

На правах рукописи

Шевченко Геннадий Александрович

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АКВАТОРИИ
И ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА
(ГОРНЫЙ АЛТАЙ)**

Специальность 25.00.36 Геоэкология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск - 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО "Горно-Алтайский государственный университет"

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук
Робертус Юрий Владимирович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
Савичев Олег Геннадьевич

кандидат геолого-минералогических наук,
Быкова Валентина Васильевна

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук Институт
водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН

Защита состоится 22 декабря 2010 года в 16-30 часов на заседании совета по
защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.07 при ГОУ ВПО "На-
циональный исследовательский Томский политехнический университет"

Адрес: 634050 г. Томск, пр. Ленина 2, строение 5, 20 корпус ТПУ, ауд. 504

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО
"Национальный исследовательский Томский политехнический университет"

Автореферат разослан "12" ноября 2010 г.

Ученый секретарь
совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций

С.И. Арбузов

Введение

Актуальность исследования. Телецкое озеро – уникальный природный объект Горного Алтая, являющийся хранилищем более 40 кубокилометров экологически чистой пресной воды, в 1998 г. включен ЮНЕСКО в список природных объектов Мирового Наследия, что налагает большую ответственность за его сохранение в первоизданном виде и предполагает строго регламентированное использование озера в хозяйственной деятельности и в рекреационных целях.

Часть акватории Телецкого озера и его восточное побережье входит в состав Алтайского государственного биосферного природного заповедника – одного из старейших в стране. Район озера исторически является местом проживания коренных малочисленных этносов Алтая – тубаларов и челканцев.

В последние годы в связи с бурным развитием туризма, сопровождающимся ростом потока отдыхающих, массовым строительством объектов туриндустрии и резким увеличением транспортных средств, в том числе маломерных судов, заметно возрос антропогенный пресс на окружающую среду в районе озера, особенно в его северо-западной части (Доклад ..., 2009).

Вышеотмеченное обуславливает необходимость углубленного изучения состояния объектов окружающей среды в районе Телецкого озера с целью организации и ведения мониторинга экологической обстановки на этой территории. Необходимо отметить, что до настоящего времени специализированных комплексных геоэкологических работ в районе озера не проводилось.

Эти актуальные вопросы частично рассматривались в работах, посвященных гидрохимическому состоянию Телецкого озера (Алекин, 1934; Лепнева, 1937; Селегей, 1978; Шмаков, 1998; Малолетко, 2007), но обобщающая работа пока отсутствует. С 2004 г. АРИ "Экология" с участием автора проводится мониторинговое изучение экологического состояния окружающей среды в районе озера с целью отслеживания негативных тенденций изменения ситуации и принятия мер по их стабилизации.

Цель работы. Изучение геоэкологического состояния основных объектов окружающей среды в пределах акватории и прибрежной зоны оз. Телецкое – объекта Всемирного природного наследия. Для ее достижения решались следующие задачи:

1. Выявить и охарактеризовать основные природные и антропогенные факторы влияния на геоэкологическую ситуацию в районе оз. Телецкое;
2. Выявить уровни присутствия приоритетных загрязнителей в природных средах в районе Телецкого озера;
3. Изучить особенности пространственного распределения показателей химического состава воды Телецкого озера;
4. Провести ретроспективный анализ геоэкологического состояния воды Телецкого озера и выявить тенденции его изменения;
5. Оценить современное эколого-гигиеническое состояние объектов окружающей среды в районе Телецкого озера.

Объектом исследования является акватория Телецкого озера и его прибрежная зона шириной до 0.5 км. **Предмет исследования** – современная и прошлая геоэкологическая ситуация в районе озера и факторы ее формирования.

При выполнении работы автор опирался на теоретические и методические подходы и положения геоэкологического анализа, изложенные в трудах В.И. Бгатова, Э.К. Буренкова, Ю.А. Саета, В.Т. Трофимова и других исследователей. В ходе исследования применялись гидрогеохимический, сравнительно-географический, математико-статистический и картографический методы.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертационной работы положены материалы Алтайского регионального института экологии, полученные с участием автора в 2004-2010 гг. в процессе мониторинга окружающей среды в районе Телецкого озера.

В этот период было взято 665 проб природных сред, для которых в аккредитованных лабораториях Сибирского региона выполнено 11802 определения различных параметров, в том числе 4260 определений показателей химического состава, 314 – тяжелых металлов и их подвижных форм атомно-абсорбционным методом, 3400 – микроэлементов масс-спектральным анализом, 948 анализов методом газовой хроматографии, 2432 и 448 определений спектральным и нейтронно-активационным анализом соответственно. Кроме этих данных, при подготовке работы были использованы имеющиеся фондовые научные и производственные отчеты, ежегодники Запсибгидромета, а также имеющиеся публикации по теме исследования.

Научная новизна работы: Выявлены и охарактеризованы факторы, влияющие на геоэкологическую ситуацию в районе Телецкого озера. Впервые установлены уровни присутствия и особенности пространственного распределения основных загрязнителей воды и прибрежной зоны озера. Изучено современное экологогигиеническое состояние объектов окружающей среды в районе озера и намечены основные тенденции его изменения.

Практическая значимость работы. Данные, полученные в процессе исследования, позволяют понять особенности формирования химического состава воды Телецкого озера и более достоверно оценить экологическое состояние его акватории и прибрежной зоны. Полученная информация была использована для ведения территориальных и локальных систем комплексного экологического и социально-гигиенического мониторинга. Передаваемая в оперативном режиме надзорным органам информация об антропогенном загрязнении природных сред в районе озера позволила заметно снизить его негативные экологические последствия.

Достоверность защищаемых положений обеспечена значительным объемом, разноплановостью и глубиной проработки полученного и использованного в работе фактического материала и архивных данных.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертации отражены в четырех отчетах по НИР, выполненным с участием автора, а также в 16 статьях,

опубликованных в материалах конференций и сборниках научных статей, в том числе в двух статьях в научных журналах, включенных в перечень ВАК.

Результаты работ по теме исследования докладывались на конференциях: "Современные проблемы геоэкологии горных территорий" (Горно-Алтайск, 2007, 2008), "Биогеохимия в народном хозяйстве" (Астрахань, 2008), "Алтай: экология и природопользование" (Бийск, 2009), "Эколого-географические исследования в речных бассейнах" (Воронеж, 2009), "Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России" (Азов, 2009), а также на семинарах Горно-Алтайского государственного университета.

Основные защищаемые положения:

1. Основными региональными и локальными антропогенными факторами, влияющими в настоящее время на геоэкологическое состояние объектов окружающей среды в районе Телецкого озера, являются (в порядке уменьшения значимости): участки прошлого загрязнения хлорорганическими пестицидами, хозяйственно-селитебные территории, водный и автомобильный транспорт, рекреационная деятельность, отходы потребления, пуски ракетносителей.

2. В пространственном распределении макро- и микрокомпонентов химического состава воды Телецкого озера проявлена продольная латеральная зональность, обусловленная изменением объема поступающего речного стока и сменой комплекса природных условий района его нахождения, а также поперечная зональность, обусловленная особенностями состава и поступления воды боковых притоков озера.

3. Современные уровни присутствия в объектах окружающей среды основных загрязнителей акватории и прибрежной зоны Телецкого озера – хлорорганических пестицидов, тяжелых металлов, нефтепродуктов, азотистых соединений, фенолов находятся, за исключением отдельных локальных очагов загрязнения, преимущественно на условно благоприятном эколого-гигиеническом уровне.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 149 страниц состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы из 133 наименований. Работа содержит 86 таблиц и 48 рисунков.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю, ведущему научному сотруднику ИВЭП СО РАН, к.г.-м.н. Ю.В. Робертусу. При подготовке работы полезные консультации были получены от ученых Горно-Алтайского государственного университета – к.г.н. О.В. Климовой, к.г.-м.н. А.В. Шитова, к.г.н. Т.В. Больбух, к.т.н. А.Ю. Гвоздарева, ИВЭП СО РАН – зав. лабораторией к.б.н. В.В. Кириллова, д.б.н. профессора А.В. Пузанова. Автор благодарит д.г.н. профессора В.В. Семенова, аспиранта О.В. Кузнецову, аналитиков Н.В. Андросову (ИГМ СО РАН), И.Г. Филиппчук (БПГО), Л.П. Кутикову (Россельхознадзор по АК и РА).

Особая благодарность к.г.-м.н. Р.В. Любимову, В.П. Ивановой и всему коллективу Алтайского регионального института экологии за помощь в выполнении экспедиционных работ и при оформлении диссертации.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы и проведенного исследования. Определены цели и задачи диссертационной работы, изложены основные результаты, обозначен вклад автора в исследования по данной теме, отражена научная новизна работы и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе "**Изученность проблемы. Методы исследования**" проанализировано состояние геоэкологической изученности района Телецкого озера и в кратком виде приведены основные результаты проведенных исследований. Дана характеристика видов, объемов, методов и методик полевых и лабораторных работ, а также использованных методов обработки и интерпретации полученных данных.

Во второй главе "**Природные условия и антропогенная деятельность в районе Телецкого озера**" дана краткая характеристика природных условий изученного района и детально раскрыты природные и антропогенные факторы регионального и локального воздействия на геоэкологическую ситуацию в районе Телецкого озера.

В третьей главе "**Характеристика Телецкого озера и его прибрежной зоны**" приведено описание основных физико-гидрологических, гидрохимических и гидробиологических особенностей Телецкого озера, а также изученных природных сред его прибрежной зоны (природные воды, почвы, донные осадки, растительность).

Четвертая глава "**Природные воды акватории и прибрежной зоны Телецкого озера: химический состав, особенности распределения и формирования**" посвящена характеристике химического состава Телецкого озера, его основных притоков и подземных вод прибрежной зоны, а также особенностям формирования и анализу пространственного распределения в озере макро- и микрокомпонентов.

Пятая глава "**Геоэкологическое состояние акватории и прибрежной зоны Телецкого озера: характеристика, тенденции, рекомендации**" содержит: характеристику экологического состояния воды Телецкого озера, поступающих в него атмосферных осадков и поверхностных вод; эколого-гигиеническую оценку природных сред прибрежной зоны озера; описание прошлых и современных тенденций загрязнения озерной акватории, данные по антропогенным нагрузкам в районе озера; рекомендации по минимизации антропогенного воздействия на экосистему озера.

В **заключении** подведены итоги проведенного исследования, сформулированы его основные результаты и выводы.

Обоснование защищаемых положений

Первое защищаемое положение: *Основными региональными и локальными антропогенными факторами, влияющими в настоящее время на геоэкологическое состояние объектов окружающей среды в районе Телецкого озера, являются (в порядке уменьшения значимости): участки прошлого загрязнения хлорорганическими пестицидами, хозяйственно-селитебные территории, водный и автомобильный транспорт, рекреационная деятельность, отходы потребления, пуски ракетносителей.*

В пределах водосборного бассейна Телецкого озера проживает 15 тысяч человек, а непосредственно в его прибрежной части около 2200 человек, из них 85 % в крайней северо-западной части озера – в селах Артыбаш и Иогач. Территория в хозяйственном отношении освоена очень слабо. Местное население занимается, в основном, животноводством, заготовкой и переработкой леса, оказанием разнообразных услуг туристам и отдыхающим, в том числе предоставлением транспортных услуг.

Транспортная инфраструктура вблизи озера представлена единичными дорогами, подходящими к селам Артыбаш, Иогач, Яйлю и к южной оконечности озера (мыс Кырсай). Базирующийся в селах водный транспорт представлен многочисленными малыми речными судами – теплоходами, катерами и моторными лодками.

В последнее время основной сферой хозяйственно-экономической деятельности в районе Телецкого озера становятся туризм и рекреация. В его прибрежной зоне имеется более двух десятков турбаз, основные из которых расположены в окрестностях сел Артыбаш и Иогач, в меньшей степени, на южной оконечности озера. Их строительство сопровождается возведением объектов сервисной инфраструктуры, что в совокупности приводит к заметным нарушениям исходных природных ландшафтов.

Большинство туробъектов функционирует только летом, небольшая их часть в селах Артыбаш и Иогач – круглый год. Число отдыхающих на озере составляет около 100 тысяч в год. Большинство туристов приезжает на озеро на личном автотранспорте, который размещается на территориях турбаз, частных усадеб или в палаточных лагерях, нередко в прибрежной зоне озера. Для теплоходов и катеров оборудованы примитивные пирсы и причалы, часть лодок швартуется непосредственно у берега.

К числу природных факторов, в разной степени оказывающих негативное воздействие (загрязнение) на химический состав озерной воды, относятся: месторождения, проявления и зоны рассеянной минерализации цветных, благородных и редких металлов в водосборном бассейне озера (источники тяжелых металлов); лесопокрываемые площади, особенно участки прошлых лесоразработок (поставщики фенолов, образующихся при гниении древесины и лесных пожарах); паводковые воды р. Чулышман – поставщика ряда загрязнителей антропогенного происхождения (нефтепродукты, соединения азота, фосфаты, фенолы, препараты для обработки скота и пр.).

Предварительно изученные в последние годы факторы антропогенного воздействия на экосистему Телецкого озера можно разделить на две группы – региональные или трансграничные и локальные. К основным региональным факторам привнесенного загрязнения относятся наземные и воздушные испытания ядерных устройств на Семипалатинском полигоне в 1949-1962 гг., многолетние пуски ракетносителей с космодрома Байконур и, в меньшей мере, трансграничные переносы выбросов и отходов предприятий горно-металлургического цикла Восточного Казахстана.

Проведенными исследованиями установлено, что на следах этих трансграничных переносов присутствует слабоинтенсивное остаточное радиоактивное и химическое (тяжелометалльное, ракетнотопливное) загрязнение объектов окружающей среды.

По разным оценкам, в период наземных и воздушных ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне на район Телецкого озера оказали влияние от 15 до 25 следов радиоактивных облаков. В эти и последующие годы на его территории было выявлено около десятка разных по размерам и интенсивности очагов загрязнения почв долгоживущими техногенными радионуклидами (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$). В настоящее время их остаточные уровни активности в объектах окружающей среды не влияют на радиационный фон района и не представляют опасности для населения.

В непосредственной близости от южного фланга Телецкого озера расположено два района падения (РП) вторых ступеней ракетносителей (РН) "Протон-К, М" (на гидразинном топливе), используемых с начала 1970-х годов при пусках с космодрома Байконур (более 230 пусков). Экологическая нагрузка, созданная выброшенными в атмосферу региона высокотоксичными компонентами ракетных топлив, включает более 225 т тетраоксида азота, 90 т гептила, а также порядка 1800 т фрагментов отделяющихся частей ракет-носителей (ОЧ РН), область распространения которых захватывает основную часть водосборного бассейна Телецкого озера (рис. 1).

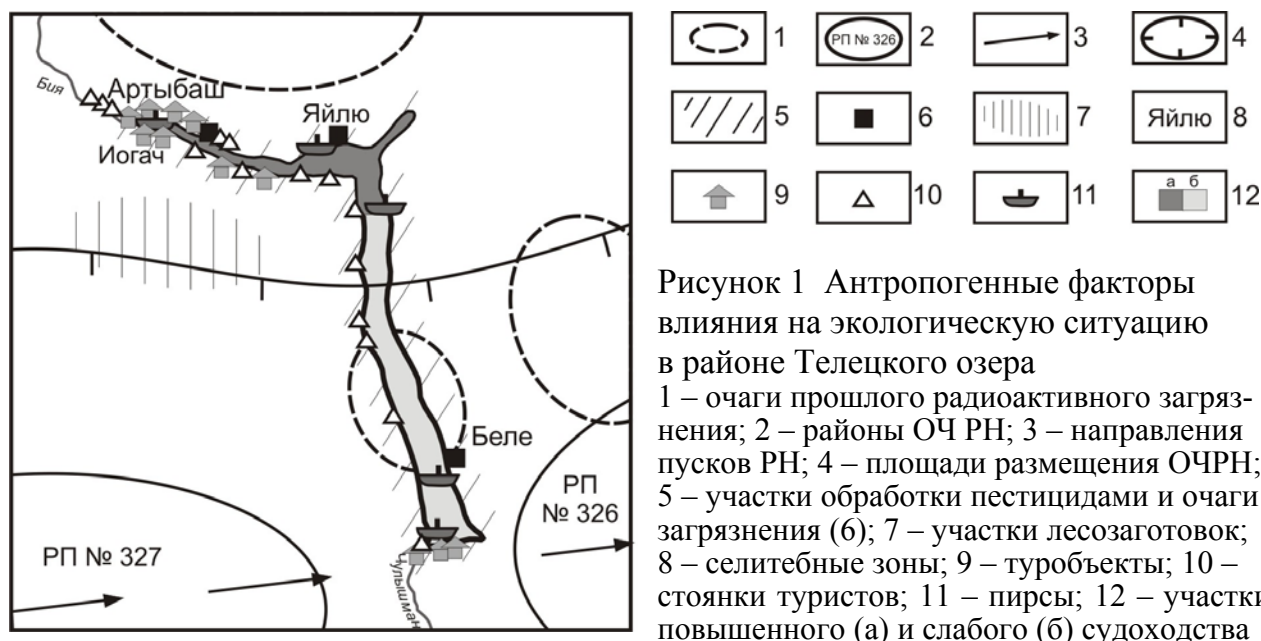


Рисунок 1 Антропогенные факторы влияния на экологическую ситуацию в районе Телецкого озера

1 – очаги прошлого радиоактивного загрязнения; 2 – районы ОЧ РН; 3 – направления пусков РН; 4 – площади размещения ОЧРН; 5 – участки обработки пестицидами и очаги загрязнения (6); 7 – участки лесозаготовок; 8 – селитебные зоны; 9 – туробъекты; 10 – стоянки туристов; 11 – пирсы; 12 – участки повышенного (а) и слабого (б) судоходства

Практически не изучены негативные экологические последствия аэрогенного переноса на территорию Алтая тяжелых и токсичных металлов, присутствующих в выбросах и отходах предприятий горно-металлургического цикла Восточного Казахстана. Пилотными исследованиями АРИ "Экология" в пределах Западного Алтая выявлен мегаореол аномально пониженных значений рН и повышенного содержания сульфатов, нитритов, нитратов и ряда ТМ (Zn, Pb, Ag и др.) в снеговой воде. Эти данные позволяют считать, что на территорию изученного района на протяжении более полувека в процессе трансграничного переноса загрязняющих веществ поступает с кислотными атмосферными осадками и сухими пылеаэрозольными выпадениями большой спектр специфических токсичных элементов, содержащихся в полиметаллических рудах, перерабатываемых на предприятиях Восточного Казахстана.

К значимым локальным факторам антропогенного воздействия на экологическую ситуацию в исследованном районе относятся (в порядке уменьшения влияния): участки бывшего хранения и применения хлорорганических пестицидов, хозяйственно-селитебные территории, водный транспорт и места его базирования, автотранспорт (дороги, автостоянки, автозаправки), объекты туристской инфраструктуры, предприятия лесопереработки, места складирования отходов.

Из локальных антропогенных факторов, негативно влияющих на экологическую обстановку в районе Телецкого озера, ведущим является загрязнение его прибрежной зоны в результате ее авиаобработки в 1966 г. от иксодового клеща хлорорганическим пестицидом ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан), относящимся к классу стойких загрязнителей окружающей среды. Всего с этой целью было использовано около 120 тонн препарата, размещенного на временных площадках в с. Артыбаш и на территории Алтайского госзаповедника (Яйлю, Беле).

К числу основных источников воздействия на экосистему озера относятся и населенные пункты, представляющие собой сельскохозяйственно-селитебные зоны, в пределах которых присутствуют разнообразные мелкие источники формирования локального химического загрязнения объектов окружающей среды. Они, как правило, формируют преимущественно линейные, реже площадные и точечные очаги моно- и реже поликомпонентного загрязнения, связанного с их спецификой. В населенных пунктах на берегах Телецкого озера нет оборудованных полигонов для размещения ТБО и полей фильтрации для ЖКО, в том числе подсланевых вод теплоходов и катеров, которые вывозятся на необорудованные свалки в пределах водосборного бассейна озера.

Происходящее в последние годы бурное развитие туризма сопровождается массовым строительством не только объектов туристской инфраструктуры, но и резким увеличением числа транспортных средств, в том числе речных моторных судов (в основном, маломерных), численность которых составляет около трехсот единиц. За навигацию моторными судами используется порядка 500 т топлива и моторных масел, что делает их заметным источником выбросов и сбросов нефтепродуктов на акватории Телецкого озера, а также источником подсланевых вод и хозфекальных отходов, проблема полноценной утилизации которых пока не решена.

Значимым источником влияния на экологическую ситуацию в северо-западной части озера является и автотранспортные средства, численность которых на пике туристского сезона достигает более 1000 единиц. Большинство автомобилей базируется в водоохранной зоне озера, в т. ч. в пределах его прибрежной зоны, что вызывает эрозию почв и способствует их загрязнению тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

Негативное воздействие на прибрежную составляющую озерной экосистемы оказывают также отходы потребления (ТБО, ЖКО) и производства. Последние представлены, в основном, отходами лесопереработки (щепа, опилки и пр.), являющимися источниками образования летучих фенолов и других органических загрязнителей.

Второе защищаемое положение: В пространственном распределении макро- и микрокомпонентов химического состава воды Телецкого озера проявлена продольная латеральная зональность, обусловленная изменением объема поступающего речного стока и сменой комплекса природных условий района его нахождения, а также поперечная зональность, обусловленная особенностями состава и поступления воды боковых притоков озера.

До последнего времени у немногочисленных исследователей Телецкого озера доминировали представления, что для пространственно-временного распределения химического состава озерной воды присущи сезонный характер изменения и выдержанность состава по акватории озера и на его глубине. Средний химический состав поверхностного слоя озерной воды (на глубине он изучен крайне слабо), по данным всего периода регулярных гидрохимических исследований, практически не менялся и удовлетворительно совпадает по многим значениям его показателей (табл. 1).

Таблица 1 Средний химический состав воды Телецкого озера (мг/дм³)

Исследователи	Год	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	ОМ
Лепнева С.Г.	1928-1932	7.45	11.9	2.2	0.4	42.0	3.3	0.7	60.5
Селегей В.В.	1975	н.д.	13.1	2.5	2.9	49.0	6.3	1.2	75.0
Малолетко А.М.	1972-1975	н.д.	9.3	3.1	12.4	58.0	0.8	10.7	94.1
Иркутский ГУ	1989	7.5	12.1	2.6	2.5	48.2	2.6	1.0	82.0
Запсибгидромет	1985-2003	7.5	13.8	2.7	2.9	52.7	5.6	1.0	79.6
Савченко Н.В.	2005-2006	7.2	13.6	1.8	3.3	62.7	4.9	2.7	89.0
АРИ "Экология"	2004-2009	7.4	13.7	2.5	6.6	56.7	7.8	2.2	88.4

В 2008-2009 гг. методом ISP в ООО "Плазма" (г. Томск) изучен химический состав 42 проб озерной воды (70 элементов), взятых на ряде станций по медиане озера в разных его частях, в том числе 16 проб с глубин 10, 50, 100, 200, 300 м.

Предварительно установлено, что в южной части озера среднее содержание большинства изученных микроэлементов (МЭ) на 5-140 % выше, чем в меридиональной и субширотной частях акватории (табл. 2). Это относится, в основном, к породообразующим элементам (Si, Mg, Ca, Na, K), большинству тяжелых металлов (ТМ) и, в меньшей степени, к редким, редкоземельным элементам и лантаноидам.

Таблица 2 Среднее содержание химических элементов в воде оз. Телецкое (мкг/дм³)

Эл-ты	Ш	М	Ю	Ш/Ю, ед.	Эл-ты	Ш	М	Ю	Ш/Ю, ед.
Si	2526	2619	2752	0.92	Ba	11	12.5	13.7	0.80
Mg	2463	2798	2908	0.85	Cu	1.64	1.71	2.59	0.63
Na	1444	1618	1708	0.85	Pb	0.12	0.15	0.20	0.60
Fe	47	68	82	0.57	Sc	0.86	1.17	1.35	0.64

Части озера: Ш – широтная; М – меридиональная; Ю – южная

Это закономерное увеличение уровня присутствия многих химических элементов в направлении с северо-запада на юг – от Артыбаша к мысу Кырсай указывает на

существование достаточно отчетливо выраженной латеральной продольной (по длине озера) зональности их распределения в поверхностном слое озерной воды.

По интенсивности этого увеличения выделяется две основные группы элементов, первая из которых представлена породообразующими и другими геохимически инертными элементами. Среднее превышение их концентраций в воде южной части озера над уровнем с. Артыбаш составляет 10-15 %. Вторая геохимически более подвижная группа тяжелых металлов имеет средний уровень превышения 50-60 %.

Выявленная продольная латеральной зональность в распределении микроэлементов совпадает с однотипным поведением макрокомпонентов озерной воды, также проявленным в увеличении их относительных концентраций с юга на север (ион натрия, сульфат-ион, мутность, окисляемость и др.), либо в обратном направлении – гидрокарбонат-ион, ион кальция, взвешенные вещества и др. (рис. 2).

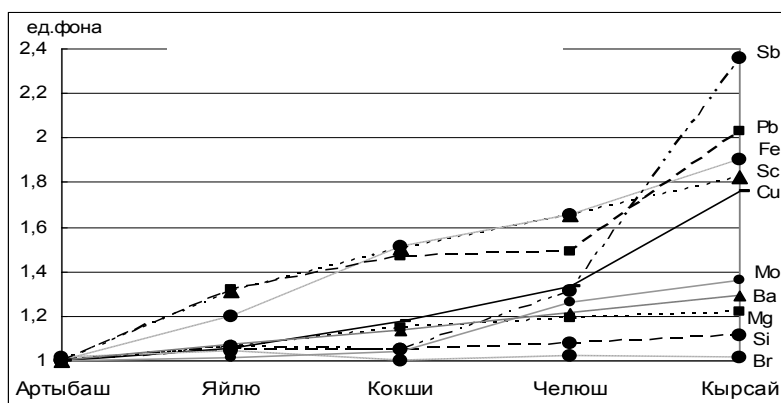


Рисунок 2 Характер распределения концентраций МЭ по длине Телецкого озера

Таким образом, в пространственном распределении изученных МЭ предварительно выявлен ряд тенденций, основные из которых заключаются: 1) в уменьшении уровня их присутствия в озерной воде в направлении юг – север (встречаемость более 60 %); 2) в максимальном присутствии МЭ в центральной части озера (15 %); 3) в повышении содержания МЭ в его широтной части (8 %); 4) в стабильном распределении по всей длине озера (13 %). Другие типы распределения проявлены незначительно.

В поведении многих геохимически близких между собой МЭ также проявлено вышеотмеченное закономерное увеличение или уменьшение отношения их содержания в озерной воде при движении с севера на юг. Амплитуда изменения отношений МЭ в крайних частях озера варьируется в пределах $\pm 1.1-1.4$ фона и в целом совпадает с разницей в содержании большинства микроэлементов на флангах озера (табл. 3).

Таблица 3 Отношение содержания МЭ в разных частях Телецкого озера (ед.)

Части озера	Si/Al	Ca/Mg	Na/K	Fe/Ti	Ni/Co	Rb/Sr	Nd/Sm	U/Th
1. Широтная	184	5.4	2.0	80	15.4	78	4.7	45.8
2. Меридиональная	187	5.2	2.1	88	12.8	76	4.5	55.0
3. Южная	219	4.9	2.2	113	12.6	71	3.7	66.0
Отношение 3/1, ед.	1.2	0.9	1.1	1.4	0.8	0.9	0.8	1.4

Гидрогеохимическая специфика широтной, меридиональной и южной частей Телецкого озера отчетливо видна по данным факторного (компонентного) анализа. Так, максимальные значения главной компоненты (основной группы микроэлементов) характерны для южной части озера, а минимальные – для его субширотного плеса. Плавное увеличение величины главной компоненты в северном направлении указывает на постепенное уменьшение концентраций основной группы МЭ (рис. 3).

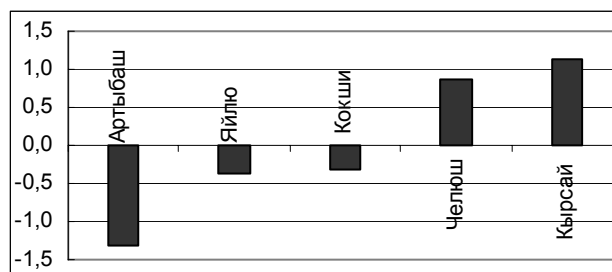


Рисунок 3 Характер изменения главной компоненты состава воды Телецкого озера

Продольная зональность в распределении большинства изученных МЭ проявлена, хотя и менее отчетливо, в глубинных слоях озерной воды. Так, средние концентрации многих МЭ (по всей толще озерной воды) также закономерно изменяются по длине водоема, при этом для основной их части характерно максимальное содержание в южной части озера (мыс Кырсай), превышающее значение на станции Артыбаш на 20-40 %. Наибольшее превышение проявлено для ТМ – цинка в 14.5 раз, железа в 1.7 раза, титана и кобальта в 1.5 раза, свинца и никеля в 1.25 раза (табл. 4).

Таблица 4 Среднее содержание тяжелых металлов в воде Телецкого озера (мкг/дм³)

Станции	Fe	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Li	Mo	Sc
Артыбаш	48	0.52	1.14	1.02	0.027	0.34	1.26	8.7	0.076	0.77	0.40	0.78
Яйлю	55	0.69	1.27	0.48	0.029	0.40	1.22	4.1	0.079	0.80	0.42	1.02
Кокши	70	0.70	1.56	1.31	0.033	0.41	1.29	4.0	0.085	0.81	0.42	1.18
Челюш	76	0.70	1.28	0.66	0.036	0.43	1.50	1.3	0.098	0.82	0.45	1.26
Кырсай	87	0.76	0.97	0.75	0.037	0.43	1.43	0.6	0.100	0.78	0.47	1.36
Арт./Кыр., ед.	0.6	0.7	1.2	1.4	0.7	0.8	0.9	14.5	0.8	1.0	0.9	0.6

В распределении изученных микроэлементов в глубинных слоях озера проявлено несколько трендов, основной из которых заключается в уменьшении концентрации МЭ с глубиной (Mn, Ni, Cu, Zn, Li и др.). Для некоторых микроэлементов наблюдается тенденция увеличения содержания с глубиной (Fe, Ti, Pb, Sc). Ряд элементов ведет себя индифферентно – кобальт, молибден, ртуть и пр. (табл. 5).

Таблица 5 Среднее содержание ТМ на глубине Телецкого озера (мкг/дм³)

Глубина	Fe	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Li	Mo	Sc	Hg
0 м	63	0.65	1.43	1.66	0.04	0.50	1.86	15.7	0.15	0.86	0.44	1.08	0.05
10 м	66	0.68	1.20	0.79	0.03	0.37	1.25	1.28	0.07	0.80	0.45	1.12	0.05
50 м	67	0.69	1.44	0.59	0.03	0.38	1.19	0.57	0.06	0.79	0.44	1.18	0.04
100 м	74	0.72	1.11	0.61	0.03	0.40	1.14	0.57	0.29	0.79	0.43	1.21	0.01
200 м	77	0.75	1.44	0.36	0.03	0.40	1.18	0.60	0.69	0.78	0.46	1.23	0.01
0/10-200, ед.	0.9	0.9	1.1	2.8	1.3	1.3	1.6	20.9	0.5	1.1	1.0	0.9	1.3

Другой чертой распределения микроэлементов в глубоких горизонтах озера на отрезке Кырсай-Кокши является наличие в интервале 10-100 м области их пониженных концентраций, "выходящей" на поверхность в районе Яйлю-Артыбаш. В отличие от сидерофильных элементов (Fe, Ti и др.), для подавляющего большинства МЭ (особенно халькофилов) характерно преобладание их содержания в поверхностном слое над глубинными концентрациями в среднем на 5-6 %, а для меди в 1.7 раза, цинка в 15.7 раза. Выделяется два основных типа распределения МЭ в глубоких слоях озера: 1) субгоризонтальное слоистое (Cu, Zn, Pb, J и др.); 2) наклонное (Fe, Sc и пр.), предположительно обусловленное погружением на глубину вод р. Чулышман (рис. 4).

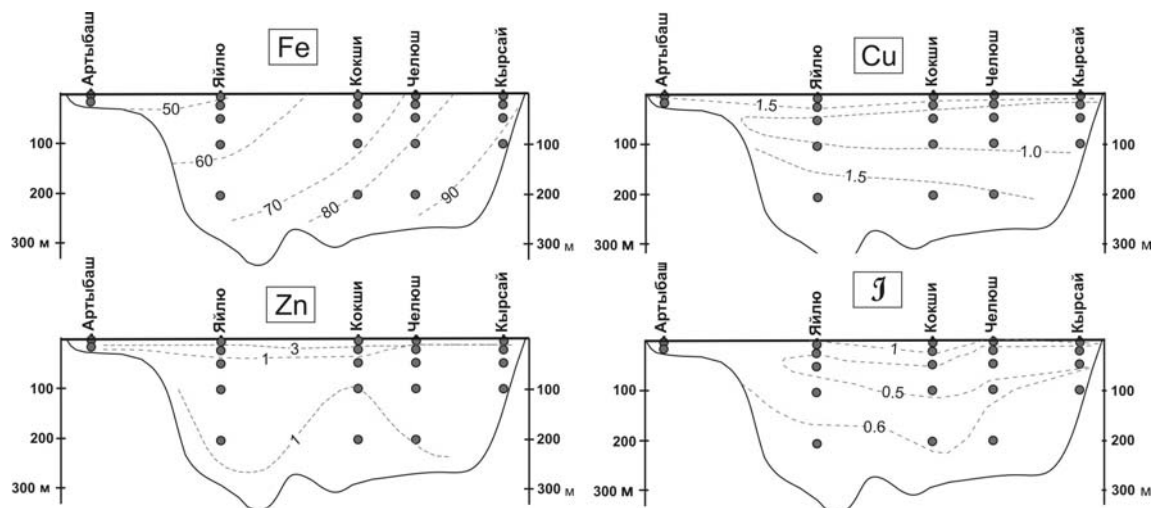


Рисунок 4 Распределение МЭ в глубинных слоях Телецкого озера (мкг/дм³)

Неоднородность распределения химического состава воды оз. Телецкое проявлена также в поперечных створах через озеро (Иогач-Артыбаш, Джидып-Яйлю, Чедор-Бол. Корбу). Для большинства его показателей осевая зона озера в изученных поперечных створах выделяется их пониженными или повышенными значениями для субширотного плеса, где проявлен симметричный характер распределения в отличие от асимметричного для меридионального плеса, для которого влияние резко отличных по составу воды западных и восточных притоков проявлено не только в местах их впадения, но и вдоль побережья озера – за счет прибрежных течений (рис. 5).

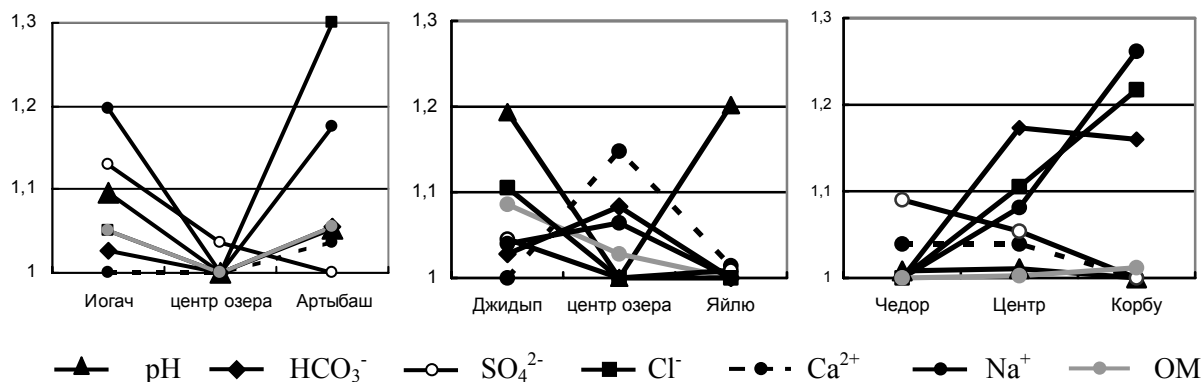


Рисунок 5 Характер изменения показателей химического состава воды Телецкого озера в поперечных створах (ед. фона)

Аналогичный симметричный характер распределения присущ и для поведения приоритетных загрязнителей озерной воды, поступающих в основном с прибрежной зоны озера. В связи с этим, повышенные концентрации всех загрязняющих веществ проявлены в прибрежной части акватории, кроме нитритов, поскольку процессы их окисления в береговой зоне протекают более интенсивно.

Выявленные обобщенные закономерности пространственного распределения состава воды Телецкого озера позволяют считать, что они обусловлены изменением объема и состава поступающего речного стока и сменой комплекса природных условий района. По химическому составу воды выделены две отличные между собой основные группы притоков озера: 1) западные и южные притоки; 2) восточные притоки.

Первая группа, представленная реками Чулышман, Кыга, Бол. и Мал. Чили, Колдор, Самыш, имеет повышенную минерализацию (более 0.1 г/дм³) и относится к гидрокарбонатному магниевно-натриево-кальциевому типу, а восточные притоки (Камга, Бол. Корбу, Челюш, Кокши и др.) – к ультрапресному типу вод (минерализация 0.03-0.05 г/дм³) с сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатным магниевно-кальциевым составом, сходным с гидрохимическим типом снеговых вод (табл. 6).

Таблица 6 Гидрохимический состав воды основных притоков оз. Телецкое

Западные-южные притоки	Состав воды	Восточные притоки	Состав воды
р. Самыш	0.11 $\frac{HCO_3 87 Cl 8 SO_4 5}{Ca 64 Mg 27 Na 8}$	р. Камга	0.05 $\frac{HCO_3 72 Cl 14 SO_4 14}{Na 43 Ca 43 Mg 14}$
р. Колдор	0.13 $\frac{HCO_3 89 Cl 7 SO_4 4}{Ca 63 Na 19 Mg 18}$	р. Корбу	0.03 $\frac{HCO_3 60 Cl 32 SO_4 8}{Na 41 Ca 29 Mg 29}$
р. Бол. Чили	0.12 $\frac{HCO_3 83 SO_4 10 Cl 7}{Ca 60 Na 24 Mg 16}$	р. Кокши	0.03 $\frac{HCO_3 63 Cl 24 SO_4 13}{Na 51 Ca 25 Mg 24}$
р. Чулышман	0.10 $\frac{HCO_3 84 Cl 9 SO_4 6}{Ca 72 Na 28}$	р. Челюш	0.04 $\frac{HCO_3 71 Cl 20 SO_4 8}{Na 50 Ca 40 Mg 10}$

Эти отличия воды притоков озера объясняются различными геохимическими особенностями их формирования, в частности, преобладанием атмосферного питания восточных притоков, их небольшой длиной, крутизной профиля и слабой залесенностью долин, что ограничивает переход химических элементов в водную фазу.

Другой гидрохимической чертой, отчетливо проявленной в распределении многих компонентов воды притоков озера, является постепенное изменение их содержания в направлении север-юг. В этом направлении увеличиваются (реже уменьшаются) абсолютные и относительные концентрации кальция, сульфатов, гидрокарбонатов, щелочей, большинства тяжелых металлов и других МЭ. Это говорит о том, что химический состав приповерхностного слоя озерной воды формируется, главным образом, под влиянием поверхностного водного стока, незначительная часть которого относится к антропогенно-трансформированному типу. По многим показателям он является промежуточным между составом западных-южных и восточных притоков.

На превалирующее влияние речных вод на гидрохимические особенности озерной воды указывают тесные корреляционные связи их химического состава. В

частности, все макроионы озерной и речной воды, кроме щелочей, имеют между собой значимые положительные и весьма однородные по величине ($r = 0.50-0.55$) коэффициенты корреляции, что указывает на унаследованный от поверхностного стока характер химического состава воды Телецкого озера (табл. 7).

Таблица 7 Корреляционные связи состава воды Телецкого озера и его притоков

Озеро Притоки	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Ca^{2+}	0.52	0.04	0.12	0.04	0.28	0.16
Mg^{2+}	-0.24	0.55	-0.34	-0.16	-0.52	-0.03
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	0.33	-0.21	0.74	0.53	0.09	0.52
HCO_3^-	-0.14	0.14	0.50	0.55	0.21	0.19
SO_4^{2-}	-0.27	-0.43	0.29	-0.11	0.51	0.63
Cl^-	-0.19	0.26	0.00	0.32	-0.25	0.50

Примечание: выделены значимые коэффициенты парной корреляции при $r = 0.05$

Об унаследованном характере химизма озерной воды также свидетельствуют тесные прямые корреляционные связи между микроэлементами в воде озера и его притоков. Отметим, что для тяжелых металлов (свинец, цинк, медь и др.), дополнительно поступающих при антропогенной деятельности, эти связи заметно ниже.

Имеющиеся данные указывают на формирование химического состава озерной воды преимущественно путем смешения различных по генезису природных вод над процессами их метаморфизма, которые лимитирует активный водообмен в озере, низкая температура воды, слабое развитие минеральных и органических веществ и пр.

Результаты анализа пространственного распределения показателей химического состава озерной воды позволяют сделать следующие предварительные выводы:

- постепенное изменение уровня присутствия в воде большинства компонентов и микроэлементов по длине озера можно рассматривать как латеральную продольную гидрогеохимическую зональность Телецкого озера, обусловленную изменением объема и состава поступающего речного стока, и сменой комплекса природных условий;
- отмеченная латеральная гидрогеохимическая зональность проявлена как для поверхностных, так и для глубинных слоев озера, что косвенно указывает на наличие подводных стратифицированных течений в направлении юг-север;
- установленные гидрогеохимические особенности Телецкого озера свидетельствуют о превалирующей роли жидкого речного стока в формировании химического состава приповерхностного слоя воды, особенно в южной части озера, где отчетливо проявлено влияние его основного притока – р. Чулышман;
- для Телецкого озера характерна также поперечная зональность, проявленная повышенными (пониженными) значениями показателей химического состава воды в осевой зоне субширотного плеса и промежуточными значениями на меридиональном отрезке озера;
- элементы поперечной зональности частично проявлены в распределении специфических антропогенных загрязнителей озерной воды.

Третье защищаемое положение: *Современные уровни присутствия в объектах окружающей среды основных загрязнителей акватории и прибрежной зоны Телецкого озера – хлорорганических пестицидов, тяжелых металлов, нефтепродуктов, азотистых соединений, фенолов находятся, за исключением отдельных локальных очагов загрязнения, преимущественно на условно благоприятном экологогигиеническом уровне.*

Природные воды являются наиболее чутким индикатором негативного воздействия (загрязнения), в том числе и со стороны антропогенных источников. Спектр основных загрязнителей поверхностных вод в изученном районе представлен (в порядке значимости) тяжелыми металлами (ТМ), хлорорганическими пестицидами, нефтепродуктами, азотистыми соединениями, органическими и взвешенными веществами.

Полученные данные свидетельствуют о преобладающем фоновом и околосредовом уровне присутствия большинства изученных ТМ, кроме Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Hg, максимальные и нередко средние концентрации которых в озерной воде превышают ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов (табл. 8).

Таблица 8 Уровни присутствия тяжелых металлов в воде Телецкого озера (мкг/дм³)

Содержание	Al	Fe	Mn	Ti	Cr	Co	Cu	Zn	Pb	Cd	Mo	Hg
min	4.1	67	< 1	0.9	1.4	0.1	0.8	1.7	0.2	0.01	0.44	0.002
max	180	770	48.0	9.7	2.2	1.7	89.0	180	5.2	0.09	3.30	0.042
$\bar{x}$	64	242	9.6	2.3	1.8	0.3	12.1	67.3	1.4	0.03	0.91	0.015

Так, среднее содержание этих токсичных тяжелых металлов (1-3 класс опасности) относительно "рыбохозяйственного" ПДК ранжируется следующим образом: Al (1.6), Fe (2.4), Zn (6.7), Cu (12.1), Hg (1.5). Максимальное превышение этого ПДК составляет: Mo (2.8), Al (4.5), Mn (4.8), Fe (7.7), Zn (18), Hg (4.2), Cu (89).

Эти слабо повышенные концентрации ТМ являются природной особенностью химического состава воды озера, отражающей геохимическую специализацию геологических образований, проявленных на его водосборной площади. Поскольку уровень присутствия в воде всех ТМ, кроме железа, не превышает требований СанПиН 2.1.4.1116-02, то ее можно без ограничений употреблять в качестве питьевой воды.

Присутствие в озерной воде хлорорганического пестицида ДДТ стало фиксироваться Росгидрометом сразу после проведения обработки прибрежной зоны озера в 1966 г. В 1980-е годы максимальные концентрации ДДТ в воде достигали 0.020-0.033 мг/дм (2-3.3 ПДК). В дальнейшем его содержание постепенно уменьшалось и в период 2006-2010 гг. не превышало 0.008 мг/дм³ (менее 0.1 ПДК) (табл. 9).

Таблица 9 Максимальное содержание ДДТ (мг/дм³) в воде оз. Телецкое и его притоков

Пункты	Озерная вода		Речные воды	
	Росгидромет	АРИ "Экология"	Росгидромет	АРИ "Экология"
Артыбаш	0.020	0.008	нет данных	0.0070
Яйлю	0.020	0.001		< 0.001
Беле	0.033	< 0.001	0.045	0.0097

В последние годы максимальное содержание нефтепродуктов в озерной воде не превышает 0.12-0.18 мг/дм³ (2.4-3.6 ПДК) при преобладании первых сотых долей мг/дм³. В их распределении проявлены пространственно-временные закономерности, выражающиеся в увеличении концентраций в 1.5-2 раза в прибрежной зоне селитебных территорий Артыбаш, Иогач, Яйлю, и в направлении юг – северо-запад.

Установлено, что динамика содержания нефтепродуктов в озерной воде носит сезонный характер. Их максимум согласуется с интенсивностью движения судов и приходится на туристский сезон (июль-август). В этот период наибольшие концентрации нефтепродуктов в воде широтного плеса озера, на отрезке Артыбаш – водопад Корбу, находятся на уровне 2-3 ПДК, в сентябре они снижаются до 1-2 ПДК. В конце навигации содержание нефтепродуктов почти везде ниже ПДК (рис. 6).

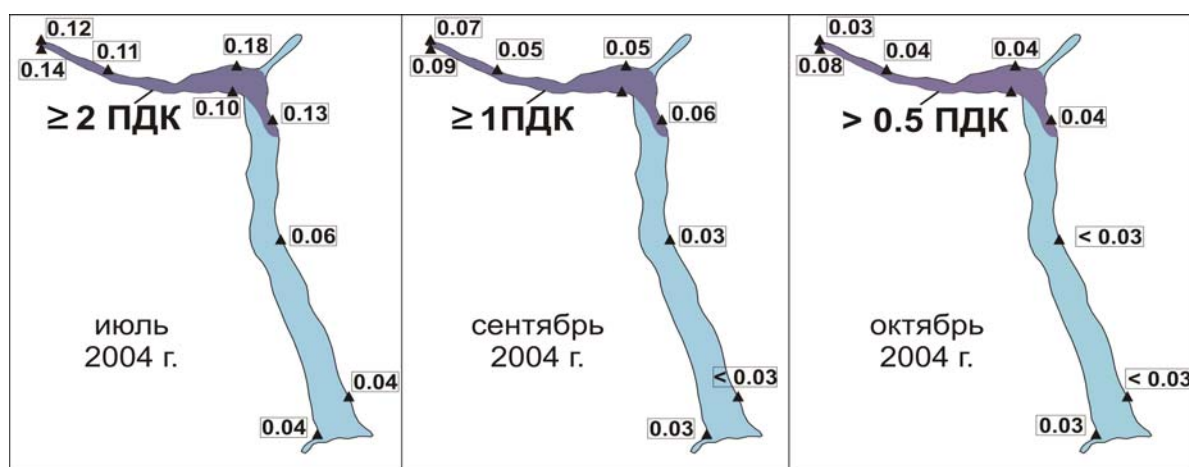


Рисунок 6 Динамика содержания нефтепродуктов в озерной воде в 2004 г.

Другими значимыми загрязнителями поверхностных вод изученного района выступают азотистые соединения (нитриты, нитраты, ион аммония), как правило, приуроченные к прибрежной зоне населенных пунктов, турбаз и крупных стоянок неорганизованных туристов. Максимальные концентрации иона аммония в последние годы в летнее время достигали в озерной воде 3 ПДК, нитрит-иона – 3-3.4 ПДК, нитрат-иона – 5-10 единиц местного фона, но их среднее содержание заметно ниже ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов (табл. 10).

Таблица 10 Содержание соединений азота в воде оз. Телецкое и его притоков (мг/дм³)

Источник данных	Озерная вода (min-max/ $\bar{x}$)			Речная вода (min-max/ $\bar{x}$)		
	Аммоний	Нитриты	Нитраты	Аммоний	Нитриты	Нитраты
Запсибгидромет (1985-2003 гг.)	< 0.05 – 0.82 0.19	< 0.002 – 0.21 0.016	< 0.01 – 5.05 0.95	< 0.05 – 5.66 0.22	< 0.002 – 1.15 0.021	< 0.01 – 15.23 1.37
АРИ "Экология" (2004-2009 гг.)	< 0.05 – 1.53 0.19	< 0.002 – 0.24 0.014	< 0.01 – 5.71 1.19	< 0.05 – 3.83 0.41	< 0.002 – 0.27 0.035	< 0.01 – 15.30 1.58

Постоянным загрязнителем поверхностных вод района служат фенолы. Их повышенные концентрации установлены в озерной воде (до 24 ПДК) и в притоках озера (до 14 ПДК), которые служат основными поставщиками фенолов, образующихся естественным путем при гниении древесины и во время лесных пожаров. В последние

годы уровень присутствия фенолов в воде озера и рек уменьшился почти вдвое, что обусловлено снижением активности предприятий лесной отрасли.

Для поведения большинства загрязнителей озерной и речной воды характерен сезонный характер распределения с максимумом проявления во время весеннего паводка. На фоне их сезонных трендов и годовичных циклов, на участках Телецкого озера с интенсивной рекреационной деятельностью проявлены дополнительные временные (июль-сентябрь) максимумы их концентраций, обусловленные вкладом со стороны крупных туробъектов и стоянок неорганизованных туристов. В это время вблизи сел Артыбаш, Иогач в 2-8 раз увеличивается содержание соединений азота, фосфатов, нефтепродуктов и других антропогенных загрязнителей воды озера (рис. 7).

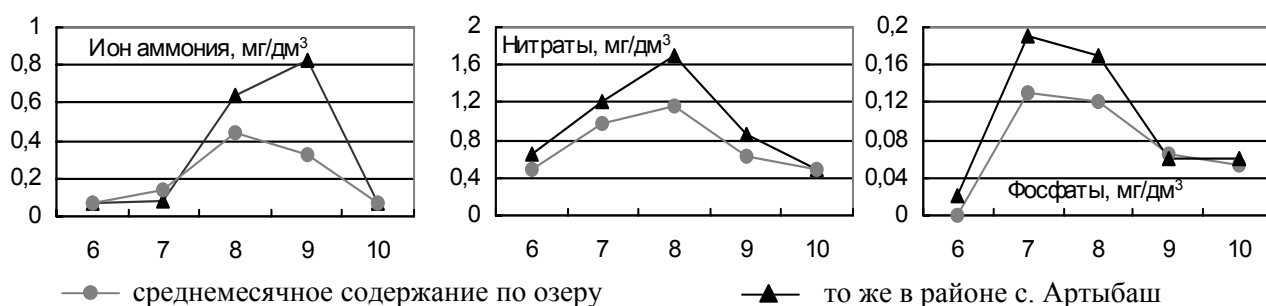


Рисунок 7 Поведение загрязнителей воды Телецкого озера в туристском сезоне 2007г.

Основные рекреационные нагрузки создаются на крайнем северо-западном мелководном фланге Телецкого озера с наименьшим по сравнению с другими его частями потенциалом самоочищения, в результате чего здесь проявлены максимальные изменения физико-химических показателей озерной воды, в частности, ее подщелачивание (рН на 5-10 % выше фона) и повышение минерализации на 10-12 %. Подобные участки приурочены к мелким и относительно врезанным заливам с малоактивным водообменом, из-за чего в них накапливаются загрязняющие вещества.

Основная часть поступающих в Телецкое озеро загрязнителей представлена неопасными и малоопасными взвешенными веществами минерального происхождения. Доля умеренно опасных экотоксикантов (аммоний, нитраты и др.) составляет всего 1.5 %, а опасных ТМ 1-3 класса опасности (свинец, ртуть, кадмий и пр.) – менее 0.001 % от всего поступления. Ежегодно в озере накапливается в виде донных осадков около 200 тысяч тонн от всей массы поступающих загрязняющих веществ.

Значения УКИЗВ позволяют отнести озерную воду к условно чистым и слабо загрязненным фенолами и нефтепродуктами водам (1-2 класс), а ее основного притока р. Чулышман к 2 классу слабо загрязненных вод. В последние годы намечается негативная тенденция роста УКИЗВ на 10-30 % для разных частей озера (табл. 11).

Таблица 11 Степень загрязненности воды Телецкого озера по величине УКИЗВ

Пункты	2005 г. (класс)	2006 г. (класс)	2007 г. (класс)	2008 г. (класс)	2008/2005, ед.
Артыбаш	1.18 (2)	1.18 (2)	1.43 (2)	1.70 (2)	1.44
Яйлю	0.87 (1)	1.09 (2)	1.37 (2)	1.42 (2)	1.63
Кыга	нет данных	0.80 (1)	1.39 (2)	1.52 (2)	нет данных

Основными экотоксикантами почв прибрежной зоны Телецкого озера выступают тяжелые металлы, хлорорганические пестициды, в меньшей степени, компоненты ракетных топлив и их производные. Установлено, что селитебные зоны на северо-западном фланге озера (Артыбаш, Иогач) выделяются повышенным содержанием свинца (до 100 мг/кг или 10 ед. местного фона), цинка (до 200 мг/кг или 3-4 фона), меди – до 80 мг/кг или 5 фонов (рис. 8). В повышенных концентрациях присутствует серебро (более 3-х фонов), вольфрам, висмут, олово (более 2-х фонов), отражающие природную геохимическую специализацию водосборного бассейна озера на редкие и благородные металлы.

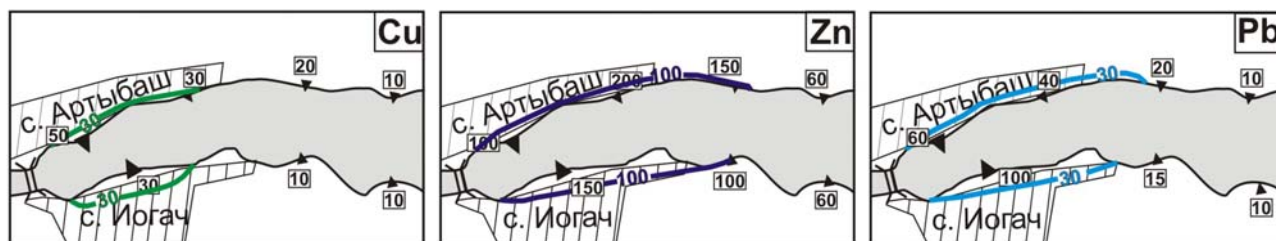


Рисунок 8 Распределение ТМ в почвах северо-западного фланга Телецкого озера

Работами последних лет установлено, что в почвогрунтах прибрежной зоны озера преобладают слабо повышенные (от 0.1-0.3 ПДК до 1-3 ПДК) остаточные концентрации ДДТ в полосе шириной 0.5 км, отвечающей области проведенной в 1966 году авиаобработки побережья Телецкого озера от иксодового клеща.

Данные по уровню присутствия ДДТ в почвах и других природных средах прибрежной зоны озера (табл. 12) говорят о широкой вариабельности их концентраций: от сотых долей мг/кг на фоновых участках до 1074 мг/кг (10740 ПДК) в сильно загрязненных почвах; до 6.81 мг/кг (136 ПДК) в местном травянистом эдификаторе – осочке стоповидной; до 1.48 мг/кг в донных озерных илах и 0.01 мг/дм³ (0.1 ПДК) в воде Телецкого озера и его притоков.

Таблица 12 Уровни присутствия ДДТ в природных средах побережья Телецкого озера

Параметры	Почвогрунты, мг/кг	Растения, мг/кг	Поверхностные воды, мг/дм ³		Овощи, фрукты, мг/кг
			озерные	речные	
n	100	16	5	6	5
min	0.03	0.157	< 0.001	< 0.001	0.004
max	13686.8*	837.5*	0.008	0.0097	1.686
ПДК, ОДК	0.1	0.05	0.1	0.1	0.1

* – содержание в устаревшем препарате и произрастающих на нем растениях

На примере очагов загрязнения в с. Артыбаш установлено, что вертикальная миграция ДДТ превышает 2-2.5 м при его содержании на этой глубине 0.46-0.59 мг/кг (4.6-5.9 ПДК). При этом выявлено резкое уменьшение интенсивности и размеров загрязнения с глубиной. Так, содержание ДДТ и его метаболитов на глубине 0.2-0.5 м меньше в 4 раза, а на глубине 0.5-1 м меньше в 12-16 раз, чем в интервале 0-0.2 м.

В пределах изученных очагов загрязнения выявлено совпадение ореолов аномально повышенных концентраций ДДТ почв и растений. Установлено, что доля пестицида, переходящего из почв в растения, составляет 0.6-2.5 %, а из почв в поверхностные воды – 0.02-0.08 %.

В прибрежных озерных илах, сопряженных с очагами остаточного загрязнения почвогрунтов ДДТ и его метаболитами, проявлено их повышенное содержание – до 14.8 ПДК для почв (в среднем 3-7 ПДК). Для таких участков характерно 4-5-кратное отношение концентраций пестицида в системе почва – донный осадок (табл. 13).

Таблица 13 Отношение средних концентраций ДДТ и его метаболитов в сопряженных пробах прибрежных почв и донных осадков Телецкого озера

Среды	с. Артыбаш	с. Яйлю	кордон Беле	Прочие участки
Почва, мг/кг	2.88 (n=58)	2.53 (13)	1.45 (n=17)	0.04 (n=12)
Донный ил, мг/кг	0.70 (n=6)	0.57 (n=3)	0.31(n=2)	0.02 (n=4)
Почва/донка, ед.	4.1	4.4	4.7	2.0

Особенности поведения химических элементов в придонном горизонте песчано-глинисто-иловатых осадков в прибрежной зоне озера (0-30 м от берега) свидетельствуют об околофоновых уровнях присутствия и низкой вариабельности большинства изученных элементов, концентрации которых в них в целом выше, чем в сопряженных прибрежных почвах. Максимальное превышение проявлено для ТМ, дополнительно поступающих от антропогенных источников. В частности, повышенные и изредка аномально высокие концентрации, превышающие ПДК для почв (Pb, Zn, Cu, Ni), отмечаются в прибрежных илах вблизи пирсов, автостоянок и других объектов многолетней деятельностью водного и автомобильного транспорта (табл. 14).

Таблица 14 Содержание ТМ (мг/кг) в донных осадках прибрежной зоны оз. Телецкое

Параметры	Fe	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
min	2	0.4	100	60	400	8	40	10	80	10
max*	8	0.5	150	150	800	20	100	100	400	300
$\bar{x}$	4	0.42	125	84	660	13	59	43	151	72
$\bar{x}$ донка/ $\bar{x}$ почва, ед.	1.3	1.2	1.3	1.0	1.0	1.2	1.1	1.4	1.6	2.6

Примечание: содержание железа и титана в весовых процентах, * – в черте сел Артыбаш и Иогач

Для прибрежных донных осадков озера характерны в целом низкие значения их суммарного показателя загрязнения тяжелыми металлами – 10-16 ед. (слабое загрязнение), на участках загрязнения – до 20-28 ед. (умеренное загрязнение), основой которого является природная составляющая.

Данные по динамике содержания ТМ в почвах и донных отложениях прибрежной зоны озера однозначно указывают на существование слабо выраженной тенденции нарастания их загрязнения, особенно в черте населенных пунктов. Так, за период 2004-2009 гг. уровень присутствия многих ТМ в прибрежных почвах с. Артыбаш увеличился в среднем на 20 % или на 4 % в год (свинца на 36 %). При этих темпах прироста уровень присутствия ТМ в почвах каждые четверть века будет удваиваться.

Заключение

Настоящая работа преследовала цель показать спектр и масштабы экологических проблем, существующих в настоящее время в районе Телецкого озера. Другая цель работы заключалась в уточнении химического состава природных вод района и пространственно-временных особенностей его распределения.

Основной методологический акцент проведенного исследования заключался в углубленном изучении слабо освещенных и практически не изученных аспектов формирования экологической ситуации, что предполагало выяснение ее причинно-следственных связей с негативными последствиями воздействия основных антропогенных региональных и локальных факторов, проявленных в районе Телецкого озера.

Основные научные результаты выполненного исследования заключаются: в установлении уровней присутствия и характера распределения большого комплекса химических элементов в природных водах; в выявлении продольной и поперечной латеральной зональности распределения химического состава озерной воды; в предварительном изучении особенностей поведения макро- и микрокомпонентов на глубине озера; в выявлении и всестороннем изучении характера и масштаба антропогенного загрязнения природных сред в прибрежной части озера; в оценке современного эколого-гигиенического состояния объектов окружающей среды в районе, а также прошлых и новейших тенденций его изменения.

На представительном фактическом материале показано, что химический состав воды Телецкого озера формируется, главным образом, за счет поверхностного стока, имеет промежуточный характер между составом подземных и речных вод, в частности, вод его западных-южных и восточных притоков, и отражает геохимическую специализацию геологических образований, развитых на водосборной площади озера.

Кроме вышеотмеченного, к результатам выполненного исследования относятся: анализ химического состава природных вод района в ряду атмосферные осадки – речные воды – озерная вода – подземные воды, для которых выделено и охарактеризовано несколько геохимически различных групп элементов; предварительно намеченная связь ряда физико-химических показателей воды Телецкого озера и его притоков с параметрами солнечной активности; в первом приближении оцененный гидрохимический отклик природных вод района на Алтайское землетрясение 2003 г.; всесторонняя характеристика приоритетных видов природного и антропогенного загрязнения акватории и прибрежной зоны Телецкого озера, в частности, особенностей загрязнения хлорорганическими пестицидами и тяжелыми металлами, обусловленного процессами их транслокации, латеральной и вертикальной миграции; выявление в годичных кольцах деревьев следов прошлого и текущего трансграничного переноса токсичных и радиоактивных элементов на территорию изученного района; оценка современных экологических нагрузок на акваторию озера, создаваемых водными транспортными средствами, и на его прибрежную зону на участках массовой рекреации.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. **Шевченко, Г.А.** Особенности пространственно-временного распределения гидрохимических параметров Телецкого озера / Г.А. Шевченко // Труды Одиннадцатого Международного симпозиума им. академика М.А. Усова "Проблемы геологии и освоения недр" – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – С. 34-35.
2. **Шевченко, Г.А.** Новые данные о химическом составе воды Телецкого озера и его притоков / Г.А. Шевченко, Ю.В. Робертус, Р.В. Любимов // Матер. II Межд. науч.-практ. конф. "Современные проблемы геоэкологии горных территорий". – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2007. – С. 286-290.
3. **Шевченко, Г.А.** Основные тенденции изменения гидрохимического состава Телецкого озера на рубеже веков / Г.А. Шевченко // Матер. 6-й Межд. биогеохим. школы "Биогеохимия в народном хозяйстве. Фундаментальные основы ноосферной технологии". – Астрахань: 2008. – С. 34-35
4. Робертус, Ю.В. К вопросу зависимости гидрохимических показателей Телецкого озера и его притоков от солнечной активности / Ю.В. Робертус, **Г.А. Шевченко** // Матер. III Межд. науч.-практ. конф. "Современные проблемы геоэкологии горных территорий". – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2008. – С. 71-77.
5. **Шевченко, Г.А.** Уровни присутствия загрязнителей в воде Телецкого озера и его притоков / Г.А. Шевченко, А.В. Кивацкая // Бюлл. "Природные ресурсы Горного Алтая". – 2008. – № 1. – С. 63-65.
6. **Шевченко, Г.А.** О влиянии Алтайского (Чуйского) землетрясения на гидрохимический режим природных вод в районе Телецкого озера / Г.А. Шевченко, В.Е. Кац // Матер. III Межд. науч.-практ. конф. "Современные проблемы геоэкологии горных территорий". – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2008. – С. 108-111.
7. Робертус, Ю.В. Уровни присутствия микроэлементов в воде Телецкого озера и его притоков / Ю.В. Робертус, **Г.А. Шевченко**, А.В. Кивацкая // Бюлл. "Природные ресурсы Горного Алтая". – 2009. – № 1. – С. 87-90.
8. **Шевченко, Г.А.** Особенности пространственного распределения химических элементов в воде Телецкого озера / Г.А. Шевченко // Матер. науч. конф. "Алтай: экология и природопользование". – Бийск: БПГУ, 2009. – С. 48-52.
9. **Шевченко, Г.А.** Характер и масштабы загрязнения Телецкого озера (Горный Алтай) / Г.А. Шевченко // Матер. науч.-практ. конф. "Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России". – Азов: 2009. – С. 210-212.
10. **Шевченко, Г.А.** Возможный механизм окисления ионов железа в поверхностных водах // Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий / Г.А. Шевченко. Мат. науч.-практ. конф. – Нижневартовск, 2009. – С. 213-215.
11. Робертус, Ю.В. О загрязнении донных осадков и почв прибрежной зоны Телецкого озера / Ю.В. Робертус, **Г.А. Шевченко** // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. – 2009. – Вып. 5. – С. 67-69.
12. **Шевченко, Г.А.** Формы нахождения химических элементов в воде Телецкого озера / Г.А. Шевченко // Эколого-географические исследования в речных бассейнах. – Воронеж: 2009 – С.286-288.
13. Робертус, Ю.В. Зависимость гидрохимических показателей Телецкого озера и его притоков от солнечной активности / Ю.В. Робертус, **Г.А. Шевченко** // Вестник ТГПУ. – 2009. – Вып. 11 (89). – С. 194-197.
14. Робертус, Ю.В. Рекреационные нагрузки на береговую зону и акваторию Телецкого озера / Ю.В. Робертус, **Г.А. Шевченко** // Бюлл. "Природные ресурсы Горного Алтая". – 2009. – № 2. – С. 129-133.
15. **Шевченко, Г.А.** Особенности распределения микроэлементов в воде Телецкого озера / Г.А. Шевченко // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. – 2010. – Вып. 6. – С. 88-91.
16. **Шевченко, Г.А.** Характер пространственного распределения микроэлементов в воде Телецкого озера (Горный Алтай) / Г.А. Шевченко // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 5. – С. 97-99.