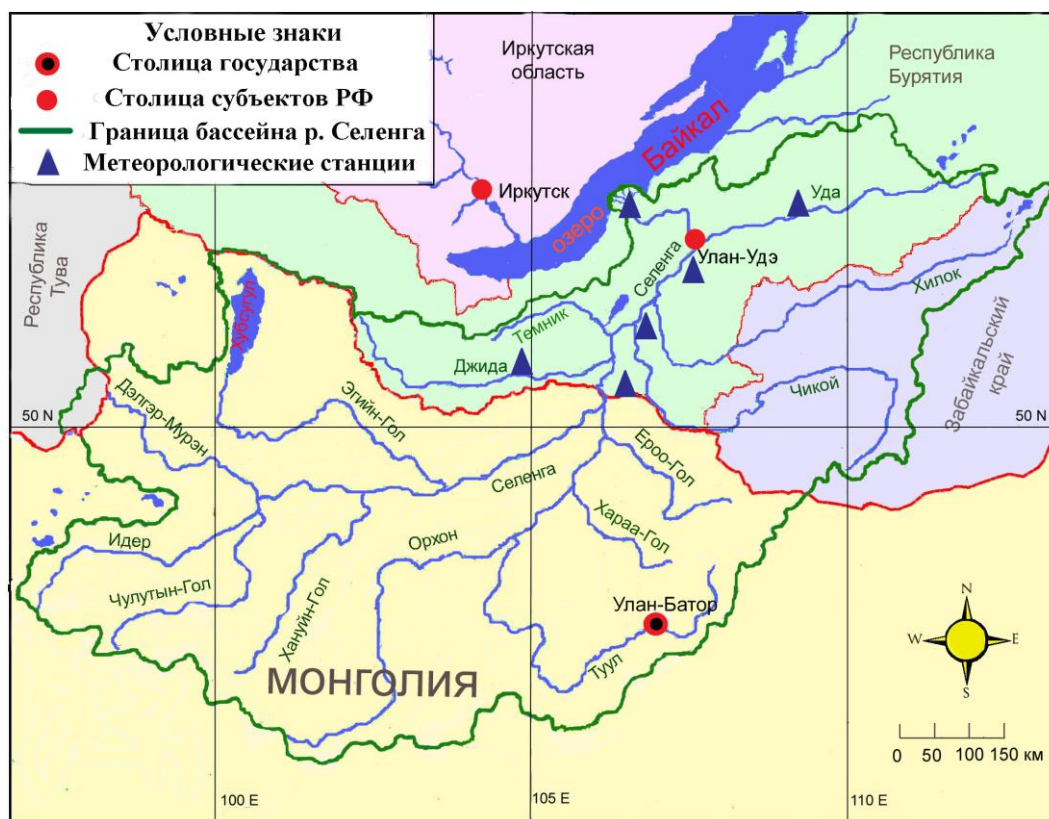


Рис. 1. Схема расположения метеостанций в бассейне р. Селенга (российский участок).

В период 2000-2010 гг. колебания среднегодовых температур воздуха происходили в следующих пределах: Кабанск – (-0,4)...(+1,9), Улан-Удэ – (-0,7)...(+1,6), Новоселенгинск – (-0,5)...(+1,4), Кяхта – (0,1)...(+2,7), Петропавловка – (-0,8)...(+1,2), Новая Курба – (-2,0)...(+0,5)°C. В период 1980-2000гг. среднегодовые температуры изменялись в следующих пределах: Кабанск – (-1,4)...(+1,3), Улан-Удэ – (-1,8)...(+0,7), Новая Курба – (-2,5)...(+0,5), Новоселенгинск – (-1,7)...(+0,4), Петропавловка – (-2,1)...(+0,3), Кяхта – (-0,7)...(+1,6)°C. Сравнение этих данных с приведенными выше диапазонами колебаний для периода 2000-2010 гг. обнаруживает рост среднегодовой температуры в среднем на 0,3-0,9°C.

При десятилетнем осреднении временного ряда 1980-2010 гг. среднегодовой температуры установлено, что наибольший градиент роста температуры произошел в период десятилетия 1980-1990 гг. В п. Кабанске, г. Улан-Удэ и г. Кяхте рост среднегодовой температуры составил 0,72°C/10 лет, в с. Новой Курбе, с. Петропавловке и с. Новоселенгинске – не превышал 0,59°C/10 лет. В следующее десятилетие темп роста среднегодовой температуры уменьшается до значений (0,13-0,37)°C/10 лет. В результате повсеместный рост температуры составил (0,89-0,93)°C/30 лет, лишь в с. Новой Курбе эта величина не превышала 0,77°C/30 лет (табл. 1). Десятилетнее осреднение позволяет определить последние два десятилетия 1990-2010 гг. как наиболее теплые при сравнении с предыдущими годами на фоне уменьшения интенсивности потепления в этот период. В распределении среднегодовых температур воздуха выявлен статистически достоверный положительный тренд. Об этом свидетельствуют параметры Z_c и β теста Манн-Кендалла непараметрического статистического анализа, их значения положительны и варьировали в пределах 2,89-5,19 и 0,09-0,14 соответственно.

Среднегодовое количество осадков по данным метеостанций на рассматриваемой территории изменялось в пределах 214,6 - 350,6 мм/год. Наибольшая сумма осадков зарегистрирована на станции Кабанск (350,6 мм/год), наименьшая – на станции с. Новая Курба (214,6 мм/год). Примерно 84-92% годовой суммы осадков выпадает в виде дождя, из которых наибольшая доля (до 72 - 81%) выпадает в течение летних месяцев (июль, август).

Влияние значительного градиента роста среднегодовой температуры в период 1980-1990 гг. проявилось в следующем десятилетии в росте среднегодового количества осадков на (21 - 69) мм/10лет в лесостепной и степной зонах, а в п. Кабанск, наоборот, уменьшилось на 31,5мм/10лет.

Таблица 1

Изменение среднегодовой температуры воздуха российской территории бассейна реки Селенга в период 1980-2010 гг.

Станции наблюдения	Среднегодовая температура за десять лет, °С			Рост температуры, Δt , °С		
	1980-1990	1990-2000	2000-2010			
	I	II	III	(I-II)	(II-III)	(I-III)
п.Кабанск	-0,33	0,43	0,55	0,76	0,13	0,89
г.Улан-Удэ	-0,66	0,06	0,26	0,72	0,20	0,92
с.Новая Курба	-1,63	-1,04	-0,85	0,59	0,18	0,77
с.Новоселенгинск	-0,76	-0,19	0,06	0,57	0,26	0,83
с.Петропавловка	-1,0	-0,46	-0,07	0,53	0,37	0,90
г.Кяхта	0,09	0,82	1,02	0,72	0,21	0,93

В период 2001-2010 гг. годовая сумма осадков уменьшилась на (21 - 66)мм/10лет на всех метеостанциях, за исключением Кабанска, где их сумма увеличилась на 16,1 мм/10лет. Анализ разнонаправленных колебаний путем десятилетнего осреднения годовой суммы осадков позволил установить, что в Петропавловке её рост составил 11,6мм/30 лет, напротив, в Кабанске и Новоселенгинске зафиксирована убыль на -47,7мм/30 лет и -25,5 мм/30 лет соответственно, на остальных станциях наблюдается неочевидный тренд за последние 30 лет.

Таким образом, в лесостепной и степной зоне рассматриваемой территории (Улан-Удэ, Новоселенгинск, Кабанск, Кяхта, Новая Курба) наблюдается уменьшение или небольшой рост годовой суммы осадков, а в южных горных районах (Петропавловка), наоборот, их устойчивый рост.

К наиболее отрицательным гидрологическим последствиям современных изменений климата относится увеличение повторяемости маловодий. В последнее десятилетие 2000-2010 гг. максимальные расходы воды снизились на реке Селенга почти в 2,1-2,2 раза, на её притоках реках Чикой, Хилок, Уда и Темник – в 2,6-4,8 раза, но лишь в Джиде – в 1,46 раза.

Сравнение водного стока рек в период 2001-2010 гг. с данными предыдущих лет указывает на его уменьшение на 24-39% в реке Селенга и её правых притоков – рек Чикой, Хилок и Уда. Водный сток левых притоков реки Селенга – рек Джиды и Темник за этот же период увеличился на 32 и 3% соответственно.

По удельным показателям средний многолетний сток в бассейне р. Селенга изменялся в широких пределах от 0,4 до 7,2 л/с·км² (рис. 2). Наиболее высокий модуль стока в р. Темник составлял 6,9 - 7,2 л/с·км², в реках Ероо, Чикой и Джиде - в пределах 4,2 - 4,5 л/с·км², наиболее низкие – на территории Монголии в бассейне рек Туул, Чулут и Хараа 0,41- 0,98 л/с·км². Величины модуля стока р. Селенги на территории Монголии до границы с Россией, рек Эгийн-гол, Орхон и притоков российского участка Хилок и Уда изменялись в пределах 1,1 - 1,4 л/с·км².

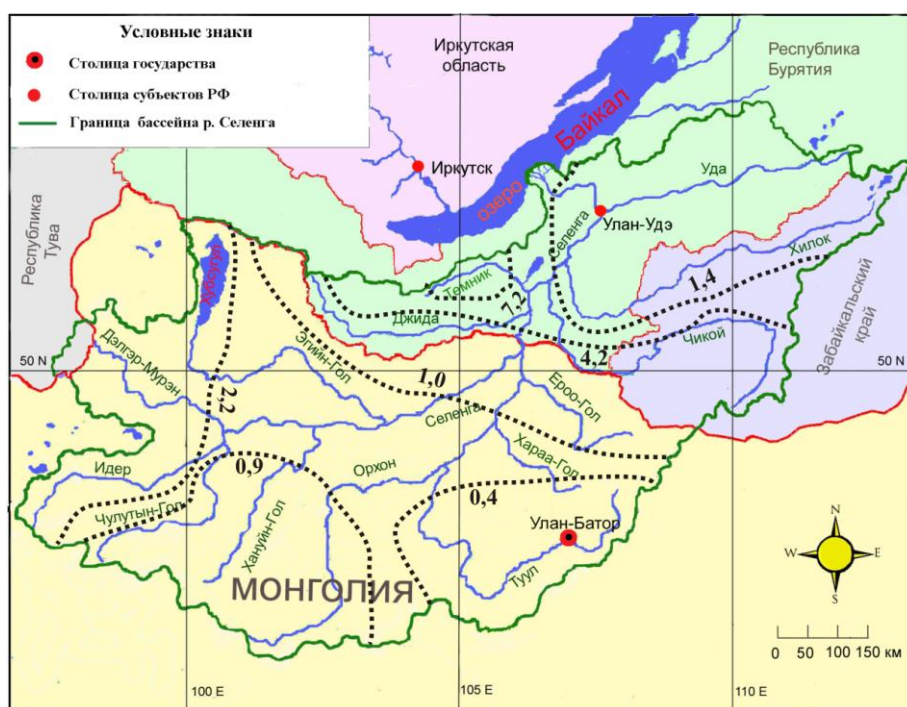


Рис. 2. Схема изолиний модулей среднемноголетнего водного стока в бассейне р. Селенга, л/с·км².

Положение 2. Изменение кислотно-щелочной реакции воды, концентрации сульфата, хлорида, легкоокисляемых органических веществ, минеральных форм азота, растворенных форм металлов в бассейне р. Селенга, произошедшее за 50 лет, имеет локальный характер и связано с антропогенным поступлением сточных вод с очистных сооружений и стоков с хвостохранилищ.

Речные воды характеризуются как пресные гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные. Значения рН речных вод варьируют в зимний период в пределах 6,5 - 7,0, в период открытого русла рек – 7,4-8,6. Соотношение катионов и анионов представлено на рис. 3. За пре-

делами специфического антропогенного воздействия (рек Хангал и Модонкуль) наиболее высокие содержания минеральных солей характерны для рек степной и лесостепной зоны, особенно на территории Монголии.

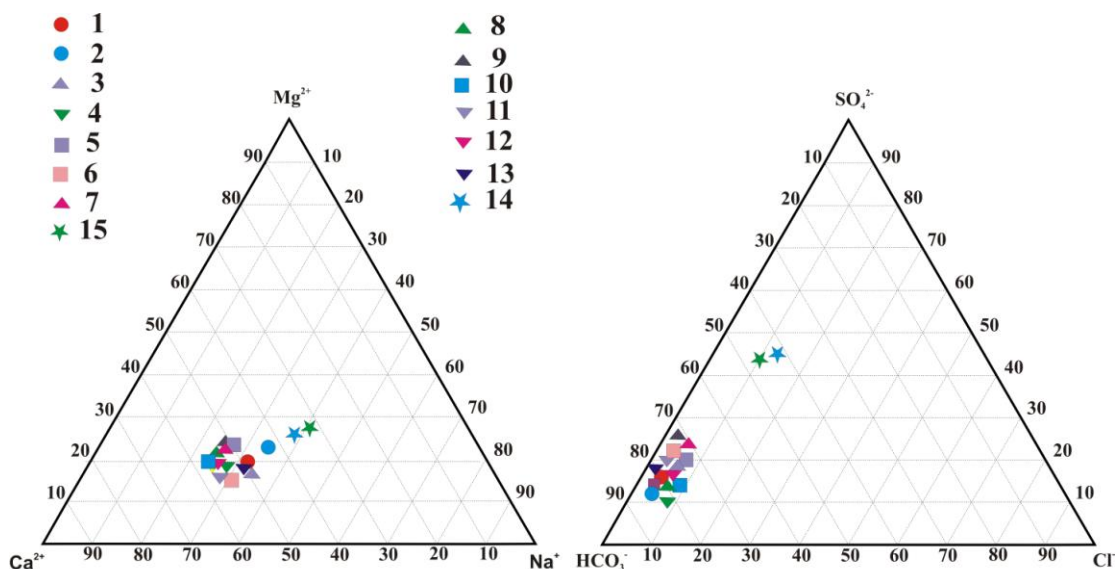


Рис. 3. Диаграмма соотношения катионов Ca-Mg-Na и анионов $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Cl}^-$ в воде рек бассейна р. Селенга: 1- Селенга (Россия), 2 - Селенга (Монголия), 3 - Джида, 4 - Чикой, 5 - Уда, 6 - Хилок, 7- Дэлгэр-Мурен, 8 - Эгийн-гол, 9 - Идер, 10 - Орхон, 11 - Ероо-гол, 12 - Хараа-гол, 13 - Туул, 14 - Хангал, 15- Модонкуль.

Для реки Селенга и её притоков в течение 1960-2010 гг. наблюдается статистически постоянный уровень минерализации вод, зависящий в основном от колебаний водности. Главной закономерностью пространственного изменения химического состава вод Селенги является уменьшение минерализации и увеличение ХПК по мере движения водных масс вниз по течению. В верховье (п. Наушки) внутригодовые величины минерализации воды изменялись в пределах 150-282 мг/л. Максимальное значение минерализации наблюдалось в зимний период и изменялось в пределах 243 -282 мг/л, минимальное – в период открытого русла реки 152 -184 мг/л. В нижнем течении (п. Кабанск) минерализация изменялась в пределах 90-205 мг/л. По величине минерализации воды главные притоки реки Селенга можно разделить на три группы. Воды реки Чикой характеризуются наименьшей минерализацией с внутригодовыми изменениями в интервале 52,5 -113 мг/л. Вторую группу составляют воды рек Хилок, Уда и Темник. Для них характерны внутригодовые колебания минерализа-

ции в интервале 69,8 - 175 мг/л. Третью группу составляют воды реки Джида с минерализацией в интервале 179 - 292 мг/л. Минерализация и химический состав притоков Селенги на территории Монголии (рек Идер, Дэлгэр-Мурен, Эгийн-гол, Чулут и др.) относительно близок к таковому р. Джиды по всем показателям составляющих ингредиентов. Минерализация рек Модонкуль и Хангал изменялась от 168 до 368 мг/л. Средние содержания Fe , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ увеличиваются от верховий к устью с возрастанием концентраций в створах населенных пунктов.

Сезонные изменения содержаний HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и минерализации в речных водах в основном соответствуют внутригодовому изменению водности. Вследствие этого минимальные значения минерализации, как правило, отмечаются в апреле-июне. Для внутригодовых изменений содержаний SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ не наблюдается четко выраженной зависимости от водного стока.

Достаточно хорошо выражены тенденции внутри годового изменения значений рН, ХПК, концентраций Fe , Si , O_2 , NO_2^- , NH_4^+ , фосфатов: для ХПК, содержаний Fe максимумы чаще всего приурочены ко всему периоду открытого русла, для NH_4^+ – к апрелю-июню, для Si , NO_2^- , NO_3^- – к зимней межени, для O_2 и рН – к летним месяцам. Среди биогенных веществ превышения ПДК_{рбхз} наблюдались только для нитритов N-NO_2^- . Повышенные концентрации их отмечены в апреле вследствие и, видимо, связаны с процессами окисления аммонийного азота до нитритов. Аномальные концентрации, превышающие нормативы, наблюдались в верхнем течении р. Селенги (п. Наушки). Содержание нитритной формы азота колебалось в пределах 14 - 22 мкг/л, в отдельные годы в 2004, 2005, 2007 гг. - превышало ПДК_{рбхз}. В 1,5 - 1,8 раза и составляло 35 - 37 мкг/л. Концентрации нитрит-иона, превышающие нормативы, отмечались также в р. Уда. Концентрация нитритов в водах рек превышало ПДК_{рбхз} (0,02 мг/л) в 20% проанализированных проб.

Органические вещества представляют собой значительную часть антропогенных загрязнений водотоков. Их источниками могут быть сбросы промышленных сточных вод и твердых отходов производства, смыв с берегов, загрязненные грунтовые воды. Нормативами ПДК_{рбхз} нормируются содержания легкоокисляемой органики по БПК₅ (3 мг/л). Содержание легкоокисляемой органики в воде рек возрастает в период открытого русла. В реке Селенга (с. Новоселенгинск) весной показатели БПК₅ в 33% проб превышали ПДК_{рбхз} в 1,2 раза. Аналогичная картина наблюдалась ниже г. Улан-Удэ, отличаясь только в том, что весеннее превышение ПДК_{рбхз} возрастало до 1,4 раза.

Ниже с. Тресково превышение ПДК_{рбхз} отмечалось в летний и осенний периоды в 28 % проб. В весенний период величина БПК₅ на этом участке реки изменялась в диапазоне 1,2 - 2,0 мгО₂/л. В нижнем течении реки на ств. п. Кабанск наибольшие величины БПК₅ весной и летом не превышали 1,75 мгО₂/л, а осенью в 23 % проб увеличивались до значений близких ПДК_{рбхз}.

В период открытого русла рек в воде рек Чикой, Хилок, Уда, Джиды существенно возрастали наибольшие величины БПК₅, превышающие ПДК_{рбхз} в 1,1- 1,4 раза в 25 - 28 % проб. В отличие от них, в воде реки Темник величина БПК₅ не превышала ПДК_{рбхз}, изменяясь в интервале 0,8 - 2,4 мгО₂/л. При этом отмечались отличия в сезонных превышениях нормативов ПДК_{рбхз}. Так, в воде рек Чикой и Уда превышения отмечались в период весеннего половодья, тогда как в воде рек Хилок и Джиды они фиксировались летом.

Антропогенное загрязнение реки Селенги изучалось на рзд. Мостовой. В период наблюдений 2002 - 2010 гг. среднегодовая концентрация аниона SO₄²⁻ изменялась в интервале 10,8 - 13,6 мг/л, в противоположность этому, в 1960 – ых годах эта величина была 7,8 мг/л (рост в 1,4 раза). Аналогичное возрастание среднегодовой концентрации сульфат-ионов наблюдалось в воде главных притоков реки Уда (в 1,3 - 1,6 раза), рек Хилок, Чикой (в 1,2 раза). Многолетние изменения в содержаниях растворенных хлоридов наиболее выражены в воде р. Селенга на рзд. Мостовой. В период 2002-2010 гг. среднегодовая концентрация хлоридов составила 2,4 мг/л, тогда как в 1960 –ые годы она была 1,4-1,5 мг/л.

Сопоставление среднегодовых значений pH с данными, относящимися к началу 1960 – х годов, обнаруживает тенденцию смещения активной реакции воды р. Селенги (рзд. Мостовой) в слабощелочную область (рис.4).

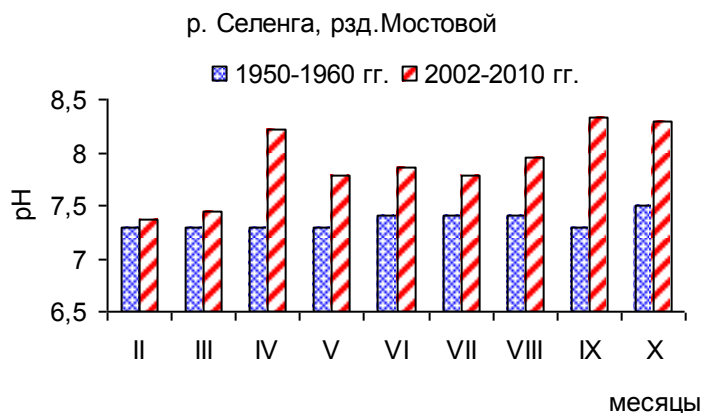


Рис. 4. Динамика изменения водородного показателя pH в воде реки Селенга в 1950- 1960- х гг. и в период 2002 - 2010 гг.

В связи с возрастающим антропогенным воздействием и возможной токсичностью повышенного содержания в воде ряда металлов характеристика уровня концентрации металлов в реках привлекает внимание. Хорошая растворимость природных соединений макрокомпонентов обуславливает их миграцию преимущественно в растворённом виде. Геологические и природно-климатические особенности бассейна обуславливают превышение среднегодовой концентрации Zn, Sr, Ti, Zr, Y, Nb, Mo в воде в 1,9-2,9 раза, Sn – в 4,2 раза в сравнении с аналогичными показателями рек мира (Gaillardet J. et. al. 2003). Повышенные содержания щелочноземельных металлов Sr, Ba в воде обусловлены интенсивностью извлечения из карбонатных пород. Вода реки в пределах гранитных массивов пород содержит повышенные количества лантаноидов (рис. 5 а).

В дельте реки Селенга происходит осаждение речных наносов, постоянным компонентом которых являются глинистые минералы, которые слагают тонкопелитовую и пелитовую части фракций наряду с другими минералами. Активный биологический круговорот, гумификация водосбора и частичное развитие процессов оглеения способствуют переводу элементов Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Ni, Ti, Ga, Y в подвижное состояние и обогащению ими поверхностных речных вод. В протоках Средняя и Колпинная концентрация Mn в воде возрастает до 28 - 95 мкг/л в зимний период (рис. 5 б).

В реках Чикой, Хилок, Уда, Джиды и Темник прослеживаются аналогичные закономерности. Обращает внимание возрастание содержания Fe, As, W, Sb в воде реки Чикой, что обусловлено выносом их гумусовыми кислотами с водосборов. Отличительной особенностью рек являются в воде Джиды повышенные содержания Sr, Sb, W, в Уде – Mo, Fe, Rb в сравнении с другими притоками (рис. 5 в).

Среднее содержание растворенных металлов в реках бассейна р. Селенга, дренирующих залесенные гористые малонаселенные водосборы (верховье рек Селенга (Монголия), Джиды, Хилок, Чикой, Уда и Темник), составляет (мкг/л): Cu – 0,6-3,2; Zn – 0,9-9,5; Mn – 0,4-9,3; Cr – 0,08-0,86; Ni – 0,2-1,4; Cd – 0,01-0,06; Pb – 0,2-5,7; Fe – 20,4-108,5; As – 0,34-0,78.

На участках рек Селенга, Уда, Хилок с большим уровнем общей антропогенной нагрузки среднее содержание растворенных Zn, Cu, Pb, Ni возрастает в 1,4-2,2 раза, Fe и Mn в 2-3 раза. Превышения нормативов ПДК_{рбхз} для водоемов рыбохозяйственного назначения по Cu, Mn, Fe, Zn, Pb в большинстве случаев (85%) не более 2,5 раза. При увеличении техногенной нагрузки в виде поступления стоков с отходов

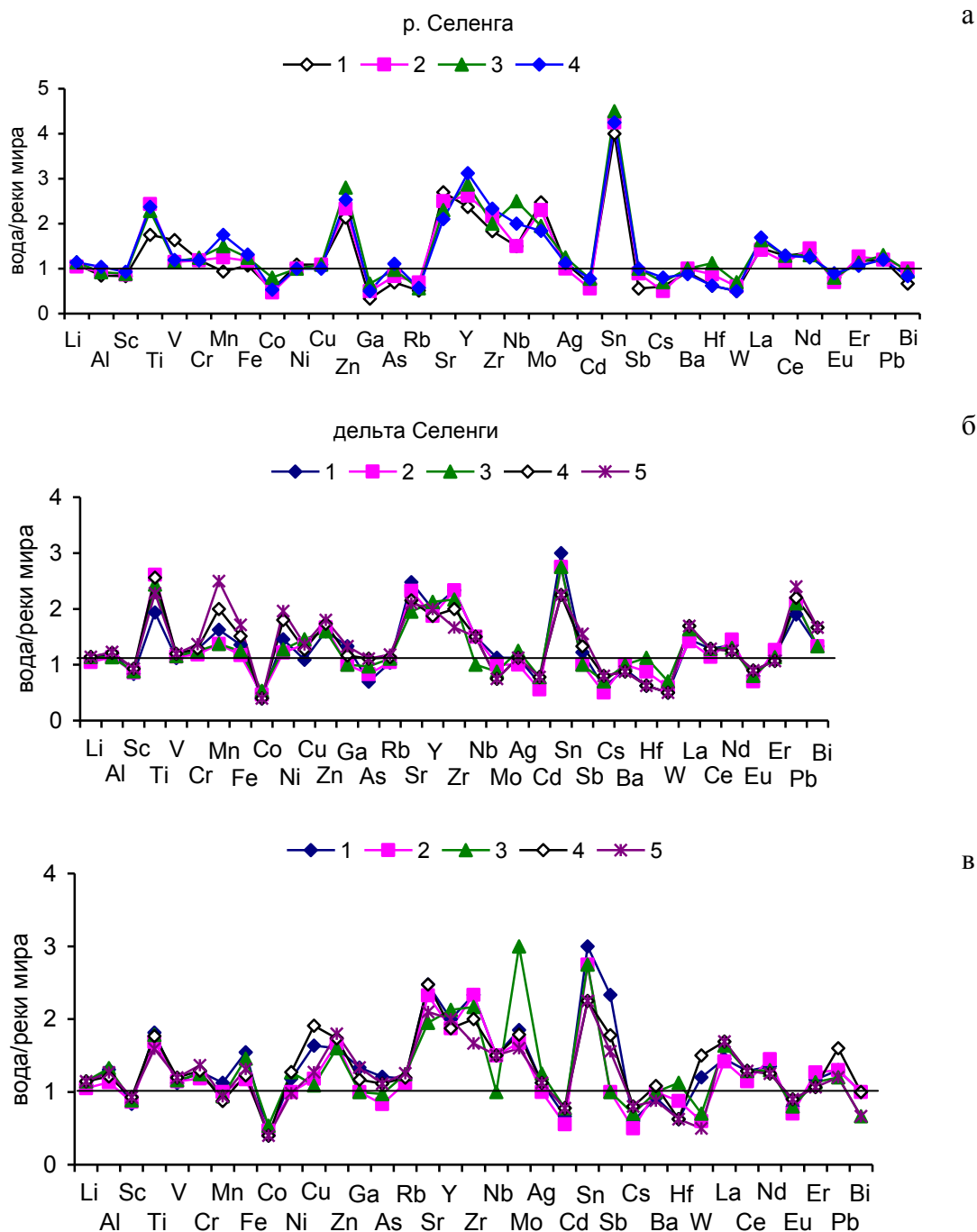


Рис. 5. Усредненные содержания элементов в воде рек бассейна р. Селенга, нормированные к содержанию рек мира (Шварцев, 1998, Gailardet J. et. al. 2003):

а – река Селенга, 1- 4 – пункты водосбора: 1- п. Наушки, 2- с. Новоселенгинск, 3- рзд. Мостовой, 4- п. Кабанск;

б- дельта реки Селенга, 1-5 – протоки дельты: 1- Мурзино, 2- Харауз, 3- Лобановская, 4- Средняя, 5- Колпинная;

в – 1-5 - притоки реки Селенга 1- Чикой, 2- Хилок, 3- Уда, 4 - Джида, 5- Темник.

горнодобывающего производства в бассейне рек Модонкуль и Хангал содержание растворенных Zn, Cu, Pb возрастает в 3 - 6 раз.

Сезонная изменчивость растворенных форм разных металлов в реках разнообразна, что свидетельствует о сложной комбинации контролирующих факторов. Одним из главных факторов, влияющих на сезонное изменение содержания микроэлементов в реке, является гидрологический режим.

В период весеннего половодья данные по изменению концентрации растворенных металлов свидетельствуют о максимальной концентрации в речной воде и о дальнейшем их снижении в течении 3-5 недель (рис.6а).

Снижение концентрации растворенных форм металлов обусловлено разбавлением за счет роста расходов воды. Аналогичное разбавляющее влияние оказывают дождевые паводки в случае поступления растворенных металлов в реку с антропогенными стоками. Так, в среднем течении Селенги, находящегося под прямым влиянием сточных вод г. Улан-Удэ, летние дождевые паводки приводят к снижению контрастности антропогенного воздействия, наоборот, при малом расходе воды в реке антропогенное увеличение концентрации растворенного Mn в Селенге более существенно. Для растворенных Cu, Zn, Cd и Pb подобная связь отсутствует, что указывает на незначительные поставки растворенных форм этих металлов со стоками г. Улан-Удэ.

Тренд сезонного изменения концентрации растворенного Fe в реке Селенга выражается в увеличении его от зимы к весне и в уменьшении от весны-лето к осени.

Ежемесячное опробование подтверждает наличие значительного максимума содержания Fe в воде в начале половодья с последующим снижением в 2 раза (рис. 6 а) и объясняется интенсивным выносом органоминеральных комплексов Fe в раствор из почвы весной и последующим преобладанием сорбционных процессов. В то же время изменение ландшафтной структуры водосбора в нижнем течении и дельте реки, а именно – увеличении роли отчасти заболоченных ландшафтов, является причиной несколько иной сезонной изменчивости растворенных форм Fe в реке. Восстановительные процессы на водосборе усиливаются к концу лета и осени и определяют тенденцию увеличения растворенных форм Fe в это время.

Для Mn более четко выражена динамика увеличения концентрации растворенных форм в зимне-весенний период. Вероятно, это связано с тем, что Mn весьма подвижен в восстановительных глеевых условиях, активно идущих в пойменных заболоченных ландшафтах. Кроме того, восстановительные условия –типичное явление в водото-

ках, загрязненных органическими стоками, например, в р. Селенге ниже г. Улан-Удэ, и, соответственно, на этом участке реки антропогенная нагрузка сопровождается увеличением концентрации Мп в растворе. Рост сезонной изменчивости концентрации растворенного Мп составляет 2-3 раза в реках Селенга (ниже г. Улан-Удэ, в нижнем течении и дельте), Уда, Хилок. В то же время наблюдается явная тенденция увеличения масштаба роста концентрации Мп от среднего к нижнему течению и наибольшие содержания в воде проток дельты Селенги. Следует отметить, что высокие концентрации растворенных Fe и Мп в весенне-зимний период указывают на вероятность их поступления из илов и иловых вод.

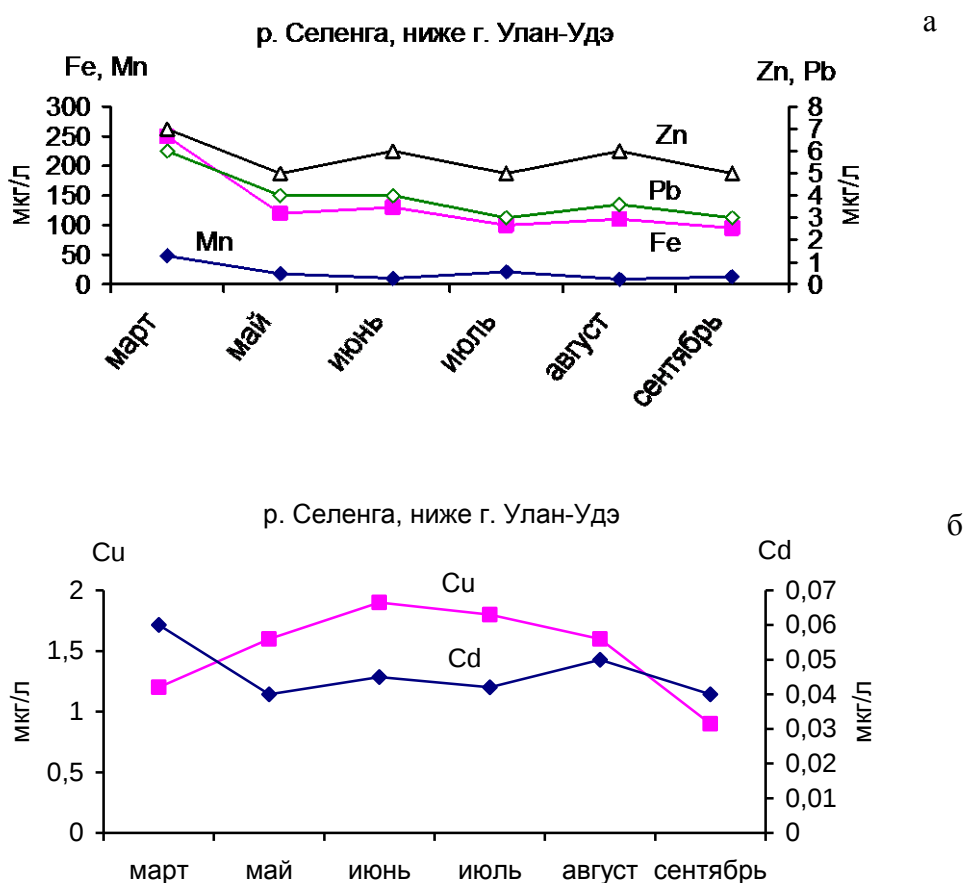


Рис. 6. Сезонное изменение растворенных форм металлов Fe, Mn, Zn, Pb (а) и Cu, Cd (б) в реке Селенга ниже г. Улан-Удэ, 2006 г.

Характер сезонного распределения растворенных форм Pb в реке Селенга аналогичен таковым Fe с максимальными концентрациями (увеличение относительно среднегодовой в 1,2-2,6 раза) во время вы-

сокой воды в апреле – мае и снижается в межень, что обусловлено, вероятно, преобладанием рассеянного загрязнения Pb. В притоках же концентрация растворенного Pb, наоборот, минимальна в весеннее половодье и возрастает в межень (в 1,1-1,6 раза).

Отличительной особенностью изменений концентраций растворенных Zn и Cd в сезонном цикле является флуктуации их колебаний около среднегодового содержания с небольшой тенденцией увеличения в половодье.

Сезонное увеличение растворенных Cu во время половодья менее контрастно, более характерно плавное повышение в 1,1-1,7 раза в период открытой воды, что сопровождается увеличением концентрации растворенных органических веществ (рис. 6 б).

На основе анализа данных о водном стоке и химическом составе природных вод рассчитан гидрохимический сток рассматриваемой водосборной территории. Вычислены среднемноголетние значения суммарного ионного стока, составившие для Селенги 3,08-3,22 млн. т/год ($0,19-0,21 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$), а для основных притоков – от 0,09 до 0,67 млн. т/год ($0,16-0,9 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$). Сток органических веществ в случае р. Селенга составлял в верхнем течении до 118 тыс. тС/год ($13,4 \text{ мг}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$) и 315-321 тыс. тС/год (около $23 \text{ мг}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$) в нижнем течении Селенги, а в случае основных ее притоков - от нескольких десятков до 74,7 тыс. тС/год. С речными водами бассейна Селенги ежегодно выносятся значительное по абсолютной величине количество соединений N, P, Fe и Si (модули гидрохимического стока Селенги: N $0,26...0,29 \text{ мг}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; P $0,02...0,03 \text{ мг}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; Fe $0,9...1,1 \text{ мг}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$; Si $6,8...7,8 \text{ мг}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$). Среднемноголетний вынос микроэлементов с водами рек Селенги, например, Cu составляет 46... 74 т/год, Pb - около 32...62 т/год.

Положение 3. Химический состав взвешенных веществ речных вод является индикатором климатической обстановки и подвержен сезонной изменчивости. Во всех реках независимо от количества взвеси в воде металлы образуют следующий ряд взвешенных форм миграции: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni}$. В зоне влияния техногенного источника загрязнения преобладает взвешенная форма миграции химических элементов.

Среднегодовое содержание взвеси в реках изменялось в пределах 32- 62 мг/л, а в межень 5,4 - 25,8 мг/л. При этом в период весеннего половодья и летних паводков мутность воды рек кратковременно повышалась до 235 - 496 мг/л.

Анализ среднего химического состава взвешенных веществ показывает, что при переходе от реки Уда, водосбор которой расположен в северной части бассейна, к рекам с водосборами в степных и лесостепным зонам (реки Хилок, Чикой, верхнее и среднее течение Селенги) происходит снижение содержания SiO_2 . Минимальные концентрации Fe_2O_3 наблюдаются во взвесах рек Уды, Хилок, Чикой и более высокие содержания в речных взвесах в нижнем течении реки Селенги и реки Джиды. Взвешенные наносы рек Хилок, Джиды и Чикой, а также верхнего течения р. Селенги обогащены CaO и MgO , тогда как в реках Уда и Темник взвешенные вещества обеднены этими компонентами (рис. 7).

Содержание Na_2O во взвешенных наносах рек снижается от северной реки Уда к южной реке Хилок, что связано с повышением количества выветрелого плагиоклаза, подвижностью натрия, не накапливающегося в продуктах выветривания (рис. 6). Для K_2O характерно увеличение концентрации в устье рек Селенга и Чикой.

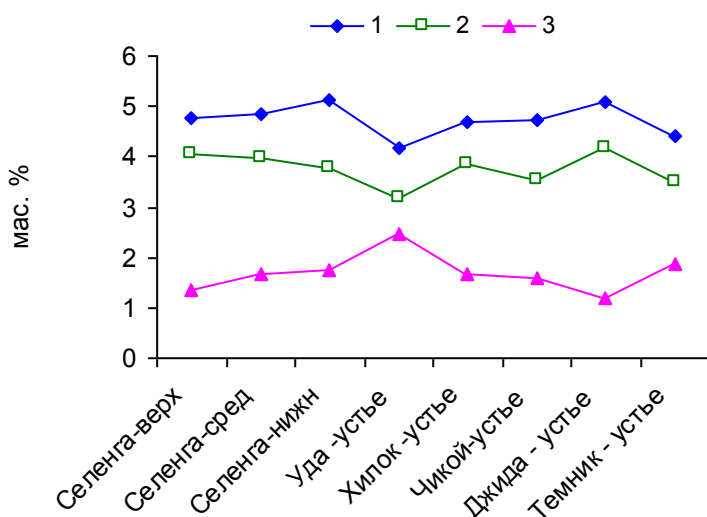


Рис. 7. Изменение содержания основных оксидов в составе взвешенного вещества в реках бассейна р. Селенга: 1 - Fe_2O_3 , 2 - CaO , 3 - Na_2O .

Проведено изучение химического состава взвешенных веществ, отобранных в период весеннего половодья и летней межени в нижнем течении реки Селенга, в сравнении со средним химическим составом взвешенных наносов рек мира и кларками коры континентов (Taylor, 1985; Иванов, 1994). Содержание взвешенного органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) в речной взвеси в период весеннего половодья варьировало от 1,35 до 3,65 %, составляя в среднем 2,65 %, а в период летней межени оно выше (от 2,84 до 6,58, в среднем 4,67 %).

Для выявления вклада литогенного или иного (биогенного, антропогенного) источника в формировании элементного состава взвеси был рассчитан коэффициент обогащения ($\text{КО}_{\text{взв}}$) относительно средне-

го состава континентальной земной коры по формуле: $KO_{взв} = (\text{Эл}/\text{Al})_{\text{проб}} / (\text{Эл}/\text{Al})_{\text{земн. кора}}$, где Эл и Al – содержания химического элемента и алюминия в пробе речной взвеси и в верхней части континентальной земной коры (Taylor, 1985).

Полученные результаты показывают близкое соответствие между химическим составом большинства петрогенных элементов взвесей и кларками, за исключением Na и Ca. Значения $KO_{взв}$ для петрогенных элементов близкие к 1 свидетельствуют о преобладании в составе взвеси литогенного источника этих химических элементов. Низкие содержания Na и Ca во взвесах объясняется тем, что при химическом выветривании прежде всего выносятся легко растворимые соли Na и Ca, а образующаяся кора выветривания обогащается Fe, Ti, Al. Повышение содержания Si в составе взвешенных веществ в сравнении с кларками связано с преобладанием полевых шпатов, кварца, слюды и других минералов, которые высвобождаются при дезинтеграции пород гранитоидного состава. Также возрастает роль кремния относительно алюминия при учете высоких содержаний кремниевых остатков диатомовых (рис. 8).

Сравнение микроэлементного состава речных взвесей р. Селенги с кларками показывает, что средние содержания V, Cr, Co, Ni, Ba, Zr, Cs, Rb, Y, Ga и PЗЭ равны или немного больше ($KO_{взв} = 1,0 - 1,2$). Существенно низкие содержания по отношению кларкам характерны для Mn и Zn ($KO_{взв} = 0,6 - 0,87$) в период весеннего половодья. В летний период обогащение взвесей этими элементами возрастает на 20 - 40%.

В летнюю межень литогенный материал разбавляется автохтонным органическим веществом и уменьшается содержание элементов литогенного происхождения V, Cr, Co, Ba, Zr, Cs, Rb, Y в сравнении с кларками.

Более высокие $KO_{взв}$ таких элементов, как Cd, Sb, Mo, Sn, Bi, Pb, Cu, Ca, Mn в летнюю межень по сравнению с половодьем, вероятно, свидетельствуют о геохимической связи этих элементов с органическим веществом взвеси Селенги и активностью биопродукционных процессов в водной среде (рис. 8).

Особенностью миграции металлов является большая роль взвешенных форм, так как значительная часть металлов мигрирует в составе взвеси, а не в растворе. В незагрязненных реках (Темник) наблюдается одинаковая роль раствора и взвеси для Cu и Ni и доминирование взвешенных форм Fe, Mn, Zn и Pb (рис. 9).

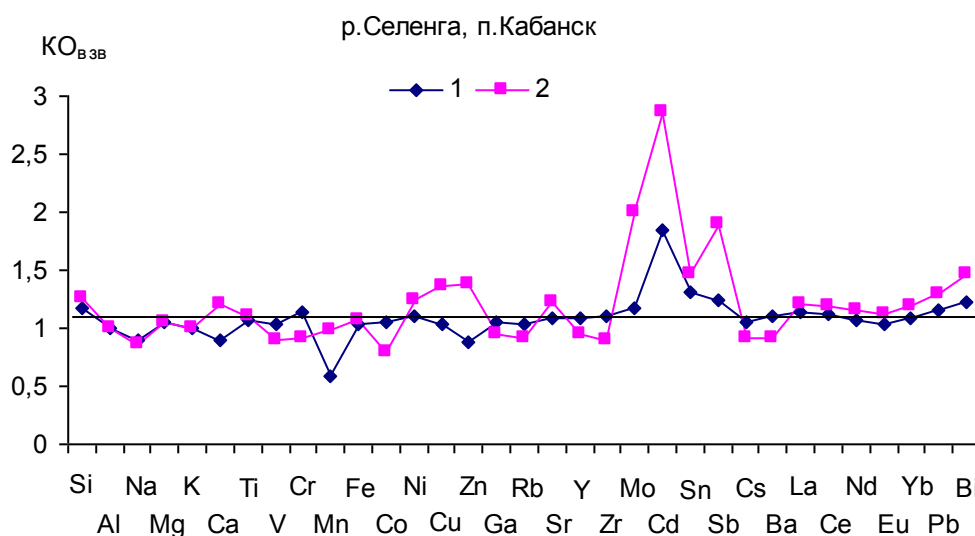


Рис. 8. Содержания химических элементов в речных взвесьях нормированные к кларкам коры континентов в нижнем течении реки Селенги: 1- весеннее половодье, 2 - летняя межень.

В воде на равнинных участках рек Селенга, Хилок, Туул, Орхон, Уда взвешенные формы доминируют (табл.2). Практически во всех реках металлы образуют ряд по увеличению роли взвешенных форм миграции: Fe>Mn>Zn >Pb>Cu>Ni, независимо от количества взвеси.

Таблица 2

Концентрация взвешенных форм металлов (мкг/л) в некоторых реках бассейна р. Селенга при среднем уровне содержания взвеси (мг/л)

Река- пункт	Взвесь	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni
Селенга-п. Наушки	18,6	363,5	18,6	8,4	4,9	6,8	2,4
Селенга-рзд. Мостовой	21,4	384,3	12,7	6,6	4,5	5,4	2,8
Чикой-с.Поворот	14,6	357,7	16,8	8,9	4,1	4,3	2,3
Уда- г.Улан-Удэ	11,8	336,7	13,6	6,4	3,9	3,7	2,1
Темник-с.Улан-Удунга	5,8	298,7	9,3	4,7	2,7	2,1	1,8
Джида-п.Джида	8,3	324,2	12,8	6,4	3,5	4,8	2,3

В отличие от содержания взвешенных форм металлов, рассчитываемых на единицу объема (мкг/л), удельная концентрация металлов во взвеси, рассчитываемая на единицу массы взвеси (мкг/г),

меньше зависит от гидрологического режима и более четко характеризует антропогенную нагрузку или геохимическую специализацию водосбора. Средние концентрации металлов в речной взвеси отличаются существенно, так в реке Селенга концентрация Zn и Mn почти в 1,2 - 1,5 раза больше, чем в реке Темник, которую можно условно назвать «фоновой» (табл.3).

В отсутствие сильного антропогенного влияния концентрации металлов во взвеси при малой мутности в среднем выше, а при паводках – ниже. В среднем концентрация металлов во взвеси при переходе от песчано-алевритовой к алеврито-пелитовой увеличивается для Fe на 18 - 20%, Mn – на 9 - 11%, Zn – на 22 - 24%, Cu – на 25 - 27%, Pb, Cd – на 38 - 40%.

В зоне сброса сточных вод г. Улан-Удэ в речной воде наблюдается заметное увеличение валовых концентраций химических элементов. Возрастание валовых содержаний обусловлено резким увеличением количества их взвешенных форм. Следствием сброса сточных вод является повышение мутности вод в 1,5 - 2 раза и изменение баланса основных форм миграции элементов в воде – растворенной и взвешенной. По сравнению с фоном вблизи сброса сточных вод происходит заметное увеличение доли взвешенных форм Cu, Zn, Sn, Cd, в меньшей степени Cr. Одновременно возрастает доля растворенных форм Ni.

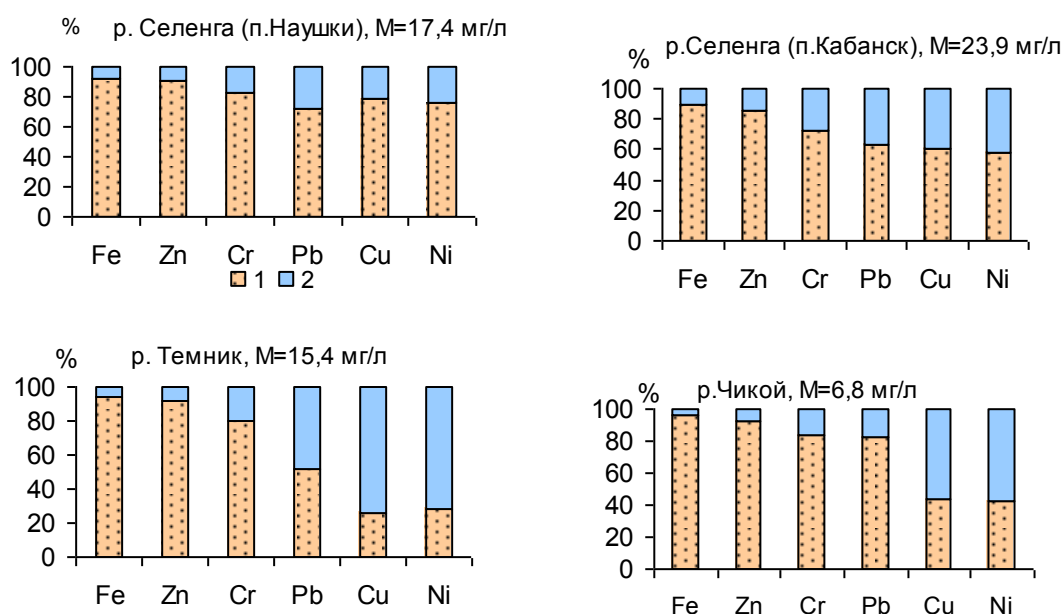


Рис. 9. Соотношение взвешенных (1) и растворенных (2) форм миграции металлов в реках бассейна р. Селенга при среднем уровне содержания взвеси, M, мг/л.

Таблица 3

Уровень концентрации металлов во взвеси рек бассейна р. Селенга в нижнем течении с различным уровнем антропогенной нагрузки (n - число проб, числитель - среднее, знаменатель - диапазон концентраций, мкг/г)

Река	n	Mn	Zn	Cr	Cu	Pb	Ni
Селенга	12	$\frac{578}{285-792}$	$\frac{78}{48-91}$	$\frac{38}{28-62}$	$\frac{31}{21-58}$	$\frac{25}{16-37}$	$\frac{26}{14-44}$
Уда	12	$\frac{387}{219-538}$	$\frac{67}{39-89}$	$\frac{34}{16-55}$	$\frac{28}{17-48}$	$\frac{22}{11-32}$	$\frac{20}{11-31}$
Джида	9	$\frac{361}{267-545}$	$\frac{72}{37-96}$	$\frac{38}{21-58}$	$\frac{34}{23-46}$	$\frac{26}{17-37}$	$\frac{24}{15-31}$
Хилок	6	$\frac{373}{246-512}$	$\frac{71}{32-92}$	$\frac{36}{19-57}$	$\frac{26}{18-42}$	$\frac{20}{12-38}$	$\frac{19}{14-29}$
Темник	9	$\frac{328}{238-431}$	$\frac{62}{31-82}$	$\frac{30}{13-42}$	$\frac{24}{17-33}$	$\frac{16}{12-24}$	$\frac{17}{11-25}$

В зоне влияния источника загрязнения для взвешенных форм существенны процессы ускоренного механического выпадения из миграционного потока в составе грубой взвеси, а также коагуляции тонкой взвеси и её осаждения. В этой зоне выпадает до 40-65% взвешенных Fe, Zn, Pb, Mn, Cr и до 20-50% – Cu, Ni.

В условиях динамичной зоны смешения сточных и речных вод существенно физическое разбавление. Скорость уменьшения содержания растворенных форм составляла 1 - 3% от начальной концентрации. Скорость выведения взвешенных форм больше, особенно на первых километрах. В пределах первых 2 - 4 км происходит выпадение 20 - 70% массы взвешенных элементов (рис.10).

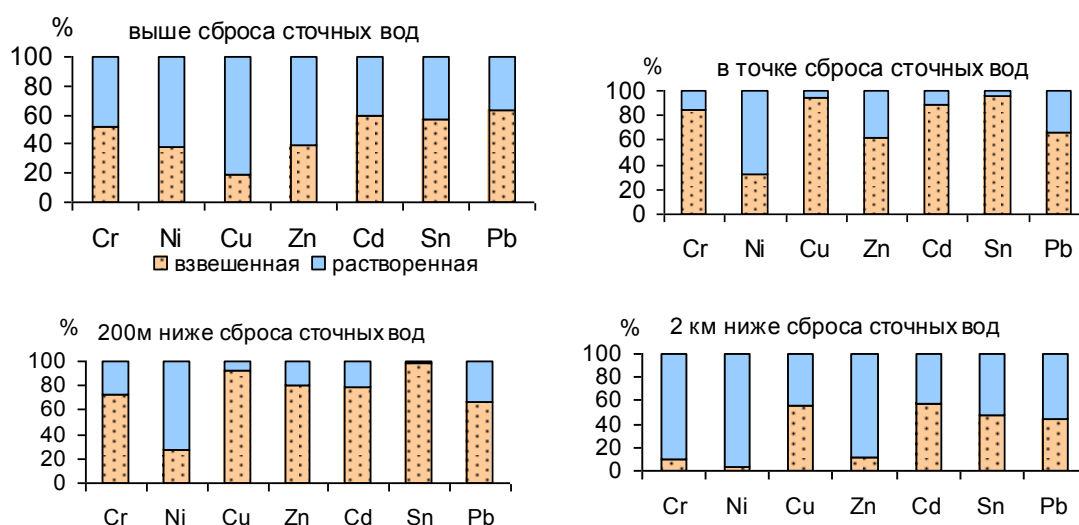


Рис. 10. Баланс взвешенных и растворенных форм металлов в воде реки Селенга.

Положение 4. Формирование гидрогенно-минерального комплекса определяет интенсивность водообмена, что проявляется в образовании карбонатных и марганцевых алевропелитовых и пелитовых илов в дельте р.Селенга. В процессе выветривания, денудации и эрозии пород формируются разнообразные глинистые минералы, образующие геохимические барьеры в донных отложениях. Участки антропогенного воздействия проявляются локальными геохимическими аномалиями халькофильных и сидерофильных элементов в донных отложениях.

По данным рентгенофлуоресцентного и силикатного анализов донные отложения рек бассейна р. Селенга разделены на пять групп. В первую группу входят аллювиальные известково-щелочные отложения рек Селенга, Чикой, Хилок, Джиды, Темник и протоки дельты Селенги – Мурзино, Харауз, Левобережная, Средняя, Колпинная, для которых величина агпайтового индекса $(Na+K)/Al$ варьирует в пределах 0,51- 0,68, отношение $(Na_2O+K_2O) / CaO$ составляет 2,15 - 3,00. Вторую группу составляют аллювиальные субщелочные отложения рек Уда и протоки Лобановская, которые характеризуются величина агпайтового индекса – 0,87- 0,92, отношения $(Na_2O+K_2O) / CaO$ – 5,37- 5,50. В сравнении с известково – щелочным аллювием в субщелочных отложениях повышено содержание SiO_2 , содержания Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 уменьшаются в 1,2-1,6 раза, содержания Na_2O практически одинаковы. Третью группу составляют иловые отложения, формируемые в зонах снижения активности водообмена –устьев и русла рек. В иловых отложениях содержание SiO_2 варьирует в пределах 72,3-81,4 мас.%, что соответствует концентрациям в аллювии. В сравнении с русловым аллювием в иловых отложениях рек содержания Al_2O_3 , Fe_2O_3 повышаются в 1,1-1,3 раза, содержания Na_2O уменьшаются в 2-3 раз, а концентрации оксидов MgO и K_2O уменьшаются в 1,5-2,5 раза, концентрации CaO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 практически близки таковым в аллювии. Четвертую группу составляют техногенные образования в русле р. Селенги, напротив и ниже сброса сточных вод МУП «Водоканал» г. Улан-Удэ. Наконец, в пятую группу включены техногенные отложения в реках Модонкуль и Хангал, формирующихся под воздействием сезонных стоков и эоловых сносов отходов горнорудной промышленности. В сложении отложений этой группы принимают участие генетически разнородные образования, что обуславливает формирование отложений двух типов по макрокомпонентному составу. Общая особенность этих типов состоит в уменьшении содержания SiO_2 до 44,5 - 60,3 мас.%. В техногенных отложениях первого

типа содержания Al_2O_3 и Fe_2O_3 практически близки к концентрациям в аллювии, вместе с тем, повышаются содержания CaO , MgO и K_2O в 1,6 - 2 раза и уменьшаются содержания Na_2O в 2-2,5 раза. Во втором типе техногенных отложений уменьшаются содержания Al_2O_3 в 1,8 - 2 раза, увеличиваются концентрации Fe_2O_3 , CaO в 1,5 - 2 раза, существенно снижаются содержания Na_2O в 2,5 - 3 раза в сравнении с аллювиом. При этом содержания MgO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 близки к таковым в аллювии.

На основе анализа индекса выветривания CIA (Н. W. Nesbitt и G. M. Young, 2006) установлен характер выветривания первичных минералов донных отложений и особенности формирования гипергенных неустойчивых и стабильных соединений. По величине показателя CIA составы аллювия рек располагаются вдоль стороны А-CN вблизи состава плагиоклазов, а также вокруг кларка континентальной коры (Taylor, 1985) (рис. 11). На диаграмме, представленной на рис. 11, показатели CIA донных отложений рек бассейна р. Селенга располагаются параллельно стороне CN-A, что свидетельствует о преимущественном выщелачивании таких элементов как Ca и Na, тогда как K- содержащие полевые шпаты (микроклин, ортоклаз) более устойчивы.

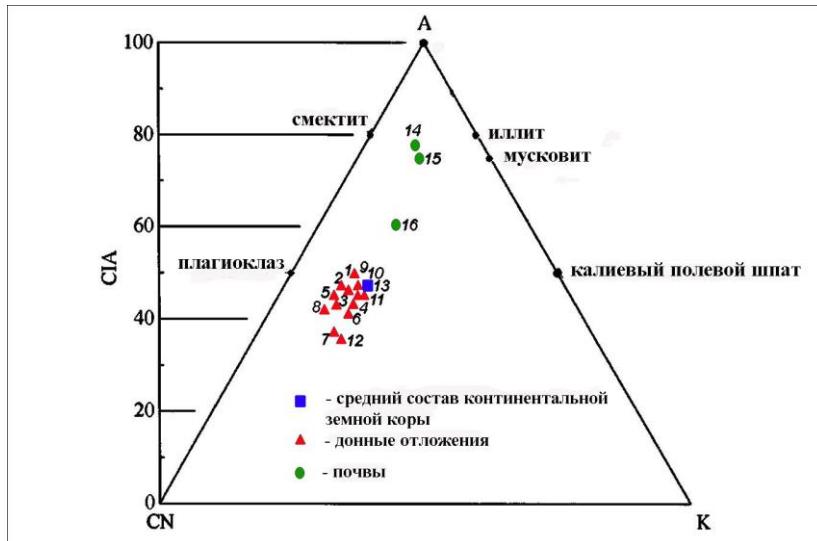


Рис. 11. Диаграмма А-CN-K аллювиальных отложений (1-12), средний состав континентальной земной коры (13), иловые отложения (14), почв (15,16), где А = Al_2O_3 , CN = $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$, K= K_2O .

Минеральный состав легкой фракции аллювия и илов в устьях и руслах рек представлен кварцем (от 43 до 68%), калиевыми полевыми шпатами (от 6 до 26%), плагиоклазами (от 8 до 43%). В тяжелой фракции преимущественно представлены амфиболы, пироксены и

минералы группы эпидота. Аллювиальные отложения рек бассейна Селенги преимущественно представлены песчано-алевритовым материалом с содержанием фракции частиц 0,05 - 0,25 мм от 42 до 63%, на фракцию >0,01мм приходится меньше 25%.

В дельте река Селенга разделяется на два наиболее крупные рукава (рис.12). В настоящее время большая часть стока (50 - 55% летом и до 90% зимой) по-прежнему осуществляется через левый край – протоки Харауз, Левобережная, Галутай. По правому краю дельты формируется одна из основных протоков – Лобановская. В правой части дельты наиболее многоводной остается протока Лобановская – около 30% стока реки в летний период и порядка 10 % зимой. От правого рукава влево отделяются небольшие протоки Средняя и Колпинная. Еще ниже через 5 - 6 км также влево отходят протоки Северная и Средний Перемой. Через малые водотоки центральной части (протоки Колпинная и Средняя) проходит около 3% общего стока реки, которые зимой перемерзают и сток здесь практически отсутствует (Синюкович, 2004).

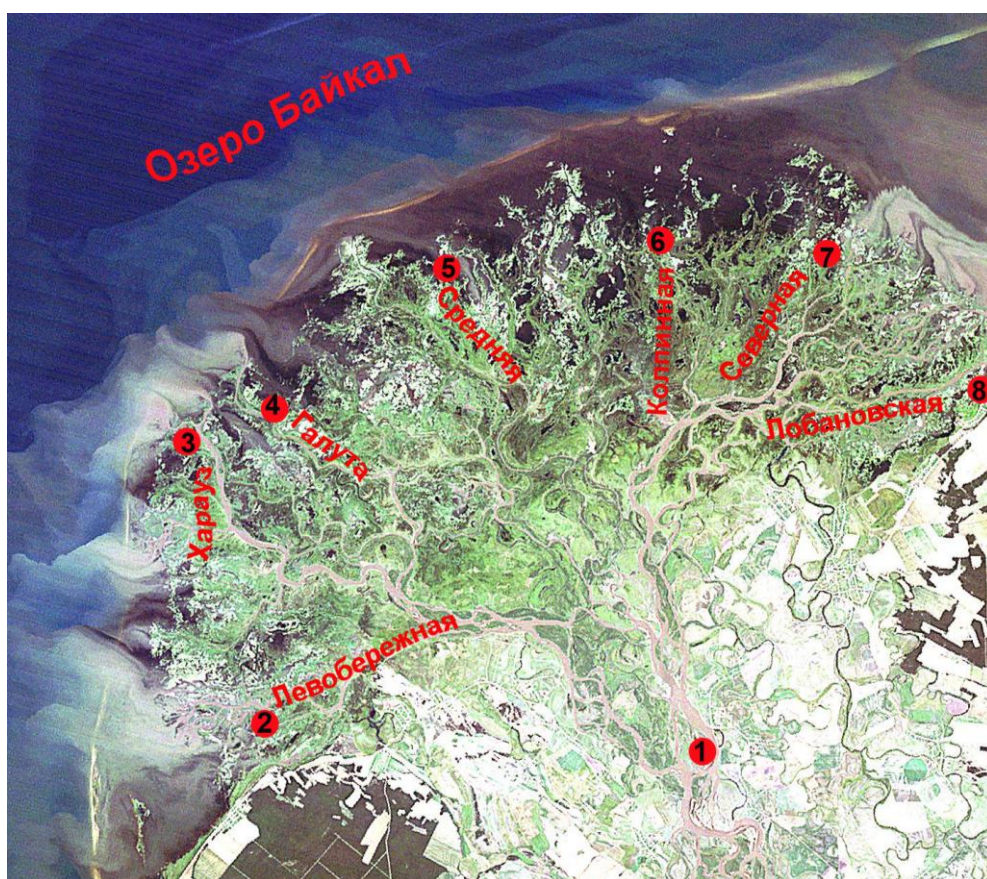


Рис. 12. Карта- схема отбора проб донных отложений в протоках дельты р. Селенга: 1 - Мурзино, 2- Левобережная, 3 - Харауз, 4 - Галута, 5 - Средняя, 6 - Колпинная, 7- Северная, 8 - Лобановская.

Анализ минерального состава донных отложений показывает, что от верховья (Мурзино) вниз по течению до устья по протокам возрастает содержание кварца, количество плагиоклазов и амфиболов, а также пироксенов, хромитов, гранатов уменьшается. Вместе с тем, обнаружены отличительные особенности. Микроморфологический анализ строения донных осадков показал новообразования карбонатов кальция в протоке Харауз и водосодержащих марганцевых окислов переменного состава в протоке Колпинная (рис. 13 а, 14 а). На рентгенограммах сравниваемых донных отложений присутствуют характерные линии порообразующих минералов кварца, полевого шпата и других минералов.

а)

б)

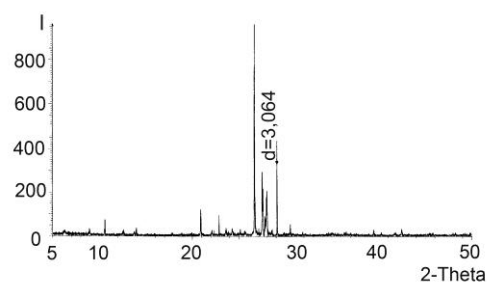


Рис. 13. Новообразования карбонатов кальция (а) и рентгенограмма (б) донных осадков протоки Харауз.

а)

б)

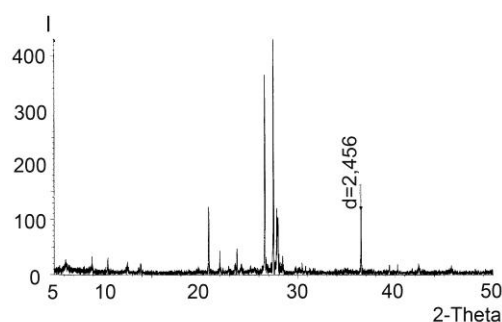
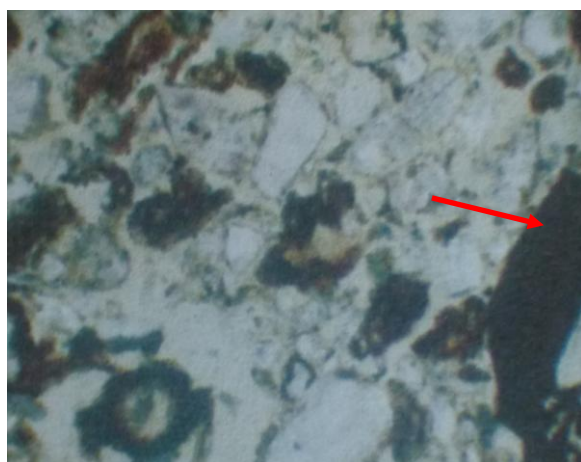


Рис. 14. Марганцевые окислы переменного состава (а) и рентгенограмма (б) донных осадков протоки Колпинная.

На рентгенограмме донных осадков протоки Харауз (рис. 13 б) регистрируются карбонаты кальция с набором рефлексов на рентгенограмме 3.06, 2.28 Å и наличием на термограммах эндо- и экзотермического эффектов при 600 и 800°C. В отличие от этого, на рентгенограмме пелитовой фракции донных отложений протоки Колпинная (рис. 14 б) регистрируются рефлексы значительной интенсивности с межплоскостными расстояниями 3.11, 2.45 Å. Наблюдаемые рефлексы характерны для кварца, а также для лепидокрокита γ -FeO[OH] и марганцевых окислов группы псиломелана (2,45 Å). Последнее представляет группу водосодержащих марганцевых окислов переменного состава, смесь коллоидальных или плохо раскристаллизованных минералов, из которых чаще всего встречается пиролюзит. После отжига при 500°C интенсивность отмеченного рефлекса значительно снижается.

Таким образом, рентгеновские и микроморфологические данные свидетельствуют о том, что в условиях активного водообмена при смешении речных и озерных вод (устье протоки Харауз) в донных отложениях накапливаются карбонаты кальция, а при снижении водообмена в малых водотоках (устье протоки Колпинная) – гидроокислы марганца и железа.

Методами рентгеновского и термического анализов установлены количественные содержания глинистых минералов в аллювиальных отложениях реки Селенга. В составе глин присутствуют гидрослюда, хлорит, смектит-монтмориллонит, каолинит (рис.15).

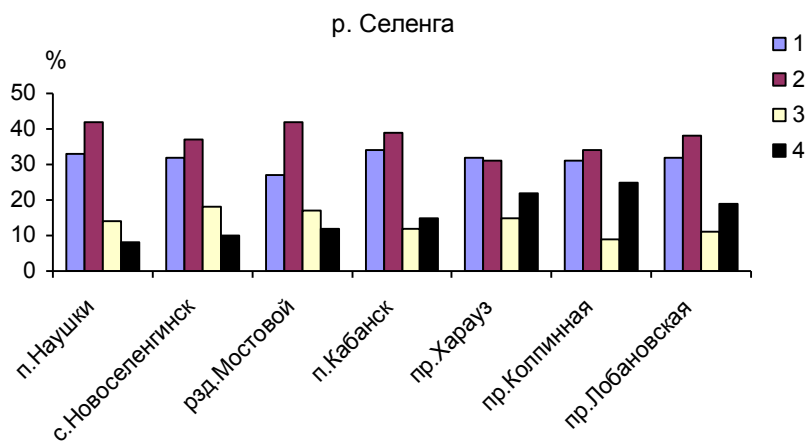


Рис. 15. Распределение глинистых минералов вниз по течению в донных отложениях р. Селенга: 1- каолиниты, 2 - гидрослюды, 3 - хлориты, 4 - монтмориллониты.

Установлено, что вниз по течению от п. Наушки до п. Кабанск доля смектитов в составе глинистых минералов возрастает на 18-20%, а следовательно, активизируются сорбционные процессы в донных

отложениях. Образование глинистых минералов преимущественно смектит-монтмориллонитового строения активизируют процессы сорбции из воды растворенных и коллоидных форм химических элементов, способствуют переходу соединений металлов в донные отложения.

Глинистые минералы находятся длительное время в гипергенных условиях и подвергаются в результате выветривания постоянному измельчению, выносу катионов, частичному растворению. Чтобы изучить поведение глинистых минералов при подобных воздействиях фракции меньше 1,0 мкм подвергались растиранию, циклическому замораживанию и оттаиванию. Изменения их минерального состава по результатам рентгеновского анализа приведены в табл. 4. Из приведенных данных видно, что содержание устойчивых минералов, таких как кварц, в процессе воздействия изменяется незначительно. С увеличением продолжительности воздействия увеличивается содержание рентгеноаморфного вещества. Рост аморфного вещества обусловлен изменением полевого шпата, слюд и глинистых минералов. При этом по устойчивости процессам выветривания глинистые минералы располагаются в ряд: слюдистые минералы > каолинит > смектит. Рентгеноаморфное вещество представлено глинистым материалом со скрытокристаллической структурой. С ростом количества рентгеноаморфного вещества в составе отложений увеличиваются емкости катионного обмена, достигая максимальных значений (Ковда, 1988).

Для оценки глинистых частиц разных размеров как носителей подвижных форм тяжелых металлов были приготовлены экстракции 1N HCl раствором, в которых определяли концентрацию металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии в воздушно-ацетиленовом пламени.

Данные табл. 5 показывают, что наибольшая концентрация подвижных форм железа, марганца, свинца и никеля происходит во фракции < 0,45 мкм, цинка и меди – во фракции > 0,45 мкм более близкой к деструктуризации высокодисперсных частиц. Несмотря на высокую концентрацию цинка и меди во фракциях меньше 0,45 мкм, эти фракции характеризуются незначительным содержанием в составе мигрирующих масс. Значительную долю в мобилизацию глинистых частиц вносят частицы размером < 0,45 мкм, поэтому основную массу вовлеченных в водную миграцию металлов составляет фракция < 0,45 мкм.

Участок реки Селенги напротив сброса левобережных очистных сооружений г. Улан-Удэ отличается заметным проявлением про-

цессов техногенного осадконакопления. Скопления техногенных илов наблюдаются вдоль берегов р. Селенги вплоть до с. Сотниково.

Таблица 4

Минеральный состав фракции меньше 0,001 мм донных отложений, подвергнутой механической и термической обработке

Методы обработки	Содержание минералов, %								
	кварц	полевой шпат	слюда	гетит	хлорит	гидрослюда	каолинит	смектит	Аморфное
Необработанный	12	8	5	6	8	15	15	25	6
Измельчение:									
30 мин	8	3	-	4	13	15	11	7	38
60 мин	8	-	-	3	11	15	9	7	44
Замораживание-оттаивание:									
20 циклов	11	6	-	4	14	15	12	5	30
40 циклов	11	2	-	3	8	13	11	3	48

Таблица 5

Содержание металлов, мг/кг, во фракциях глинистого вещества донных отложений (n- число проб)

Размер фракций, мкм	Элементы						n
	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	
< 0,45	3350	428	55	25	32	29	15
> 0,45	1950	290	260	86	24	22	18

Здесь формируются на прирусловых отмелях и затонах скопления техногенных наилок мощностью от 2-5 до 10 - 15 см. На этом участке реки выбраны точки опробования техногенных илов (I - III) (рис. 16). Аллювий характеризуется одновершинной кривой распределения частиц, что является следствием преобладания фракций раз-

мером 0,25-0,5 мм (рис. 17). Это свидетельствует о наличии одного источника поступления наносов в водоток (главным образом осадочный материал с водосбора).

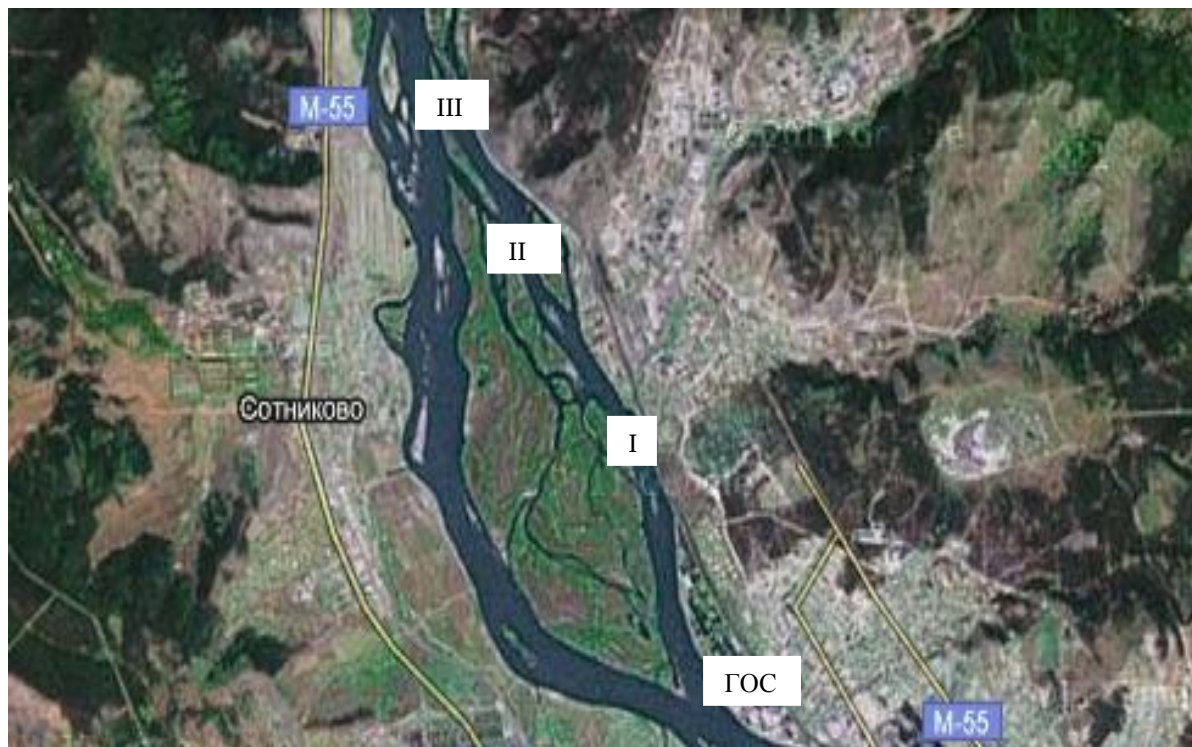


Рис. 16. Схема расположения точек отбора проб техногенных илов (ГОС - городские очистные сооружения).

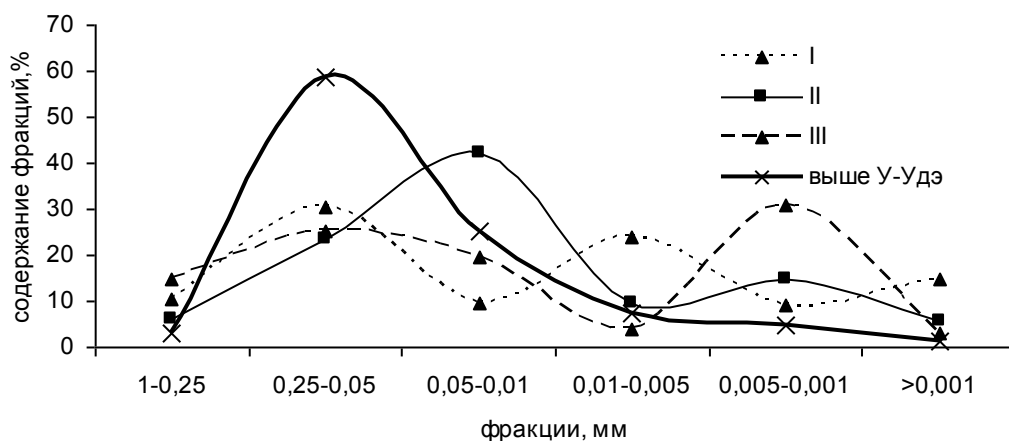


Рис. 17. Кривые распределения частиц различного размера в аллювии реки Селенги выше г. Улан-Удэ и в техногенных образованиях (I-III – точки отбора ниже сброса сточных вод).

Для техногенных же образований характерны многовершинные кривые распределения, сложенных генетически разнородными образованиями, так как в сложении илов принимают участие как техногенный материал, так и природный аллювий (рис.17).

Техногенные образования характеризуются как плохо сортированные мелкоалевритовые илы с повышенным содержанием глинистых частиц. В гранулометрическом составе техногенных илов повышается содержание фракций $> 0,05$ мм (алеврита) до 23,4 - 44,2 %, фракций $> 0,001$ мм (глины) до 12,3 - 33,6%.

Высокая дисперсность вещественного состава и физико-химические свойства техногенных илов обуславливают концентрирование в них химических элементов. Набор аномальных химических элементов ранжируется следующим образом: $\text{Sn}_{5,2}$ - $\text{Cd}_{5,1}$ - $\text{Ag}_{4,8}$ - $\text{Pb}_{4,8}$ - $\text{Cu}_{4,2}$ - $\text{Cr}_{3,1}$ - $\text{Zn}_{2,6}$ - $\text{As}_{2,1}$ - $\text{Mo}_{2,0}$. Приведенные данные по геохимической ассоциации, свойственной илам в зоне сброса сточных вод в р. Селенга, позволяет выявить, что в его состав преимущественно входят халькофильные элементы, для которых показатели концентрации K_k достигают 2-6 единиц для Sn, Cd, Ag, Pb, Cu, Cr, Zn, As, Mo. Минимальные значения K_k (около 1) характерны для литофильных (Zr, Y, Nb, Ba) и сидерофильных (Co, Ni) элементов.

Источником загрязнения вод р. Модонкуль является хвостохранилище закрытого горнорудного предприятия Джидинский вольфрам-молибденовый комбинат. Сезонные стоки и эоловый снос с хвостохранилища характеризуются повышенным содержанием элементов, входящих в состав руды (табл. 6).

Таблица 6

Содержание металлов, мг/кг, в донных отложениях сезонных стоков хвостохранилища и р. Модонкуль (в числителе – минимальные и максимальные, в знаменателе – среднее, в скобках – коэффициент вариации в %)

Пункт отбора проб	Zn	Pb	Cu	Cd
100 м	<u>520-780</u> 640(29)	<u>230-650</u> 480(36)	<u>125-355</u> 205(32)	<u>0,5-2,9</u> 1,7(23)
200 м	<u>430-720</u> 560(25)	<u>170-567</u> 356(34)	<u>92-284</u> 187(32)	<u>0,5-2,4</u> 1,3(23)
500 м	<u>390-640</u> 512(27)	<u>92-260</u> 168(35)	<u>67-266</u> 148(38)	<u>0,32-1,2</u> 0,98(21)
р.Модонкуль	<u>310-565</u> 490(28)	<u>81-142,6</u> 122,4(34)	<u>56-156,6</u> 126,2(34)	<u>0,16-0,98</u> 0,52(22)

Таковыми элементами являются Zn, Pb, Cu и Cd, определяющие геохимическую специализацию руд и отходов их переработки. Содержания изученных металлов в донных отложениях р. Модонкуль превышают фоновые уровни рек бассейна Селенги в 2-7 раз.

Анализ распределения концентраций микроэлементов в донных отложениях показывает, что коэффициенты их вариации изменяются от 8,5 до 39,7%. Это позволяет предположить геохимическую однородность состава аллювия, несмотря на огромную протяженность водотоков бассейна и разнообразие факторов осаждения и концентрации элементов. В качестве фоновой выборки для сравнения рассмотрены кларки верхней коры континентов (Taylor, 1985, Иванов, 1994).

По характеру распределения содержаний микроэлементов их можно разделить на следующие группы. Группа литофильных и сидерофильных элементов Ba, Li, Zr, Co, V, Y, Yb, Nb, Sr, Ni, обусловленные главным образом с механическим переносом обломочных частиц. Их содержания близки фоновой выборке и характеризуются тенденцией снижения концентраций вниз по течению реки.

Вторую группу составляют элементы Sn, Cd, Ag, Pb, Cr, As, Mo концентрации которых в аллювии близки к кларкам, но заметно повышаются в техногенных отложениях. Элементы третьей группы преимущественно биофильные Mn, Zn, Cu характеризуются повышенными концентрациями в иловых и техногенных отложениях (рис.18).

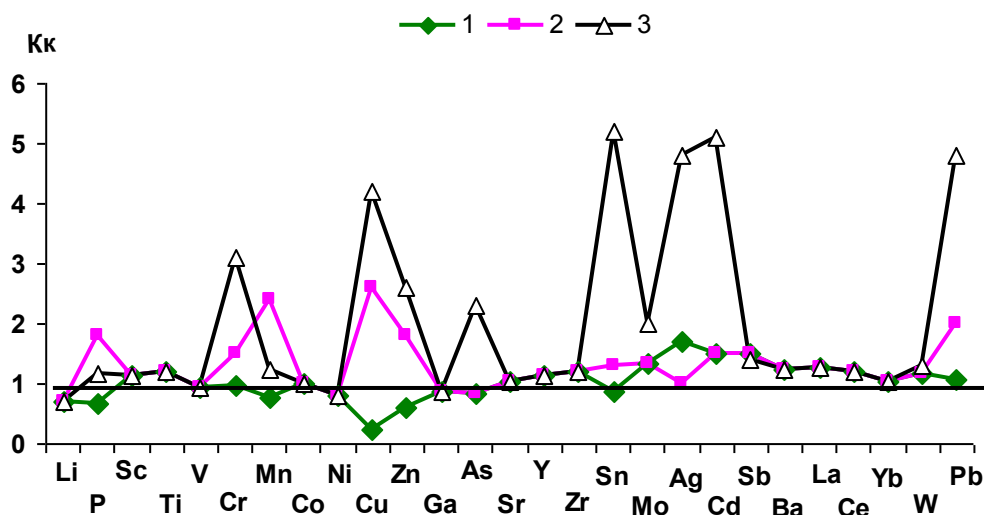


Рис. 18. Содержания элементов в донных отложениях нормированные к содержанию кларков коры континентов: 1 -аллювий, 2- иловые отложения, 3 - техногенные отложения в русле рек (K_k - коэффициент концентрации).

Геохимические ассоциации, рассчитанные по отношению к кларку коры континентов, отличается набор элементов, различающихся на локальных участках бассейна р. Селенга (табл. 7). Ассоциации элементов иловых отложений аллювия характеризуются слабой контрастностью группы элементов Cu, Zn, Pb, Cr, Mn и минимальным показателем загрязнения. Геохимические ассоциации в зоне сброса сточных вод отражают обогащенность тонких частиц отложений элементами Sn, Pb, Cr, Cu, Zn, Ag, Cd, Mo, As в результате активности процессов сорбции и аккумуляции, что выражается в увеличении показателя Z_c . Однако диагенетические процессы в толще илов приводят к снижению валовых содержаний элементов вниз по течению реки. Геохимические ассоциации отложений в зоне поступления стоков горнодобывающего производства связаны с геохимической специализацией руд и отходов их переработки, загрязнением обширной площади прилегающих территорий, ветровым сносом и дренажным стоком с хвостохранилища Zn, Cu, Pb, W, Mo, Cd, которые обусловили наибольший показатель загрязнения на этих участках бассейна р. Селенга (табл.7).

Таблица 7

Геохимические показатели донных отложений рек бассейна р.Селенга

Показатели	Система сравнения	Участки донных отложений		
		Иловые отложения в русле рек	Отложения в зоне сброса сточных вод	Отложения в зоне поступления стоков горнодобывающего производства
Формула геохимической ассоциации	Кларк коры континентов	$Cu_{2,6}-Mn_{2,4}-Pb_{2,2}-Zn_{1,8}-Cr_{1,5}$	$Sn_{5,2}-Cd_{5,1}-Ag_{4,8}-Pb_{4,8}-Cu_{4,2}-Cr_{3,1}-Zn_{2,6}-As_{2,1}-Mo_{2,0}$	$Zn_{7,0}-Pb_{6,5}-Cu_{5,4}-Cd_{4,7}-W_{3,5}-Sb_{2,7}-Mo_{2,5}-As_{2,3}$
Суммарный показатель загрязнения, Z_c	—	8,4	23,8	28,6

Примечание. Численные индексы у символов элементов отображают их K_k - коэффициенты концентрации.

Так как валовые содержания элементов не определяют содержания миграционно-активных форм были установлены подвижные преимущественно обменно-сорбированные и карбонатные формы нахождения группы элементов определением их валового содержания в вытяжке в 1N HCl. Оценка миграционной способности тяжелых ме-

таллов проводилась по показателю K_m - процентное содержание подвижных форм от валовых (табл. 8).

В речном аллювии показатели миграционной подвижности менее контрастны с вариацией в пределах 3,3-10,8 %, наибольшие показатели 9,2-10,8% характерны для биофильных элементов Mn, Zn, Cu. В техногенных отложениях наибольшие показатели миграционной подвижности возрастают до 16,8-22,6%. Возрастание доли подвижных форм характерно для Zn, Cu, Cr, Cd. Однако, разнообразные процессы протекающие в водотоке преобразуют техногенно обусловленный баланс форм нахождения металлов в устойчивые их соотношения, свойственные для аллювия.

Таблица 8

Средние содержания подвижных форм тяжелых металлов в донных отложениях рек бассейна р. Селенга (n – кол-во проб)

Тип отложений	Ед. измер.	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Cr	n
Речной аллювий	мг/кг	42,6	4,2	0,65	1,2	0,005	1,4	1,8	12
	K_m , %	9,2	9,5	10,8	5,7	3,3	8,7	5,3	
Отложения в зоне сброса сточных вод	мг/кг	67,2	32,4	23,7	14,2	0,02	1,4	18,7	8
	K_m , %	14,5	17,6	22,6	14,8	13,3	8,8	17,3	
Отложения в зоне стоков горнодоб.пром.	мг/кг	39,7	48,2	34,5	15,6	0,08	1,7	2,4	8
	K_m , %	8,6	13,1	16,8	12,1	17,0	10,6	7,1	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты.

1. Потепление климата в 1980-1990 годах обусловил повсеместный рост среднегодовой температуры за 30 лет на 0,81 °С, что привело к изменению гидрометеорологических условий формирования стока рек в лесостепных и степных зонах в виде участвовавших маловодий и роста стока рек в юго-западных горных районах.

2. Выявлен статистически достоверный отрицательный тренд годового стока рек Селенга, Чикой, Хилок, Уда, который становится значимым в последнее десятилетие при слабо отрицательном тренде годовых осадков. В бассейне реки Джиды отмечен положительный линейный тренд увеличения среднегодовых расходов воды при положительном тренде годовых осадков. Сравнение водного стока рек в период 2001-2010 гг. с данными предыдущих лет указывает на его уменьшение на 24-39% в реке Селенга и её правых притоков – Чикой,

Хилок и Уда. Водный сток левых притоков реки Селенга – Джиды и Темник за этот же период увеличился на 32 и 3% соответственно.

3. По удельным показателям средний многолетний сток в бассейне р. Селенга изменялся в пределах от 0,4 до 7,2 л/с·км². Наиболее высокий модуль стока в р. Темник составлял 6,9 - 7,2 л/с·км², в реках Ероо, Чикой и Джиды – в пределах 4,2 - 4,5 л/с·км², наиболее низкие – на территории Монголии в бассейне рек Туул, Чулут и Хараа 0,41 - 0,98 л/с·км².

4. Оценен годовой сток взвешенных наносов рек бассейна р. Селенга. За период наблюдений средний годовой расход взвешенных наносов реки Селенга в п. Кабанск составил 106,9 кг/с, что соответствует ежегодному объему стока наносов 3,39 - 3,81 млн. т. Наименьшее количество наносов взвешенных частиц 0,085 млн.т /год приносит р. Темник при среднегодовом расходе наносов в пределах 1,4 - 3,2 кг/с.

5. Выявлено, что большинство гидрохимических показателей рек в бассейне р. Селенга формируются в результате действия природных факторов. Трансформация кислотно-щелочной реакции воды, повышение содержания сульфатов и хлоридов, а также превышение нормативов предельно допустимых концентраций легкоокисляемых органических веществ и нитритной формы азота имеют локальный характер и связаны с антропогенным поступлением сточных вод с очистных сооружений и неорганизованных ливневых стоков с урбанизированных территорий.

6. Определены фоновые уровни содержания макро- и микро-элементов, включая РЗЭ в реках бассейна р. Селенга. Минимальные фоновые уровни растворенных металлов наблюдаются в реках, дренирующих гористые залесенные малонаселенные водосборы. На равнинных участках при возрастании общей антропогенной нагрузки, но без специфического загрязнения (реки Селенга, Хилок, Уда, Джиды, Чикой) концентрации растворенных меди, цинка возрастают в 1,4 - 2,2 раза, железа, марганца 2 - 3 раза относительно фона. В реках Модонкуль (Россия) и Хангал (Монголия), находящихся под влиянием стоков отходов горнодобывающего производства, содержания растворенных форм меди, цинка, свинца возрастают в 3 - 6 раз.

7. Установлено превышение среднегодовой концентрации растворенных Zn, Sr, Zr, Ti, Y, Nb, Mo в воде рек бассейна р. Селенга в 1,9 - 2,9 раза, Sn – в 4,2 раза в сравнении с аналогичными показателями рек мира. Превышение нормативов для водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК_{рбхз}) по Cu, Mn, Fe, Zn, Pb составляло 2,5 раза в 85% проанализированных проб.

8. Выявлено, что состав породообразующих элементов взвешенных веществ климатически обусловлен. При переходе от реки Уда, водосбор которой расположен в северной лесной части бассейна, к рекам с водосборами в южных степных и лесостепных зонах (реки Хилок, Чикой, верхнее и среднее течение Селенги) происходит снижение содержания SiO_2 . В зонах с влажным климатом взвесь обогащена Fe_2O_3 и обеднена CaO и MgO в сравнении с лесостепной и степной территориями с сухим климатом. Минимальные концентрации Fe_2O_3 отмечены во взвесах рек Уда, Хилок, Чикой и более высокие их содержания в нижнем течении рек Селенга и Джиды.

9. Показано, что содержание элементов катионо- и анионогенных литофилов с постоянной и переменной валентностью, биофилов – сульфофилов и гидролизатов в составе взвешенных веществ подвержено сезонной изменчивости и техногенной нагрузке. В весенний период в реках преимущественно во взвешенной форме мигрируют Al , Fe , Ti , Cr , V , Pb , Ni , Co , Cu , Sn , Sb , Zr , Sr , Y , PЗЭ , в летний период в составе взвеси содержание Ca , Mn , Cu , Zn , Sr , Sn , V , W , Pb , Bi повышается в 1,1-1,3 раза, концентрация Mo , Cd , Sn , Sb – в 1,5-1,8 раза. Во всех реках независимо от количества взвеси в воде металлы образуют следующий ряд взвешенных форм миграции: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni}$. В зоне влияния источников загрязнения выпадает до 40 - 65% взвешенных форм Fe , Zn , Pb , Mn , Cr и до 20-50% – Cu , Ni .

10. Установлено, что в дельте р. Селенги в донных отложениях многоводной протоки Харауз карбонаты кальция выпадают в твёрдой фазе, в малом водотоке Колпинная накапливаются марганцевые окислы переменного состава, смесь коллоидальных или плохо раскристаллизованных минералов, из которых чаще всего встречается пиролюзит.

11. Аллювиальные донные отложения не загрязнены тяжелыми металлами, их средние содержания могут использоваться в качестве фоновых. В техногенных образованиях аккумулируются Cu , Zn , Pb , Cd , Cr , Sb , As , Sn , Ag , W , показатели концентрации (K_k), которых могут достигать 2,0-7,0 единиц. Минимальные значения K_k (около 1) характерны для литофильных (Zr , Y , Li , Ba) и сидерофильных (Co , Ni) элементов.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Хажеева З.И., Урбазаева С.Д., Бодоев Н.В., Раднаева Л.Д., Калинин Ю.О. Тяжелые металлы в воде и донных отложениях дельты р. Селенги // Водные ресурсы.- 2004.- №1.- С. 69-72.

2. **Хажеева З.И.**, Урбазаева С.Д., Тулохонов А.К., Плюснин А.М., Сороковикова Л.М., Синюкович В.Н. Тяжелые металлы в воде и донных отложениях протоков дельты р. Селенги // Геохимия.- 2005.- №1.- С.105-111.
3. **Хажеева З.И.**, Тулохонов А.К. Распределение металлов в донных отложениях протоков дельты р. Селенги // Геохимия.- 2007.- №2.- С. 76-83.
4. **Хажеева З.И.**, Тулохонов А.К., Дашибалова Л.Т. Сезонная и пространственная динамика минерализации и главных ионов р. Селенги // Водные ресурсы.- 2007.- Т.34, № 4.- С . 444-449.
5. **Хажеева З.И.**, Пронин Н.М., Раднаева Л.Д., Дугаров Ж.Н., Урбазаева С.Д. Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и биоте Черкалов сора оз. Байкал // Химия в интересах устойчивого развития.- 2005.- Т. 13, №1.- С. 95-102.
6. **Хажеева З.И.**, Урбазаева С.Д., Тулохонов А.К. Распределение металлов в воде, взвешенном веществе и донных отложениях протоков дельты // Химия в интересах устойчивого развития.- 2006.- Т.14, №4 - С. 303-309.
7. Базова Н.В., Базов А.В. Пронин Н.М., Рожкова Н.А., Дашибалова Л.Т., **Хажеева З.И.** Пространственно-временное распределение личинок ручейников *Aethaloptera evanescens* в русле реки Селенги // Экология.- 2008.- № 6.- С. 1-6.
8. **Z.I.Khazheeva**, A.K.Tulokhonov, Yao Rui, Hu Weiping Seasonal and spatial distribution of heavy metals in the Selenga River Delta // J. of Geographical Sciences.- 2008.- V.18, №. 3.- P. 319-328.
9. **Хажеева З.И.** Донные отложения дельты: гранулометрический и минеральный состав // Дельта Селенги естественный биофильтр и индикатор состояния оз. Байкал.- Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.- С. 156-162.
10. **Хажеева З.И.**, Урбазаева С.Д. Микрокомпонентный состав воды протоков дельты// Дельта Селенги естественный биофильтр и индикатор состояния оз. Байкал.- Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.- С. 152-156.
11. Балханов В.К., **Хажеева З.И.** Диффузия загрязняющих веществ в речном потоке. Графический метод представления концентрации // Вестник БГУ.- 2006. -№5.- С.39-46.
12. Балханов В.К., **Хажеева З.И.** Графический метод представления диффузии загрязняющих веществ в речном потоке // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2007.- № 10.- С.53-57.

13. Балханов В.К., **Хажеева З.И.** Морфометрические параметры речного русла в модели плоскопараллельного течения // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2007.- №1.- С. 105-111.

14. **Хажеева З.И.** Вещественный и дисперсный состав седиментационных отложений проток дельты р. Селенга // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2008.- №5.- С.384-387.

15. **Хажеева З.И.**, Пронин Н.М Влияние элодеи канадской на химический состав воды и донных отложений в дельте р. Селенги // Вестник БГУ.- 2007.- № 3.- С. 177-179.

16. Плюснин А.М., **Хажеева З.И.** Геохимические особенности распределения металлов во взвешенном веществе и донных отложениях проток дельты р. Селенги // Вестник БГУ.- 2008.- № 3.- С. 152-157.

17. Weiping Hu, Zhang Lu, Chunhua Hu, **Z.I. Khazheeva** A study on the hydrology and biogeochemistry character in Selenga Delta // Байкальская Азия: экономика, экология, устойчивое развитие (результаты международного сотрудничества). -Улан-Удэ:Изд-во БНЦ СО РАН, 2009.- С. 70-73.

18. **Хажеева З.И.**, Плюснин А.М. Современная водохозяйственная деятельность в бассейне р. Селенги и влияние её на экологическое состояние водотоков // География и природные ресурсы.- 2012.- № 4.- С.48-52.

19. **Хажеева З.И.**, Плюснин А.М. Вынос биогенных веществ с речным стоком бассейна Селенги // Водн. ресурсы.- 2012.- № 4.- С. 425-436.

20. **Хажеева З.И.**, Плюснин А.М. Режим растворенных газов и органического вещества в реках бассейна р. Селенга // Водные ресурсы.- 2013.- Т.40, №1.- С.70-82.

21. Смирнова О.К., Плюснин А.М., **Хажеева З.И.** Современное минералообразование в местах складирования отходов горнорудной промышленности // Отечественная геология.- 2013.- №3.- С. 104-111.