

О.Г. Савичев

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Монография

Издательство
Томского политехнического университета
2010

УДК 556.3(571.16)

ББК 26.35(253.3)

C13

Савичев О.Г.

C13 Водные ресурсы Томской области / О.Г. Савичев. – Томск:
Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 248 с.
ISBN 978-5-98298-632-0

В монографии рассмотрены водные ресурсы Томской области, в том числе ресурсы речных, озёрных, болотных, подземных вод, вод прудов и водохранилищ. Показано, что количество водных ресурсов превышает потребности существующего уровня производства, но качество поверхностных и подземных вод, как правило, не удовлетворяет установленным в России нормативам хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования вследствие влияния как антропогенных, так и природных факторов. Приведены данные о характерных уровнях и расходах речных вод, химическом составе и качестве природных пресных вод региона.

Предназначена для специалистов в области гидрологии, гидрогеологии и геоэкологии, а также аспирантов и студентов вузов, обучающихся по специальностям и направлениям профиля наук о Земле.

УДК 556.3(571.16)

ББК 26.35(253.3)

Рецензенты

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор, Томский политехнический университет
Н.М.Рассказов

Кандидат биологических наук,
генеральный директор ООО «ИНГЕОТЕХ»
В.А. Базанов

Кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии
Томского государственного университета
В.В. Паромов

ISBN 978-5-98298-632-0 © ГОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», 2010
© Савичев О.Г., 2010
© Обложка. Издательство Томского
политехнического университета, 2010

Введение

В последние десятилетия во многих регионах мира наблюдается напряженная водохозяйственная и экологическая ситуация вследствие нерационального использования и неудовлетворительной охраны водных ресурсов. Её преодоление невозможно без решения целого ряда проблем, которые условно можно объединить в четыре группы: 1) научные; 2) управленческие; 3) инженерные; 4) проблемы культуры природопользования. Эти проблемы тесно взаимосвязаны и не отделимы друг от друга, но всё же решение вопросов, связанных с первой группой, имеет ключевое значение в изменении водохозяйственной и экологической ситуации, поскольку состояние водных объектов невозможно улучшить, не зная как это сделать.

В данной работе эти вопросы рассмотрены на примере Томской области, расположенной в границах бассейна Средней Оби (бассейн р. Обь на участке от устья р. Томь, включая водосбор Томи, до устья р. Иртыш). На этой территории насчитывается 18100 рек, 112900 озёр, около 400 прудов и водохранилищ, разведано 67 месторождений (участков) подземных вод; более 30 % территории региона занято болотами, в которых также сосредоточены значительные водные ресурсы. Многие поверхностные и подземные водные объекты в той или иной мере испытывают антропогенное воздействие, формы проявления которого многообразны и далеко не всегда очевидны. В то же время, в ряде случаев это воздействие преувеличивается, что не способствует эффективному планированию водоохраных мероприятий, а, следовательно, и улучшению реального состояния водных объектов. Также следует отметить, что в настоящее время крайне недостаточно информации о характерных расходах и уровнях поверхностных вод, фоновых концентрациях растворенных и взвешенных веществ в поверхностных и подземных водах, есть вопросы в части изученности ресурсов подземных вод и т.д. С учётом этого автором была поставлена цель – собрать и обобщить достоверные данные о водных ресурсах Томской области, химическом составе и качестве поверхностных и подземных вод, русловых процессах и ледовых явлениях.

В процессе работы над монографией были использованы данные многолетних гидрометрических и гидрохимических наблюдений на территории Томской области, проводимых Росгидрометом, Томским политехническим университетом (ТПУ), Томским государственным университетом (ТГУ), научно-исследовательским институтом биологии и биофизики (НИИ ББ) при ТГУ, Томским филиалом Института нефтегазовой геологии и геофизики (ТФ ИНГГ) СО РАН, ОАО «Томскгеомониторинг», ООО «ИНГЕОТЕХ», том числе материалы, полученные при непосредственном участии автора в течение 1993–2009 гг. и частично обобщённые в работах [78, 147, 153 и др.]. Помимо гидрохимических и гидрометрических материалов, широко использовались офици-

альные водохозяйственные данные Томского отдела водных ресурсов Верхне-Обского бассейнового водного управления (ТО ВОБВУ), ОАО «Томскгеомониторинг», Департамента природных ресурсов Администрации Томской области, ОГУ «Областной комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Томской области» (ОГУ «Облкомприрода»).

Следует отметить, что исходная информация, использованная в данной монографии, – это результат работы очень многих людей в течение длительного времени. Более того, само обобщение этой информации стало возможным благодаря совместным исследованиям и обсуждению водных проблем, консультациям и советам проф. С.Л. Шварцева, проф. Н.М. Рассказова, проф. В.А. Льготина, к.б.н. О.Г. Савичевой, к.б.н. В.А. Базанова, А.А. Скугарева, проф. В.А. Земцова, к.г.-м.н. Ю.В. Макушина, доцента Ю.Г. Копыловой, доцента К.И. Кузеванова, доцента А.А. Хвощевской и многих других. Автор выражает глубочайшую признательность всем названным лицам.

1. Исходные данные и методика исследования

Гидрологические, гидрогеологические и геоэкологические исследования проводились автором совместно с сотрудниками кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии (ГИГЭ) Томского политехнического университета (ТПУ), ТФ ИНГГ СО РАН, ОАО «Томскгеомониторинг», ООО «ИН-ГЕОТЕХ», Томского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ТЦГМС), ОГУ «Облкомприрода» в течение 1993–2009 гг. в следующих направлениях: 1) изучение ресурсов поверхностных и подземных вод и гидрологического режима территории; 2) гидрохимический анализ, включая выявление пространственно-временных изменений химического состава поверхностных и подземных вод; 3) определение геостока как интегральной характеристики природно-техногенных комплексов региона; 4) анализ условий и математическое моделирование формирования геостока и его составляющих. При этом водные ресурсы региона рассматривались не как отдельные реки, озёра, болота, подземные водоносные комплексы и горизонты, а как система взаимосвязанных поверхностных и подземных водных объектов, обладающая способностью к определенной саморегуляции и, в то же время, характеризующаяся существенными отличиями в водном и гидрохимическом режиме ее основных структурных элементов.

При изучении этой системы использовались географо-гидрологический, ландшафтно-геохимический, статистический методы, математическое моделирование гидрологических и гидрохимических процессов, что и определило основные виды выполненных работ, в том числе: 1) полевые работы по отбору и консервации проб речных, подземных, болотных, атмосферных и сточных вод для дальнейшего определения их химического и микробиологического состава в стационарных лабораториях, определение в полевых условиях концентраций быстроизменяющихся компонентов; 2) обобщение и статистический анализ гидрологических, гидрогеологических и гидрохимических материалов Росгидромета, ТПУ, ОАО «Томскгеомониторинг», ТФ ИНГГ СО РАН, Томской геолого-разведочной экспедиции (ТГРЭ), ТГУ, НИИ ББ при ТГУ, Томского отдела Верхне-Обского бассейнового водного управления (ТО ВОБВУ) и ряда других организаций и авторов; 3) термодинамические расчёты насыщения вод относительно ряда минералов и органоминеральных соединений; 4) разработку и апробацию математических моделей формирования водного баланса, химического состава речных вод и гидрохимического стока. Сведения об использованных при этом методиках приведены ниже.

1.1. Исходные данные

Информационную основу выполненного исследования составляют данные: 1) территориальных подразделений Росгидромета – температура атмосферного воздуха, величина атмосферных осадков, скорость ветра, дефицит влажности – на государственной сети метеорологических наблюдений с 1890 г. по 2007 г., а также данные сайта www.meteo.ru; 2) территориальных подразделений Росгидромета – расходы, уровни, температура и химический состав речных вод на сети пунктов государственного мониторинга водных объектов с 1915 г. по 2007 г., а также данные сайта www.r-arcticnet.sr.unh.edu; 3) ОАО «Томскгеомониторинг» и (до 1996 г.) ТГРЭ – уровни, температура и химический состав подземных вод верхней гидродинамической зоны на сети пунктов государственного мониторинга геологической среды с 1962–1965 гг. по 2007 г.; 4) ОАО «Томскгеомониторинг» – химический состав поверхностных и сточных вод, донных отложений и общая оценка состояния водохозяйственных сооружений в рамках государственного мониторинга водохозяйственных систем на территориальной сети наблюдений Томской области в 2000–2005 гг.; 5) кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ТПУ, ТФ ИНГГ СО РАН, ООО «ИНГЕО-ТЕХ», ОАО «Томскгеомониторинг», ОГУ «Облкомприрода» – химический состав поверхностных, подземных, снеговых и сточных вод, донных отложений и торфов, изученный в процессе выполнения научно-исследовательских и хозяйственных работ при непосредственном участии или под руководством автора в течение 1994–2009 гг.; часть материала опубликована в [78, 79, 140, 141, 143–149, 151, 153, 155, 160, 162, 164–168, 203–208, 2010–213 и др.]; 6) опубликованные данные других авторов (ссылки в тексте по мере использования).

По состоянию на 2009 г. на территории Томской области функционирует 26 метеорологических станций и постов (в г. Томск, п. Богашёво, с. Прохоркино, г. Стрежевой, с. Батурино, с. Бакчар, с. Подгорное, с. Степановка (Верхнекетский район), п. Усть-Озёрное, с. Кожевниково, г. Колпашево, аэропорт г. Колпашево, с. Первомайское, с. Парабель, с. Пудино, п. Старица, п. Берёзовка, с. Каргасок, п. Ванжиль-Кынак, с. Средний Васюган, с. Новый Васюган, п. Пионерный, п. Майск, с. Напас, с. Тегульдет), аэрологическая станция в с. Александровское, четыре пункта радиационного контроля и два пункта наблюдений за загрязнением атмосферы в г. Томск и Томском районе, 47 гидрологических постов (р. Томь – г. Томск (два поста), с. Козюлино, с. Поломошное (Кемеровская область); р. Басандайка – с. Басандайка; р. Порос – с. Зоркальцево; р. Лебяжья – с. Безменово (Кемеровская область); р. Обь – п. Победа, п. Никольское, с. Молчаново, г. Колпашево, с. Каргасок, с. Александровское; р. Шегарка – п. Бабарыкино; р. Чулым – с. Батурино, с. Зырянское, с. Тегульдет; р. Латат – с. Ягодное; р. Большая Юкса – п. Первопашинск; р. Икса – с. Плотниково, п. Ермиловка; р. Бакчар – с. Поляненька, с. Гореловка; р. Андарма –

п. Панычево; р. Галка – с. Бакчар; р. Парбиг – с. Парбиг; р. Чая – с. Подгорное, с. Гришкино; р. Кеть – п. Усть-Озёрное, п. Максимкин Яр, с. Родионовка; р. Лисица – п. Лисица; р. Орловка – п. Дружный; р. Большой Татош – п. Большой Татош; р. Куржина – п. Куржино; р. Большая Пиковка – п. Дальнее; р. Улу-Юл – с. Аргат-Юл; р. Чузик – с. Пудино; р. Пайдугина – п. Берёзовка; р. Парабель – п. Нельмач, п. Новиково; р. Тым – п. Напас, п. Ванжиль-Кынак; р. Васюган – с. Наунак, с. Средний Васюган, с. Новый Васюган, п. Майск; р. Четь – с. Конторка; р. Берла – п. Берлинка); 100 пунктов гидрогеологических наблюдений в рамках федеральной наблюдательной сети. Схема расположения пунктов метеорологических, гидрохимических наблюдений, данные по которым использованы в рассматриваемой работе, приведена на рис. 1.1.1.

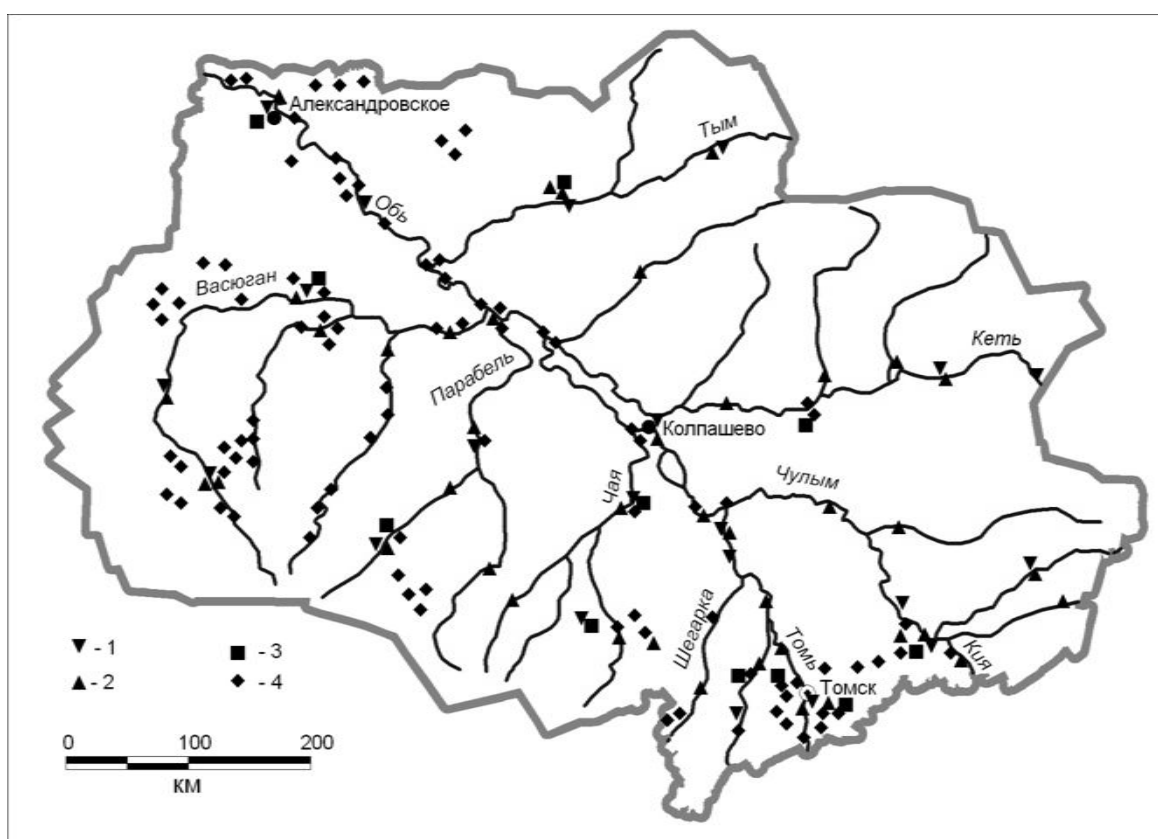


Рис. 1.1.1. Схема расположения пунктов метеорологических (1), гидрометрических и гидрохимических (2) наблюдений Росгидромета, гидрогеологических наблюдений (3) ОАО «Томскгеомониторинг», гидрохимических и геохимических исследований (4) ТПУ, ТФ ИНГГ СО РАН, ООО «ИНГЕОТЕХ», ОАО «Томскгеомониторинг», ОГУ «Облкомприрода»

Основной объём гидрометрических данных о реках получен специалистами Росгидромета, гидрогеологических данных и сведений о водохозяйственных сооружениях – в ОАО «Томскгеомониторинг». Дополнительные сведения, полученные автором совместно с В.А. Базановым, А.А. Скугаревым и др., исполь-

зованы, преимущественно, при анализе гидрологического режима объектов, не исследуемым на сети Росгидромета и ОАО «Томскгеомониторинг», в первую очередь – гидрологического режима болот. Распределение использованной гидрохимической информации по разным источникам (по сравнению с гидрологической и гидрогеологической) более равномерное вследствие отсутствия пунктов наблюдений Росгидромета и ОАО «Томскгеомониторинг» или наблюдений по конкретным физико-химическим и гидрохимическим показателям или наличия более современной технической базы для их изучения.

В связи с этим может возникнуть вопрос о сопоставимости данных разных организаций, ключевую роль среди которых играет Росгидромет, деятельность которого в части проведения гидрометрических гидрохимических наблюдений регламентируется преимущественно ведомственными нормативными документами и далее не обсуждается. Программа работ всех прочих организаций должна соответствовать тем же требованиям, хотя может отличаться в части применения тех или иных методик полевых и лабораторных работ. В связи с этим ниже приведён краткий анализ этих методик.

1.2. Методика полевых и лабораторных гидрохимических исследований

Значительная часть материала, использованного в данной работе, особенно данные о содержании микроэлементов, органических веществ и микроорганизмов, получена при непосредственном участии автора в 1994-2009 гг. в результате экспедиционных исследований ТФ ИНГГ СО РАН, ТПУ, ТГУ, Института водных и экологических проблем (ИВЭП) СО РАН, ОАО «Томскгеомониторинг», ООО «ИНГЕОТЕХ» в процессе выполнения ряда научно-исследовательских работ и ведения государственного мониторинга поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области. Полевые работы были выполнены с целью получения фактических данных, отсутствующих или недостаточно отраженных в режимных наблюдениях Росгидромета, в соответствии с действующими нормативными документами МПР РФ путем сопряженного геохимического опробования компонентов природной среды.

В состав полевых работ входило: рекогносцировочное обследование участков исследования водных объектов и прилегающих территорий, отбор проб поверхностных и подземных вод, атмосферных осадков, торфов, донных отложений, при необходимости – других компонентов окружающей среды, а также сопутствующие работы. Пункты наблюдений на водных объектах, сроки и периодичность отбора проб воды выбраны с учетом требований [32–37, 125–128]. Для отбора проб поверхностных вод использовались батометр-бутылка ГР-16М на штанге ГР-56М или специально подготовленные ёмкости. Батометр (ёмкости) погружался в воду на глубину 0,3...0,5 м от поверхности. После достижения требуемой глубины батометр поднимался на поверхность, а проба выливалась в

специально подготовленные ёмкости из химически инертного материала. Пробы для определения микроэлементов, нефтепродуктов, фенолов, АПАВ, соединений азота и фосфора консервовались с учётом метода анализа согласно [37]. Для микробиологического анализа пробы воды отбирали в специально подготовленные стеклянные ёмкости без консервации. При транспортировании и в лаборатории пробы хранились в условиях, исключающих любое их загрязнение.

Атмосферные осадки опробывались в соответствии с требованиями [36]. При опробовании снегового покрова ручным способом отбиралась объединенная проба, характеризующая среднее содержание определяемых компонентов за зимний период времени. Пробы снега переводились в талую воду при комнатной температуре в сборных емкостях. Плёнки, образующиеся на поверхности талой воды и на стенках сборной емкости, смывались талой водой в сосуды для хранения пробы. Транспортирование проб в лаборатории для проведения анализа производилось также как и для поверхностных вод в оптимально короткие сроки после отбора проб. При этом применяли специальные ёмкости и ящики, обеспечивающие сохранность и чистоту проб.

Донные отложения опробывались согласно [33]. Место отбора совпадало с местом отбора речных вод. Отбор проб проводился из поверхностного слоя донных отложений с помощью дночерпателя с нарушением стратификации. Проба помещалась в специально подготовленную герметически закрываемую ёмкость из химически нейтрального материала.

Перечень определяемых показателей качества природных вод и донных отложений для лабораторных работ определен с учётом программы наблюдений в сети Росгидромета и [125, 127, 128, 170, 171]. В состав перечня гидрохимических и геоэкологических наблюдений вошли общие физико-химические показатели, макрокомпоненты, определяющие химический состав воды в целом, наиболее распространенные загрязняющие вещества – соединения азота, фосфора, железо, органические вещества по содержанию нефтепродуктов, фенолов, величине БПК₅ и ХПК, а также специфические вещества, данные о содержаниях которых необходимы для оценки воздействия на состояние водных объектов. Микробиологические исследования выполнены преимущественно в ТПУ к.г.-м.н. Наливайко Н.Г. с использованием общепринятых в микробиологии методик, основанных на использовании селективных твердых и жидких питательных сред. Описание использованных методик приведено в [143]. Лабораторные работы выполнены в соответствии с руководящими документами, метрологически аттестованными, оформленными и утвержденными согласно требованиям стандартизации и метрологии, в аккредитованных гидрохимических лабораториях ТПУ в учебно-научно-производственном центре (УНПЦ) «Вода», ООО «Плазма», ОГУ «Облкомприрода», ОАО «Томскгеомониторинг».

1.3. Методика обобщения и анализа гидрохимических и гидрологических данных

Методика исследований пространственно-временных изменений гидрохимических и гидрологических характеристик включала в себя: 1) обобщение материалов, полученных из разных источников, их визуальный анализ и исключение недостоверных данных; 2) расчет статистических параметров рядов наблюдений и погрешностей их определения; 3) проверку временных рядов на однородность и случайность; 4) анализ пространственных взаимосвязей между гидрохимическими характеристиками. Все статистические расчеты проводились в соответствии с [118, 190] и с учетом рекомендаций, изложенных в [42, 137, 201].

I. Обобщение материалов включало в себя качественное сопоставление опубликованных обобщенных сведений (гидрохимическая классификация, диапазон изменений концентраций, методы определения и т.д.) и статистические процедуры обработки количественной информации, предусматривавшие исключением экстремальных значений согласно [128]. В результате этого в рассматриваемой работе преимущественно использованы сведения о содержании: 1) макрокомпонентов, биогенных веществ, O_2 и CO_2 , значениях pH и косвенных показателей содержания органического вещества (ОВ) - химического потребления кислорода (ХПК), перманганатной окисляемости, биохимического потребления кислорода за 5 суток (БПК₅) – по данным Росгидромета, ТПУ, ТФ ИНГГ СО РАН и ОАО «Томскгеомониторинг»; 2) содержанию Zn, Cd, Pb, Mn – ОАО «Томскгеомониторинг», ТФ ИНГГ СО РАН и ТПУ; 3) Cu, Cr, F- – Росгидромета, ОАО «Томскгеомониторинг», ТФ ИНГГ СО РАН и ТПУ; 4) прочих микроэлементов (неорганических) – ТПУ и ТФ ИНГГ СО РАН; 5) нефтепродуктов, фенолов, СПАВ – Росгидромета и ОАО «Томскгеомониторинг»; 6) органических микропримесей – ИХН СО РАН, ИОХ СО РАН, ТФ ИНГГ СО РАН; 7) микроорганизмов – ТПУ. Для сопоставления и/или проверки выводов также использовались опубликованные данные о химическом составе речных и подземных вод, полученные в ИВЭП СО РАН, санитарно-эпидемиологических службах Томской и Кемеровской областей, Государственном гидрохимическом институте (ГХИ), ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК» и ряде других организаций.

Всего (не считая обобщенные сведения, опубликованные другими авторами) проанализировано более 9500 проб воды. Основную часть использованного материала составляют данные ТПУ и ТФ ИНГГ СО РАН (примерно 10 %), ОАО «Томскгеомониторинг» (15 %) и Росгидромета (около 75 %). Схема расположения пунктов наблюдений этих организаций, сведения по которым учитывались в данной работе, приведены на рисунке 1.1.1.

При изучении колебаний водного стока использовались данные о расходах и уровнях речных вод, полученные в Росгидромете в основном в 1930–2000-е гг. (сведения по 26 постам на 17 реках), а при изучении изменений уровней под-

земных вод – материалы Томской геолого-разведочной экспедиции (ТГРЭ) и ОАО «Томскгеомониторинг» за период 1965–2005 гг. (информация по 10 режимным скважинам в Томской области). Анализ водопользования проводился по данным территориальных подразделений Министерства природных ресурсов (МПР) России, Администрации Томской области, ОГУ «Облкомприрода», ОАО «Томскгеомониторинг».

II. Расчет статистических параметров рядов гидрологических и гидрохимических показателей проводился методом моментов с учетом поправок к дисперсии на смещенность. Стандартная погрешность определения статистических параметров ряда наблюдений рассчитывалась следующим образом [19. 137]:

1) для среднего арифметического:

$$\delta_x = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (1.3.1)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение; N – длина ряда;

2) для среднего квадратического отклонения:

$$\delta_\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{2 \cdot N}}, \quad (1.3.2)$$

3) для коэффициента корреляции r – по приближенной зависимости:

$$\delta_r \approx \frac{1 - r^2}{\sqrt{N - 1}} \quad (1.3.3)$$

III. Статистический анализ гидрологических, гидрогеологических и гидрохимических данных включал в себя, прежде всего, проверку нулевых гипотез о случайности и однородности рядов наблюдений. Проверка на случайность проводилась с помощью критерия Питмена Pk и с использованием линейной модели вида:

$$\Phi = k_1 \Gamma + k_2, \quad (1.3.4)$$

где Φ – исследуемая величина; Γ – календарный год; k_1 и k_2 – эмпирические константы. Фактическое значение критерия Pk определяется выражением:

$$Pk = r^* \cdot \frac{\sqrt{N - 2}}{\sqrt{1 - r^{*2}}}, \quad (1.3.5)$$

$$r^* = k_1 \cdot \sqrt{\frac{D_\Gamma}{D_\Phi}}, \quad (1.3.6)$$

где D_Γ и D_Φ – дисперсии многолетних колебаний переменных Φ и Γ ; N – объем выборки [201].

Проверка на однородность осуществлялась с помощью критериев Фишера Fk и Стьюдента Sk :

$$Fk = \frac{\min(D_1, D_2)}{\max(D_1, D_2)}, \quad (1.3.7)$$

$$Sk = \frac{|A_1 - A_2|}{\sqrt{N_1 \cdot D_1 + N_2 \cdot D_2}} \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2 \cdot (N_1 + N_2 - 2)}{N_1 + N_2}}, \quad (1.3.8)$$

где A , D , N – среднее арифметическое, дисперсия и объём двух выборок, на которые разбивается ряд наблюдений, начиная от элемента с порядковым номером 5 до элемента $N-4$ ($N=N_1+N_2$). В ряде случаев также использовался критерий Уилкоксона Wk , методика использования которого описана в [137]. Вывод о неслучайном изменении или нарушении однородности рядов делался при уровне значимости $\alpha=5\%$ в случае, когда расчетная статистика (Pk , Sk , Fk , Wk) по модулю превышала соответствующее критическое значение (Pk_α , Sk_α , Fk_α , Wk_α).

Проверка на соответствие теоретических и эмпирических кривых распределения вероятностей выполнялась выборочно с использованием критериев χ^2 и nw^2 согласно [137]. В большинстве случаев рассматриваемые ряды гидроклиматических показателей согласуются с лог-нормальным и гамма-распределением, что обусловило необходимость введения при определении критического значения статистики Стьюдента поправочного коэффициента согласно [118]. Следует отметить, что анализ временных рядов проводился для рядов различной продолжительности, но в данной работе основное внимание было уделено анализу данных, полученных в 1937–2007 гг. (когда систематические наблюдения проводились на большинстве крупных рек региона).

IV. Анализ пространственных взаимосвязей между гидрохимическими характеристиками включал проведение кластерного анализа и построение схем изолиний. Кластерный анализ был выполнен с помощью компьютерных модулей, составленных автором в соответствии с методикой, изложенной в [42]. В качестве меры сходства сопоставляемых объектов использовалось многомерное евклидово расстояние. После иерархической классификации дополнительно проводился анализ на однородность по обобщенным для рассматриваемых групп характеристикам по критериям Стьюдента и Фишера. Построение схем изолиний осуществлялось ручным способом с учетом рекомендаций по методу триангуляции с выбором в качестве опорных точек геометрических центров водосборов средних рек [42, 106, 118]. Использование именно ручного, а не компьютерного способа построения схем изолиний связано с причинами, детально изложенными в [5, 42]. В частности, неравномерное расположение опорных точек на рассматриваемой территории бассейна и их относительно небольшое количество обуславливают расположение изолиний, плохо согласующееся с наблюдаемым распределением измеренных значений этих показателей на граничных участках природных зон.

1.4. Методика изучения водного баланса

При изучении условий гидрологического и гидрохимического режима проводились составление и анализ месячного водного баланса с определением его составляющих – слоя водного стока Y , общего увлажнения водосборной территории H , суммарных потерь водного стока P . Общее увлажнение водосбора за месяц t рассматривалось как сумма выпавших жидких атмосферных осадков X_d и водоотдачи из снегового покрова B , то есть:

$$H_t = X_d + B_t. \quad (1.4.1)$$

В первом приближении атмосферные осадки иногда могут рассматриваться как снег при среднемесячной температуре воздуха меньше 0°C [90]. Однако фактически такое соответствие вследствие дисперсии суточных значений достигается при более низкой температуре воздуха. Твёрдые атмосферные осадки не принимают непосредственного участия в водном питании реки, а идут на формирование снегового покрова S , изменяющегося во времени в соответствии с уравнением (приведено по [24]):

$$\frac{dS}{dt} = X - B - E, \quad (1.4.2)$$

где X – месячная сумма атмосферных осадков; E – месячное испарение воды из снега (мм), в данной работе рассчитанное по формуле П.П. Кузина (приводится по [129]):

$$E_{s,t} = 0,34 \cdot m \cdot Dw_t, \quad (1.4.3)$$

где m – количество суток в месяце; Dw_t – среднемесячный дефицит влажности, гПа. Для приближенного расчёта месячного влагозапаса в снеговом покрове использовалась неявная разностная схема решения уравнения (1.4.2).

Водоотдача из снегового покрова B может быть приближенно определена согласно [14, 117] при температуре атмосферного воздуха больше или равной 0°C и наличии снегового покрова по выражению:

$$B_t = \min \left(\frac{k_T \cdot T_{a,t} \cdot m}{1 - k_B}; S_t \right), \quad (1.4.4)$$

где k_T – коэффициент стаивания преимущественно за счёт радиации; k_B – коэффициент водоотдачи. Расчёт снеготаяния производился отдельно для залесенной и открытой местности. Пересчёт интенсивности снеготаяния в лесу выполнен с учётом коэффициентов стаивания [14]:

для хвойного леса

$$k_{T,x} = k_{T,n} \cdot \exp(-1,4 \cdot \beta); \quad (1.4.5)$$

для лиственного леса

$$k_{T,l} = k_{T,n} \cdot \exp(-0,36 \cdot \beta) \quad (1.4.6)$$

где β – сомкнутость крон (в долях единицы), принята ориентировочно в размере 0,7. Значение k_B принято для среднезернистого снега ориентировочно в размере 0,13 [14]. Коэффициент стаивания k_T в период активного снеготаяния для районов к северу от 55° с.ш. может быть принят, согласно [14], в диапазоне 5,0...5,2 мм/(°С·сут), а во время зимний – в диапазоне 0,5...4,0 мм/(°С·сут) [18]. В рассматриваемой работе определение k_T проводилось по среднегодовым данным, приведенным в [93, 94], об изменении влагозапасов в снежном покрове (в лесу и на открытых участках) и среднемесячной температуры атмосферного обратным расчётом по уравнению (1.4.2).

Общее увлажнение водосбора рассчитывалось как средневзвешенное для увлажнения в лесу и на открытых участках. Величина суммарных потерь водного стока P определялась как разность между слоем суммарного увлажнения и стока в текущем месяце. Величина суммарных потерь водного стока P складывается из потерь на суммарное испарение, инфильтрацию и поверхностное задержание. Данные показатели определяются различными расчётными методами, результаты использования могут существенно отличаться друг от друга. При этом следует отметить, что в настоящее время разработаны детальные концептуальные модели формирования потерь водного стока, учитывающие типы растительного и почвенного покровов, изменение влагозапасов в корнеобитаемом слое, возможность образования водонепроницаемого слоя и процессы тепло- и влагопереноса в мерзлой почве [18, 19, 24 и др.]. Однако их использование, в том числе и на рассматриваемой территории, сопряжено с отсутствием или низким качеством исходной информации для определения целого ряда параметров.

С учётом этого авторами на данном этапе исследований генетический анализ потерь стока не проводился, но дополнительно был выполнен расчёт суммарного испарения в тёплый период по методу В.С. Мезенцева [88]:

$$E_{m,t} = E_{\max,t} \cdot \left(1 + \left(\frac{H_t}{E_{\max,t}} \right)^{-n} \right)^{-\frac{1}{n}}, \quad (1.4.7)$$

где $E_{\max,t}$ – максимально возможное испарение, определяемое по эмпирической формуле в зависимости от суммы положительных среднемесячных температур:

$$E_{\max,t} = (5,1 \cdot \sum(+T_t) + 382) \cdot \frac{Dw_t}{Dw_y}, \quad (1.4.8)$$

где Dw_t , Dw_y – среднемесячное значение дефицита влажности и сумма значений дефицита влажности за год; n – параметр, характеризующий условия формирования стока.

1.5. Методика оценки подземного стока

Определение подземного стока основывалось на двух ключевых допущениях: 1) водный сток незарегулированных рек в период зимней межени при отсутствии некомпенсируемых объемов сбросов и забора природных вод в целом эквивалентен подземному стоку с водосборной территории; 2) зависимости между уровнями подземных вод и подземным стоком, найденные для зимней межени, в целом сохраняются в течение всего года [166]. Первый тезис достаточно подробно обоснован в работах Б.П. Куделина [70] и других авторов и в данной работе не рассматривается, а обоснование второго может быть получено при упрощении уравнения установившейся фильтрации в безнапорном пласте:

$$Q_{ндз,1} = k_{\phi} \cdot \frac{H_p^2 - H_z^2}{2 \cdot L} - \frac{\psi \cdot L}{2} \quad (1.5.1)$$

где $Q_{ндз,1}$ – удельный приток подземных вод в реку с одного берега с участка водосбора длиной L ; H_p и H_z – уровни речных и грунтовых вод; k_{ϕ} – коэффициент фильтрации; ψ – инфильтрация. В предположении, что для рассматриваемого периода наблюдается постоянная скорость изменения влажности почвогрунтов во времени (b_0), а величина ψ представляет собой вертикально направленный поток влаги q_w в слое мощностью, равной глубине залегания грунтовых вод h_z (1.5.2, 1.5.3), преобразуем (1.5.1) в (1.5.4):

$$\frac{\partial q_w}{\partial z} = b_0, \quad (1.5.2)$$

$$\psi \approx b_0 \cdot h_z + b_1 = b_0 \cdot (H_0 - H_z) + b_1, \quad (1.5.3)$$

$$Q_{ндз,1} = a_1 \cdot (H_p^2 - H_z^2) + a_2 \cdot H_z + a_3, \quad (1.5.4)$$

где $Q_{ндз}$ – приток подземных вод в речную сеть; z – вертикальная координата; H_0 – абсолютная высотная отметка устья скважины; b_0 , b_1 , a_1 , a_2 , a_3 – константы. Если для какого-либо временного интервала значения коэффициентов фильтрации, диффузии и градиент влажности в зоне аэрации примерно постоянны, а колебания уровня воды в i -й скважине отражают изменения, характерные для всего водоносного комплекса или его значительной части, то уравнение вида (1.5.4) может быть использовано как для описания взаимосвязей между уровнями и расходами подземных вод, так и для расчета подземного стока по данным измерений уровней речных и подземных вод. В последнем случае параметры a_1 , a_2 , a_3 могут быть оценены методом наименьших квадратов по данным за зимний меженный период, когда известны все остальные компоненты уравнения (1.5.4). Аналогичная по виду зависимость может быть получена при допущении, что инфильтрация поверхностных вод пропорциональна общему водному стоку за предыдущий период Q_{t-1} , то есть:

$$Q_{ндз,t} = a_1^* \cdot (H_p^2 - H_z^2) + a_2^* \cdot Q_{t-1} + a_3^*, \quad (1.5.5)$$

где a_1^* , a_2^* , a_3^* – константы. Дальнейшее упрощение (1.5.5) приводит к выражению (1.5.6), которое в зимний период описывает спад подземного стока и может быть получено и в результате конечно-разностной аппроксимации уравнения (1.5.7):

$$Q_{ндз,t} = a_1 \cdot Q_{t-1} + a_0, \quad (1.5.6)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{\tau}, \quad (1.5.7)$$

где τ – время добегания водных масс; a_1 , a_0 – константы; t – координата времени. Одновременно с расчетами подземного стока по зависимостям вида (1.5.5–1.5.7) было проведено расчленение речных гидрографов линейной интерполяцией по уравнению:

$$Q_{подз.} = \begin{cases} Q_{ср.мес.}, & n = 12, n < 4 \\ Q_{март} + \frac{Q_{декабрь} - Q_{март}}{12 - 3} \cdot (n - 3), \end{cases} \quad (1.5.8)$$

где $Q_{ср.мес.}$ – среднемесячный расход воды реки; $Q_{март}$ и $Q_{декабрь}$ – среднемесячные расходы воды за март и декабрь соответственно; n – номер расчетного календарного месяца. Кроме того, выполнена оценка подземного стока по величине минимального за многолетний период среднемесячного расхода воды.

Подбор регрессионных зависимостей между расходами и уровнями речных и подземных вод проводился с использованием широко используемого в гидрологии критерия согласия S/σ , где:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{\phi,i} - y_{\epsilon,i})^2}{N - m}}, \quad (1.5.9)$$

где N – длина ряда; m – количество параметров модели; $y_{\phi,i}$ и $y_{\epsilon,i}$ – фактические и вычисленные по модели значения функции y ; зависимость считается приемлемой, если $S/\sigma \leq 0,8$ [117].

Ориентировочная оценка вклада отдельных водоносных комплексов основывалась на модификации известного уравнения для определения подземного стока по данным о минерализации речных и подземных вод при том допущении, что подземный сток равнинной части в пределах Западно-Сибирского артезианского бассейна формируется преимущественно за счёт водопритока из отложений неоген-четвертичного и палеогенового возрастов, а в горных и полугорных районах в пределах Саяно-Алтайской гидрогеологической складчатой области – из четвертичных отложений и зоны трещиноватости образований палеозойского возраста (ориентировочно – грунтовые и напорные воды):

$$Q_{подз.} C_{ХП-III} = Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2, \quad (1.5.10)$$

$$Q_1 = Q_{подз.} \cdot (C_{ХП-III} - C_2) / (C_1 - C_2), \quad (1.5.11)$$

$$Q_2 = Q_{подз.} - Q_1, \quad (1.5.12)$$

где $C_{\text{ХП-II}}$ – минерализация (или содержание консервативного компонента) в речных водах в зимний период; Q_1 и C_1 – расход и минерализация грунтовых вод; Q_2 и C_2 – расход и минерализация вод нижерасположенных водоносных комплексов [166].

1.6. Методика термодинамических расчётов

Термодинамические расчеты проводились с помощью программного комплекса Solution+, разработанного О.Г. Савичевым в вычислительной среде MS Excel на основе метода констант [146]. Используемый при этом алгоритм в целом аналогичен алгоритму программ серии MIF [68]. Сам программный комплекс представляет собой набор процедур на языке Visual Basic и “рабочих листов” MS Excel, на первом из которых приводятся данные о химическом составе речных вод, на втором – термодинамические параметры, формулы для вычисления коэффициентов активности γ нейтральных (1.6.1) и заряженных частиц (уравнение Дэвиса (1.6.2)), активности компонентов a (1.5.3) и концентраций зависимых компонентов:

$$\lg \gamma = 0,1 \cdot I, \quad \text{при } z=0 \quad [40], \quad (1.6.1)$$

$$\lg \gamma = -A \cdot z^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,2 \cdot I \right), \quad \text{при } z \neq 0 \quad [68, 226], \quad (1.6.2)$$

$$a = \gamma C, \quad (1.6.3)$$

где C – молярная концентрация вещества, z – заряд частицы, I – ионная сила раствора ($I = 0,5 \cdot \sum c_i \cdot z_i^2$). На третьем листе сосредоточены формулы для вычисления свободной энергии Гиббса, констант неустойчивости $K_{\text{неуст}}$ и индекса насыщения L :

$$L = \lg \Pi A - \lg K_{\text{неуст}}, \quad (1.6.4)$$

где ΠA – произведение активностей группы веществ. Отрицательные значения индекса L указывают на потенциальное недосыщение, а положительные – на пересыщение раствора относительно минералов, взаимодействии с которыми рассматривается. На четвертом листе приведены формулы, позволяющие подобрать концентрации ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , ФК^{2-} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} в соответствующих уравнениях материального баланса вида:

$$c_B = c_{\text{нк}} \cdot \left(1 + \gamma_{\text{нк}} \cdot \sum_i \frac{\prod_j a_{ij}}{\beta_i \cdot \gamma_i} \right), \quad (1.6.5)$$

где c_B – валовая концентрация вещества; $c_{\text{нк}}$ – концентрация незакомплексованной формы вещества; β – суммарная константа неустойчивости i -го вещества. Константы неустойчивости комплексов металлов с гуминовыми (ГК) и фульво-

кислотами (ФК) приняты согласно [69], причем соединения ФК рассматриваются как растворенные формы, а соединения с ГК – не являющиеся таковыми [191]. Молекулярная масса ФК определяется в соответствии с [16] по зависимости от величины рН. На последнем (четвертом) листе также приведена формула для вычисления критерия сходимости процесса поиска минимума функции $\sum_k (c_{изм.} - c_{вычисл.})^2$, где $c_{изм.}$ и $c_{вычисл.}$ – соответственно измеренная и вычисленная валовые концентрации k -го вещества. Подбор концентраций независимых компонентов системы осуществляется с помощью процедуры решения нелинейной задачи МНК (метода наименьших квадратов) методом координатного спуска. Поиск каждого конкретного значения проводится методом “золотого сечения”.

Перечень изученных химических реакций, для которых проводились в массовом порядке термодинамические расчёты, приведён в табл. 1.6.1.

Таблица 1.6.1

Перечень изученных химических реакций

№	Реакция
1	$\text{CaCO}_3(\text{кальцит}) = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$
2	$\text{CaCO}_3(\text{кальцит}) + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2 \cdot \text{HCO}_3^-$
3	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{доломит}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2 \cdot \text{CO}_3^{2-}$
4	$\text{MgCO}_3(\text{магнезит}) + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Mg}^{2+} + 2 \cdot \text{HCO}_3^-$
5	$\text{CaГК} = \text{Ca}^{2+} + \text{ГК}$
6	$\text{MgГК} = \text{Mg}^{2+} + \text{ГК}$
7	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{анортит}) + 3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \cdot \text{CO}_2 = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + \text{Ca}^{2+} + 2 \cdot \text{HCO}_3^-$
8	$\text{SiO}_2(\text{кварц}) + 2 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4^0$
9	$2 \cdot \text{NaAlSi}_3\text{O}_8(\text{альбит}) + 11 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \cdot \text{CO}_2 = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + 2 \cdot \text{Na}^+ + 2 \cdot \text{HCO}_3^- + 4 \cdot \text{H}_4\text{SiO}_4^0$
10	$3 \cdot \text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{ортоклаз}) + 2 \cdot \text{H}^+ + 12 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{OH}_2(\text{мусковит}) + 2 \cdot \text{K}^+ + 6 \cdot \text{H}_4\text{SiO}_4^0$
11	$2 \cdot \text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{OH}_2(\text{мусковит}) + 2 \cdot \text{H}^+ + 3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 3 \cdot \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + 2 \cdot \text{K}^+$
12	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{анортит}) + 2 \cdot \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + \text{Ca}^{2+}$

2. Природные условия формирования водных ресурсов и их качества

2.1. Общая характеристика района исследований

Томская область расположена в юго-восточной части физико-географической страны Западная Сибирь [95], соответствующей среднему течению р. Обь (от устья р. Томь до устья р. Иртыш). Площадь региона составляет 316,9 тыс. км² или 1,9 % территории Российской Федерации (рис. 2.1.1). 54,2 % территории Томской области занимают леса; 29,1 % – болота (официальные данные, не учитывающие часть болот в труднодоступных районах области); 4,4 % – сельскохозяйственные угодья, из них 56 % – пашни, 2 % – озера и реки; 10,3 % – прочие земли. На юге Томская область граничит с Кемеровской и Новосибирской областями, на западе – с Омской областью, на востоке – с Красноярским краем, на севере – с Ханты-Мансийским автономным округом [78].



Рис. 2.1.1. Схема расположения района исследований (1 – Томская область)

Расстояние между северной и южной границами области – около 600 км, западной и восточной – 780 км. Более 85 % территории относится к труднодоступным районам. Для активных экономических связей с соседними регионами практически доступны только южные границы. Административно область состоит из 16 районов, 601 населенного пункта, в том числе – 6 городов (гг. Томск, Северск, Асино, Колпашево, Стрежевой, Кедровый). Численность населения на 01.01.2001 г. – 1064,8 тыс. человек, из них 483,1 тыс. человек проживает в областном центре – г. Томск. Томская область обладает богатыми природными ресурсами. Прежде всего, это – углеводородное сырье (разведано 1,5 млрд. т нефти; 73,6 млрд. м³ газоконденсата; 757 млрд. м³ газа), лес (запас древесины – 2760 млн. м³), торф (более 30 млрд. т).

Также следует отметить значительные запасы пресных, минеральных и термальных подземных вод, осадочных железных руд, комплексные циркон-ильменитовые россыпи, проявления золота, платины, сурьмы, цинка, бокситов, месторождения нерудных полезных ископаемых (каолин, стекольные и формовочные пески, минеральные краски, стройматериалы) и бурых углей. В структуре промышленности лидирующее положение занимают предприятия топливной и химической промышленности, цветной металлургии, машиностроения. Кроме того, достаточно успешно действуют предприятия легкой и пищевой промышленности. В целом, Томская область представляет собой средний по социально-экономическим показателям российский регион с четко выраженным доминирующим центром и слабо развитой периферией с плохой связью с главными транспортными узлами страны [78, 197].

2.2. Климат и химический состав атмосферных осадков

Согласно [95], рассматриваемая территория расположена в пределах континентальной Западно-сибирской области умеренного пояса. Климат континентальный, отличается значительной сезонной изменчивостью притока солнечной радиации и хорошо выраженным годовым ходом температуры воздуха. Среднегодовая температура воздуха, согласно [93], варьирует в диапазоне от минус 0,5 до минус 2,5°C (табл. 2.2.1), срочный и среднемесячный максимумы приходятся на июль, минимумы – на январь.

При этом необходимо отметить, что в последние десятилетия наблюдалось определенное увеличение среднегодовой и, особенно, среднезимней температуры воздуха [2], а также суммы отрицательных и положительных температур приземных слоёв атмосферного воздуха (табл. 2.2.2). Внутригодовое изменение температуры поверхности почвы совпадает с динамикой температуры приземных слоев воздуха. Глубина промерзания грунтов может превышать 1,5...2,0 м.

Господствующее направление ветров в целом – западное и юго-западное, в теплый период – северное и северо-западное. Средняя годовая скорость ветра в районе исследований составляет 3...3,6 м/с. Дефицит насыщения на территории Томской области в среднем составляет от 2,3 до 3,0 гПа, общее количество атмосферных осадков – от 449 до 591 мм (табл. 2.2.3), большая часть из которых приходится на теплый период.

Наибольшее месячное количество осадков в среднем наблюдается в июле–августе, наименьшее – в феврале. Анализ месячных и годовых сумм атмосферных осадков показал, что в течение последних 3...4 десятилетий произошло определенное увеличение атмосферных осадков в холодный период года. Однако нарушение однородности годовых сумм атмосферных осадков отмечено только в южной части региона (табл. 2.2.4).

Таблица 2.2.1

Среднемесячные и среднегодовые значения температуры приземных слоев атмосферного воздуха на территории Томской области в среднем за многолетний период [93], °С

Период	Александровское	Колпашево	Средний Васюган	Бакчар	Томск	Первомайское
Январь	-21,5	-20,7	-20,4	-19,9	-19,1	-19,4
Февраль	-19,6	-18,7	-18,2	-17,7	-16,9	-17,4
Март	-12,1	-10,8	-10,2	-10,0	-9,9	-9,8
Апрель	-1,7	-0,7	-0,4	0,8	0,0	0,3
Май	5,5	7,3	7,2	8,6	8,7	8,7
Июнь	13,7	15,2	14,7	15,4	15,4	15,8
Июль	17,5	18,0	17,7	18,0	18,3	18,5
Август	13,7	14,4	14,0	14,2	15,1	14,9
Сентябрь	8,0	8,7	8,6	8,9	9,3	8,8
Октябрь	-1,4	0,1	-0,3	0,4	0,8	0,6
Ноябрь	-12,7	-11,4	-11,3	-10,5	-10,1	-10,5
Декабрь	-19,6	-19,4	-18,9	-18,0	-17,3	-18,2
Год	-2,5	-1,5	-1,5	-0,8	-0,5	-0,6

Таблица 2.2.2

Результаты проверки на однородность и случайность среднесезонных и среднегодовых значений температуры приземных слоёв атмосферного воздуха¹

Расчётный интервал	Период	A, °C	σ , °C	$Sk/Sk_{5\%}$	$Fk/Fk_{5\%}$	$Pk/Pk_{5\%}$	k_1 , °C/год
1	2	3	4	5	6	7	8
Александровское							
Средняя температура за апрель – июнь	1937 – 2007	6,1	1,7	0,20	0,75	0,31	–
	1937 – 1969	6,0	1,5	–	–	-0,95	–
	1970 – 2007	6,1	1,9	–	–	1,02	0,061
Средняя температура за июль – ноябрь	1937 – 2007	5,2	1,2	0,86	0,59	0,82	–
	1937 – 1969	5,0	1,1	–	–	-0,29	–
	1970 – 2007	5,4	1,2	–	–	0,63	–
Средняя температура за декабрь – март	1937 – 2007	-17,5	2,8	1,18	0,56	1,17	0,041
	1937 – 1969	-18,3	2,8	–	–	-0,22	–
	1970 – 2007	-16,8	2,6	–	–	0,86	–

Продолжение табл. 2.2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя температура за апрель – март	1937 – 2007	-2,1	1,4	1,17	0,58	1,20	0,021
	1937 – 1969	-2,6	1,4	–	–	-0,50	–
	1970 – 2007	-1,8	1,3	–	–	1,27	0,051
Сумма температур меньше 0°C	1937 – 2007	-86,9	12,5	1,30	0,58	1,05	0,169
	1937 – 1969	-90,9	12,4	–	–	-0,62	–
	1970 – 2007	-83,4	11,7	–	–	0,72	–
Сумма температур больше 0°C	1937 – 2007	60,9	5,3	0,35	0,84	0,92	–
	1937 – 1969	60,4	4,5	–	–	-0,12	–
	1970 – 2007	61,3	5,8	–	–	1,77	0,298
Колпашево							
Средняя температура за апрель – июнь	1937 – 2007	7,6	1,5	0,29	0,71	0,38	–
	1937 – 1969	7,5	1,4	–	–	-1,00	–
	1970 – 2007	7,7	1,6	–	–	1,04	0,054
Средняя температура за июль – ноябрь	1937 – 2007	6,1	1,1	0,90	0,67	0,87	–
	1937 – 1969	5,8	1,0	–	–	-0,32	–
	1970 – 2007	6,3	1,1	–	–	0,67	–
Средняя температура за декабрь – март	1937 – 2007	-16,4	2,8	1,40	0,51	1,46	0,050
	1937 – 1969	-17,4	2,6	–	–	-0,15	–
	1970 – 2007	-15,5	2,6	–	–	1,06	0,090
Средняя температура за апрель – март	1937 – 2007	-1,0	1,3	1,38	0,51	1,49	0,024
	1937 – 1969	-1,5	1,2	–	–	-0,48	–
	1970 – 2007	-0,6	1,2	–	–	1,45	0,054
Сумма температур меньше 0°C	1937 – 2007	-79,1	12,2	1,73	0,58	1,59	0,237
	1937 – 1969	-84,2	10,9	–	–	-0,40	–
	1970 – 2007	-74,7	11,6	–	–	0,95	–
Сумма температур больше 0°C	1937 – 2007	66,6	4,7	0,14	0,77	0,64	–
	1937 – 1969	66,4	4,2	–	–	-0,59	–
	1970 – 2007	66,7	5,2	–	–	1,87	0,274
Томск							
Средняя температура за апрель – июнь	1890 – 2007	8,4	1,4	1,55	0,56	1,96	0,016
	1890 – 1969	8,1	1,4	–	–	0,82	–
	1937 – 2007	8,8	1,4	0,81	0,53	0,94	–
	1937 – 1969	8,5	1,3	–	–	-0,39	–
	1970 – 2007	9,0	1,4	–	–	1,06	0,046
Средняя температура за июль – ноябрь	1890 – 2007	7,0	1,0	1,09	0,64	0,97	–
	1890 – 1969	6,8	1,0	–	–	0,09	–
	1937 – 2007	6,9	1,0	1,13	0,74	1,30	0,017

Продолжение табл. 2.2.2

1	2	3	4	5	6	7	8
	1937 – 1969	6,6	0,9	–	–	0,37	–
	1970 – 2007	7,3	1,1	–	–	0,72	–
Средняя температура за декабрь – март	1890 – 2007	-15,1	2,4	2,07	0,97	2,29	0,030
	1890 – 1969	-15,8	1,9	–	–	0,20	–
	1937 – 2007	-14,7	2,7	1,58	0,63	1,75	0,057
	1937 – 1969	-15,8	2,7	–	–	0,17	–
	1970 – 2007	-13,5	2,5	–	–	1,35	0,105
Средняя температура за апрель – март	1890 – 2007	0,0	1,3	2,37	0,91	2,46	0,017
	1890 – 1969	-0,4	1,0	–	–	0,43	–
	1937 – 2007	0,2	1,3	1,72	0,54	2,08	0,030
	1937 – 1969	-0,4	1,2	–	–	0,14	–
	1970 – 2007	0,8	1,3	–	–	1,60	0,062
Сумма температур меньше 0°C	1890 – 2007	-71,6	11,0	2,48	0,74	2,26	0,138
	1890 – 1969	-75,0	9,3	–	–	0,20	–
	1937 – 2007	-69,4	11,7	1,97	0,58	2,23	0,297
	1937 – 1969	-75,3	10,0	–	–	0,20	–
	1970 – 2007	-64,3	10,7	–	–	1,08	0,376
Сумма температур больше 0°C	1890 – 2007	70,4	5,0	1,15	0,57	1,68	0,048
	1890 – 1969	69,6	4,8	–	–	0,75	–
	1937 – 2007	71,4	4,7	0,60	0,59	1,16	0,070
	1937 – 1969	70,6	4,5	–	–	0,12	–
	1970 – 2007	72,1	4,9	–	–	1,63	0,234

Примечание: A – среднее арифметическое; σ – среднее квадратическое отклонение; Sk , Sk_α , Fk , Fk_α , Pk , Pk_α – фактические и критические (при уровне значимости $\alpha=5\%$) значения критериев Стьюдента, Фишера и Питмена; k_1 – коэффициент регрессии в уравнении (1.3.4)

Образование устойчивого снежного покрова обычно наблюдается в среднем в конце октября, после установления отрицательных температур воздуха. При этом следует отметить, что примерно до минус 10°C в бассейне р. Обь возможно выпадение смешанных атмосферных осадков (рис. 2.2.1). Средняя максимальная высота снегового покрова за зимний период на защищенных участках составляет 40...60 см, а на открытых – 60...70 см. Окончательный сход снега в регионе в целом приходится на начало мая.

В целом, территория Томской области относится к зоне избыточного увлажнения и недостаточной теплообеспеченности, по климатическому районированию, принятому в нормативных документах Росстроя: южная и средняя части – к району IV; северная часть – к району ID.

Таблица 2.2.3

Месячные и годовые значения сумм атмосферных осадков (с поправками на смачивание) на территории Томской области в среднем за многолетний период [93], мм

Период	Александровское	Колпашево	Средний Васюган	Бакчар	Томск	Первомайское
Январь	20	22	27	18	34	20
Февраль	15	14	19	14	23	16
Март	16	18	22	15	28	17
Апрель	24	25	32	26	31	22
Май	45	54	53	45	51	42
Июнь	73	59	73	67	67	55
Июль	82	75	80	74	77	63
Август	80	84	85	84	76	67
Сентябрь	54	52	55	46	49	46
Октябрь	44	43	53	42	55	37
Ноябрь	34	37	45	31	58	37
Декабрь	25	28	34	23	42	27
Ноябрь – март	110	119	147	101	185	117
Апрель – октябрь	402	392	431	384	406	332
Год	512	511	578	485	591	449

Таблица 2.2.4

Результаты проверки на однородность и случайность сезонных и годовых сумм атмосферных осадков

Расчётный интервал	Период	A, мм	σ , мм	$Sk/Sk_{5\%}$	$Fk/Fk_{5\%}$	$Pk/Pk_{5\%}$	k_1 , мм/год
1	2	3	4	5	6	7	8
Александровское							
Сумма осадков за апрель – июнь	1937 – 2007	142,7	38,8	0,12	0,61	-0,18	–
	1937 – 1969	141,3	40,9	–	–	-0,54	–
	1970 – 2007	143,9	37,3	–	–	-0,27	–

Продолжение табл. 2.2.4

1	2	3	4	5	6	7	8
Сумма осадков за июль – ноябрь	1937 – 2007	276,9	67,1	0,33	0,81	-0,21	–
	1937 – 1969	282,8	58,8	–	–	-0,10	–
	1970 – 2007	271,8	73,9	–	–	0,17	–
Сумма осадков за декабрь – март	1937 – 2007	73,5	22,7	1,70	0,88	2,90	0,686
	1937 – 1969	61,4	16,7	–	–	1,33	0,849
	1970 – 2007	84,1	21,9	–	–	1,12	0,792
Сумма осадков за апрель – март	1937 – 2007	493,1	82,2	0,36	0,96	0,37	–
	1937 – 1969	485,4	68,0	–	–	-0,12	–
	1970 – 2007	499,8	93,1	–	–	0,27	–
Сумма осадков за месяцы с $T_a < 0^\circ\text{C}$	1937 – 2007	155,2	42,8	1,42	0,68	2,08	1,032
	1937 – 1969	137,9	42,8	–	–	1,66	2,543
	1970 – 2007	170,2	37,1	–	–	0,49	–
Сумма осадков за месяцы с $T_a \geq 0^\circ\text{C}$	1937 – 2007	337,4	87,1	0,42	0,92	-0,55	–
	1937 – 1969	346,8	72,9	–	–	-0,98	–
	1970 – 2007	329,2	98,1	–	–	0,06	–
Колпашево							
Сумма осадков за апрель – июнь	1937 – 2007	133,7	42,1	0,20	0,57	-0,12	–
	1937 – 1969	131,1	41,2	–	–	-0,68	–
	1970 – 2007	135,9	43,4	–	–	-0,22	–
Сумма осадков за июль – ноябрь	1937 – 2007	274,3	57,0	0,59	0,84	0,59	–
	1937 – 1969	265,7	48,9	–	–	-0,12	–
	1970 – 2007	281,8	62,9	–	–	0,38	–
Сумма осадков за декабрь – март	1937 – 2007	81,0	27,7	1,75	0,61	2,97	0,850
	1937 – 1969	65,3	22,5	–	–	1,57	1,287
	1970 – 2007	94,6	24,5	–	–	0,84	–
Сумма осадков за апрель – март	1937 – 2007	489,0	73,2	1,20	0,72	1,33	1,224
	1937 – 1969	462,1	62,7	–	–	-0,06	–
	1970 – 2007	512,4	74,4	–	–	0,46	–
Сумма осадков за месяцы с $T_a < 0^\circ\text{C}$	1937 – 2007	147,5	53,9	1,36	0,66	2,38	1,432
	1937 – 1969	123,2	52,5	–	–	2,02	3,528
	1970 – 2007	168,6	46,2	–	–	0,50	–
Сумма осадков за месяцы с $T_a \geq 0^\circ\text{C}$	1937 – 2007	341,0	80,6	0,12	0,59	-0,18	–
	1937 – 1969	338,4	77,8	–	–	-1,19	–
	1970 – 2007	343,2	84,0	–	–	0,15	–
Томск							
Сумма осадков за	1890–2007	134,1	40,5	0,45	0,66	-0,03	–
	1890–1969	131,2	39,3	–	–	-0,72	–

Продолжение табл. 2.2.4

1	2	3	4	5	6	7	8
апрель – июнь	1937 – 2007	136,2	41,6	0,33	0,58	-0,05	–
	1937 – 1969	131,9	40,2	–	–	-0,95	–
	1970–2007	140,0	42,9	–	–	-0,19	–
Сумма осадков за июль – ноябрь	1890–2007	289,4	56,1	0,29	0,67	-0,11	–
	1890–1969	287,3	57,9	–	–	-0,69	–
	1937 – 2007	285,7	50,8	0,71	0,63	0,73	–
	1937 – 1969	276,5	47,5	–	–	0,01	–
	1970–2007	293,8	52,8	–	–	0,43	–
Сумма осадков за декабрь – март	1890–2007	106,8	40,7	1,67	0,55	3,82	1,431
	1890–1969	81,5	32,6	–	–	2,83	2,585
	1937 – 2007	106,8	40,7	1,67	0,55	3,82	1,431
	1937 – 1969	81,5	32,6	–	–	2,83	2,585
	1970–2007	128,8	33,8	–	–	1,05	1,149
Сумма за апрель – март	1890–2007	534,4	87,5	1,13	0,74	0,19	–
	1890–1969	521,0	89,3	–	–	-1,43	-1,330
	1937 – 2007	528,8	77,8	2,02	0,89	2,10	1,889
	1937 – 1969	489,9	58,5	–	–	0,42	–
	1970–2007	562,6	77,2	–	–	0,63	–
Сумма осадков за месяцы с $T_a < 0^\circ\text{C}$	1890–2007	185,7	61,4	0,69	1,11	-0,17	–
	1890–1969	178,9	66,3	–	–	-1,52	-1,042
	1937 – 2007	172,5	61,1	1,72	0,85	2,69	1,763
	1937 – 1969	140,7	60,6	–	–	1,93	3,959
	1970–2007	200,1	47,0	–	–	0,47	–
Сумма осадков за месяцы с $T_a \geq 0^\circ\text{C}$	1890–2007	348,3	73,9	0,67	0,80	0,38	–
	1890–1969	341,5	77,4	–	–	-0,35	–
	1937 – 2007	355,6	70,4	0,39	0,72	0,14	–
	1937 – 1969	347,5	76,7	–	–	-1,00	–
	1970–2007	362,7	64,6	–	–	0,37	–

Химический состав атмосферных осадков и атмосферных аэрозолей определяется совокупностью природных и антропогенных факторов, подверженных пространственно-временным изменениям. Соответственно, наблюдаются заметные отличия в химическом составе атмосферных аэрозоля и осадков в разных ландшафтных зонах и на разных высотах и удалении от промышленных центров и крупных городов. Эти отличия проявляются и на территории Томской области, в пределах которого отмечается уменьшение суммы и содержаний отдельных главных ионов в атмосферных осадках с юго-запада на северо-восток (то есть по мере удаления от степных территорий Казахстана и Южной Сибири) и в прилегающих районах Кузнецкого Алатау (рис. 2.2.2).

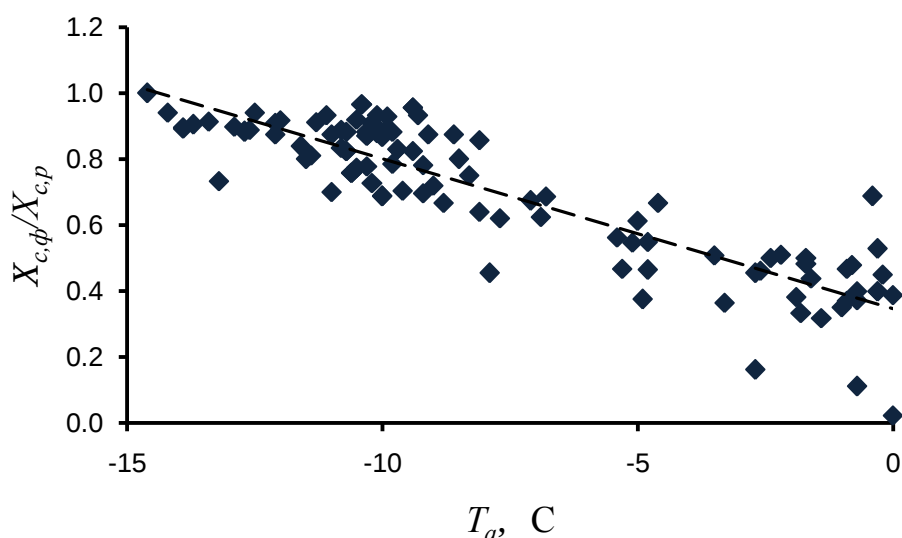


Рис. 2.2.1. Зависимость соотношения измеренных ($X_{c,ф}$) и расчётных ($X_{c,р}$ при $T_a < 0^\circ\text{C}$) месячных твёрдых атмосферных осадков от среднемесячной температуры атмосферного воздуха (T_a) в бассейне р. Обь (по данным [93, 94]); $X_{тв,ф}/X_{тв,р} = 0,346 - 0,045 \cdot T_a$; $S/\sigma = 0,47$

Средние содержания макрокомпонентов, углерода органических соединений ($C_{орг.}$), нефтепродуктов, биогенных веществ и некоторых микроэлементов в атмосферных осадках на территории Томской области, а также в Кемеровской области и в леднике Актру (элемент гидрографической сети ледник Актру – река Актру – р. Чуя – р. Катунь – р. Обь), полученные в результате обобщения материалов ТПУ, ОАО «Томскгеомониторинг», ТГРЭ и ряда опубликованных источников [140, 145, 168 и др.], приведены в табл. 2.2.5–2.2.7).

Термодинамические расчёты показали, что атмосферные воды (снеготалые) сильно недонасыщены относительно первичных алюмосиликатов и карбонатов, но близки к равновесию с некоторыми органоминеральными соединениями (табл. 2.2.8), что определяет возможность: 1) выведения из талых вод соединений гуминовых кислот с некоторыми металлами даже при весьма незначительных концентрациях последних; 2) формирования при условии отсутствия контакта с минеральным грунтом геохимически устойчивой водной системы (что, к примеру, и наблюдается на верховых болотах с преимущественно атмосферным питанием).

Таблица 2.2.5

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) значений pH, суммы главных ионов и содержаний главных ионов в леднике и атмосферных осадках

Объект	Пункт	Показатель	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и
				мг/дм ³							
Лед	Ледник Актру (бассейн р. Катунь)	A	5,33	2,8	0,4	0,6	0,4	13,0	1,0	2,5	21,1
		δ _A	0,30	0,8	0,1	0,2	0,1	1,1	0,3	0,3	1,9
Дождь	Кемеровская область (бассейн р. Томь)	A	6,60	5,9	2,6	3,1	9,9	37,5	6,4	8,1	73,6
		δ _A	0,36	0,9	0,7	1,0	2,8	4,9	2,3	1,4	7,6
Снег	Кемеровская область (бассейн р. Томь)	A	5,93	3,0	1,4	1,5	4,2	11,2	4,2	2,4	27,9
		δ _A	0,27	1,3	0,4	0,4	1,2	2,6	1,2	0,4	4,9
Снег	Томская область	A	6,27	6,2	2,0	1,7	4,7	11,4	4,6	1,1	31,6
		δ _A	0,13	1,8	0,9	0,4	1,2	3,3	0,9	0,2	4,6

Таблица 2.2.6

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) содержаний биогенных и органических веществ в атмосферных осадках и леднике, мг/дм³

Объект	Пункт	Показатель	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	ХПК, мгО/дм ³	Нефте- продукты	Фенолы
Лед	Ледник Актру	A	0,220	<0,01	<0,01	0,184	—	—	—	—
		δ _A	0,100	<0,01	<0,01	0,110	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.2.6

Объект	Пункт	Показатель	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	Si	ХПК, мгО/дм ³	Нефте-продукты	Фенолы
Дождь	Кемеровская область	A	0,007	2,207	1,076	–	–	–	–	0,063
		δ_A	0,003	0,796	0,969	–	–	–	–	–
Снег	Кемеровская область	A	1,575	0,040	1,200	–	–	7,23	–	–
		δ_A	1,088	0,010	0,500	–	–	1,81	–	–
Снег	Томская область	A	0,892	0,024	0,575	0,593	0,13	8,31	0,109	0,003
		δ_A	0,212	0,012	0,213	0,343	0,02	2,75	0,032	0,001

Таблица 2.2.7

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δA) содержаний железа и микроэлементов в атмосферных водах и леднике, мг/дм³

Объект	Пункт	Показатель	Fe (общее)	Al	Mn	Cu	Zn	Pb
Лед	Ледник Актру	A	0,380	0,255	–	0,0020	0,0574	0,0011
		δ_A	0,115	0,145	–	0,0010	0,0202	0,0004
Дождь	Кемеровская область	A	0,093	–	0,020	0,0005	0,0195	0,0065
		δ_A	0,048	–	–	0,0003	0,0100	0,0050
Снег	Кемеровская область	A	0,043	–	–	0,0031	0,0427	0,0030
		δ_A	0,028	–	–	0,0014	0,0105	0,0008
Снег	Томская область	A	0,050	0,017	–	0,0013	0,0043	0,0000
		δ_A	0,016	0,013	–	0,0003	0,0009	0,0000

Таблица 2.2.8

Средние арифметические значения индекса неравновесности $\lg(\text{ПА}/\text{ПР})$ за многолетний период

Объект	Пункт	Номер реакции в табл. 1.6.1							
		1	3	5	6	8	10	11	12
ледник	Актру	-5,07	-9,49	-0,28	-0,23	0,40	-15,69	-7,01	-15,94
дождь	Кемеровская область	-3,04	-5,67	0,05	0,34	–	–	-1,56	-13,08
снег	Кемеровская область	-5,99	-11,5	-0,41	0,08	–	–	-6,14	-17,25
снег	Томская область	-5,43	-10,8	-0,15	-0,07	-0,82	-24,37	-5,82	-16,28

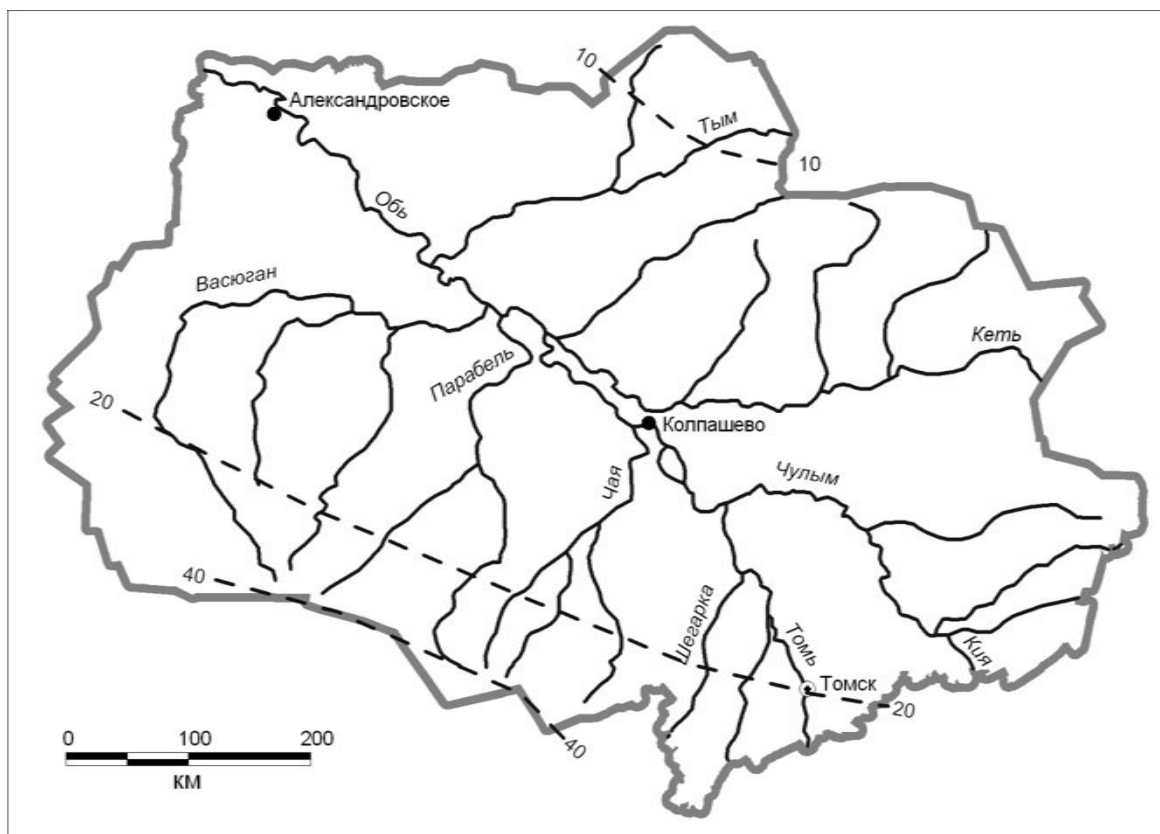


Рис. 2.2.2. Сумма главных ионов в снеговых водах Томской области в 1960-е гг. (по данным [129]), мг/дм^3

2.3. Геологические и геоморфологические условия

Территория региона соответствует Урало-Монгольскому коллизионному поясу Евразийской литосферной плиты. Значительная часть пояса перекрыта мощным осадочным чехлом Западно-Сибирской плиты, в геологическом строении которой отчетливо выделяются складчатый фундамент, сложенный породами доюрского возраста, и платформенные пологозалегающие песчано-глинистые отложения мезозоя и кайнозоя, лежащие на этом фундаменте. Складчатый фундамент сложен метаморфизованными интенсивно дислоцированными докембрийскими, палеозойскими и раннемезозойскими породами. На юго-востоке рассматриваемой территории фундамент залегает на небольших глубинах, местами выходит на земную поверхность и входит в состав складчатого обрамления Западно-Сибирской плиты. В геологическом строении чехла принимают участие мезозойские (триасовые, юрские, меловые) и кайнозойские (палеогеновые, неогеновые, четвертичные) отложения. Мощность осадочного чехла достигает 3000 и более метров [26, 111, 181, 182]. Южная и юго-восточная часть региона расположена в пределах Алтае-Саянской горноскладчатой системы, характеризующейся приподнятым и в различной степени расчлененным рельефом, интенсивной дислоцированностью и метаморфизмом мощных толщ [95, 111].

Согласно [23], рассматриваемая территория расположена в основном в пределах в геоморфологической области Западно-Сибирской низменности, в области древних приледниковых бассейнов (водосборы рр. Васюган, Парабель, Чая, Тым, Кеть), четвертичных аллювиальных (часть водосбора р. Шегарка) и денудационных (водосбор р. Чулым) равнин, частично (юг Томской области – водосбор р. Томь) – в северной части Салаиро-Кузнецкой горной страны; по классификации В.Т. Трофимова (приводится по [130]) – в пределах Барабинско-Пихтовской (южная часть Томской области), Приаргинской, Чулымской и Кеть-Тымской (юго-восточная и восточная части) наклонным приподнятым равнинам, Васюганской возвышенности (западная и юго-западная части) и Обь-Тымской низменности (долина р. Обь и нижнее течение р. Тым). Рельеф большей части региона представляет собой плоскую, местами пологоувалистую, большей частью заболоченную поверхность, с незначительными, часто не выделяющимися уклонами к крупным водотокам. Гипсометрические отметки изменяются от 32...32,6 м (урез воды р. Обь у г. Стрежевой и с. Александровское) до 190...252 м (правобережная часть водосбора р. Томь, водораздел рр. Томь и Яя).

Анализ материалов государственного мониторинга геологической среды позволил авторам [228] сделать вывод о преобладании на территории Томской области двух основных типов экзогенных геологических процессов – заболачивания и речной эрозии. Эти процессы противоположны друг другу по проявле-

нию – если заболачивание характеризуется интенсивной аккумуляцией органического вещества, то речная эрозия по определению характеризуется разрушением подстилающих пород и выносом продуктов разрушения. В то же время, они тесно взаимосвязаны и представляют собой составляющие единого комплекса экзогенных геологических процессов, неразрывно связанных с гидрологическим режимом территории и протекающих в Западной Сибири в последние 10...15 тыс. лет по завершению последнего крупного оледенения.

2.4. Почвенно-растительный покров

Территория Томской области расположена преимущественно в пределах южно- и среднетаёжных подзон [175]; южная и юго-восточная часть – по мнению одних исследователей – в лесостепной зоне, по мнению других (включая и автора) – в подтаёжной подзоне таёжной зоны. В соответствии с [95], в регионе распространена бореальная Обь-Иртышская растительность, представленная лесами: в водосборе р. Кия и Обь-Шегарском междуречье – берёзовыми и осиново-берёзовыми подтаёжными; в водосборах рр. Чулым, Томь, Чая, Парабель, Васюган – кедрово-елово-пихтовыми южнотаёжными; в водосборах рр. Тым и Вах, в Александровском приобье – елово-кедровыми, местами с лиственницей, среднетаёжными; в водосборе р. Кеть и междуречье рр. Васюган и Парабель (в нижней его части) – лиственнично-сосновыми среднетаёжными. Преобладающие древесные породы – берёза, сосна, кедр. Кроме того, широко представлена пойменная и болотная растительность (олиготрофных выпуклых, мезотрофных, евтрофных болот).

В соответствии с почвенно-географическому районированию [7], изученная территория относится к Центральной таёжно-лесной области, к Западно-Сибирской провинции подзолистых и болотных почв, Западно-Сибирской провинции дерново-подзолистых высокогумусированных почв и дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом, с участием дерново-глеевых почв и серых лесных почв по древним речным долинам, в южной части Томской области – к Приалтайской провинции серых лесных и серых лесных глееватых почв со вторым гумусовым горизонтом. Согласно [25, 43, 176, 199, 218–224], наиболее значительную часть рассматриваемой территории региона занимают подзолистые, дерново-подзолистые и серые лесные почвы (табл. 2.4.1), причем последние играют весьма заметную роль в структуре земель сельскохозяйственного назначения.

Общая характеристика химического состава почв региона (табл. 2.4.2) получена в результате обобщения опубликованных материалов исследований Московского государственного университета (МГУ), Института почвоведения и агрохимии (ИПА) СО РАН, ТГУ, НИИББ при ТГУ, ТПУ и ряда других научных и производственных организаций, выполненных в различных природных зонах

и подзонах рассматриваемой территории: среднетаежной, южнотаежной, подтаежной, лесостепной, горных и предгорных районах. При этом учитывались данные горизонтов А, А₁, А_d, А_{пах}.

Таблица 2.4.1
Площади распространения почв в Томской области [4]

№	Почвы	Площадь, тыс. га
1	Подзолистые и дерново-подзолистые	12687,4
2	Серые лесные	1065,7
3	Черноземы	22,3
4	Лугово-черноземные, черноземно-луговые и луговые	63,5
5	Солоди	41,5
6	Болотные	13479,1
7	Пойменные	3276,6
8	Прочие	92,1
9	Общая площадь почв	30728,2

Таблица 2.4.2
Средний химический состав почв Кемеровской и Томской области [25, 43, 61, 64, 101, 192, 217, 222], кг/т

Показатель	Почвы							
	подзолы и дерново-подзолистые	серые лесные	черноземы	луговые, лугово-черноземные	пойменные	торфяные болотные		
						верховые	переходные	низинные
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ca	1,500	3,200	4,400	4,400	2,200	2,920	8,306	27,669
Mg	0,200	0,500	0,700	0,700	0,300	0,324	0,923	3,074
Na	–	–	–	–	–	0,867	1,426	3,406
K	0,034	0,046	0,039	0,039	0,031	0,054	0,080	0,105
Si	369,087	333,89	–	–	–	–	–	7,178
N _{общ.}	1,790	3,181	2,790	2,790	3,470	13,946	16,670	19,997
N _{неорг.}	0,027	0,040	0,031	0,031	0,022	0,482	0,361	0,239
P	0,028	0,033	0,032	0,032	0,023	0,145	0,126	1,414
Fe	12,205	13,534	–	–	–	1,220	4,100	18,080
Al	30,326	41,784	–	–	–	–	–	3,130
Mn	0,783	0,945	0,733	0,711	1,044	0,075	0,281	0,486
Cr	0,097	0,093	0,080	0,093	0,087	0,005	0,010	0,015

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ni	0,040	0,009	0,033	0,037	0,039	0,039	0,039	0,039
Cu	0,048	0,026	0,025	0,023	0,017	0,007	0,009	0,011
Zn	0,053	0,073	0,081	0,076	0,060	0,007	0,011	0,015
As	0,009	0,028	0,019	0,013	0,019	0,024	0,024	0,024
Sr	0,179	0,182	0,178	0,202	0,172	0,218	0,218	0,218
Ba	0,391	0,444	0,412	0,382	0,407	0,017	0,025	0,075
Hg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002
Pb	0,020	0,020	0,019	0,020	0,018	0,020	0,020	0,020
U	0,001	–	0,002	0,001	–	0,002	0,002	0,002
C _{орг}	19,229	75,533	57,025	78,000	32,400	551,00	579,000	501,000
C(ГК)	5,969	24,515	22,240	24,882	14,321	18,576	70,783	153,156
C(ГК-2)	1,621	10,457	14,442	12,636	10,242	–	–	–
C(ФК)	7,280	19,832	13,073	16,614	12,589	30,959	70,783	102,104

Примечание: С(ГК) – углерод гуминовых кислот; С(ГК-2) – углерод второй фракции гуминовых кислот, предположительно связанных с кальцием; С(ФК) – углерод фульвокислот

Следует отметить, что, согласно [25, 217], каждый тип почв характеризуется специфическим микроэлементным составом, обусловленным особенностями водообмена и преобладанием того или иного типа процессов почвообразования. В свою очередь, эти процессы имеют зональное распространение, что позволило авторам монографии [217] выделить в направлении от аридных районов к гумидным тенденции изменения в почвах содержаний ряда микроэлементов: 1) увеличения – Cr, Mn, Sr, Cd; 2) уменьшения – Li, V, Ga, Rb, Sc, Ba. В то же время, в пространственном распределении содержаний Ti, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Hg, Pb зональные изменения не выявлены. Достаточно важный аспект влияния почв на состояние водных объектов и гидрохимический сток связан, в соответствии с терминологией, использованной В.И. Вернадским, с выносом из почвенного покрова не только «косного», но и «живого вещества», в частности, с выносом микроорганизмов.

Помимо рассматриваемых почв природных и/или агроландшафтов, целесообразно отдельно выделить почвы урбанизированных территорий с повышенной антропогенной нагрузкой, данные о химическом составе которых приведены в [193, 194], в работах Л.П. Рихванова и соавторов [132–134, 172, 225], Ю.Г. Покатилова [113], А.Ю. Озерского [99] Н.А. Рослякова и соавторов [217] и других авторов. Результаты обобщения этих материалов свидетельствуют об определенном увеличении концентраций ряда элементов в почвах городов по сравнению с природными ландшафтами (рис. 2.4.1).

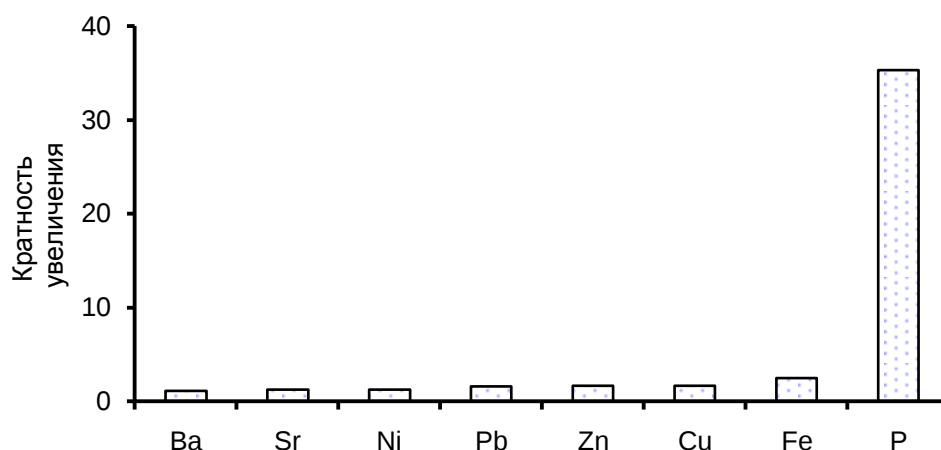


Рис. 2.4.1. Кратность увеличения средних концентраций некоторых элементов в почвах городских территорий по сравнению с почвами лесных и сельскохозяйственных угодий

2.5. Краткие выводы

Рассматриваемая территория расположена в пределах лесной области физико-географической страны Западная Сибирь, в континентальной западно-сибирской климатической области умеренного климатического пояса и характеризуется преимущественным распространением равнинных подтёжных, средне- и южнотаёжных ландшафтов. Главной особенностью этой территории является сильная заболоченность, определяющая естественную зарегулированность водного стока и повышенное содержание органических и биогенных веществ в водах. Достаточно суровые климатические условия определяют продолжительный зимний период, в течение которого наблюдается устойчивый ледяной покров на реках, а питание рек происходит преимущественно за счёт подземных вод. В весенний период происходит таяние снежного покрова, за счёт которого формируется мощное половодье, сопровождающееся в условиях равнинного рельефа затоплением и подтоплением значительных территорий. На спаде половодья обычно усиливается интенсивность эрозионных процессов, оказывающих весьма сильное негативное воздействие на хозяйственные и жилые объекты. Таким образом, природные условия Томской области, с одной стороны, способствуют формированию значительных водных ресурсов, а с другой – определяют неблагоприятные условия водопользования вследствие низкого качества вод заболоченных территорий и необходимость значительных финансовых и материальных затрат на противопаводковые и противоэрозионные мероприятия.

3. Реки

3.1. Общие сведения о реках

На рассматриваемой территории насчитывается более 18000 рек, являющихся притоками р. Обь разного порядка. Большая их часть имеет длину до 10 км. Главная водная артерия Томской области – р. Обь (рис. 3.1.1, 3.1.2) – одна из крупнейших рек мира, образуется при слиянии рр. Бии и Катунь. Пройдя 3650 км по Западно-Сибирской равнине, она впадает в Обскую губу Карского моря. Согласно А.М. Малолетко [83, 84], своё название, имеющее иранские корни и означающее «вода», река получила благодаря русским переселенцам, точнее – их проводникам-пермякам. Бассейн Оби расположен на площади 2975000 км² на территории трёх государств – Российской Федерации (75 % водосбора), республики Казахстан и Китайской народной республики. В пределах РФ расположены нижняя (ниже по течению от устья р. Иртыш), средняя и большая часть верхнего течения Оби (выше по течению от устья р. Томь), а также нижнее течение крупнейшего притока Оби – Иртыша [20].



Рис. 3.1.1. Река Обь у п. Победа, юг Томской области



Рис. 3.1.2. Река Обь ниже устья р. Тым, север Томской области

Говоря о состоянии и функциональных возможностях любой системы, включая гидрографическую сеть Оби, целесообразно знать её возраст, в общем случае являющийся весьма важной характеристикой «поведения» и способности системы реагировать на внешние и внутренние изменения. По мнению А.М. Малолетко, речная система Оби представляет собой комплекс фрагментов различных рек, окончательно сложившийся только после эпохи максимального оледенения. Самыми древними частями обской речной системы, согласно [84], являются реки Алтае-Саянской складчатой области, водосборы которых сформировались в мезозое, а сток осуществлялся в Западно-Сибирское море. Относительно того, каким образом формировалась речная сеть в последующие эпохи, в настоящее время имеется ряд гипотез, кардинально расходящихся в части выводов о местоположении ледника (ледников), виде речной сети и направлении

стока [23, 84]. При этом очень большой интерес представляют исследования механизма прорывных потоков при таянии алтайских ледников [138]. Очевидно, что если такие потоки существовали, они не могли не повлиять и на современный облик речной системы Верхней Оби, а также рр. Томь, Чулым, Кия.

Собственно Томская область расположена преимущественно в пределах участка среднего течения и характеризуется очень существенным приростом водного стока с территории региона. Так, если в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС норма стока (за период действия ГЭС) составляет $1566 \text{ м}^3/\text{с}$, то в северной части Томской области, ниже по течению от устьев рр. Тым и Васюган – уже превышает $5000 \text{ м}^3/\text{с}$, то есть около 40 % от стока со всего Обского бассейна (рис. 3.1.3).

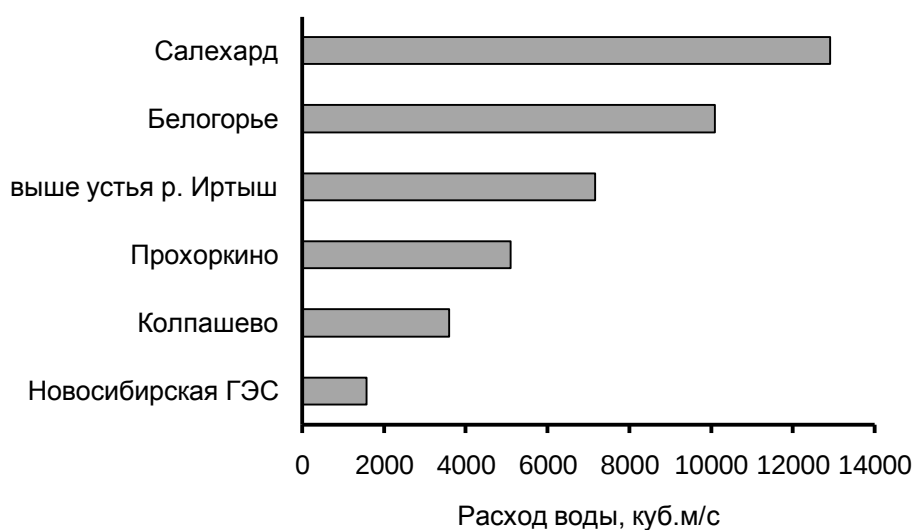


Рис. 3.1.3. Среднемноголетние расходы воды р. Обь в 1970–2000-е гг.

Особенности гидрологического режима р. Обь определяются, во-первых, расположением водосборной территории в пределах различных ландшафтных и климатических зон, а во-вторых, сезонным регулированием стока Новосибирским водохранилищем, введенным в эксплуатацию в 1959 г. Влияние водохранилища в наибольшей степени сказывается на участке до устья р. Томь, в пределах которого произошли весьма существенные изменения растительного покрова поймы вследствие резкого снижения вероятности наводнений. Менее значительные и постепенно затухающие по мере удаления от ГЭС изменения водного режима фиксируются практически на всей территории Томской области. Наиболее крупными притоками р. Обь в рассматриваемом регионе являются рр. Томь, Чулым, Кеть, Тым, Васюган, Парабель, Чая. Также следует отметить крупнейший приток р. Чулым – р. Кия, водный сток которого превышает сток многих притоков Оби, включая рр. Парабель и Чая.

Река Томь – по водности второй после Иртыша приток р. Обь (рис. 3.1.4, 3.1.5). По мнению И.В. Зыкова [173], своим названием («оленья река») река обязана кетам (А.М. Малолетко [83] полагает, что это более древнее название). Её водосбор площадью 62000 км² расположен в пределах республик Хакасия и Алтай, Новосибирской, Кемеровской (основная часть водосбора) и Томской областей. Общая протяжённость реки – 827 км, из которых участок нижнего течения длиной 125 км расположен в Томской области. Основная часть водного стока формируется в горно-таёжных районах Кузнецкого Алатау и Горной Шории, соответствующих водосборам наиболее крупных притоков Томи – рр. Уса, Верхняя, Средняя и Нижняя Терси, Тайдон, Мрас-Су и Кондома. После впадения р. Кондома начинается участок среднего течения, характеризующийся преобладанием в левобережной части водосбора лесостепных ландшафтов. Ниже по течению от г. Юрга начинается участок нижнего течения (по мнению некоторых авторов – ниже г. Кемерово, что, как представляется автору, не соответствует характеру изменения рельефа и растительного покрова). В пределах Томского района р. Томь фактически представляет собой границу между северо-западной оконечностью Саяно-Алтайской горноскладчатой области и Западно-Сибирской равниной.

Река Чулым (по данным сайта www.wikipedia.org, название реки имеет тюрское происхождение и означает «бегущий снег») уступает по водности р. Томь, но в более чем в два раза превышает по площади водосбора (134000 км²), в пределах которого условно выделяется горные районы восточных склонов Кузнецкого Алатау (верхнее течение), лесостепные (среднее течение) и равнинные таёжные районы (нижнее течение). Участки верхнего и среднего течения расположены в пределах Кемеровской области, республики Хакасия и Красноярского края, участок нижнего течения – в Томской области (Тегульдетский, Зырянский, Первомайский, Асиновский и Молчановский районы). Кроме того, на территории Томской и Кемеровской области расположены водосборы крупных притоков р. Чулым – рр. Кия и Яя, а на территории Томской области и Красноярского края – р. Четь (приток р. Кия). Общая протяжённость реки составляет 1799 км, в том числе в Томской области – около 760 км. Участок нижнего течения (в пределах Томской области) характеризуется равнинным характером течения (рис. 3.1.6), хорошо разработанной долиной и весьма подверженным к деформациям русла. Правобережная часть водосбора здесь соответствует южнотаёжной подзоне, а левобережная и подтаёжной и лесостепной.

Наиболее крупным притоком р. Чулым является р. Кия (предположительно, от тюрского слова «ки» – «скала» [173] или селькупского «кы» – «река» [83]), имеющая водосбор площадью 32200 км² и общую протяжённость 548 км, в том числе в пределах Томской области – около 60 км (рис. 3.1.7). Значительная часть стока р. Кия формируется в горно-таёжных районах Кузнецкого Алатау, а также в лесостепной зоне, протянувшейся в виде полосы между с. Чумай и

г. Мариинск в Кемеровской области. Ниже по течению от г. Мариинск преобладающими становятся южнотаёжные ландшафты.



Рис. 3.1.4. Река Томь у с. Коларово, выше г. Томск



Рис. 3.1.5. Слияние рр. Обь и Томь, весенний ледоход



Рис. 3.1.6. Река Чулым выше мостового перехода дороги Асино – Первомайское



Рис. 3.1.7. Река Кия выше мостового перехода дороги Зырянское – Тегульдэт

Севернее Чулыма (в близком к широтному направлению) протекает р. Кеть (рис. 3.1.8) – многоводный правобережный приток р. Обь. Своё название эта река, как и многие другие водотоки бассейнов Оби и Енисея, получила благодаря кетам – народу, некогда проживавшему на обширных территориях Северной Азии [82]. Площадь водосбора р. Кеть – 94200 км², длина реки – 1624 км. Большая часть водосбора (среднее и нижнее течение) расположена в границах Томской области, в подзоне южной тайги и характеризуется сильной заболоченностью.

Еще севернее (169 км ниже устья Большой Кети) в р. Обь также с правого берега впадает река Тым, протяжённость которой составляет 950 км, а площадь сильно заболоченного водосбора – 32300 км². Как и у Кети, верхнее течение р. Тым расположено в Красноярском крае, а среднее и нижнее – в Томской

области. В настоящее время это – одна из наименее освоенных человеком средних рек Западной Сибири.

Реки Васюган, Парабель и Чая являются левыми притоками р. Обь и вследствие различий в геологическом строении и дренированности водосбора, по сравнению с правыми притоками, в целом характеризуются меньшим водным стоком. Река Чая (рис. 3.1.9) образуется при слиянии рр. Парбиг и Бакчар, имеет площадь водосбора 27200 км² и протяжённость 194 км.



Рис. 3.1.8. Река Кеть, п. Белый Яр



Рис. 3.1.9. Река Чая, с. Подгорное



Рис. 3.1.10. Река Парабель у
с. Новиково



Рис. 3.1.11. Устьевой участок
р. Васюган

Водосбор реки расположен преимущественно на территории Томской области, сильно заболочен, причём сток основных притоков Чаи (рр. Икса, Бакчар, Парбиг) формируется в пределах крупнейшего в мире Васюганского болотного комплекса. Широкое распространение верховых, переходных и низинных болот определяет естественную зарегулированность стока и, как следствие, растянутое весенне-летнее половодье. Аналогичные гидрологические условия характерны и для другого притока Оби – р. Парабель (рис. 3.1.10). Эта река имеет площадь водосбора 25500 км², протяжённость – 308 км и также образуется при слиянии двух относительно крупных притоков (рр. Чузик и Кенга), формирующихся также на территории Васюганского болота. Собственно река

Васюган (рис. 3.1.11), верхнее течение которого расположено в пределах одноименного болота, отличается значительно большей протяженностью (1082 км) и площадью водосбора (61800 км²), расположенного в границах Омской, Новосибирской и Томской (основная часть) областей.

Согласно [31], из перечисленных выше водотоков к категории больших рек относятся рр. Обь, Томь, Чулым, Кеть, Васюган, Кия (по расходу воды), однако посты наблюдений за расходами воды рр. Васюган и Кеть, данные по которым использованы в рассматриваемой работе, ограничивают водосборы площадью до 50000 км². С учётом этого указанные водотоки, а также рр. Кия, Тым, Парабель, Чая, Шегарка ниже рассматриваются как «средние». Морфометрическая характеристика ряда рек (и их водосборов), использованных для гидрологического анализа, приведена в прил. 1.

По классификации Б.Д. Зайкова, реки Томской области относятся к Западно-Сибирскому типу, характеризующемуся растянутым, сравнительно невысоким половодьем, низкой зимней меженью и повышенным стоком в летне-осенний период (верховья рр. Томь и Чулым в пределах Кемеровской области и республики Хакасия – к Алтайскому типу, отличающемуся обычно гребенчатого вида половодьем, повышенным осенним и низким зимним стоком). По М.И. Львовичу, рассматриваемые водотоки отнесены к рекам с преимущественно снеговым питанием (50...80 %), водотоки горных и прилегающих к ним территорий – к рекам со смешанным питанием с преобладанием снегового. В соответствии с классификацией П.С. Кузина, в пределах Томской области выделяются следующие гидрологические районы [71]:

1) Иртышско-Енисейский район (рр. Кеть, Тым, Васюган, Парабель, Чая, Шегарка), охватывающий реки лесной зоны с весенне-летним половодьем с максимумом в начале июня, летними и осенними паводками, зимней меженью с низким водным стоком и ледоставом средней продолжительности;

2) Чумышский район (р. Яя и её притоки, а также левобережные притоки р. Томь в ее среднем течении в пределах Кемеровской области), реки которого с весенним половодьем с максимумом в начале мая, с летними и осенними паводками, зимней меженью с низким водным стоком и ледоставом средней продолжительности.

Кроме того, на территориях Ханты-Мансийского округа, Кемеровской и Новосибирской областей, Красноярского и Алтайского краёв, республик Алтай и Хакасия, на которых формируется сток основных рек Томской области, выделяются:

3) Минусинско-Чулымский район, объединяющий ряд малых и средних рек степной зоны в бассейне р. Чулым с весенним половодьем с максимумом в конце апреля – начале мая, с летними паводками, зимней меженью с низким водным стоком и ледоставом средней продолжительности;

4) район Кузнецкого Алатау, реки которого (верховье Томи, Кия, Белый Июс, Уса, Верхняя, Средняя и Нижняя Терси, Тайдон) относятся к горно-лесной зоне и характеризуются весенне-летним половодьем с максимумом в конце мая, с летними и осенними паводками, средней по водности зимней меженью, ледоставом средней продолжительностью;

5) Алтайско-Западно-Саянский район включает в себя крупные притоки р. Томь – рр. Кондома и Мрас-Су (к этому району относится ряд крупных рек обского и енисейского районов, в том числе р. Катунь), также относящиеся к горно-лесной зоне с летними и осенними паводками, зимней меженью средней водности и весенне-летним половодьем; однако максимум последнего, в отличие от района Кузнецкого Алатау, приходится не на конец, а на середину мая.

3.2. Уровенный режим и оценка затапливаемости приречных территорий

Сроки наступления фаз гидрологического режима и форма гидрографов больших, средних и малых рек Томской области достаточно сильно отличаются друг от друга. Сток главной водной артерии региона – р. Обь – зарегулирован в районе г. Новосибирск (водохранилище сезонного регулирования), что вместе с растянутым во времени притоком воды с сильно заболоченных территорий определяет сглаженную форму гидрографа и границы весенне-летнего половодья в апреле и июле – августе. Последний фактор (естественная зарегулированность) определяет также сроки наступления характерных фаз и сглаженную форму гидрографа рр. Кеть, Тым, Васюган, Парабель, Чая, Шегарка и их притоков. Гидрографы р. Томь, Чулым, Кия, значительная часть стока которой формируется в горных районах Кузнецкого Алатау и Шории, имеет более резкие очертания, а также несколько меньшую продолжительность половодья, заканчивающегося в июне – июле.

Характерные уровни воды ряда рек, на которых Росгидрометом ведутся режимные наблюдения, приведены в табл. 3.2.1. При этом следует отметить, что проверка рядов наблюдений за уровнями воды р. Обь выявила нарушение их однородности по среднему и дисперсии, а в створах у сс. Каргасок и Александровское обнаружено неслучайное уменьшение максимальных годовых уровней воды в течение последних четырех десятилетий, что объясняется регулированием стока Новосибирским водохранилищем [78].

Таблица 3.2.1

Характерные уровни воды р. Обь и ряда её притоков (обобщение данных [45–50, 103]), м

Река – пункт	Система высот	Период на- блюдений	Н _{ср.}	Н _{макс.}	Дата на- блюдения	Н _{мин.} , (отк.русло)	Дата наблю- дения	Н _{мин.} , (ледостав)	Дата на- блюдения	Н _{пойма}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Обь										
с. Победа	68,78 БС	1965–2007	72,79	77,61	04.05.1966	71,27	17-18.10.1989	71,19	22.11.1982	76,61
с. Никольское	61,20 БС-77	1977–2003	65,35	72,73	22.04.1985	63,08	19-21.10.1989	63,21	31.03.82; 21–23.02.87	71,20
с. Молчаново	59,16 БС	1932–2003	61,93	70,05	12.05.1941	59,09	12.05.1941	58,50	12.11.1955	67,86
с. Колпашево	52,62 БС-77	1914–2007	56,30	63,65	15.05.1941	53,57	03.10.1927	53,05	21–28.03.32	61,32
с. Каргасок	41,74 БС-77	1934–2007	46,50	54,37	09–10.06.41	43,61	28.10.1968	42,83	31.03.1956	52,44
с. Прохоркино	38,21 БС-77	1959–1985	36,12	48,91	08.06.1966	39,41	26.10.1968	39,36	30.10.1968	47,71
с. Александров- ское	32,24 БС-77	1935–2007	36,05	44,61	18– 20.06.1941	32,92	30.10.2003	32,66	28.03– 07.04.1956	41,24
г. Нижневар- товск (ХМАО)	29,98 БС	1972–1985	33,53	40,69	21– 24.06.1979	30,94	20-21.09.1982	30,80	12– 13.04.1982	37,98
Бассейн р. Томь										
Томь – с. Поло- мошное (Кеме- ровская обл.)	90,88 БС	1893–2007	91,75	102,17	21.04.1933	90,13	10–12.08.1901	90,03	14.11.1899	98,88

Продолжение табл. 3.2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Томь – г. Томск, г/ст	69,98 БС	1963–2007	71,07	79,23	24- 25.05.1969	68,75	20.08.1998	69,04	10.11.2000	78,88
Томь – Томск, пристань*	69,29 БС-77	1963–2007	69,49	78,23	25.05.1969	66,96	26–27.09.1989; 05.10.1998	66,67	03.04.1982	77,09
Томь – с. Козюлино	64,46 БС	1933–34, 40–2007	68,79	77,83	08.05.1941	66,60	23–25.10.1968	66,21	10.03.1934	72,66
Басандайка – п. Басандайка	80,42 БС	1970–2003	81,44	83,47	12.05.1998	81,01	09.08.1982	81,09	19.11.2000	–
Бассейн р. Чулым										
Чулым – с. Тегульдэт	123,48 БС	1894–1923, 31–45, 47– 2006	124,93	130,03	20.05.1966	123,29	23.09– 11.10.1918	123,14	22– 24.02.1901	–
Чулым – с. Зырянское	97,19 БС	1894–1923, 31–45, 47– 2007	98,64	104,07	21.05.1966	97,00	23.09– 11.10.1918	96,85	11.02– 23.03.1900; 22– 24.02.1901	–
Чулым – с. Батурино	71,19 БС	1936–2006	75,29	82,04	02– 03.06.1941	73,23	22.10.1943	72,92	31.10.1943	–
Кия – с. Окунеево	96,26 м БС-77	1933–1997	101,20	106,73	13.05.1933	99,77	6–9.09.1962	99,93	30.10.1951	–

Продолжение табл. 3.2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Четь – с. Конторка	118,75 БС	1960–2003	120,20	126,51	16– 17.05.1966	119,26	28.08– 16.09.1969	119,36	19.10.1981	–
Бассейн р. Чая										
Чая – с. Подгорное	60,69 БС	1933–2007	62,90	72,94	28.05.1941	60,77	05–17.09.1933	60,99	21– 28.02.1933	72,29
Бакчар – с. Полынянка	94,51 БС	1974–2003	96,42	102,01	15.05.1998	95,52	15–16.08.1999	95,53	31.12.1999 04.03.2000	–
Бакчар – с. Гореловка	68,38 БС	1959–1985	70,93	80,25	18.05.1979	70,01	06–08.07.1982	70,07	18– 20.04.1983	77,28
Ключ – с. Полынянка	98,65 БС	1972–1996	–	101,08	11.05.1979	прсх	100 %	Прмз	100%	103,65
Андарма – с. Панычево	92,03 БС	1950–1985	93,57	99,92	07.05.1985	92,73	06–08.07.1968	92,77	12.11.1967	–
Икса – с. Плотниково	99,08 БС	1933–44, 47–2007	100,67	107,72	21– 22.05.1941	99,73	26.07– 01.08.1977	99,56	17– 18.04.1979	–
Бассейн р. Кеть										
Кеть – с. Усть– Озерное	93,51	1932–2007	95,94	102,34	27– 28.05.2002	94,37	23.09– 04.10.1982	94,26	11.10.1982	–
Кеть – п. Мак– симкин Яр	84,44 БС	1936–2003	87,12	93,14	31.05– 01.06.2002	85,66	26.09.1940	85,51	18.10.1964	–

Продолжение табл. 3.2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кеть – д. Родионовка	57,60 БС	1932–2006	61,45	65,73	06.06.1979	60,14	09–27.10.1932	59,92	22.10.1952	–
Пайдугина – с. Березовка	72,81 БС	1948–1985	75,09	80,99	10– 11.06.1983	73,83	13–14.09.1955	74,01	27.10.1951	78,81
Бассейн р. Парабель										
Парабель – с. Новиково	58,41 БС	1932–2006	61,32	69,72	02.06.1941		27.08– 09.02.1940		16.10.1940	66,91
Кенга – п. Центральный	79,08 БС	1942–1985	82,42	88,59	09.05.1947	81,27	24–25.07.1982	81,37	09– 28.10.1982	87,28
Чузик – с. Пудино	78,11 БС	1978–2003	80,08	86,28	08.05.1999	79,26	24–26.08.1995	79,27	26.10.1995 19.04.1996	84,61
Чузик – п. Осипово	41,96 усл.	1955–1985	44,57	50,72	23– 24.05.1975	43,18	25–28.08.1968	43,18	16.10.1968	49,26
Бассейн р. Васюган										
Васюган – п. Майск	82,41 БС	1955–1997	84,64	92,74	8.05.1990	83,37	2–6.08.1989	83,46	31.10– 2.11.1995	92,01
Васюган – п. Новый Васюган	62,70 БС	1960–2006	65,12	74,10	20– 21.05.1999	63,25	03–06.08.1989	63,32	21.10.1966	71,60

Продолжение табл. 3.2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Васюган – с. Средний Ва- сюган	52,64 БС	1934–2007	55,36	61,38	29.05– 01.06.1999	53,00	20–22.08.1989	53,22	04.11.1988	57,54
Васюган – с. Наунак	40,28 усл.	1934–1985	42,88	49,06	11– 12.06.1941	40,92	09–10.09.1968	40,92	15.10.1966; 27– 28.10.1968	46,38
Горчак – п. Майск	86,89 БС	1967–1996	89,51	92,50	07.05.1971	88,88	10–15.07.1968	прмз	15.12.1966– 15.04.1967; 10.02– 18.05.1969	90,89
Нюролька – с. Мыльджино	51,57 БС	1963–1997	53,48	58,91	30.05– 2.06.1996	52,12	28.08– 1.09.1988	52,25	19– 21.10.1968	57,37
Вачев – с. Мыльджино	54,57 БС	1967–1996	55,68	58,91	31.05.1996	55,07	24.07– 8.09.1989	55,17	25.10– 3.11.1988	57,67
Бассейн р. Тым										
Тым – с. Ванжиль– Кынак	91,04 БС–77	1948–1985	93,06	98,26	11.06.1983	92,07	06–09.09.1964; 23–26.08.1967	91,99	07.10.1962	97,14
Тым – с. Напас	60,58 БС–77	1937–2007	63,84	68,38	20.06.1983	62,62	22.08– 02.09.1938	62,49	04.11.1967	67,08

Продолжение табл. 3.2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сангилька – п. Киевский	40,00 усл.	1974–1996	44,30	50,27	15– 16.06.1983	43,19	10–17.09.1982	43,24	2–5.05.1992	49,70
Польта – с. На- пас	62,38 БС–77	1980–1996	64,15	68,84	19–20. 06.1983	63,08	7–15.09.1982	63,06	26.10.1991	–
Бассейн р. Шегарка										
Шегарка – с. Пономаревка	118,40 БС	1947–1985	119,38	124,62	18.04.1973	118,36	13–16.07.1977	прмз	21.12.54 – 30.03.1955	–
Шегарка – с. Бабарыкино	89,10 БС	1933–2003	90,17	101,75	20–21.04.97	88,75	29.10– 02.11.____	88,73	03–04.04.00	–

Примечания: $H_{\text{ср.б}}$ – средний многолетний; $H_{\text{макс.}}$ – максимальный наблюдаемый уровень воды; $H_{\text{макс. (открытой русло)}}$ – минимальный наблюдаемый уровень воды за период открытого русла; $H_{\text{макс. (ледостав)}}$ – минимальный наблюдаемый уровень воды за зимний период; $H_{\text{пойма}}$ – минимальный уровень выхода воды на пойму в районе водпоста; * по данным ЗУГМС, максимальный уровень воды на р. Томь в г. Томск за весь период наблюдений составляет 1103 см

Нарушения однородности обнаружены и при соответствующей проверке рядов наблюдений на р. Томь. Это, предположительно, связано со снижением вероятности образования зажоров и заторов у г. Томска вследствие русловой добычи песчано-гравийного материала в 1950–1980 гг., и, следовательно, уменьшением продолжительности и мощности наводнений. Однако после прекращения в середине 1980-х добычи ПГМ в русле р. Томь у г. Томск опять наметилась определенная тенденция к увеличению максимальных уровней воды, в явном виде не связанная с изменением водного стока [78]. С учётом указанных фактов в ОАО «Томскгеомониторинг» с уровнем значимости 5 % были установлены границы однородных периодов, в пределах которых рассчитаны максимальные уровни воды рр. Обь и Томь с обеспеченностью 1, 5, 10, 50, 90, 95 и 99 % (табл. 3.2.2).

Необходимо отметить, что большое количество населенных пунктов на территории Томской области приурочено к речным долинам и потому в большей или меньшей степени подвержено процессам затопления в период весеннего половодья. При этом в зоне затопления ежегодно оказывается не менее 300 человек, что, согласно [115], соответствует, по крайней мере, «местной» чрезвычайной ситуации. Соответственно, возникает необходимость достоверной оценки подверженности затоплению земель, на которых имеются или проектируются жилые и производственные объекты и ведется какая-либо хозяйственная деятельность. Однако обычные методы подобной оценки с проведением широкомасштабных топогеодезических и гидрометрических работ связаны с очень значительными временными и финансовыми затратами и в условиях труднодоступной местности недостаточно эффективны. Поэтому требуется иной подход к решению данной проблемы. Очевидно, что он должен опираться на использование материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и современные информационные технологии обработки последних. В сочетании с анализом результатов гидрологических и топогеодезических работ это позволяет провести оценку подверженности затоплению больших по протяженности участков речных долин.

Именно такой подход и был использован автором совместно с В.А. Льготиным, А.А. Скугаревым и В.А. Базановым в процессе оценки подверженности затоплению территорий, прилегающих к рр. Обь и Томь в пределах Томской области. На его основе была разработана методика, включавшая: 1) гидрологические расчеты по определению максимальных уровней воды рр. Обь и Томь обеспеченностью 1, 5, 10, 50, 90 % (табл. 3.2.2) и обеспеченности длительности затопления поймы р. Обь (рис. 3.2.1); 2) топогеодезические работы, гидрографическое обследование локальных участков речных долин и определение эталонных участков для проведения дешифрирования 3) дешифрирование космоснимков; 4) картографическое отображение подверженности приречных территорий затоплениям [161, 228].

Таблица 3.2.2.

Характерные максимальные годовые (срочные) уровни воды рр. Обь и Томь за
однородные периоды [78], м БС

Пункт	Период	Обеспеченность, %				
		1	5	10	50	90
с. Победа	1966-2002	78,29	77,79	77,43	76,06	74,34
с. Молчаново	1894-2002	70,02	69,57	69,13	68,15	66,99
с. Молчаново	1894-1956	70,2	69,65	69,28	68,54	67,26
с. Молчаново	1957-2002	69,76	69,08	68,65	67,88	66,6
с. Могочино	1948-1987	67,95	67,24	66,93	66,01	64,58
с. Могочино	1948-1956	67,95	67,12	66,91	66,17	65,34
с. Могочино	1958-1987	68,38	67,36	66,96	66,04	64,52
г. Колпашево	1914-2002	64,07	63,35	62,91	62,01	60,75
г. Колпашево	1914-1956	64,54	63,7	63,24	62,32	61,2
г. Колпашево	1958-2002	63,23	62,71	62,45	61,76	60,46
с. Каргасок	1935-2001	54,73	54	53,48	52,64	51,49
с. Каргасок	1935-1956	55,36	54,5	53,86	52,79	51,72
с. Каргасок	1958-2001	54,58	53,86	53,45	52,52	51,28
с. Александровское	1936-2001	45,02	43,87	43,29	42,05	41,09
с. Александровское	1936-1956	46,22	44,42	44,02	42,43	41,13
с. Александровское	1957-2001	44,96	43,64	43,17	41,85	40,82
с. Поломошное	1894-2002	102,2	98,88	98,52	96,66	95,63
с. Поломошное	1894-1949	103,62	99,06	98,74	96,84	95,64
с. Поломошное	1950-2002	100,71	98,93	98,36	96,63	95,48
г. Томск, гидроствор	1964-2002	80,05	78,97	78,42	76,93	75,29
г. Томск, гидроствор	1964-1986	80,46	79,25	78,68	77,11	75,83
г. Томск, гидроствор	1987-2002	79,23	78,23	77,85	76,04	75,11
г. Томск, пристань	1918-2002	80,36	79,9	79,29	77,06	74,98
г. Томск, пристань	1918-1949	80,76	80,21	79,94	78,57	76,57
г. Томск, пристань	1950-1986	79,31	78,6	78,31	76,38	74,95
г. Томск, пристань	1987-2002	77,43	76,96	76,67	75,19	74,42
с. Козюлино	1933-2002	76,99	74,1	73,61	72,51	71,02
с. Козюлино	1933-1956	77,9	75,42	73,9	73,15	71,96
с. Козюлино	1957-2002	74,53	74,14	73,86	72,23	70,32

Основной акцент в исследованиях сделан на дешифрирование космоснимков (методика дешифрирования приведена [161]). Первый и второй виды работ имеют подчиненный характер и направлены, прежде всего, на разработку алгоритма автоматической классификации микроландшафтов речных долин и увязку их встречаемости с обеспеченностью затопления. На наличие подобных связей, являющееся, по сути, базовым принципом рассматриваемой работы, указывает-

ся в работах многих специалистов в области геоморфологии, гидрологии и геоэкологии. И действительно, сосна, ель и осина в основном встречается на относительно возвышенных участках речных долин, мало подверженных затоплению (по крайней мере, длительному), тогда как ива может расти на ежегодно затопляемых участках поймы. Само же образование возвышенных и пониженных участков долин является одним из этапов русловых и пойменных процессов, в ходе которых происходит механическая и химическая эрозия дна и склонов долин и перераспределение продуктов эрозии в плане, перемещение речных русел, образование стариц, постепенное заболачивание последних и так далее.

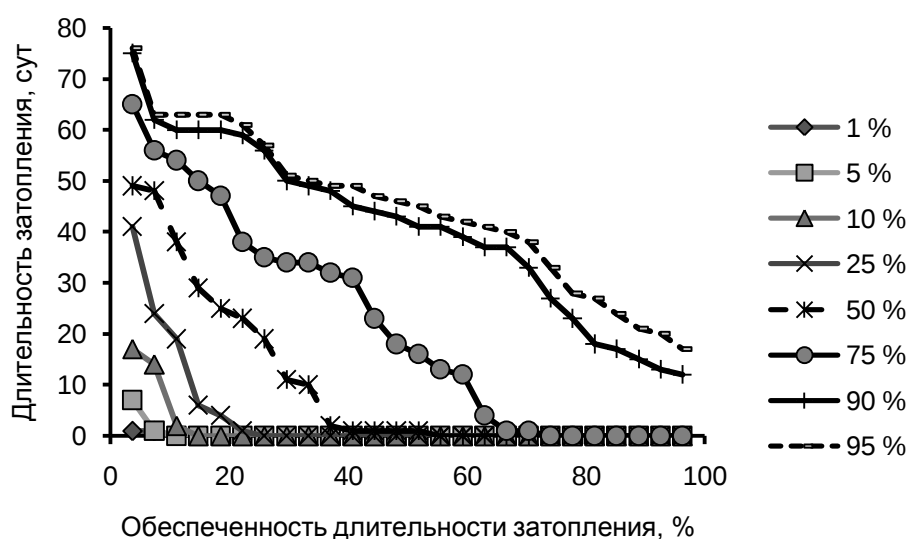


Рис.3.2.1. Эмпирические кривые обеспеченности продолжительности затопления поймы р. Оби у г. Колпашево за период 1958–2002 гг.

В то же время, очевидно, что между встречаемостью микроландшафтов речных долин и их затопляемостью нет однозначного соответствия. При экстремально высоких половодьях, ледовых заторах и зажорах, заломах могут затопливаться и самые возвышенные участки, а ива и болотная растительность может появляться на переувлажненных территориях, практически никогда не затапливаемых речными водами. Это обстоятельство предопределяет некоторые неизбежные неточности установления границ участков речных долин, в разной степени подверженных затоплению, а также необходимость проведения гидрологических и топогеодезических работ и дальнейших исследований в части усовершенствования методов дистанционного зондирования Земли и дешифрирования полученных при этом результатов.

В результате анализа гидрологической информации, материалов топогеодезических работ и гидрографического обследования приречных территорий были установлены дешифровочные признаки и рассчитан коэффициент ранго-

вой корреляции Спирмена между распространенностью микроландшафта на 30 эталонных участках и диапазоном обеспеченности уровней воды, при котором затопливается данный микроландшафт. Коэффициент корреляции составил 0,9, а его критическое значение при уровне значимости 5 % – 0,3, что подтверждает возможность использования геоботанических и ландшафтных показателей для оценки подверженности земель затоплению. В целом, в долинах рр. Обь и Томь в пределах Томской области были определены следующие объекты: 1) меженные русла рек, острова, осередки и косы (со слабой растительностью или без нее, заливаемые в период повышенной водности); 2) болота и заболоченные переувлажненные земли; 3) луга с сенокосами, пастбища; 4) высокотравные луга, участки, занятые осокой; 5) участки, поросшие кустарником (обычно ивой); 6) пашни и участки без растительности; 7) участки, поросшие березой; 8) участки, поросшие осиной, березой и тополем; 9) участки, занятые смешанным (лиственным и хвойным) лесом; 10) территории населенных пунктов.

С учетом данных топогеодезических работ и гидрологических расчетов были выделены водные объекты и следующие группы микроландшафтов с характерными для них уровнями затопляемости на территории долины р. Обь ниже устья р. Томь: 1) луга, участки без растительности и занятые кустарником – обеспеченность уровня затопления более 90 %; 2) участки, занятые березой – обеспеченность уровня затопления 75...90 %; 3) участки, занятые осиной, березой и тополем – обеспеченность уровня затопления 50...75 %; 4) участки, занятые смешанным лесом – обеспеченность уровня затопления менее 50 %. Для долин р. Томь и р. Обь выше устья р. Томь, соотношения между уровнями затопления и различными формами микроландшафтов с характерной для них растительностью несколько иные: 1) луга, участки без растительности, занятые кустарником и березой – обеспеченность уровня затопления 10...50 %; 2) участки, занятые осиной, березой и тополем, смешанным лесом – обеспеченность уровня затопления 0...10 %; 3) участки островов без растительности, косы – обеспеченность уровня затопления более 90 %.

Анализ пространственного распределения указанных групп микроландшафтов позволил охарактеризовать участки р. Обь ниже по течению от г. Колпашево как наиболее опасные. При максимальном уровне обеспеченностью 1 % приречные территории на этом участке могут быть затоплены почти полностью, но реально этого не происходит из-за того, что максимальные уровни воды обычно связаны с ледовыми заторами или зажорами, как правило, ограниченными в пространстве. На р. Обь южнее г. Колпашево и на р. Томь угроза затопления приречных территорий несколько ниже, но всё же весьма существенна и должна обязательно учитываться в водохозяйственной практике [78]. Более редкие, чем на р. Обь, случаи затопления повышенных участков поймы и низких участков долины р. Томь создают ложное ощущение безопасности их застройки, активизировавшейся в последние годы. В результате примерно раз в три – четыре года

возникают чрезвычайные ситуации, связанные с затоплением домов и дач, которые построены преимущественно в 2000-е гг. Предупреждение подобных ситуаций как на р. Томь, так и на других реках Томской области, может проводиться в четырёх направлениях: 1) ужесточение контроля за хозяйственной деятельностью в водоохранных зонах вплоть до выноса жилых объектов за пределы поймы; 2) строительство новых и реконструкция существующих ограждающих дамб в черте населенных пунктов; 3) проведение руслоисправительных работ в целях исключения образования или уменьшения мощности ледовых заторов и зажоров – главной причины затопления приречных территорий; 4) систематическое информирование населения и предприятий о рисках строительства в речных поймах [161, 228].

3.3. Водный сток и водный режим

Водный сток рек Томской области варьирует в весьма широком диапазоне (табл. 3.3.1). Его пространственные изменения подчиняются широтной зональности (рис. 3.3.1) и отражают основные закономерности распределения по территории элементов водного и теплоэнергетического балансов [88, 98, 129]. Кроме пространственных изменений, для водного стока характерны изменения во времени, представляющие собой комплекс пяти компонент: 1) тренда или долгосрочного изменения; 2) регулярных колебаний относительно тренда; 3) сезонных изменений; 4) суточных изменений; 5) случайных колебаний. В рамках данной работы наибольший интерес представляет первый из перечисленных видов временных изменений, в связи с чем был проведен анализ гидрометрических рядов на однородность и случайность. Его целью являлось уточнение или получение сведений о норме суммарного годового водного стока, его внутригодовом распределении и подземной составляющей, сложившихся за статистически однородные периоды, а также выявление тенденций изменения среднегодовых и среднемесячных расходов воды р. Обь и её притоков [58, 147]. В результате были выявлены уменьшение годового стока р. Обь и увеличение зимнего стока большинства крупных её притоков на территории Томской области (табл. 3.2.2).

Как указывалось выше, в конце 1950-х гг. на р. Обь было введено в эксплуатацию Новосибирское водохранилище сезонного регулирования, но выявленное у г. Колпашево очень значительное уменьшение стока связывать с этим фактом вряд ли корректно. В работе [85] упоминается о выявленной её авторами систематической 15 %-ой погрешности определения расходов воды р. Обь у г. Колпашево до 1962 г., что примерно и соответствует $650...700 \text{ м}^3/\text{с}$, но при этом ничего не было сказано о природе этой погрешности и её внутригодовом распределении. С учётом этого обстоятельства и, самое главное, регулирования стока р. Обь Новосибирским водохранилищем, при проведении гидрологиче-

ских расчетов целесообразно рассматривать не весь ряд наблюдений (с 1915 г.), а только его часть, соответствующую установившемуся режиму регулирования стока и единообразной методике наблюдений, то есть после 1962 г. В пределах этого периода значимые тренды годового стока и нарушения однородности рядов по среднему и дисперсии среднегодовых расходов воды не выявлены.

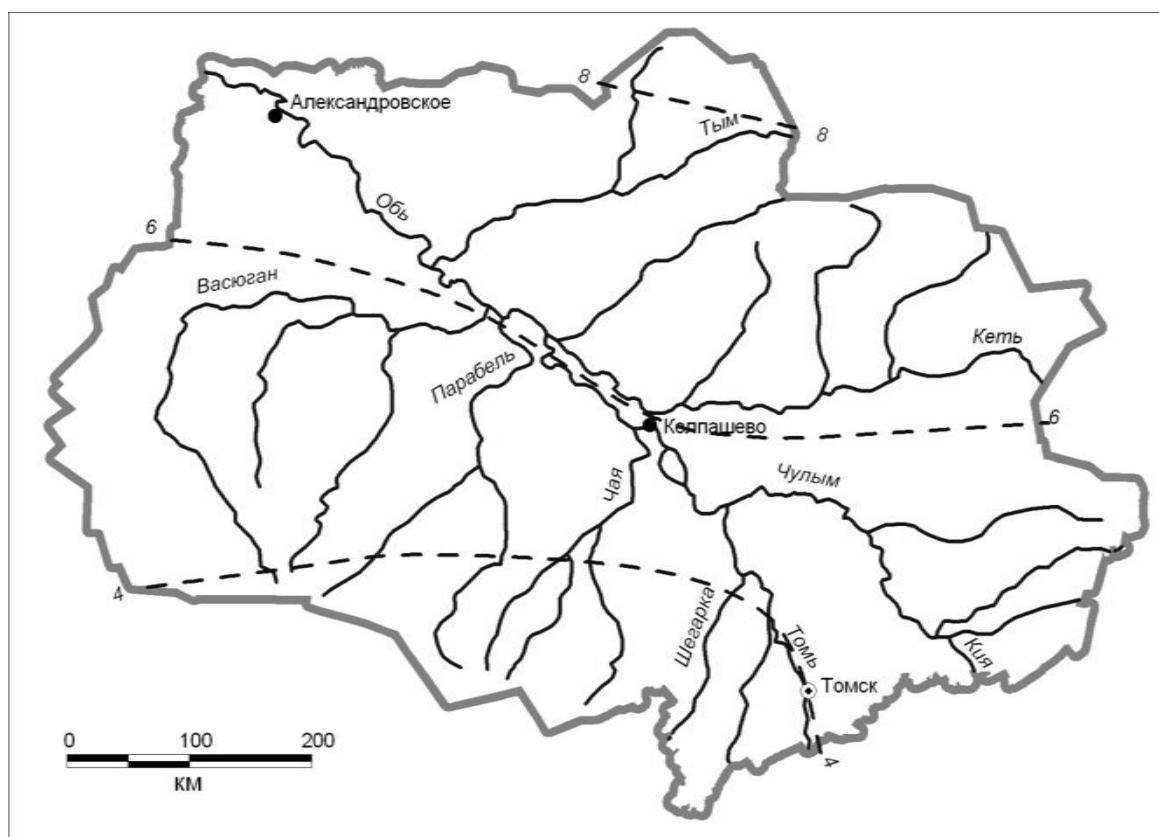


Рис. 3.3.1. Модуль водного стока средних рек Томской области, л/(с·км²)

Следует отметить, что ранее нами было выявлена неоднородность рядов годового стока р. Томь у г. Томск, также связанная с проблемами методики измерения [58, 147]. Гидрометрические наблюдения на р. Томь в г. Томск проводятся с 1918 г., но до 1941 г. расходы воды, преимущественно, не измерялись, а рассчитывались по зависимостям от уровня воды.

Таблица 3.3.1

Характерные расходы воды р. Обь и её притоков на территории Томской области (обобщение данных Росгидромета [44–50] без учёта неоднородности рядов наблюдений)

Река – пункт	Период наблюдений, использованных для расчёта	Норма стока, м ³ /с	Максимальный расход		Минимальный расход открытого русла		Минимальный расход ледостава	
			расход воды, м ³ /с	дата наблюдения	расход воды, м ³ /с	дата наблюдения	расход воды, м ³ /с	дата наблюдения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обь								
г. Новосибирск – ГЭС (норма за 1959–2004 гг. [30])	1958–2004	1566	9670	03.05.1958	–	–	201	29.12.1963
с. Колпашево	1915–2007	3920	29800	15.05.1941	1490	22.10.1989	522	30.03–03.04.1932
с. Прохоркино	1960–1985	5140	22400	12–14.06.1985	2350	26.10.1968	955	23–24.03.1982
Бассейн р. Томь								
Томь – г. Томск	1918–70, 72–2007	1130	13600	13.05.1930; 14.05.1937	117	13–14.08.1974	52,6	22.11.1934
Басандайка – п. Басандайка	1971–2003	2,69	91,9	12.05.1998	0,20	27.08.1976; 09–10.08.1977	0,20	28.02.1974; 10.02.1984

Таблица 3.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бассейн р. Чулым								
Чулым – с. Тегульдет	1932–34, 36–45, 48–2006	290	2050	22.05.1937	90,8	03.09.1996	26,5	19.03.1969
Чулым – с. Зырянское	1931–42, 44–2006	558	3730	04.06.1975; 17–18.05.01	142	20.09.1945	43,9	02.12.1978
Чулым – с. Батурино	1936–2006	782	8220	02– 03.06.1941	229	22.10.1943	108	03– 09.03.1940
Кия – г. Мариинск	1936–2007	148	3450	18.05.1958	11,5	19.08.1965	1,95	25.12.1944
Кия – с. Окунеево	1936, 57–97	168	(1570)	15.05.1964	19,5	12– 17.10.1989	9,43	11.03.1974
Четь – с. Конторка	1961–2003	48,0	806	11.05.1973	12,7	26.08– 05.09.1965	6,51	29.02.1964
Бассейн р. Чая								
Чая – с. Подгорное	1933–39, 46, 47, 53–2007	78,7	1150	27.05.1998	12,3	22.10.1968	12,5	16.03.1968
Бакчар – с. Полынянка	1974–2003	5,1	128	15.05.1998	0,027	17.07.1990	0,012	14– 17.03.1985
Бакчар – с. Гореловка	1959–1985	17,9	314	18.05.1979	2,76	29.06– 01.07.1982	1,65	15– 19.02.1980
Ключ – с. Полынянка	1973–77, 78–96	0,18	8,03	18.04.1973	нет	–	нет	–

Таблица 3.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Икса – с. Плотниково	1933–44, 47–58, 60–2007	7,18	242	16–17.05.1998	0,082	12.07.1955	0,077	28.01–09.02.1962
Бассейн р. Кеть								
Кеть – п. Максимкин Яр	1937–1985	243	2300	16.06.1941	86,0	07–14.10.1943; 20–22.09.1944	34,0	25–28.03.1975
Кеть – д. Родионовка	1932–35, 55–85	477	3020	06.06.1979	205	13.09–07.10.1982	90,5	20.11.1980
Пайдугина – с. Березовка	1955–1985	50,7	556	23–24.05.1979	18,0	13–14.09.1955	10,5	01.05.1966
Бассейн р. Парабель								
Парабель – с. Новиково	1957–1985	71,4	698	28–29.05.1975	18,2	17.10.1968	11,7	14–17.03.1981
Кенга – п. Центральный	1954–1985	24,5	292	26–27.05.1985	6,35	08–26.08.1983	4,82	31.01–01.02.1969
Чузик – п. Осипово	1956–1985	27,6	250	09–10.05.1973	6,10	25–28.08.1968	4,16	27–28.03.1969
Бассейн р. Васюган								
Васюган – п. Майск	1955–1997	15,1	258	8.05.1990	0,93	3–9.10.1997	0,53	1–11.03.1955

Таблица 3.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Васюган – п. Новый Васюган	1960–2006	85,9	850	15.05.1999	10,8	27.07– 08.08.1982	3,0	22.11.1965
Васюган – с. Средний Васюган	1936–96, 98– 2005	162	993	29.05– 01.06.1999	28,2	20– 22.08.1987	9,68	24– 27.03.1937
Горчак – п. Майск	1973–1996	0,56	21,7	13.05.1984	0,030	9–14. 09.1995	0,016	30.01.1974
Нюролька – с. Мыльджино	1963–1997	44,4	370	28.05.1966	10,2	16–17. 07.1995	5,3	18– 19.03.1969
Вачев – с. Мыльджино	1972–1996	1,17	27,7	23.05.1996	0,18	24.07– 8.08.1989	0,063	27– 28.01.1977
Бассейн р. Тым								
Тым – Ванжиль–Кынак	1954–1985	80,9	964	11.06.1983	32,1	23–26.08.67	3,48	17.11.1955
Тым – с. Напас	1937–2007	194	1360	20.06.1983	79,8	28.08.1938	30,2	09.11.1955
Сангилька – п. Киевский	1975–1996	33,4	412	15– 16.06.1983	11,9	15.10.1988	9,98	11–12. 03.1985
Польта – с. Напас	1980–1996	9,81	76,6	11.05.1994	<0,001	11.05 – 2.06.1991	1,98	2.05.1995
Бассейн р. Шегарка								
Шегарка – с. Бабарыкино	1953–2003	17,3	468	23– 24.04.1973	0.77	18.10.1955	0,55	27– 29.11.1955

Причем в недостаточной мере учитывались подпорные явления, вследствие чего значения годовых и весенних расходов оказались завышенными [56]. После 1941 г. стали проводиться регулярные измерения расходов воды, и их значения закономерно уменьшились (в табл. 3.3.2 приведены данные с 1937 г. с целью получения общей картины изменения гидрологических условий в регионе).

Таблица 3.3.2

Результаты проверки на однородность и случайность среднесезонных и среднегодовых значений расходов речных вод

Расчётный интервал	Период	$A, \text{м}^3/\text{с}$	$\sigma, \text{м}^3/\text{с}$	$Sk/Sk_{5\%}$	$Fk/Fk_{5\%}$	$Pk/Pk_{5\%}$	$k_1, \text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{год})$
1	2	3	4	5	6	7	8
р. Обь – г. Колпашево							
Средний расход воды за апрель – июнь	1937 – 2007	8236	1646	1,64	0,81	-2,28	-42,5
	1937 – 1969	9088	1618	–	–	-1,17	-74,1
	1970 – 2007	7496	1286	–	–	-0,22	–
Средний расход воды за июль – ноябрь	1937 – 2007	3365	814	1,48	1,65	-1,41	-14,3
	1937 – 1969	3683	961	–	–	-0,46	–
	1970 – 2007	3088	535	–	–	0,05	–
Средний расход воды за декабрь – март	1937 – 2007	1158	181	0,53	0,69	-0,62	–
	1937 – 1969	1186	195	–	–	0,15	–
	1970 – 2007	1134	167	–	–	-0,59	–
Средний расход воды за апрель – март	1937 – 2007	3847	694	1,50	1,30	-2,13	-17,1
	1937 – 1969	4202	747	–	–	-0,85	–
	1970 – 2007	3539	468	–	–	-0,20	–
р. Томь – г. Томск							
Средний расход воды за апрель – июнь	1937 – 2007	2877	587	0,20	0,92	0,13	–
	1937 – 1969	2847	676	–	–	0,02	–
	1970 – 2007	2904	505	–	–	-0,08	–
Средний расход воды за июль – ноябрь	1937 – 2007	622	167	0,01	0,83	-0,20	–
	1937 – 1969	622	189	–	–	-0,52	–
	1970 – 2007	622	148	–	–	-0,01	–
Средний расход воды за декабрь – март	1937 – 2007	184	55	0,14	3,01	-0,02	–
	1937 – 1969	182	74	–	–	-0,90	–
	1970 – 2007	186	31	–	–	1,22	1,2
Средний расход воды за апрель – март	1937 – 2007	1040	172	0,18	1,14	0,03	–
	1937 – 1969	1032	206	–	–	-0,28	–
	1970 – 2007	1047	138	–	–	0,00	–

Продолжение табл. 3.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
р. Чулым – с. Батурино							
Средний расход воды за апрель – июнь	1937 – 2007	1851	392	0,24	0,67	-0,37	–
	1937 – 1969	1877	421	–	–	-0,06	–
	1970 – 2007	1829	369	–	–	-0,43	–
Средний расход воды за июль – ноябрь	1937 – 2007	590	149	0,09	0,56	0,03	–
	1937 – 1969	594	153	–	–	-0,12	–
	1970 – 2007	585	147	–	–	0,42	–
Средний расход воды за декабрь – март	1937 – 2007	229	56	1,10	1,64	2,05	1,3
	1937 – 1969	207	35	–	–	0,23	–
	1970 – 2007	249	63	–	–	1,39	2,7
Средний расход воды за апрель – март	1937 – 2007	785	147	0,02	0,56	-0,01	–
	1937 – 1969	786	152	–	–	-0,08	–
	1970 – 2007	784	145	–	–	0,08	–
р. Кеть – с. Максимкин Яр							
Средний расход воды за апрель – июнь	1937 – 2007	539	132	0,52	0,67	-0,52	–
	1937 – 1969	557	123	–	–	0,43	–
	1970 – 2007	523	140	–	–	-0,58	–
Средний расход воды за июль – ноябрь	1937 – 2007	192	61	0,24	0,51	0,63	–
	1937 – 1969	188	62	–	–	0,48	–
	1970 – 2007	196	62	–	–	0,59	–
Средний расход воды за декабрь – март	1937 – 2007	83	21	1,53	1,69	1,59	0,4
	1937 – 1969	75	13	–	–	0,65	–
	1970 – 2007	90	24	–	–	0,46	–
Средний расход воды за апрель – март	1937 – 2007	242	49	0,01	0,57	0,18	–
	1937 – 1969	242	51	–	–	0,57	–
	1970 – 2007	242	48	–	–	-0,03	–
р. Тым – с. Напас							
Средний расход воды за апрель – июнь	1937 – 2007	391,9	81,4	1,21	0,92	0,69	–
	1937 – 1969	365,2	65,1	–	–	-0,15	–
	1970 – 2007	415,1	87,6	–	–	-0,59	–
Средний расход воды за июль – ноябрь	1937 – 2007	176,8	54,7	0,69	0,78	0,47	–
	1937 – 1969	164,5	47,5	–	–	-0,28	–
	1970 – 2007	187,4	58,8	–	–	-0,27	–
Средний расход воды за декабрь – март	1937 – 2007	69,5	13,2	2,13	1,49	2,62	0,4
	1937 – 1969	61,5	7,6	–	–	1,40	0,4
	1970 – 2007	76,4	13,1	–	–	0,27	–

Продолжение табл. 3.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
Средний расход воды за апрель – март	1937 – 2007	194,8	37,5	1,13	0,75	0,93	–
	1937 – 1969	180,4	31,4	–	–	-0,15	–
	1970 – 2007	207,4	38,1	–	–	-0,48	–
р. Икса – с. Плотниково							
Средний расход воды за апрель – июнь	1937 – 2007	20,5	13,0	0,29	0,79	0,14	–
	1937 – 1969	19,3	11,5	–	–	-1,19	-0,54
	1970 – 2007	21,5	14,3	–	–	0,40	–
Средний расход воды за июль – ноябрь	1937 – 2007	4,2	4,5	0,26	0,52	-0,66	–
	1937 – 1969	4,5	4,5	–	–	-1,78	-0,28
	1970 – 2007	3,9	4,6	–	–	0,14	–
Средний расход воды за декабрь – март	1937 – 2007	0,6	0,7	0,85	3,74	1,33	0,01
	1937 – 1969	0,4	0,3	–	–	-0,43	–
	1970 – 2007	0,8	0,8	–	–	0,67	–
Средний расход воды за апрель – март	1937 – 2007	7,1	4,4	0,17	0,72	-0,02	–
	1937 – 1969	6,9	4,0	–	–	-1,82	-0,25
	1970 – 2007	7,4	4,8	–	–	0,51	–
р. Васюган – с. Средний Васюган							
Средний расход воды за апрель – июнь	1937 – 2007	345	115	0,31	1,60	-0,87	–
	1937 – 1969	355	79	–	–	-0,07	–
	1970 – 2007	336	140	–	–	-1,31	-5,7
Средний расход воды за июль – ноябрь	1937 – 2007	138	72	0,12	0,59	-0,20	–
	1937 – 1969	141	76	–	–	-0,09	–
	1970 – 2007	136	70	–	–	-0,15	–
Средний расход воды за декабрь – март	1937 – 2007	43	20	0,81	3,35	2,51	0,6
	1937 – 1969	34	9	–	–	0,66	–
	1970 – 2007	50	24	–	–	1,75	1,2
Средний расход воды за апрель – март	1937 – 2007	158	46	0,05	0,55	-0,36	–
	1937 – 1969	159	45	–	–	-0,05	–
	1970 – 2007	157	47	–	–	-0,75	–

Изменения водного стока выявлены также и для рр. Чулым, Кеть, Тым, Васюган, Икса (табл. 3.3.2). Общей особенностью многолетних изменений водного стока перечисленных рек является увеличение средних за декабрь – март расходов воды. Кроме того, отмечено уменьшение весеннего и летне-осеннего стока р. Икса в 1930–1960-е гг. и весеннего стока р. Васюган в 1970–2000-е гг. Причиной этого явления может быть смещение границ гидрологических сезонов. В целом, годовой сток большинства притоков р. Обь в Томской области в течение 1930–2000-х гг. остаётся статистически постоянным, однако для оценки его внутригодового распределения целесообразно использовать более короткие ря-

ды, установленные за статистически однородные периоды и удовлетворяющие конкретным задачам водохозяйственных и гидрологических расчётов. В табл. 3.3.3 представлены данные о среднемесячных расходах наиболее крупных рек на территории Томской области за 1970–2000-е гг.

Максимальные расходы воды основных рек Томской области связаны со снеготаянием. Дождевые максимумы, как правило, значительно меньше снеговых [129]. Наибольшие расходы воды р. Обь в южной части Томской области обычно наблюдаются в середине мая, в северной части – конце мая – первой половине июня. Наблюдённый максимум у г. Колпашево составляет $29800 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимум расхода воды р. Томь в створе г. Томск – $13600 \text{ м}^3/\text{с}$, что более чем в десять раз превышает норму стока (табл. 3.3.1). Наибольший сток этой реки в среднем приурочен к первой половине мая. Несколько позже (обычно – в конце мая) фиксируются максимальные расходы воды р. Чулым, достигающие $9220 \text{ м}^3/\text{с}$ у с. Батурино. При этом следует отметить, что из-за различий в условиях формирования максимального стока в разных частях водосбора этой реки наибольшие расходы воды на рр. Чулым, Кия, Четь, Яя, Чичка-Юл, Аргат-Юл и других могут наблюдаться в интервале более двух недель. Наибольший среди притоков Чулыма максимальный расход воды отмечен на р. Кия ($3450 \text{ м}^3/\text{с}$ в 1958 г.). На прочих притоках р. Обь даты прохождения максимумов половодья в среднем приурочены ко второй половине мая – первой половине июня. Максимумы изменяются от $700\ldots 1000 \text{ м}^3/\text{с}$ на рр. Чая, Парабель и Васюган до $1300\ldots 3000 \text{ м}^3/\text{с}$ на рр. Тым и Кеть (табл. 3.3.1).

Минимальный сток обычно наблюдается в феврале – марте, но в ряде случаев очень низкие расходы воды были отмечены и в начале зимнего периода (табл. 3.3.1). Минимальные расходы периода открытого русла обычно превышают соответствующие показатели для ледостава примерно в 1,5–2,0 раза и достаточно часто приурочены к концу августа – началу сентября. На малых реках с заболоченными водосборами меженный сток может быть исчезающее мал или вовсе отсутствовать (пример – р. Ключ – элемент речной сети Ключ - Бакчар – Чая – Обь; табл. 3.3.1). Особо следует отметить, что весьма незначительные меженные расходы воды могут наблюдаться и на полноводных реках в южной части Томской области, основной сток которых формируется в Кузнецком Алатау и Горной Шории. В частности, в 1934 г. на р. Томь у г. Томск зафиксирован расход воды в размере $52,6 \text{ м}^3/\text{с}$, а в 1944 и 1974 гг. на р. Кия – расходы воды менее $10 \text{ м}^3/\text{с}$, что примерно в 16...20 раз меньше нормы стока указанных водотоков.

Таблица 3.3.3.

Среднемесячные расходы воды за 1970–2007 гг.¹, м³/с

Река	Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Обь	г. Новосибирск – ГЭС (1959–2004) ²	629	658	770	1812	3259	3297	2492	1819	1399	1225	877	574
Обь	г. Колпашево	1123	1055	1103	3635	10280	8572	4746	3303	2769	2759	1864	1264
Томь	г. Томск	190	157	155	2318	4406	1987	687	552	595	777	498	234
Чулым	с. Тегульдет	79	59	51	144	1042	810	385	261	187	172	119	101
Чулым	с. Батурино	242	210	191	481	2767	2265	938	596	483	471	368	299
Кеть	п. Максимкин Яр	90	81	77	99	679	889	314	169	153	149	118	104
Кеть	с. Родионовка	315	207	196	225	823	1291	730	347	296	302	375	452
Тым	с. Напас	76	69	65	85	495	665	270	193	179	170	125	96
Васюган	с. Новый Васюган	18	15	14	53	408	195	92	54	48	53	45	26
Васюган	с. Средний Васюган	38	32	29	61	575	540	208	131	116	116	86	54
Парабель	с. Новиково	23	21	20	50	323	228	77	56	46	49	43	28
Чая	с. Подгорное	25	24	23	67	389	202	75	48	40	42	41	30
Икса	с. Плотниково	0,6	0,4	0,4	11,1	44,3	14,1	6,8	3,8	2,7	3,2	2,2	1,0
Ключ	с. Полынянка	0,001	0,000	0,000	0,331	1,057	0,343	0,072	0,029	0,025	0,045	0,028	0,009
Шегарка	с. Бабарыкино	3,2	2,9	3,1	44,3	107,1	27,6	13,0	8,8	5,8	7,0	6,1	3,8

Примечание: 1 – реки без учёта имеющих пропусков; 2 – [30]

3.4. Русловые процессы и сток наносов

3.4.1. Общая характеристика

Река Обь в южной части Томской области характеризуются преобладающим развитием русловой многорукавности, в центральной и северной – незавершённого меандрирования и пойменной многорукавности. В нижнем течении р. Томь отмечены незавершённое меандрирование, русловая и пойменная меандрирование, местами ограниченное меандрирование. На реке Чулым и её притоках в пределах Томской области преобладают свободное и незавершенное меандрирование, русловая многорукавность. Для прочих средних рек рассматриваемого региона характерны свободное и незавершённое меандрирование. Прочие типы руслового процесса по классификации Государственного гидрологического института (ленточно-грядовый, побочневый, ограниченное меандрирование) в целом не получили значительного распространения и обычно приурочены к локальным участкам ряда рек [59, 129].

В настоящее время информация об активности русловых процессов в регионе в основном ограничена материалами, полученными на локальных участках больших рек. В частности, в 1996–2005 гг. в ОАО «Томскгеомониторинг» проводились наблюдения за эрозией речных берегов, в результате чего были установлены средние и максимальные значения их размыва (табл. 3.4.1.1). Кроме того, ежегодно выполняется русловая съёмка судоходных участков рр. Обь, Томь, Чулым. Однако и в этих случаях полнота и достоверность сведений оставляет желать лучшего, поскольку: 1) материалы русловых съёмок, проводимых в целях судоходства в ряде случаев недостаточно точны в части описания положения береговой линии и мелководной части русел; 2) на режимных пунктах Росгидромета наблюдения за русловыми деформациями не выполняются во все; 3) на пунктах государственной сети наблюдений за состоянием геологической среды проводится наблюдение только за деформацией речных берегов лишь в некоторых населенных пунктах; 4) в процессе инженерно-гидрометеорологических изысканий для строительства обычно используются упрощенные расчетные методы без подтверждения результатов вычислений натурными наблюдениями.

Все это обуславливает актуальность как оценки масштабов русловых деформаций, так и разработки методики подобной оценки. Исходя из ограниченности материалов наблюдений за русловыми деформациями и значительными затратами на проведение специальных исследований в труднодоступных районах, автором предложен подход, основанный на использовании стандартных материалов гидрологических наблюдений Росгидромета, включающих опубликованные данные об измеренных гидравлических характеристиках водотоков (расход воды Q , площадь живого сечения F , ширина реки B , средняя глубина $h_{\text{ср}}$, максимальная глубина $h_{\text{макс}}$) [158].

Таблица 3.4.1.1

Характеристика размыва берегов рр. Обь, Чулым и Томь
[78, 215, 216], м/год

Населенный пункт	Река	По наблюдениям		Расчётное среднее
		среднее	максимум	
г. Колпашево	Обь	4,4	15	4,6
с. Прохоркино	Обь	–	–	4,5
п. Тымск	То же-	5,3	20	–
с. Каргасок	–//–	1,3	5,5	–
с. Кривошеино	–//–	0,7	20	–
с. Зырянское	Чулым	4,9	30	4,2
с. Вознесенка	То же-	0,6	0,9	–
п. Комсомольск	–//–	10,8	22	–
с. Альмяково	–//–	1,7	5	–
с. Первомайское	–//–	5	20	–
с. Сергеево	–//–	1,8	5	–
с. Тегульдет	–//–	0,7	1	–
с. Подгорное, участок 1	Чая	1,6	30	–
с. Подгорное, участок 2	То же-	1	2	–
г. Томск (левый берег до строительства набережной)	Томь	1,4	6,7	3,8
п. Моряковка	То же	4,4	20,5	–

Для выяснения масштабов и тенденций деформаций речного дна анализировались изменения высотных отметок дна, полученных при каждом измерении параметров русла по формулам:

$$Z_{\text{ср}} = Z - h_{\text{ср}}, \quad (3.4.1.1)$$

$$Z_{\text{мин}} = Z - h_{\text{макс}}, \quad (3.4.1.2)$$

где $Z_{\text{ср}}$ – средняя отметка дна реки в створе в момент времени t , м; $Z_{\text{мин}}$ – минимальная отметка дна реки в створе, м; Z – уровень воды, м. Проверка на случайность выполнена по рядам срочных наблюдений с использованием критерия Питмена. Гидравлические характеристики потока при определенном уровне воды принимались по данным срочных наблюдений, либо выполнялась линейная интерполяция между двумя наблюдениями (по заданному уровню воды). По полученной выборке рассчитывались статистические параметры, включая амплитуду изменения ширины и глубины потока. При этом было принято, что наибольшее значение амплитуды и является характеристикой максимальных плановых и вертикальных деформаций русла. В результате было выявлено статистически значимое (при уровне значимости 5 %) увеличение средних и минималь-

ных отметок дна р. Парабель у с. Новиково, р. Васюган у с. Наунак и р. Напас у п. Ванжиль-Кынак в течение изученного временного периода. В случае р. Васюган у п. Майск и р. Кенга у п. Центральный, напротив, отмечено уменьшение высотных отметок дна, что позволяет предположить наличие общей тенденции преимущественно размыва русел в верховьях изученных рек и аккумуляции наносов в их нижнем течении (в случае р. Тым – в среднем), по крайней мере, в 1960–1970-е гг. (табл. 3.4.1.2).

Таблица 3.4.1.2

Гидравлические параметры рр. Парабель, Кенга, Васюган и Тым

Река – пункт, период	Параметр ¹	$Z_{\text{ср}}^2$, м	$Z_{\text{мин}}$, м	B , м	$h_{\text{ср}}$, м	$h_{\text{макс}}$, м	Q , м ³ /с
1	2	3	4	5	6	7	8
р. Парабель – с. Новиково, 1962–1974	A	59,93	59,13	87,40	2,45	3,24	146,1 (71,4) ³
	C_v	0,01	0,01	0,17	0,63	0,61	0,85 (0,41)
	Min	59,28	58,56	61,00	0,64	0,90	24,40
	$D_{\text{макс}}$	2,60	1,19	69,00	5,06	7,10	552,60
	Pk	8,07	16,80	1,99	1,51	1,78	2,31 (1,30)
	$Pk_{5\%}$	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26 (2,32)
р. Кенга – п. Центральный, 1964–1974	A	41,65	40,34	38,99	2,12	3,43	56,8 (24,5)
	C_v	0,01	0,01	0,28	0,54	0,52	0,95 (0,46)
	Min	40,57	38,25	24,00	0,74	1,25	5,61
	$D_{\text{макс}}$	2,97	2,59	44,00	3,45	5,95	199,39
	Pk	–2,33	–5,38	2,87	5,78	4,38	2,79 (2,06)
	$Pk_{5\%}$	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25 (2,32)
р. Васюган – с. Наунак, 1959–1971	A	38,98	37,07	225,18	5,38	7,29	588,8 (305,0)
	C_v	0,01	0,01	0,08	0,33	0,30	0,62 (0,24)
	Min	38,17	35,57	190,00	2,45	3,42	109,00
	$D_{\text{макс}}$	1,99	2,39	65,00	6,15	8,18	1271,00
	Pk	5,48	5,76	1,74	0,34	0,42	1,46 (–0,46)
	$Pk_{5\%}$	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26 (2,30)
р. Васюган – с. Средний Васюган, 1959–1974	A	52,65	50,38	146,98	4,15	6,54	316,9 (162)
	C_v	0,01	0,01	0,11	0,39	0,32	0,73 (0,29)
	Min	51,65	49,36	112,00	1,40	2,85	32,80
	$D_{\text{макс}}$	2,10	1,87	62,00	6,00	7,55	851,20

Продолжение табл. 3.4.1.2

1	2	3	4	5	6	7	8
	Pk	0,36	-1,97	0,30	-1,14	0,39	-0,14 (-0,35)
	$Pk_{5\%}$	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25 (2,30)
р. Васюган – п. Майск, 1959–1974	A	83,98	81,84	33,99	2,89	5,03	54,7 (15,1)
	C_v	0,01	0,01	0,43	0,51	0,52	0,95 (0,56)
	Min	82,48	80,78	15,90	0,90	1,57	1,36
	$D_{\text{макс}}$	6,89	1,77	124,10	5,50	9,23	228,64
	Pk	0,36	-9,73	1,44	1,83	1,74	1,77 (-0,24)
	$Pk_{5\%}$	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25 (2,33)
р. Тым – п. Ван- жиль-Кынак, 1956–1974	A	91,47	90,71	114,43	2,50	3,26	197,8 (80,9)
	C_v	0,004	0,003	0,09	0,53	0,48	0,98 (0,20)
	Min	90,83	90,00	96,00	1,02	1,49	17,80
	$D_{\text{макс}}$	1,52	1,40	49,00	4,18	5,11	739,20
	Pk	6,81	11,74	6,80	0,46	0,20	1,33 (0,25)
	$Pk_{5\%}$	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26	2,26 (2,33)

Примечания: 1 – A – среднее арифметическое; C_v – коэффициент вариации; Min – минимальное значение; $D_{\text{макс}}$ – максимальная амплитуда; Q – расход воды, B – ширина реки, $h_{\text{ср}}$ и $h_{\text{макс}}$ – средняя и максимальная глубина, $Z_{\text{ср}}$ и $Z_{\text{мин}}$ – средняя и минимальная высотная отметка дна в створе; 3 – в графе « Q , м³/с» в скобках приведены значения, полученные по рядам среднегодовых значений за весь период наблюдений

Имеющиеся данные не позволяют сделать однозначный вывод о том, допустимо ли аппроксимировать выявленные тенденции на весь период наблюдений. Можно лишь утверждать, что они слабо коррелируют с многолетними изменениями расходов воды и определяются соотношениями скоростей течения и глубин на участке реки и в конкретном створе реки. Анализ колебаний значений ширины и глубины рек при фиксированных уровнях воды показал, что максимальные вертикальные деформации дна варьируют в диапазоне от 0,80 м на р. Кенга до 0,98 м на р. Васюган у с. Средний Васюган, максимальные изменения ширины потока – от 4,55 м на р. Васюган у п. Майск до 16,01 м на р. Тым (табл. 3.4.1.3). Наиболее интенсивные деформации речных русел в основном приурочены к расходам воды больше среднееголетних значений, но не превышающих максимальные расходы обеспеченности 50 %.

Таблица 3.4.1.3

Гидравлические характеристики рр. Кенга, Парабель и Васюган при различных уровнях воды

Река – объект	Z, м БС	Пара-метр	$F, м^2$	$B, м$	$h_{ср}, м$	$h_{макс}, м$
1	2	3	4	5	6	7
р. Кенга – п. Центральный	42,57	A	39,89	30,96	1,27	2,14
		C_v	0,25	0,11	0,16	0,25
		$D_{макс}$	10,58	4,65	0,26	0,57
	43,57	A	76,50	38,17	1,99	3,23
		C_v	0,19	0,06	0,16	0,16
		$D_{макс}$	18,14	7,76	0,28	0,71
	44,57	A	119,77	43,68	2,74	4,32
		C_v	0,15	0,05	0,16	0,15
		$D_{макс}$	22,91	9,02	0,40	0,80
	45,57	A	167,86	49,99	3,40	5,40
		C_v	0,10	0,09	0,16	0,13
		$D_{макс}$	24,45	13,28	0,22	0,39
р. Парабель – с. Новиково	61,41	A	138,44	83,37	1,65	2,28
		C_v	0,14	0,04	0,11	0,10
		$D_{макс}$	52,24	9,30	0,49	0,55
	63,41	A	315,96	96,58	3,27	4,28
		C_v	0,08	0,02	0,08	0,07
		$D_{макс}$	82,02	8,77	0,90	0,87
	64,41	A	420,77	101,90	4,14	5,33
		C_v	0,07	0,03	0,08	0,05
		$D_{макс}$	107,75	11,58	0,94	0,84
р. Васюган – п. Майск	85,41	A	54,40	25,85	2,09	3,52
		C_v	0,05	0,04	0,05	0,04
		$D_{макс}$	9,86	3,87	0,41	0,57
	86,41	A	84,21	30,76	2,72	4,57
		C_v	0,04	0,03	0,05	0,03
		$D_{макс}$	14,45	3,72	0,66	0,81
	87,41	A	119,53	37,61	3,17	5,62
		C_v	0,03	0,03	0,05	0,03
		$D_{макс}$	14,53	4,55	0,61	0,96
	88,41	A	160,11	43,63	3,66	6,59
		C_v	0,02	0,01	0,02	0,02
		$D_{макс}$	10,76	1,94	0,33	0,50

Продолжение табл. 3.4.1.3

1	2	3	4	5	6	7
р. Васюган – с. Средний Васюган	55,84	A	472,87	141,79	3,30	5,41
		C_v	0,05	0,01	0,06	0,05
		$D_{\text{макс}}$	74,10	8,22	0,61	0,89
	57,84	A	769,03	155,74	4,91	7,49
		C_v	0,04	0,01	0,04	0,04
		$D_{\text{макс}}$	119,43	6,11	0,82	0,98
	58,84	A	931,22	161,84	5,73	8,52
		C_v	0,02	0,01	0,03	0,03
		$D_{\text{макс}}$	72,48	5,39	0,62	0,94
р. Тым – п. Ванжилы-Кынак	92,00	A	98,75	97,25	1,02	1,79
		C_v	0,02	0,02	<0,01	0,14
		$D_{\text{макс}}$	2,50	2,50	<0,01	0,36
	93,00	A	183,24	111,82	1,64	2,21
		C_v	0,11	0,04	0,12	0,16
		$D_{\text{макс}}$	45,55	11,50	0,51	0,94
	94,00	A	282,23	115,45	2,44	3,20
		C_v	0,11	0,02	0,12	0,10
		$D_{\text{макс}}$	75,87	9,23	0,83	0,90
	95,00	A	415,43	117,71	3,52	4,45
		C_v	0,03	0,03	0,02	0,04
		$D_{\text{макс}}$	32,22	7,73	0,22	0,51
	96,00	A	527,41	125,02	4,19	5,25
		C_v	0,05	0,04	0,05	0,06
		$D_{\text{макс}}$	66,51	16,01	0,50	0,89
	97,00	A	1665,48	132,13	4,98	6,12
		C_v	1,21	0,01	0,03	0,03
		$D_{\text{макс}}$	4070,72	3,70	0,34	0,50

Примечание: уровни воды р. Кенга приведены в условной системе координат

С учетом полученных результатов для решения практических задач проектирования гидротехнических сооружений и подводных переходов трубопроводов предлагается определять координаты профиля устойчивости $Z_{\text{уст}}$ (ниже которых размыв русла маловероятен) по формуле:

$$Z_{\text{уст}} = \min(Z_{\text{мин}}) - \max(D_{h,\text{макс}}) - \delta_h, \quad (3.4.1.3)$$

где $\min(Z_{\text{мин}})$ – минимальное значение высотных отметок дна на исследуемом участке реки; $\max(D_{h,\text{макс}})$ – максимальное значение амплитуды вертикальных деформаций при фиксированном уровне воды, вычисленное для уровней в диапазоне от минимального до максимального уровней с обеспеченностью, приня-

той с учётом класса проектируемого сооружения; δ_h – погрешность определения глубины реки (в зависимости от метода измерения).

Подобным образом определяются расчетные прогнозные плановые деформации в течение расчетного срока эксплуатации проектируемого сооружения:

$$\Delta B_T = T \cdot (\max(D_{B,\text{макс}}) + \delta_B), \quad (3.4.1.4)$$

где T – прогнозный период, лет; $\max(D_{B,\text{макс}})$ – максимальное значение амплитуды изменений ширины реки при фиксированном уровне воды, вычисленное для уровней в диапазоне от минимального до максимального уровней с обеспеченностью, принятой в учет класса проектируемого сооружения; δ_B – погрешность определения ширины реки (в зависимости от метода измерения).



Рис. 3.4.1.1. Излучина и заболоченная старица р. Чижалка (приток р. Васюган)



Рис. 3.4.1.2. Заболоченная долина притока р. Парабель с отсутствием руслового стока в большую часть года

Сопоставление распространенности на исследуемой территории болот, преобладающих типов руслового процесса и оценок русловых деформаций позволили предположить, что одной из причин заболачивания Западно-Сибирской равнины могло быть постоянное переформирование речных русел в легко размываемых грунтах при отсутствии древесной растительности и избыточном увлажнении водосборов в результате таяния ледников, выпадения атмосферных осадков и затрудненности водного стока за пределы рассматриваемой территории. В подобных условиях наличие многочисленных стариц в ряде случаев стало катализатором заболачивания региона (рис. 3.4.1.1). Следовательно, русловой процесс активизировал болотообразование, которое в последующем привело к стабилизации русловых деформаций, по крайней мере, на малых реках. Более того, в настоящее время наблюдается захват болотами не только водосборных территорий, но и самих русел малых водотоков, вплоть до фактического исчезновения некоторых из них (рис. 3.4.1.2). Соответственно, уменьшается твёрдый сток с болот, особенно в районе Васюганского болота (рис. 3.4.1.3).

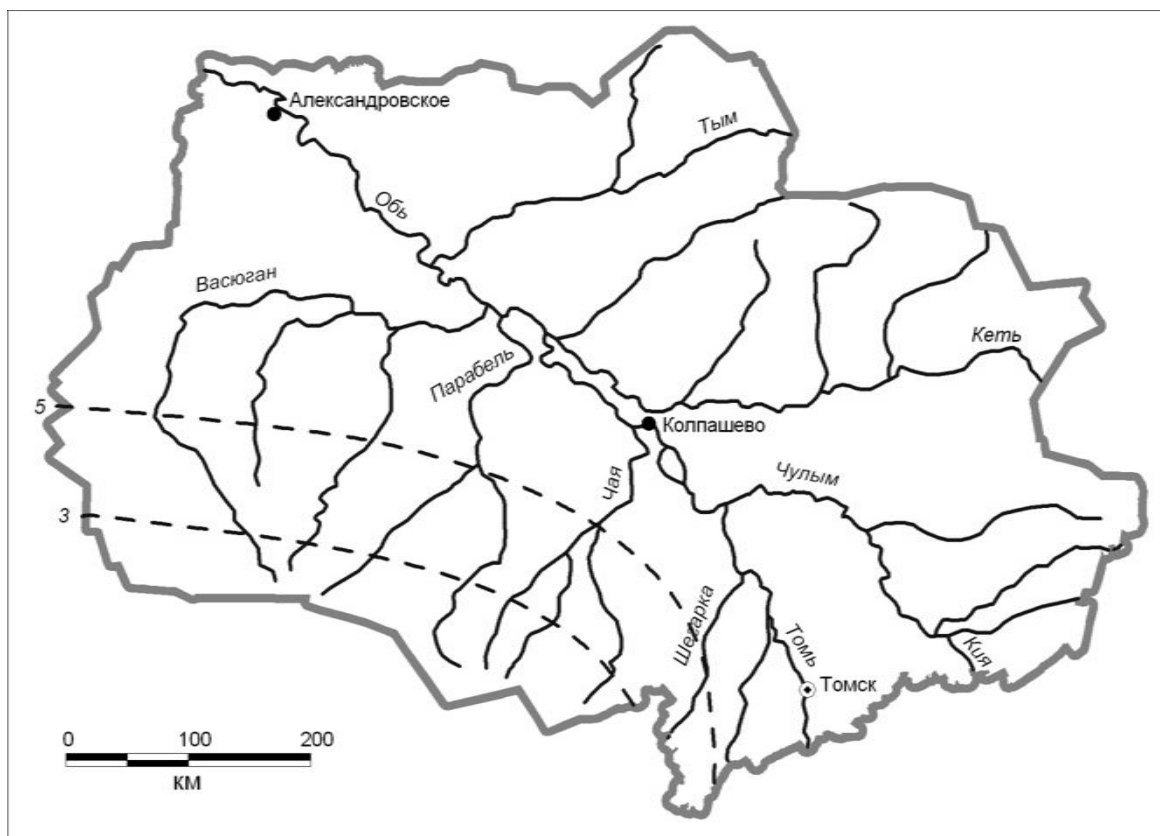


Рис. 3.4.1.3. Модуль стока взвешенных наносов для средних рек Томской области, $\text{т}/(\text{год} \cdot \text{км}^2)$

3.4.2. Оценка русловых деформаций и твёрдого стока р. Томь

Как уже отмечалось выше, изученность русловых процессов и, как следствие, русловых деформаций в настоящее время невысока. Но в ряде случаев возникает острая необходимость не только в оценке современных русловых деформаций, но и в их прогнозе. В частности, подобная ситуация сложилась для р. Томь у г. Томск. Анализ результатов исследований, выполненных в ОАО «Томскгеомониторинг», ТПУ и ТГУ при непосредственном участии автора, показал, что с 1950-х гг. до середины 1980-х гг. вследствие русловой добычи песчано-гравийного материала (ПГМ) произошло уменьшение на 2,0...2,5 м отметок дна, а вслед за ними и уровней воды. При этом изменились очертания береговой линии и русловых образований, многие осередки и острова либо исчезли, либо уменьшились. В середине 1980-х гг. работы по русловой добыче ПГМ у г. Томск были свернуты. В конце 1990-х гг. на р. Томи на участке 73–70 км от устья стало отмечаться расширение существующих осередков и их превращение в острова, а на этом фоне – усиление размыва русла и повышение максимальных уровней воды, не наблюдавшееся около 40 лет [78, 148].

С целью предотвращения деформаций берегов в 2005–2006 гг. на р. Томи были проведены руслоисправительные (дноуглубительные) работы. В частности, в 2005 г. выполнено изъятие ПГМ в двух карьерах в средней и левобережной частях русла в районе корпуса ТГУ № 6 (примерно в 72,5...71,0 км от устья) на площади 1610,6 тыс. м². Суммарное уменьшение объема донных отложений оценено в 210,9 тыс. м³, причем собственно добыча ПГМ составила 60 % изъятых в двух карьерах, а 40 % этого объема было перераспределено в русле ниже по течению от карьеров и привело к формированию нового руслового образования между карьерами и росту осередков ниже по течению от них. В 2006 г. руслоисправительные работы были выполнены в 70,7...70,5 км и 68,6...68,3 км от устья р. Томи. Площадь выработки на первом участке составила 31 тыс. м², уменьшение объема ПГМ – 28,5 тыс. м³; площадь выработки на втором участке – 29,5 тыс. м², уменьшение объема ПГМ – 3,5 тыс. м³.

Сопоставление материалов русловых съемок, выполненных до и после проведения указанных работ, позволило сделать ряд выводов, наиболее важными из которых являются следующие. Во-первых, при проведении дноуглубительных работ на каком-либо участке вероятно накопление наносов ниже по течению, что может снижать ожидаемый эффект от проведения подобных мероприятий в будущем. Во-вторых, невозможно повысить эффективность руслоисправительных (дноуглубительных) и берегозащитных работ без проведения математического моделирования и прогноза русловых деформаций с учетом различных вариантов изменений гидрологических условий и проведения инженерных мероприятий. Для решения перечисленных задач автором была разработана и апробирована математическая модель деформаций русла р. Томь в г. Томск. Схема исследуемого участка р. Томь приведена на рис. 3.4.2.1. Исходной информацией послужили данные русловых съемок ОАО «Томскгеомониторинг» и предприятия «Томский район водных путей и судоходства», материалы гидрологических наблюдений ТЦГМС, ТГУ и ТПУ за 2003–2006 гг. [156, 157].

Математическая модель исследуемого участка р. Томь базируется на численном решении уравнения русловых деформаций, имеющего вид:

$$\partial G_{вл}/\partial x - q_{гзв} + m_0 B \partial z / \partial t = 0, \quad (3.4.2.1)$$

где $G_{вл}$ – расход влекомых наносов в объеме беспустотной породы; $q_{гзв}$ – расход взвешенных наносов, оседающих на дно или поднимающихся вверх; m_0 – относительная плотность грунтов и наносов; B – ширина реки, м; x – координата продольного перемещения; z – высотная отметка дна; t – координата времени. Согласно распространенным в Российской Федерации представлениям [87], величина $q_{гзв}$ может быть рассчитана по методу А.В. Караушева. В случае определения расхода влекомых наносов ситуация менее однозначна – различными авторами предлагаются десятки способов, причем результаты расчета могут отличаться друг от друга на порядки.

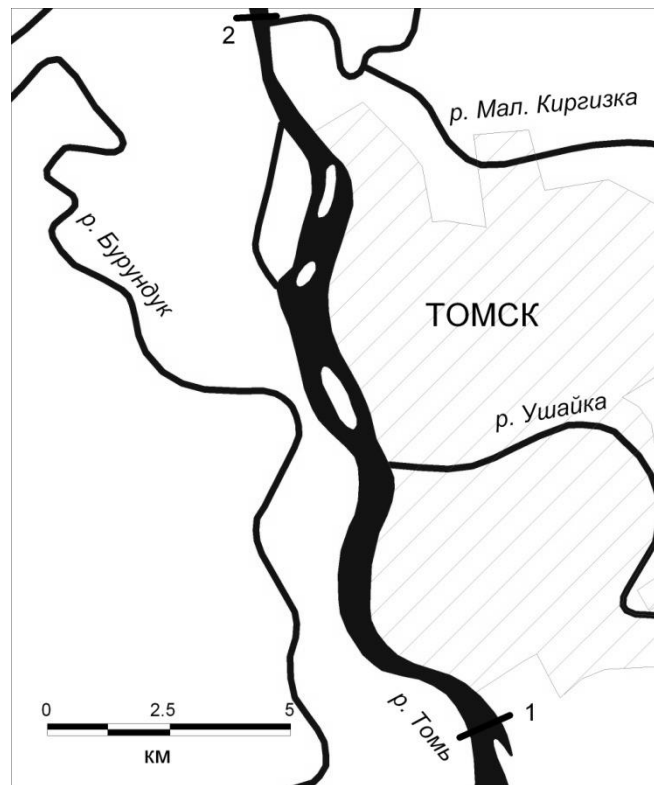


Рис. 3.4.2.1. Схема исследуемого участка р. Томи; створы от устья реки: 1 – в 74,8 км (гидроствор); 2 – в 58,3 км

С учетом этого были рассмотрены методы Г.И. Шамова, И.И. Леви, К.И. Россинского и В.Н. Гончарова. По результатам расчётов выбирался метод, для которого характерны наименьшие значения δ_1 и δ_2 (характеристики отклонения вычисленных значений отметок дна от измеренных в каждой расчетной точке створа в 72 км от устья по состоянию на 23.05.2003 г.):

$$\delta_1 = \frac{\sum (z_{\delta,i} - z_{\delta,i})}{L}, \quad (3.4.2.2)$$

где L – количество сравниваемых точек; z_{ϕ} и z_p – фактические и расчетные отметки дна р. Томи в створе 72 км от устья.

$$\delta_2 = \sqrt{\frac{\sum (z_{\delta,i} - z_{p,i})^2}{L}}. \quad (3.4.2.3)$$

Решение уравнения (3.4.2.1) находится для каждого из локальных потоков, имеющих расход $q=Q/10$, где Q – общий расход воды в рассматриваемом сечении. Границы локального потока определены путём интерполяции по кривой $q=q(b)$ для каждого створа, где b – расстояние от гребня дамбы на правом берегу. Изменение уровня воды в смежных створах вычислено по уравнению Бернулли путем оптимизации методом золотого сечения. Общая структура модели, реализованной автором в среде MS Excel в виде программного комплекса НУМ,

представлена на рис. 3.4.2.2. Результаты верификации модели по материалам русловой съемки р. Томь у г. Томск (в гидростворе) в мае 2001 и 2003 гг., на основе которых для расчёта стока влекомых наносов был выбран метод Г.И. Шамова, приведены в табл. 3.4.2.1.

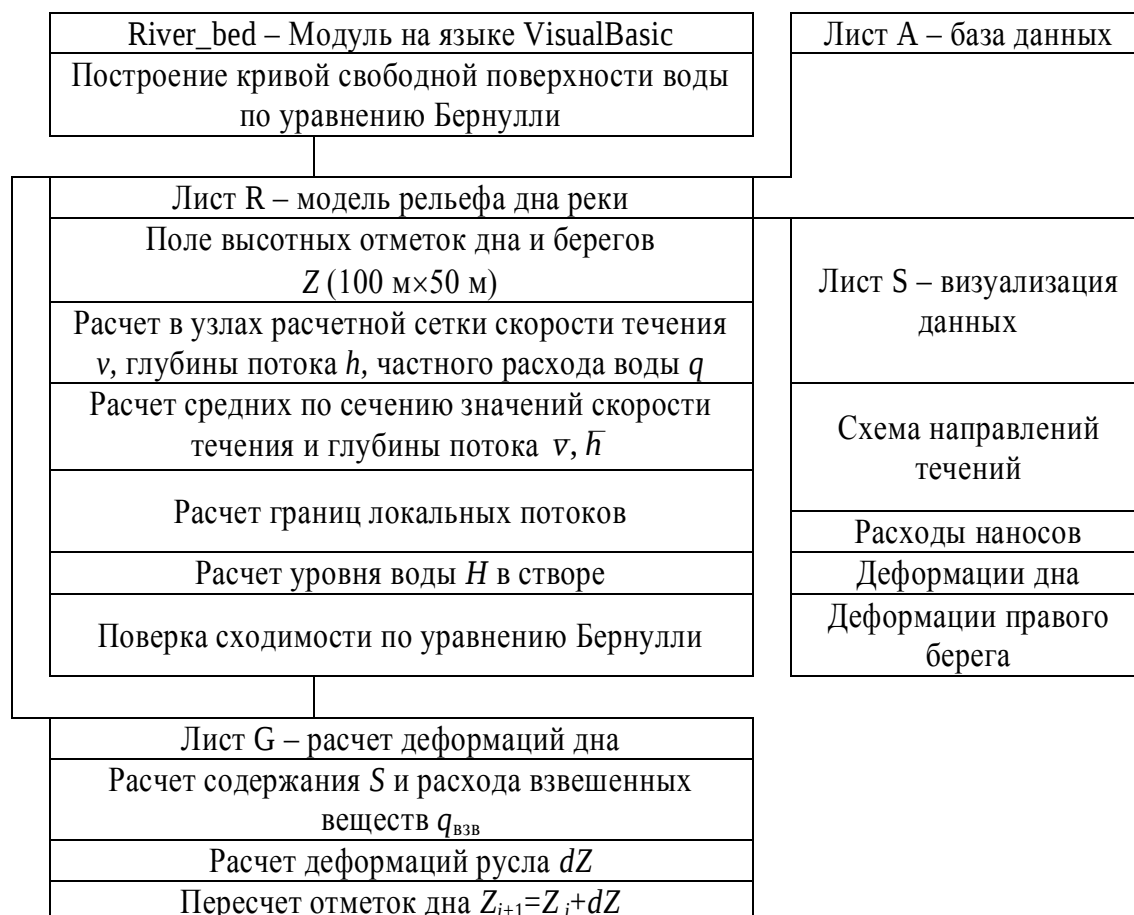


Рис. 3.4.2.2. Структура компьютерной модели деформаций русла р. Томь в г. Томск в среде MS Excel

Математическое моделирование проводилось для различных гидрологических условий и вариантов фактического и возможного изменения р. Томи на участке от гидроствора ТЦГМС в г. Томск (74,8 км от устья) до г. Северска (58,3 км от устья). При этом использовались следующие варианты гидрологических условий: 1) весеннее половодье средней водности – расход воды $Q=6860 \text{ м}^3/\text{с}$; уровень воды H_z в гидростворе составляет 630 см над «нулем» графика поста; уклон водной поверхности в гидростворе $I=0,16 \text{ ‰}$ (данные за 23.05.2004 г.); 2) весеннее половодье малой водности – $Q=3640 \text{ м}^3/\text{с}$; $H_z=350 \text{ см}$; $I=0,088 \text{ ‰}$ (данные за 23.05.2003 г.); 3) конец весеннего половодья (условия, близкие к среднегодовым) – $Q=1090 \text{ м}^3/\text{с}$; $H_z=70 \text{ см}$; $I=0,14 \text{ ‰}$ (данные за

20.06.2004 г.); 4) летне-осенняя межень – $Q=472 \text{ м}^3/\text{с}$; $H_c=-48 \text{ см}$; $I=0,28 \text{ ‰}$ (данные за 22.09.2003 г.).

Таблица 3.4.2.1

Среднеарифметические (δ_1) и среднеквадратические (δ_2) отклонения* расчетных значений от фактических, средний расход наносов р. Томи (г. Томск) за период с 20.05.2001 г. по 23.05.2003 г.

№	Створ	δ_1 , м	δ_2 , м	Средний расход наносов, кг/с
1	Учёт только взвешенных наносов по А.В. Караушеву	-0,70	0,93	34,26
2	Учёт только влекомых наносов по методу Г.И. Шамова	0,18	0,56	18,91
3	Учёт только влекомых наносов по методу И.И. Леви	0,18	0,56	14,52
4	Учёт только влекомых наносов по методу В.Н. Гончарова	0,19	0,56	55,61
5	Учёт только влекомых наносов по методу К.И. Россинского	0,19	0,56	21,02
6	Суммарный расчет влекомых и взвешенных наносов по методам А.В. Караушева и Г.И. Шамова	-0,69	0,93	53,17
7	Суммарный расчет влекомых и взвешенных наносов по методам А.В. Караушева и И.И. Леви	-0,70	0,94	48,78
8	Суммарный расчет влекомых и взвешенных наносов по методам А.В. Караушева и В.Н. Гончарова	-0,70	0,94	89,87
9	Суммарный расчет влекомых и взвешенных наносов по методам А.В. Караушева и К.И. Россинского	-0,69	0,93	55,28

Примечание: значения δ_1 вычислены по формуле (3.4.2.2), значения δ_2 – по формуле (3.4.2.3)

В качестве расчетных вариантов руслоисправительных работ рассмотрены состояния р. Томь на осень 2005 г.; март 2006 г.; август – сентябрь 2006 г. после проведения руслоисправительных работ; март 2006 г. (прогноз) при условии размещения складов ПГМ. Основное внимание в процессе математического моделирования русловых процессов было уделено изучению планов течений, изменения по длине реки величин стока наносов (взвешенных и влекомых) и деформаций, обусловленных перемещением речных наносов. В результате выполненных исследований были получены следующие результаты.

В течение года, в зависимости от водности реки, на рассматриваемом участке р. Томь наблюдается заметное изменение скорости и направления течения воды. Наиболее сжатые участки потока в весенний период отмечены в районе скального выхода «боец» (74,0...73,8 км от устья) и верхнего моста (73 км от устья) в южной части г. Томск. Определенное сжатие потока происходит и в районе расположения крупных островов (Боярского, Нижнего Боярского, Собачьего). По мере уменьшения расходов воды происходит определенное сужение потока и его прижимание к левому берегу на участке в 70,3...68,8 км от устья (4,5...6,0 км от гидроствора). При этом очертания потока в плане становятся более резкими за счет обтекания водными массами островов и осередков, причем их влияние на скоростное поле становится заметным уже при расходах воды около 3000...3500 м³/с. Максимальное сужение потока приурочено к межённому периоду, когда расходы воды не превышают 500 м³/с. В это время наблюдается смещение водных масс к левому берегу в районе «бойца», у верхнего моста и на Нижне-Сенном перекате (71,5...70,5 км от устья), к правому берегу – в 73,4...73,2 км от устья и ниже по течению от корпуса ТГУ № 6, расположенного примерно в 72 км от устья.

Анализ пространственно-временного изменения расходов наносов по длине реки от гидроствора до г. Северск показал, что максимальные их значения приурочены: по времени – к весеннему половодью, в пространстве – к участку р. Томь от п. Нижний склад до грузового речпорта в 68...59 км от устья (рис. 3.4.2.3); минимальные: по времени – летне-осенней межени, в пространстве – на участке от устья р. Ушайки (в 69 км от устья р. Томь) до г. Северск (рис. 3.4.2.4). По мере уменьшения водного стока в конце мая – начале июля происходит не только абсолютное, но и относительное изменение расходов наносов по длине реки, характеризующееся максимумами в южной части г. Томска (в районе выхода скальных пород в 74,0...73,8 км от устья). Кроме того, при уменьшении расходов воды снижается доля взвешенных частиц в суммарном стоке наносов. Тем не менее, в целом за год для р. Томи в черте г. Томска характерно закономерное преобладание взвешенной составляющей твердого стока.

Пространственные и временные изменения деформаций определяются не только величиной расхода наносов, но и геометрией русла. С учетом этого тенденции деформации русла могут существенно отличаться от тенденций изменений твердого стока. Наибольший размыв дна по результатам моделирования выявлен для участка «боец», но в данном случае деформации русла оцениваются как потенциальные, а не фактические, поскольку в модели не учтена низкая размываемость скальных пород в этом месте. Также следует отметить, что при относительно незначительном изменении по длине реки средней по сечению величине деформации дна на разных участках поперечного профиля русла могут наблюдаться одновременно размыв и аккумуляция. Причем аккумуляция нано-

сов у островов может наблюдаться даже при очень высоких расходах воды в весенний период (рис. 3.4.2.5).



Рис. 3.4.2.3. Изменение суммарных расходов наносов р. Томи на участке 74,8...58,3 км от устья (гидроствор – устье р. Большой Киргизки); $Q=6860 \text{ м}^3/\text{с}$

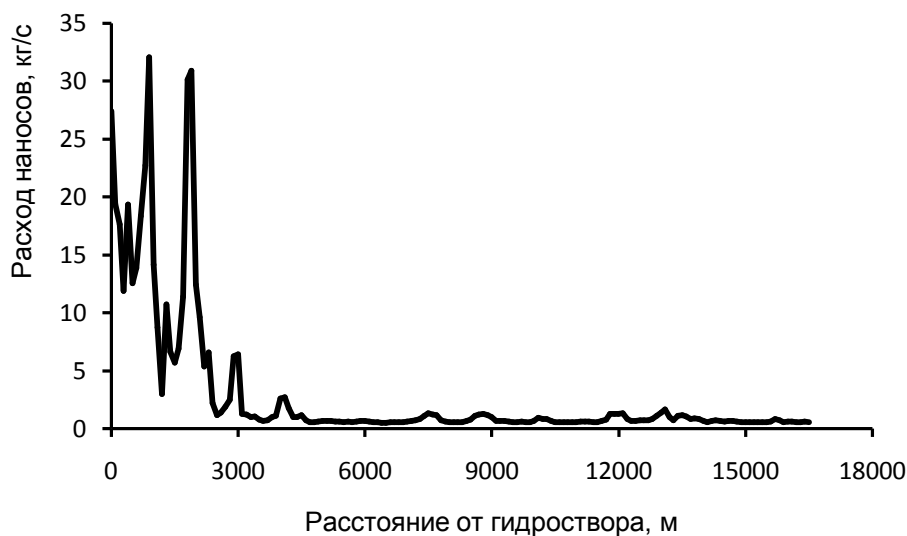


Рис. 3.4.2.4. Изменение суммарных расходов наносов р. Томи на участке 74,8...58,3 км от устья; $Q=472 \text{ м}^3/\text{с}$

Уже на спаде половодья, либо в половодье низкой водности, может происходить аккумуляции взвешенных наносов на бóльшем протяжении исследуемого участка р. Томь и одновременно – размыв дна реки за счет переноса влекомых частиц на отдельных участках, приуроченных к сужениям русла и перепадам глубин в местах проведения руслоисправительных работ.



Рис. 3.4.2.5. Изменение средней по сечению интенсивности деформаций дна р. Томи на участке 74,8...58,3 км от устья; $Q=6860 \text{ м}^3/\text{с}$

В конце половодья – начале летней межени на всем протяжении реки в среднем по сечению наблюдается незначительная аккумуляция взвешенных наносов и чередование участков размыва дна и аккумуляции влекомых наносов. Некомпенсируемый аккумуляцией взвешенных частиц размыв дна отмечен только в районе «бойца» и верхнего моста (рис. 3.4.2.6). В период летне-осенней межени наблюдается в основном аккумуляция наносов, преимущественно – взвешенных. Наиболее интенсивное отложение наносов отмечается в основном у осередков в районе корпуса ТГУ № 6, выше устья р. Ушайка и у островов Верхнего Боярского, Нижнего Боярского и Собачьего.

Анализ результатов математического моделирования показал, что размещение складов песчано-гравийного материала (ПГМ) вблизи от берега может привести (в отсутствие дополнительных руслоисправительных работ) к смещению потока и усилению размыва дна между складом и ближайшим берегом. При этом влияние складов будет наиболее заметно на спаде половодья. В частности, размыв части береговой полосы в межень возможен при размещении склада в 70,3 км от устья. Менее заметное, но все существенное смещение водных масс к середине русла ожидается и в районе устья Эуштинской протоки (60,4...60,2 км от устья). Относительно заметное изменение (увеличение) стока наносов возможно на спаде половодья – в начале летней межени, когда в результате сужения живого сечения произойдет увеличение скоростей течения. В периоды высокой и, напротив, низкой водности изменения расходов наносов будут малозаметны. Влияние складов проявится не только в изменении твердого стока и размыве береговой полосы, но и в усилении аккумуляции взвешенных

наносов в межень на участках, в пределах которых произойдет снижение скоростей течения.



Рис. 3.4.2.6. Изменение средней по сечению интенсивности деформаций дна р. Томи на участке 74,8...58,3 км от устья; $Q=1090 \text{ м}^3/\text{с}$

Таким образом, в результате математического моделирования установлено следующее [156, 157].

1. Для оценки расходов влекомых наносов р. Томи наиболее целесообразно использование метода Г.И. Шамова. Суммарный сток взвешенных и влекомых наносов указанной реки в гидростворе г. Томска, рассчитанный по А.В. Караушеву и Г.И. Шамову, в среднем за 1986–2005 гг. составляет $1510179 \pm 55630 \text{ т/год}$ или $47,89 \pm 1,76 \text{ кг/с}$, в том числе сток влекомых наносов, представляющий наибольший интерес с точки зрения формирования запасов песчано-гравийных материалов, – 522519 т/год или $16,57 \text{ кг/с}$.

2. В течение года по длине реки происходит существенное изменение расходов наносов и интенсивности русловых деформаций в зависимости от величины водного стока и геометрии русла.

3. При изъятии в пределах г. Томск песчано-гравийных материалов в размере, превышающем погрешность определения стока влекомых наносов (то есть 7772 т/год), вероятны статистически значимые изменения речного русла.

4. В перспективе (при отсутствии дополнительных антропогенных изменений русла) следует ожидать аккумуляцию наносов ниже «верхнего» моста в г. Томск, что приведёт к дополнительному усилению опасности образования ледовых заторов и зажоров.

5. Размещение складов песчано-гравийных материалов вблизи от берега может привести к смещению потока, усилению размыва дна между складом и

ближайшим берегом (особенно на спаде половодья), а также (в период ледохода) к увеличению плотности шугохода. С учетом этого не рекомендуется размещать склады в местах сужения потока и на криволинейных участках; наименьшие негативные последствия ожидаются при размещении складов песчано-гравийных материалов в нижней части острова Энеков (примерно в 63,0...61,5 км от устья) при предварительной сработке части косы и размещения склада в пределах старых границ острова.

3.5. Термический и ледовый режим

Термический и ледовый режим рек на территории Томской области в целом подчиняется сезонному ритму и пространственному изменению температур атмосферного воздуха [129]. Наиболее высокие температуры (больше 20°C) воды наблюдаются в июле в южной части региона (табл. 3.5.1). Наступление холодов и понижение температуры до 0°C вызывает на реке появление первых ледовых образований примерно во второй половине октября – начале ноября, причем в последние десятилетия наблюдается определенное смещение дат установления устойчивого ледового покрова на более поздние сроки. Средняя продолжительность ледостава на р. Обь закономерно возрастает с юга на север и составляет 160...190 суток, на р. Томь в нижнем течении – около 170, на р. Чулым – 170...180, на рр. Кеть и Тым – около 180...190, на левобережных притоках р. Обь (рр. Шегарка, Чая, Парабель, Васюган) – 160...190 суток (табл. 3.5.2).

Средняя толщина льда крупных рек в конце ледостава может достигать 80...110 см. Малые реки в суровые зимы могут промерзнуть до дна. В целом толщина льда (а также сроки установления ледостава и начала ледохода) определяется соотношением термического и динамического факторов. Автором для р. Томь у г. Томск на основе известной формулы Ф.И. Быдина (3.5.1) для расчёта толщины льда $h_{л*}$ по величине накопленных отрицательных среднесуточных температур воздуха $T_{a,сум}$ и приближённого выражения для оценки суммарного снеготаяния $h_{см}$ (при коэффициенте стаивания 5 мм/(сут·°C) получена формула вида (3.5.3), которая в первом приближении может применяться и для других рек региона и прилегающих территорий.

$$h_{л*} = 0,02 \cdot \sqrt{\sum (T_{a,сум, < 0^{\circ}C})}, \quad (3.5.1)$$

$$h_{см} = 0,005 \cdot \sum (T_{a,сум, > 0^{\circ}C}), \quad (3.5.2)$$

$$h_{л} = 0,621 + 0,296 \cdot (h_{л*} - h_{см}) - 0,165 \cdot V_{ср}^2, \quad S/\sigma = 0,62, \quad (3.5.2)$$

где $V_{ср}$ – средняя скорость течения; величины $h_{л}$, $h_{л*}$, $h_{см}$ приведены в м; сумма отрицательных и положительных температур определяется с 1 октября.

Вскрытие и очищение большинства крупных рек ото льда происходит в среднем в конце апреля – начале мая (табл. 3.5.2). Для малых водотоков эти сроки варьируют в большем диапазоне – от начала апреля на юге Томской области

до конца мая в её северной части. На многих малых реках региона ледоход может отсутствовать вследствие преобладания в разрушении ледового покрова термического фактора (рис. 3.5.1). На больших и средних реках региона, напротив, часто преобладает динамический фактор. По этой причине, а также с учётом ухудшения пропускной способности на локальных участках и более ранних сроков вскрытия некоторых рек в их верхнем (или среднем) течении, здесь достаточно часто наблюдаются ледовые заторы и зажоры. Особенно остро эта проблема стоит для нижнего течения р. Томь (рис. 3.5.2), основная часть стока которой формируется в Горной Шории и Кузнецком Алатау, а сроки вскрытия реки у гг. Новокузнецк и Кемерово наступают на несколько дней раньше, чем у г. Томск (табл. 3.5.2). Наложение указанных факторов приводит к выносу ледового материала с участков верхнего и среднего течения и его накопление в нижнем течении реки. Очевидно, что аккумуляция льда и шуги должна происходить (и происходит) на участках с наименьшей пропускной способностью русла – в естественных и антропогенных сужениях (например, у мостов, в местах размещения складов песчано-гравийной смеси, добываемой в русле реки), на поворотах, у островов.

В результате русловой добычи ПГМ в нижнем течении р. Томь в 1950–1980 гг., по данным [41], отметки дна понизились примерно на 2... 2,5 м. При этом в русле сформировалась транзитная часть с повышенной пропускной способностью, что послужило причиной снижения вероятности образования мощных ледовых заторов и зажоров. Резко уменьшилась частота и мощность наводнений. Определенная часть поймы перестала затапливаться, что стимулировало её застройку, в том числе жилыми объектами. Однако после запрета русловой добычи ПГМ в 1980-е гг., а затем её ограниченного ведения на отдельных участках русла, на островах и в протоках стали проявляться русловые процессы, связанные с формированием осерёдков и островов. В качестве наиболее яркого примера можно привести ситуацию, сложившуюся в юго-западной части г. Томск, где ниже по течению от естественного сужения и резкого поворота русла у выхода трудно размываемых скальных пород отмечается резкое расширение русла с размываемыми берегами. Как следствие, здесь резко падают скорости течения, уменьшается транспортирующая способность потока и происходит аккумуляция речных наносов, что привело к формированию нескольких осерёдков, у которых практически ежегодно происходит накопление ледового материала.

Таблица 3.5.1

Средняя температура воды речных вод по месяцам [49], °С

Река – пункт	Период	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
р. Обь – с. Молчаново	1945–1980	0,4	7,6	16,5	21,6	19,4	13,3	4,4	0,1	–	–	–	–
р. Томь – г. Томск	1945–1980	0,6	6,8	15,5	21,4	18,8	12,4	4,1	0,1	–	–	–	–
р. Чулым – с. Тегульдет	1945–1980	0,1	6,4	16,2	20,4	17,9	11,4	2,9	–	–	–	–	–
р. Чулым – с. Батурино	1945–1980	0,1	6,3	16,3	21,5	19,0	10,9	3,0	–	–	–	–	–
р. Улу-Юл – п. Аргат-Юл	1945–1980	0,2	5,1	13,5	17,2	15,4	8,4	2,5	–	–	–	–	–
р. Шегарка – с. Бабарыкино	1945–1980	0,7	8,4	16,5	20,0	16,8	10,8	3,5	0,1	–	–	–	–
р. Икса – с. Плотниково	1945–1980	0,3	7,1	16,2	21,2	17,0	10,1	3,1	0,1	–	–	–	–

Таблица 3.5.2

Характерные даты установления ледостава и вскрытия рек ото льда рек Томской области [49, 103]

Объект	Пункт, период	Характери- стика	Дата уста- новления	Продолжи- тельность ле- достава, дни	Дата вскрытия	Дата очищения ото льда
1	2	3	4	5	6	7
р. Обь	с. Молчаново 1932 – 1980	ранняя	28.10.1942	142	16.04.1938 (1944, 1961) * 11.04	20.04.1944 (1961)
		средняя	11.11	166	26.04 * 25.04	02.05
		поздняя	30.11.38	196	12.05.1941	16.05.1936
р. Обь	г. Колпашево, 3 км выше города 1914–1975	ранняя	28.10.1914	196	17.04.1944, 1961 * 13.04	23.04.1961
		средняя	11.11	171	01.05 * 28.04	06.05
		поздняя	28.11.1937	141	16.05.1916	20.05.1916
р. Обь	с. Александр- овское 1935–1975	ранняя	21.10.1978	214	27.04.1954	01.05.1967
		средняя	05.11	189	13.05	20.05
		поздняя	26.11.1999	156	26.05.1969	01.06.1925, 1936
р. Томь	г. Новокузнецк, 1 км выше города 1893–1975	ранняя	29.10.1914	182	01.04.1963	13.04.1926
		средняя	17.11	152	18.04	30.04
		поздняя	22.11.1963	104	08.05.1905	24.05.1998

Продолжение табл. 3.5.2

1	2	3	4	5	6	7
р. Томь	г. Томск, 0.3 км выше 1918–1980	ранняя	10.10.1961	129	07.04.1961 * 05.04	19.04.1949
		средняя	31.10	166	23.04 * 19.04	02.05
		поздняя	17.11.1929	186	09.05.1941	20.05.1925
р. Чулым	с. Тегульдет 1894–1980	ранняя	18.10.1974	150	16.04.1944	20.04.1944
		средняя	05.11	178	02.05 * 30.04	07.05
		поздняя	26.11.1971	211	18.05.1941	21.05.1902, 1941
р. Чулым	с. Батурино 1936–1980	ранняя	19.10.1974	153	16.04.1941 * 15.04	21.04.1941
		средняя	06.11	174	29.04	03.05
		поздняя	25.11.1971	203	18.05.1941	21.05.1941
р. Улу-Юл	п. Аргат-Юл 1933–37 1939–80	ранняя	15.10.1961	153	06.04.1961	18.04.1961
		средняя	04.11	177	25.04	02.05
		поздняя	11.12.1971	204	17.05.1941	18.05.1941
р. Кия	г. Мариинск 1934–1975	ранняя	17.10.1961	195	10.04.1961	17.04.1938
		средняя	05.11	170	24.04	01.05
		поздняя	14.11.1941	133	09.05.1936	15.05.1936

Продолжение табл. 3.5.2

1	2	3	4	5	6	7
р. Кия	с. Окунеево 1933–1975	ранняя	16.10.1961	198	13.04.1944, 1947	19.04.1961
		средняя	05.11	171	25.04	30.04
		поздняя	26.11.1964	146	13.05.1936, 1941	15.05.1936
р. Кеть	с. Максимкин Яр 1936–1975	ранняя	17.10.1961	211	21.04.1944	24.04.1938, 1944
		средняя	01.11	184	04.05	09.05
		поздняя	11.11.1970	164	20.05.1941	24.05.1941
р. Кеть	с. Родионовка 1932–1975	ранняя	16.10.1961	207	14.04.1932	22.04.1938
		средняя	03.11	181	03.05	09.05
		поздняя	15.11.1934	160	21.05.1941	25.05.1941
р. Тым	с. Напас 1937–1975	ранняя	15.10.1961	215	23.04.1943	27.04.1938, 1944
		средняя	31.10	188	07.05	10.05
		поздняя	10.11.1955	168	21.05.1941, 1969	24.05.1941
р. Шегарка	с. Бабарыкино 1933–1980	ранняя	17.10.1974	142	08.04.1961	11.04.1944
		средняя	03.11	167	19.04	26.04
		поздняя	26.11.1938	193	06.05.1937	11.05.1941
р. Чая	с. Подгорное 1933–1975	ранняя	16.10.1961	196	11.04.1961	12.04.1961
		средняя	06.11	170	25.04	29.04
		поздняя	20.11.1967	148	14.05.1941	22.05.1941

Продолжение табл. 3.5.2

1	2	3	4	5	6	7
р. Икса	с. Плотниково 1933–44 1947–80	ранняя	16.10.1961	150	11.04.1938	15.05.1944
		средняя	04.11	173	26.04	02.05
		поздняя	10.11.1973	194	09.05.1958	12.05.1964
р. Пара- бель	с. Новиково 1937–1975	ранняя	18.10.1974	208	16.04.1961	18.04.1961
		средняя	04.11	175	28.04	02.05
		поздняя	16.11.1964	165	19.05.1941	23.05.1941
р. Васюган	с. Майск 1955–1975	ранняя	16.10.1961	203	12.04.1961	13.04.1961
		средняя	30.10	178	26.04	30.04
		поздняя	17.11.1958	158	07.05.1969	11.05.1968
р. Васюган	с. Средний Васюган 1934–1975	ранняя	19.10.1964	198	18.04.1962	25.04.1967
		средняя	28.10	184	30.04	05.05
		поздняя	07.11.1967	172	14.05.1969	18.05.1969

Примечание: * приведены данные ЗСУГМС (прогноз ледохода и весеннего половодья на реках бассейна Оби в 2010 г.), несовпадающие с [49, 103]

Необходимо отметить, что указанные процессы развиваются во времени в неблагоприятном для местного населения направлении. Так, в 2004 г. в весенний период в Горной Шории выпало необычно большое количество жидких атмосферных осадков. Волна половодья с большим количеством ледового материала подошла к Томску, выше по течению от которого (у острова Басандайский) образовался мощный ледовый затор, который привёл к затоплению левобережной поймы. В 2007 г. в районе с. Вершинино сформировавшийся ледовый затор привёл к затоплению пониженных участков вышерасположенных населенных пунктов и автодороги Томск – Ярское.



Рис. 3.5.1. Разрушение ледяного покрова на р. Гавриловка (элемент речной сети Гавриловка – Икса – Чая – Обь)



Рис. 3.5.2. Ледовый затор на р. Томь у п. Казанка (выше г. Томск)

Опасные условия сложились и в период 2009–2010 гг., когда в ноябре, уже после установления ледового покрова на р. Томь, в Горной Шории опять выпали необычно интенсивные дожди. В результате резкого повышения уровней и расходов воды произошло разрушение первичного ледового покрова и его последующее восстановление уже на более высоком уровне. Кроме того, открытые участки водной поверхности в условиях низких температур воздуха (ниже минус 20°C) стали источниками образования шуги, которая затем накапливалась на поворотах и у островов. На спаде паводка, по мере уменьшения воды в русле, ледовый покров стал опускаться и деформироваться с образованием торосов. Другой отличительной способностью зимнего периода 2009–2010 гг. стали стабильные низкие температуры воздуха. Как следствие, в русле р. Томь сформировались мощные образования из льда и шуги до 4...5 м, а пропускная способность русла резко уменьшилась.

3.6. Гидрохимический режим и качество вод

3.6.1. Общая характеристика химического состава и качества речных вод

Макрокомпоненты и рН. Воды больших рек рассматриваемой территории в среднем характеризуются как пресные с малой и средней минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые (по классификации О.А. Алёкина), нейтральные и слабощелочные, воды средних и малых рек – пресные с минерализацией от малой до повышенной, по величине рН – от слабокислых до слабощелочных. Содержания главных ионов варьируют в достаточно широком диапазоне, достигая максимумов в юго-западной части Томской области, в левобережной части бассейна Средней Оби на стыке лесостепной и южнотаежной зон, соответствующей бассейнам рр. Чая и Шегарка (табл. 3.6.1.1, 3.6.1.2, рис. 3.6.1.1). Наиболее низкие (средние) концентрации макрокомпонентов наблюдаются в речных водах правобережной таежной части бассейна Средней Оби в водосборах рр. Тым и Кеть, а также в бассейне р. Томь на территории Кемеровской области [141, 147].

Анализ макрокомпонентного состава речных вод целесообразно проводить с учетом преобладающих ландшафтов водосборных площадей, в значительной степени определяющих характер и интенсивность процессов формирования эколого-геохимического состояния рек и их водного режима. В связи с этим нами было проведено сопоставление данных о химическом составе вод двух групп рек – равнинных притоков р. Обь таежной зоны в пределах Томской области и рек водосборов Чулыма и Томи, сток которых формируется на территории Кемеровской области и республики Хакасия, в горных районах Кузнецкого Алатау и Горной Шории. Данное сопоставление включало в себя кластерный анализ с мерой близости в виде евклидова расстояния между среднемноголетними значениями суммы главных ионов и концентраций конкретных компонентов (рис. 3.6.1.2, 3.6.1.3). По мере построения ветвей дендрограмм проводился анализ обобщенных значений используемых показателей на однородность по среднему и дисперсии [147, 153].

Полученные результаты свидетельствуют о примерно одинаковых значениях минерализации воды, а следовательно, и условиях ее формирования для следующих групп средних рек: 1) Васюган и Кеть; 2) Чая и Шегарка; 3) Тайдон и Томь в верхнем течении (Кемеровская область); 4) Верхняя и Средняя Терси (притоки р. Томь в Кемеровской области); 5) Кия и Кондома (приток р. Томь в Кемеровской области); 6) Четь и Яя.

Таблица 3.6.1.1

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) значений pH, содержаний главных ионов и взвешенных веществ в водах рек Томской области

Объект	Пункт	Пока- затель	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _n	Взвешенные вещества
				мг/дм ³								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Большие реки												
р. Обь	с. Кожевниково – с. Победа	A	7,97	34,5	8,4	12,3	1,8	139,5	14,0	4,1	214,8	15,6
		δ _A	0,07	1,6	0,7	2,0	0,2	7,9	1,2	0,4	10,9	3,8
р. Обь	г. Колпашево, 3 км выше	A	7,30	30,8	5,6	18,3	1,9	115,5	15,1	3,9	191,1	19,9
		δ _A	0,03	1,0	0,3	0,8	0,1	4,4	0,5	0,3	6,5	2,9
р. Обь	г. Колпашево, 12 км ниже	A	7,38	27,0	5,0	18,1	1,9	98,1	16,6	3,4	170,1	15,8
		δ _A	0,06	1,4	0,4	2,1	0,2	7,2	1,7	0,4	10,0	2,0
р. Обь	с. Прохоркино	A	7,17	29,8	5,1	19,1	2,0	113,6	15,5	3,6	188,8	26,8
		δ _A	0,06	2,0	0,4	1,4	0,1	8,1	1,0	0,4	11,5	5,8
р. Обь	с. Александров ское	A	7,16	25,6	4,9	17,4	1,9	97,3	14,4	2,9	164,4	30,8
		δ _A	0,04	1,2	0,3	1,9	0,2	5,9	0,9	0,2	8,3	7,2
р. Томь	с. Ярское	A	8,00	26,2	9,4	10,3	1,2	108,6	14,2	4,2	175,2	9,8
		δ _A	0,11	2,0	1,4	1,8	0,2	6,5	1,4	0,5	10,0	3,5
р. Томь	г. Томск, 0,3 км выше	A	7,28	24,1	5,1	17,6	1,8	85,0	16,0	6,2	155,9	24,1
		δ _A	0,04	1,0	0,5	1,1	0,1	4,0	0,8	0,6	6,8	6,2

Продолжение табл. 3.6.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Томь	г. Томск, 3,5 км ниже	A	7,78	24,0	5,3	19,9	2,0	96,6	13,7	6,4	168,0	19,4
		δ_A	0,06	2,0	0,5	2,4	0,3	9,5	1,0	1,0	14,0	2,4
р. Томь	с. Козюлино	A	7,39	24,3	4,9	17,3	1,8	91,5	15,7	5,9	161,4	27,7
		δ_A	0,08	2,0	0,6	2,9	0,3	8,4	1,7	0,8	13,3	4,4
р. Чулым	с. Тегульдет	A	7,24	31,1	10,5	17,1	1,8	124,0	15,5	2,3	202,2	21,6
		δ_A	0,07	2,6	3,9	2,6	0,3	11,4	1,8	0,3	15,2	4,6
р. Чулым	с. Батурино	A	7,36	36,3	6,9	16,8	1,7	144,9	13,2	2,1	221,8	47,0
		δ_A	0,09	1,3	0,3	1,1	0,1	6,3	1,0	0,3	7,3	11,4
Средние реки												
р. Кия	с. Окунеево	A	7,66	38,8	7,7	7,8	1,2	144,9	8,9	2,9	212,2	21,3
		δ_A	0,07	2,5	1,4	2,3	0,3	12,5	1,4	0,7	14,9	6,3
р. Кеть	с. Максимкин Яр	A	6,86	19,5	3,7	6,7	0,7	73,8	5,9	1,8	111,9	–
		δ_A	0,08	1,6	0,3	0,7	0,1	7,2	0,4	0,2	9,5	–
р. Кеть	с. Волково	A	7,11	15,2	4,3	15,1	1,6	60,8	13,6	2,8	113,3	17,4
		δ_A	0,06	1,3	0,5	1,9	0,2	5,3	1,4	0,5	7,2	2,0
р. Пайдугина	с. Березовка	A	6,41	10,2	2,1	5,0	0,5	37,1	5,2	1,2	61,3	5,8
		δ_A	0,10	1,5	0,3	0,8	0,1	6,9	0,5	0,1	9,6	3,3
р. Тым	с. Напас	A	6,53	9,5	2,4	7,0	0,7	38,1	6,5	1,4	65,6	19,1
		δ_A	0,07	0,8	0,2	0,9	0,1	3,9	0,8	0,2	5,5	3,8

Продолжение табл. 3.6.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Шегар- ка	с. Бабарыкино	A	7,65	65,3	17,0	36,7	3,6	282,4	23,8	16,1	444,9	23,5
		δ_A	0,08	3,5	1,3	4,0	0,4	18,9	2,2	3,8	25,5	3,4
р. Чая	с. Подгорное	A	7,33	66,6	12,7	27,1	2,8	278,2	14,8	8,8	411,0	35,8
		δ_A	0,27	5,9	1,5	4,9	0,5	29,1	3,4	0,8	40,0	11,9
р. Андар- ма	с. Панычево	A	7,14	46,5	9,5	29,6	3,0	188,7	23,2	4,9	305,4	23,8
		δ_A	0,10	5,1	1,5	5,4	0,6	26,2	3,7	0,5	37,2	6,5
р. Бакчар	с. Гореловка	A	7,20	52,3	12,4	20,3	2,1	229,1	12,0	5,6	333,8	6,8
		δ_A	0,06	5,6	1,6	3,3	0,3	30,9	1,2	0,5	42,0	2,2
р. Икса	с. Плотниково	A	7,05	36,0	11,2	21,7	2,2	146,7	20,9	6,5	245,3	16,4
		δ_A	0,06	3,0	1,5	3,5	0,4	16,2	3,2	0,5	22,2	2,4
р. Пара- бель	с. Новиково	A	6,68	39,1	7,1	13,5	1,4	160,0	9,4	2,4	232,9	11,0
		δ_A	0,13	4,5	0,8	2,1	0,2	19,8	1,5	0,2	26,6	2,1
р. Чузик	п. Осипово	A	6,20	38,4	13,0	13,7	1,4	168,8	8,5	2,5	246,3	–
		δ_A	–	5,7	4,3	2,1	0,2	26,2	1,2	0,3	34,4	–
р. Васю- ган	с. Средний	A	6,86	23,3	5,7	7,4	0,8	92,3	5,4	3,0	137,8	34,7
		δ_A	0,07	1,6	0,9	0,9	0,1	7,8	0,5	0,3	11,1	9,0
р. Васю- ган	Устье	A	7,25	28,9	11,0	5,8	0,5	122,2	7,7	5,3	181,4	22,4
		δ_A	0,13	3,2	3,7	1,7	0,2	14,2	2,5	0,9	20,8	3,7
р. Нью- ролька	верхнее течение	A	6,73	24,4	5,9	4,0	0,0	91,0	10,6	2,0	137,9	12,2
		δ_A	0,30	3,2	1,0	0,9	0,0	15,2	1,9	0,5	19,4	2,6

Продолжение табл. 3.6.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Чижап- ка	верхнее течение	A	7,70	68,0	14,1	45,2	4,6	378,2	17,6	13,7	541,4	9,3
		δ_A	0,12	13,3	1,1	19,6	2,0	65,2	3,8	3,3	98,7	5,5
Малые реки												
р. Ушайка	г. Томск	A	7,80	52,3	8,4	28,3	2,5	187,7	21,6	13,6	314,5	18,5
		δ_A	0,06	4,7	1,4	7,1	0,7	24,4	1,9	2,4	34,7	2,9
р. Бол. Киргизка	устье	A	8,00	44,9	9,1	9,0	1,6	181,7	13,6	6,9	266,8	27,4
		δ_A	0,12	5,7	1,0	1,5	0,4	20,7	2,0	1,5	29,8	8,7
р. Са- муська	устье	A	8,02	47,5	9,7	9,2	0,9	197,7	7,0	1,2	275,1	20,9
		δ_A	0,12	5,6	1,1	1,6	0,2	26,8	2,3	0,2	31,0	6,4
р. Ки- словка	устье	A	8,12	51,8	11,0	5,9	0,6	214,6	9,3	2,6	295,7	9,7
		δ_A	0,10	5,9	2,0	0,9	0,3	24,0	3,2	1,2	31,2	2,5
Лев. при- токи Оби	от Васюгана до Большого Югана	A	6,58	23,3	4,5	2,5	0,1	49,2	1,5	9,4	90,5	2,7
		δ_A	0,63	10,8	1,3	1,0	0,0	18,3	0,5	5,5	34,6	0,9
Пр. при- токи Оби	от Тыма до Ваха	A	5,81	19,7	7,4	4,6	0,6	90,5	5,8	5,9	134,5	20,1
		δ_A	0,36	6,8	2,0	2,5	0,3	24,5	1,6	3,0	32,2	9,0
Притоки Васюгана	верхнее течение Васюгана	A	6,21	24,7	7,9	11,3	2,8	106,1	6,3	8,3	167,5	121,7
		δ_A	0,34	4,9	1,2	4,3	1,6	24,6	1,8	1,9	34,6	78,8
Притоки Васюгана	среднее течение Васюгана	A	5,70	11,8	8,3	1,5	0,0	40,3	6,2	4,2	72,3	8,9
		δ_A	0,34	3,5	2,1	0,8	0,0	18,1	3,2	0,9	24,1	3,1

При этом следует отметить, что дендрограмма средних содержаний Cl^- , Ca^{2+} и HCO_3^- в водах рек с сильно заболоченными водосборами имеет несколько иной вид, чем для суммы главных ионов, и отличается тем, что в последних двух случаях к группе Чая – Шегарка примыкает р. Парабель, а в случае хлорид-ионов образуются статистически однородные групп рек: 1) Васюган, Парабель; 2) Кеть, Тым; 3) Чая, Шегарка. По содержанию SO_4^{2-} наблюдается примерно та же картина, что и для $\Sigma_{\text{и}}$, за тем исключением, что рр. Чая и Шегарка уже не образуют статистически однородную группу. Подобное распределение средних содержаний растворенных солей в речных водах в целом является вполне закономерным и хорошо коррелирует с интенсивностью водообмена и для горных, и для равнинных территорий (рис. 3.6.1.4).

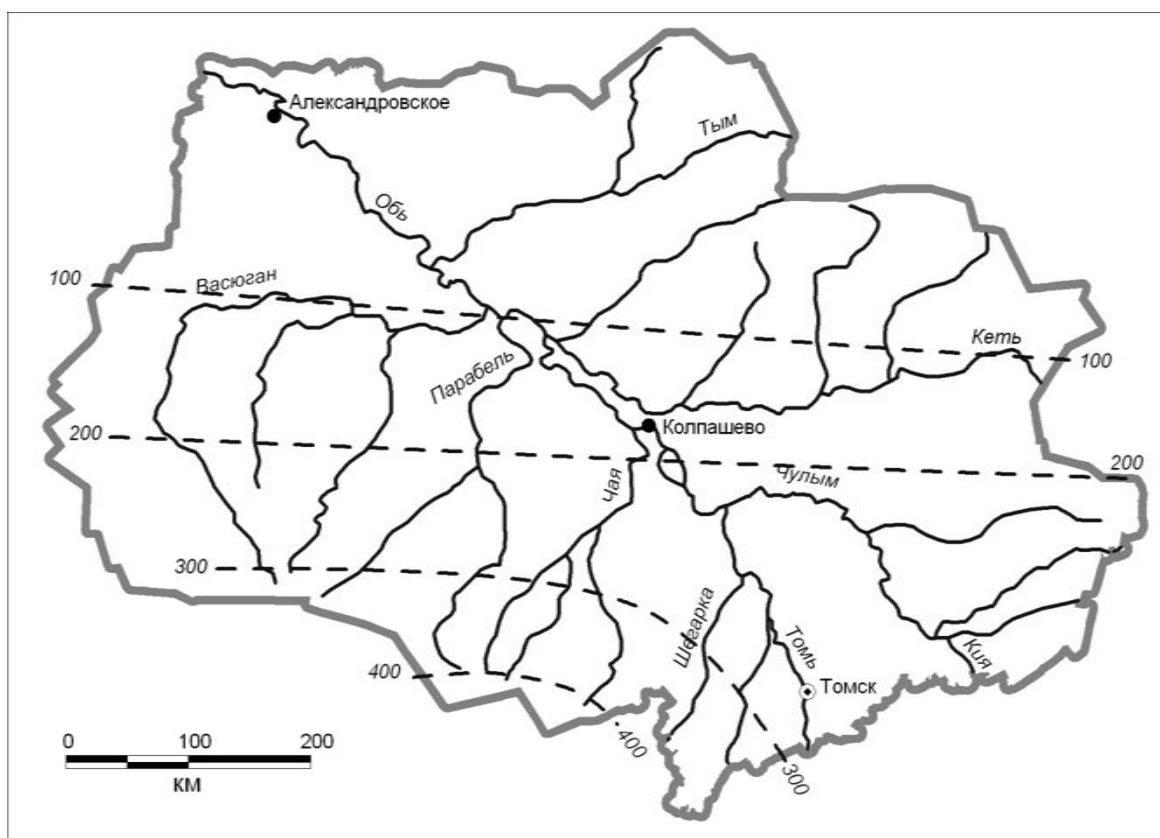


Рис. 3.6.1.1. Среднегодовые значения суммы главных ионов в водах средних рек Томской области, мг/дм^3

Кроме того, для рек Томской области на фоне влияния водного фактора прослеживается хорошо выраженная взаимосвязь между минерализацией и макрокомпонентным составом речных вод, с одной стороны, общей заболоченностью водосбором и долей участия в ней верховых и низинных болот, с другой (табл. 3.6.1.3). Так, макрокомпонентный состав вод рр. Васюган и Кеть формируется при модулях водного стока $6 \dots 7 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$ в условиях высокой заболочен-

ности водосборов, характеризующейся широким распространением верховых болот.

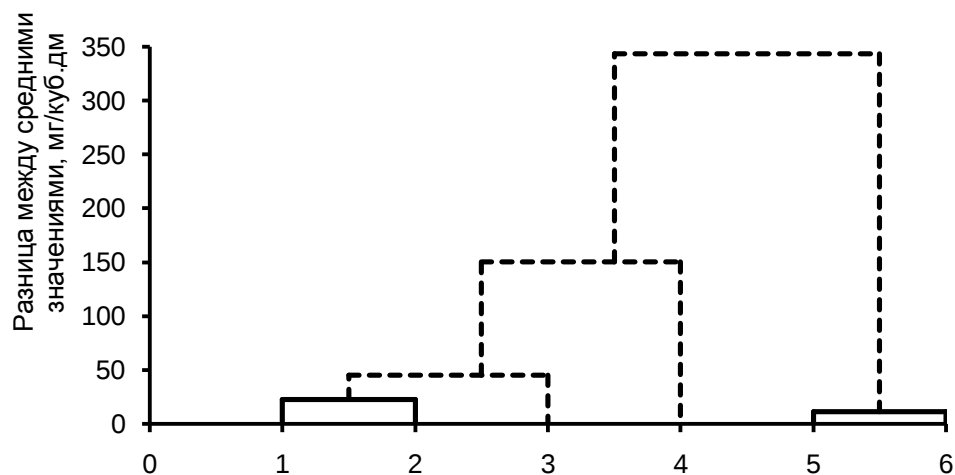


Рис. 3.6.1.2. Дендрограмма средних за 1970-2002 гг. значений $\Sigma_{и}$ в водах равнинных притоков р. Обь таежной зоны (1 – р. Васюган – с. Средний Васюган; 2 – р. Кеть – с. Максимкин Яр; 3 – р. Тым – с. Напас; 4 – р. Парабель – с. Новиково; 5 – р. Чая – с. Подгорное; 6 – р. Шегарка – с. Бабарыкино); пунктиром обозначены связи между группами рек, неоднородными по $\Sigma_{и}$ при уровне значимости 5 %

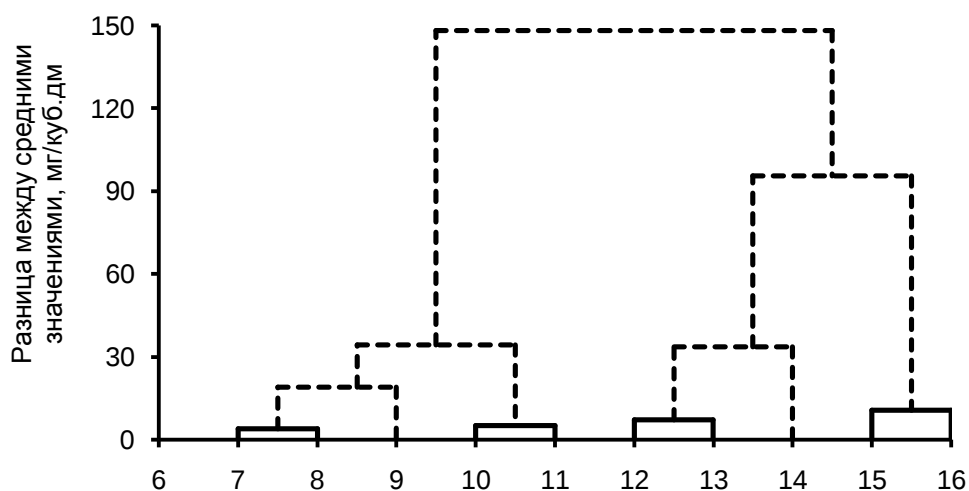


Рис. 3.6.1.3. Дендрограмма средних за 1970-2002 гг. значений $\Sigma_{и}$ в водах средних рек бассейнов рр. Томь и Чулым (7 – р. Томь – г. Междуреченск; 8 – р. Тайдон – п. Медвежка; 9 – р. Уса – г. Междуреченск; 10 – р. Верхняя Терсь – с. Осиновое Плесо; 11 – р. Средняя Терсь – с. Мутное; 12 – р. Кия – г. Мариинск; 13 – р. Кондома – г. Новокузнецк; 14 – р. Мрас-Су – г. Мыски; 15 – р. Четь – п. Конторка; 16 – р. Яя – пгт. Яя); пунктиром обозначены связи между группами рек, неоднородными по $\Sigma_{и}$ при уровне значимости 5 %

Модули водного стока в бассейнах рр. Чая и Шегарка уменьшаются до 2...4 л/(с·км²), а при достаточно высокой заболоченности водосборов увеличивается доля низинных болот. Одновременно с этим заметно увеличивается и содержание растворенных солей в водах р. Шегарка, Чая и ее притоков.

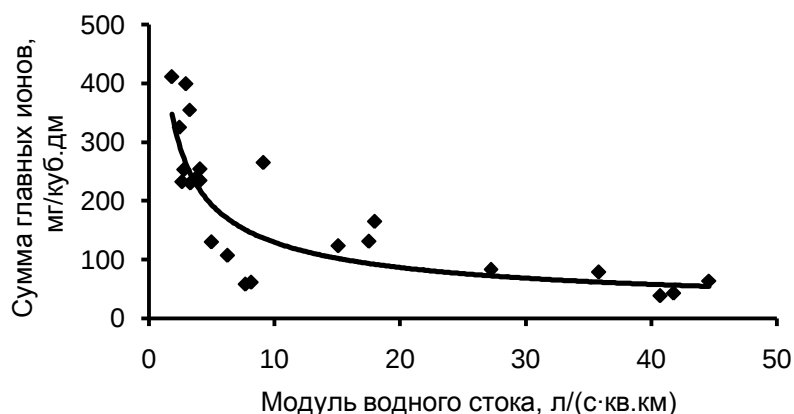


Рис. 3.6.1.4. Зависимость средних значений $\Sigma_{\text{и}}$ от нормы модулей водного стока M_Q (уравнение регрессии $\Sigma_{\text{и}}=488,76 \cdot M_Q^{-0,579}$; $S/\sigma=0,69$)

Таблица 3.6.1.2

Значимые коэффициенты корреляции между среднемноголетними значениями $\Sigma_{\text{и}}$, ХПК, содержаниями Fe и характеристиками водосборов и водного стока рр. Тым, Кеть, Пайдугина, Андарма, Икса, Шегарка, Бакчар, Парбиг, Кенга, Чузик

Показатель	$\Sigma_{\text{и}}$	Fe	ХПК
Площадь водосбора $F_{\text{бас}}$ (км ²)	-0,51	–	-0,73
Площадь болот $F_{\text{бол}}$ (км ²)	-0,51	0,52	-0,70
Площадь верховых болот $f_{\text{вмз}}$ (км ²)	-0,63	0,64	-0,50
Площадь низинных болот $f_{\text{нмз}}$ (км ²)	0,51	–	–
Доля болот в площади водосбора $F_{\text{бол}}$ (%)	–	–	0,82
Доля низинных болот в площади водосбора $f_{\text{нмз}}$ (%)	–	–	0,70
Доля верховых болот в площади болот $f_{\text{вмз}}^*$ (%)	-0,68	0,65	–
Доля низинных болот в площади болот $f_{\text{нмз}}^*$ (%)	0,51	–	0,61
Среднемноголетний расход воды Q (м ³ /с)	-0,67	0,53	-0,77
Модуль водного стока M_Q (л/(с×км ²))	-0,92	0,81	-0,82

Таким образом, в зависимости от интенсивности водообмена, характеризующейся модулем водного стока, и с учетом общей заболоченности водосборов и распространенности разных типов болот выделяются следующие группы рек с примерно равными содержаниями растворенных солей [147, 153].

1. Реки Чая и Шегарка. Их водосборы расположены на территории огромного Васюганского болота, в зоне избыточного увлажнения в весенний период и умеренного увлажнения – в летний период, характеризующейся наиболее низкими значениями модулей водного стока и высокой минерализацией подземных вод; подстилающие породы – суглинки и глины. Минерализация вод этих рек существенно выше, чем в р. Обь и прочих ее притоках-средних реках. В водах притоков р. Чая, в зависимости от глубины дренирования, содержание растворенных солей меньше (рр. Икса, Андарма, Галка) или примерно такое же (рр. Парбиг, Бакчар), что и в самой Чае.

2. Реки Васюган и Кеть – достаточно полноводные реки, сток которых формируется в зоне избыточного в течение всего года увлажнения и широкого распространения олиготрофных болотных ландшафтов; подстилающие породы – суглинки, супеси, пески. Минерализация речных вод, особенно в р. Кеть, ниже, чем в р. Обь, причем наблюдается уменьшение содержаний растворенных солей по мере движения водных масс от верховий к устьям.

3. Река Тым. С учётом данных по рр. Пайдугина и Вах, рр. Тым, Пайдугина и Вах образуют группу, характеризующуюся наиболее высокой (в пределах рассматриваемой территории) долей верховых болот в общей заболоченности водосборов (более 40 %), более высокими (на $2 \dots 3 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$), чем у рр. Кеть и Васюган, модулями водного стока; подстилающие породы – преимущественно пески. По минерализации и содержаниям макрокомпонентов рр. Тым и Пайдугина сходны с горными реками с максимальной интенсивностью водообмена. Среднее значение суммы главных ионов в водах р. Тым более чем в два раза меньше суммы главных ионов в водах р. Обь и большинства ее равнинных притоков.

4. Реки Четь и Яя – левобережные притоки р. Чулым, сток которых формируется в лесостепной зоне Чулымской наклонной равнины, обрамляющей склоны Кузнецкого Алатау. Концентрации главных ионов в их водах примерно на 10...20 % больше соответствующих показателей для р. Чулым. При этом следует отметить, что, несмотря на совершенно разный уровень антропогенной нагрузки на речные системы, средние содержания макрокомпонентов в водах рр. Четь и Яя примерно одинаковы (на территории водосбора р. Яя в течение длительного времени ведется добыча угля).

5. Реки Верхняя и Средняя Терси (притоки р. Томь в Кемеровской области) – правобережные, наиболее водообильные притоки р. Томь. Их истоки расположены на западных склонах Кузнецкого Алатау, отличающихся максимальным на рассматриваемой территории атмосферным увлажнением (950...1000 мм [129]). Одновременно с максимальными значениями модулей водного стока (более $20 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$) для них характерны минимальные содержания главных ионов – $40 \dots 80 \text{ мг}/\text{дм}^3$, что примерно в два-три раза меньше, чем в р. Томь.

Прочие реки горных и полугорных районов – Томь у г. Междуреченск, Тайдон, Мрас-Су, Кондома, Кия обнаруживают сходные черты в силу примерно одинаковых условий атмосферного увлажнения и образования водного стока. Например, сток и р. Кия у г. Мариинск, и р. Кондома у г. Новокузнецк в верхнем течении формируется в горных районах (Кузнецкого Алатау и Горной Шории соответственно). Затем они протекают по северным склонам предгорий, а в районе рассматриваемых створов – в лесостепной зоне. С учетом этого, реки горных районов и предгорий в целом можно рассматривать как некоторую общность, объединенную наличием очень интенсивного водообмена. В то же время, для макрокомпонентного состава их вод характерны и определенные отличия, что позволяет выделить среди них подгруппу в пределах западных и юго-западных склонов Кузнецкого Алатау (включая рр. Верхняя и Средняя Терси), характеризующуюся максимальными значениями модулей водного стока. Река Парабель по макрокомпонентному составу и минерализации вод занимает промежуточное положение между группами рек «Чая – Шегарка» и «Васюган – Кеть», тяготея к первой по содержанию кальция и гидрокарбонат-ионов, а ко второй – величине суммы главных ионов и содержанию Cl^- , SO_4^{2-} , а также значениям pH. С учетом среднесезонных значений модулей водного стока (3,1 л/(с·км²) для р. Чая; 4,2 л/(с·км²) для р. Парабель; 6,3 л/(с·км²) для р. Кеть у с. Максимкин Яр) и того обстоятельства, что значительная часть водосборов рр. Парабель, Чая и Шегарка относятся к одному и тому же Васюганскому району торфонакопления [65], р. Парабель целесообразно не выделять в отдельную группу, а объединить с рр. Чая и Шегарка, несмотря на меньшие содержания макрокомпонентов.

С точки зрения обеспечения качества водных объектов рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого назначения содержания макрокомпонентов и минерализация речных вод на территории Томской области обычно удовлетворяют российским нормативам. Исключение составляют так называемые техногенные ручьи, сформировавшиеся в результате каких-либо аварий или выноса солей из мест хранения отходов производства. Значительно чаще отмечаются нарушения нормативов по величине pH. При этом следует отметить, что отклонения значений pH за пределы диапазона 6,5...8,5 носят хорошо выраженный сезонный характер: pH менее 6,5 наблюдаются в весенний период, когда в водном стоке возрастает доля талых и болотных вод; pH более 8,5 обычно приурочены к летней межени (за исключением рек с заболоченными водосборами).

Органические вещества. При определении уровня содержаний органических веществ (ОВ) использовались как косвенные показатели (химическое потребление кислорода ХПК – показатель содержания трудноокисляемых веществ, биохимическое потребление кислорода за пять суток БПК₅ – легкоокисляемых), так и данные о концентрациях конкретных веществ. Общее содержание углерода органических веществ $C_{\text{орг}}$ (определено согласно [29] по соотно-

шению $C_{орг} = 0,375 \cdot \text{ХПК}$) в речных водах Томской области достаточно сильно изменяется в диапазоне от 3...4 мг/дм³ на юго-востоке и юге Томской области до 18...20 мг/дм³ и более – в вод рек Обь-Иртышского междуречья с заболоченными водосборами (табл. 3.6.1.4, рис. 3.6.1.5).

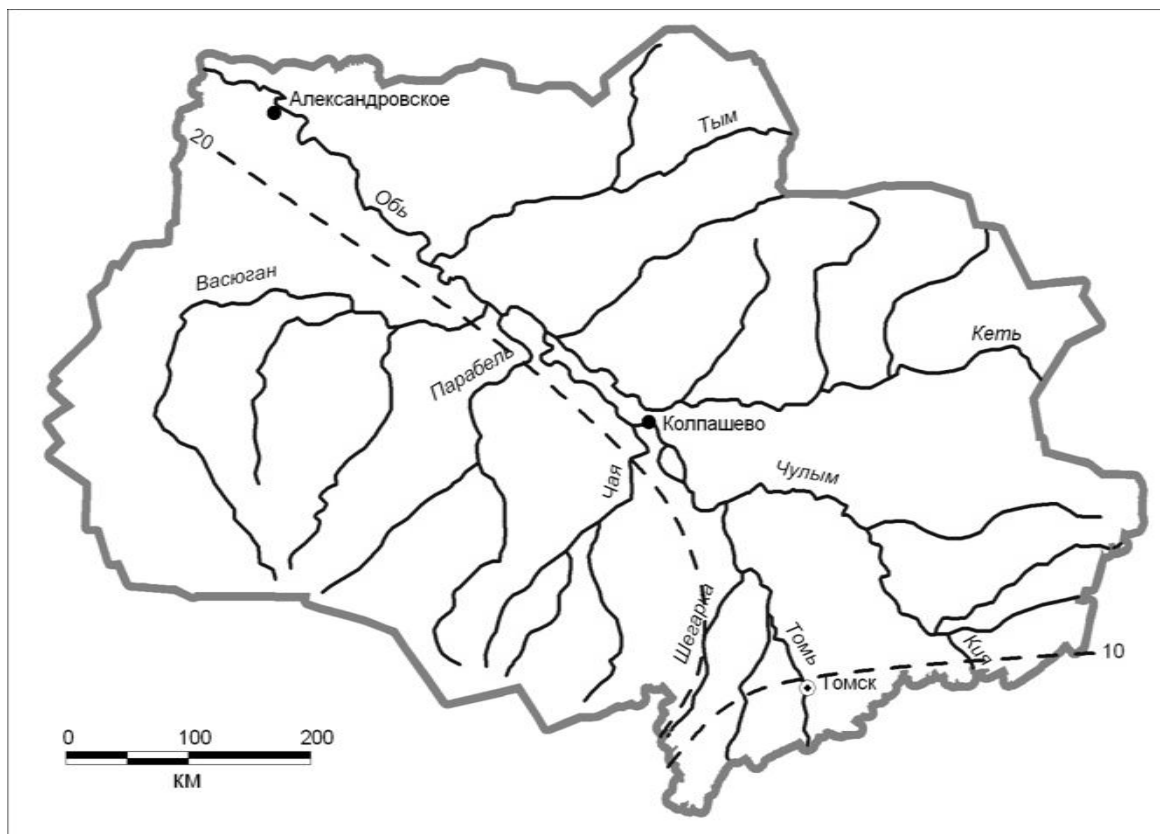


Рис. 3.6.1.5. Среднегодовые значения ХПК вод средних рек Томской области, мгО₂/дм³

Кластер-анализ данных о величине ХПК, проведенный отдельно для равнинных притоков р. Обь и рек водосборов рр. Томь и Чулым, показал, что в пространственном распределении содержаний трудноокисляемых ОВ выделяются однородные районы, соответствующие лево- и правобережной равнинным частям бассейна Средней Оби (рис. 3.6.1.6). Кроме того, выделяется условно однородный район в горных районах бассейна р. Томь (рис. 3.6.1.7).

Наиболее важным источником трудноокисляемых органических веществ по величине ХПК является поверхностный сток с заболоченных территорий с заболоченных территорий, определяющий поступление в речную сеть в среднем более 17 тыс. т/год углерода органических соединений (табл. 3.6.1.4).

Таблица 3.6.1.3

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) содержаний биогенных и органических веществ, значений ХПК, БПК₅ и токсичности вод речных вод на территории Томской области

Объект	Пункт	Показатель	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Нефте- продукты	Фено- лы	ХПК	БПК ₅	Токсичность, %
			мг/дм ³							мгО/дм ³	мгО ₂ /дм ³	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Большие реки												
р. Обь	с. Кожевниково – с. Победа	A	4,003	0,080	0,449	0,097	2,53	0,016	0,001	11,88	2,55	8
		δ_A	1,049	0,020	0,117	0,034	0,28	0,005	<0,001	1,46	0,22	3
р. Обь	г. Колпашево, 3 км выше	A	0,768	0,045	0,282	0,068	3,01	0,375	0,004	12,06	1,57	–
		δ_A	0,077	0,020	0,062	0,007	0,13	0,046	0,001	1,13	0,19	–
р. Обь	г. Колпашево, 12 км ниже	A	0,866	0,022	0,494	0,062	3,52	0,451	0,039	13,05	1,52	–
		δ_A	0,164	0,005	0,123	0,007	0,35	0,062	0,021	1,18	0,16	–
р. Обь	с. Прохоркино	A	0,730	0,003	0,614	0,132	4,10	0,436	0,006	15,36	2,18	43
		δ_A	0,117	0,001	0,116	0,029	0,23	0,180	0,002	1,96	0,32	9
р. Обь	с. Александровское	A	0,814	0,035	0,661	0,286	3,47	0,409	0,004	21,45	2,98	22
		δ_A	0,104	0,010	0,057	0,186	0,19	0,054	0,001	1,43	0,25	2
р. Томь	с. Ярское	A	6,448	0,047	0,315	0,075	3,07	0,032	0,002	10,68	2,33	7
		δ_A	1,428	0,012	0,045	0,021	0,58	0,014	0,001	0,86	0,21	2

Продолжение табл. 3.6.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Томь	г. Томск, 0,3 км выше	A	2,532	0,073	0,773	0,111	3,28	0,509	0,010	11,36	1,96	2
		δ_A	0,728	0,019	0,179	0,022	0,14	0,148	0,007	2,02	0,15	–
р. Томь	г. Томск, 3,5 км ниже	A	5,328	0,083	0,531	0,097	2,32	0,346	0,001	14,08	1,75	–
		δ_A	1,463	0,022	0,092	0,015	0,22	0,029	<0,001	2,74	0,08	–
р. Томь	с. Козюлино	A	1,733	0,058	0,557	0,116	2,99	0,267	0,001	12,27	2,24	2
		δ_A	0,370	0,008	0,094	0,021	0,25	0,039	<0,001	1,10	0,19	–
р. Чулым	с. Тегульдет	A	0,606	0,048	0,439	0,059	4,08	0,481	0,001	17,58	2,68	–
		δ_A	0,155	0,020	0,081	0,014	0,30	0,081	<0,001	2,16	0,19	–
р. Чулым	с. Батурино	A	0,187	0,014	0,162	0,086	4,19	0,218	0,001	12,95	1,55	–
		δ_A	0,063	0,003	0,038	0,024	0,16	0,041	<0,001	1,83	0,18	–
Средние реки												
р. Кия	с. Окунеево	A	2,141	0,005	0,440	0,066	4,87	0,021	0,001	12,76	3,64	10
		δ_A	0,733	0,003	0,097	0,017	0,58	0,005	<0,001	2,65	0,76	3
р. Кеть	с. Максимкин Яр	A	0,396	0,028	0,100	0,194	4,24	–	–	34,83	–	–
		δ_A	0,091	0,015	–	0,031	0,33	–	–	3,26	–	–
р. Кеть	с. Волково	A	1,617	0,019	0,440	0,170	4,78	0,359	0,001	34,23	1,18	–
		δ_A	0,882	0,004	0,061	0,037	0,28	0,026	<0,001	2,27	0,07	–
р. Тым	с. Напас	A	0,465	0,006	0,801	0,117	5,03	0,424	0,004	29,21	1,58	–
		δ_A	0,142	0,002	0,154	0,023	0,36	0,137	0,002	2,70	0,13	–

Продолжение табл. 3.6.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Шегар- ка	с. Бабарыкино	A	0,977	0,102	1,102	0,198	4,83	0,30	0,002	48,29	3,21	2
		δ_A	0,219	0,027	0,095	0,029	0,35	0,05	0,000	4,81	0,28	<1
р. Чая	с. Подгорное	A	1,100	0,054	0,857	0,501	4,09	0,433	0,003	43,35	0,38	–
		δ_A	0,320	0,031	0,288	0,114	0,44	0,200	0,001	9,49	0,09	–
р. Андар- ма	с. Панычево	A	0,972	0,055	1,121	0,132	4,10	0,359	0,002	64,64	1,87	–
		δ_A	0,261	0,028	0,199	0,030	0,68	0,049	0,001	7,94	0,40	–
р. Бакчар	с. Гореловка	A	0,836	0,069	2,282	0,282	4,55	–	0,004	50,61	1,23	–
		δ_A	0,208	0,029	0,223	0,040	0,58	–	0,000	6,01	0,33	–
р. Икса	с. Плотниково	A	0,320	0,039	1,638	0,141	3,20	0,371	0,003	76,40	3,34	–
		δ_A	0,064	0,012	0,194	0,024	0,24	0,042	0,001	5,35	0,14	–
р. Пара- бель	с. Новиково	A	0,561	0,003	2,216	0,094	5,33	0,517	0,002	54,49	3,18	0
		δ_A	0,155	0,001	0,533	0,028	0,44	0,103	0,001	11,28	0,64	–
р. Васю- ган	с. Средний Васюган	A	0,503	0,088	1,420	0,202	4,34	0,272	0,008	46,61	1,94	12
		δ_A	0,103	0,062	0,303	0,023	0,31	0,072	0,003	3,67	0,16	3
р. Васю- ган	устье	A	3,829	0,010	0,612	0,349	4,46	0,163	0,001	63,75	1,89	34
		δ_A	1,984	0,007	0,124	0,091	0,71	0,085	0,000	11,73	0,27	15
р. Нью- ролька	верхнее течение	A	1,821	0,011	1,821	0,386	6,69	0,154	0,004	83,64	2,71	27
		δ_A	0,263	0,007	0,429	0,073	0,74	0,047	0,003	29,12	0,78	3
р. Чижап- ка	верхнее течение	A	0,705	0,067	0,340	0,416	6,05	0,574	0,002	38,40	1,66	40
		δ_A	0,407	0,011	0,197	0,026	0,05	0,337	0,002	3,80	0,22	31

Продолжение табл. 3.6.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Малые реки												
р. Ушайка	г. Томск	A	5,529	0,176	1,775	0,317	4,45	0,486	0,002	19,27	4,85	–
		δ_A	2,027	0,037	0,800	0,071	1,08	0,146	0,001	1,96	0,34	–
р. Бол. Киргизка	устье	A	6,811	0,163	1,085	0,073	1,92	0,013	0,002	17,55	2,73	19
		δ_A	1,081	0,044	0,370	0,038	0,25	0,012	0,001	2,26	0,44	7
р. Са- муська	устье	A	2,928	0,028	0,550	0,073	4,81	0,011	0,001	14,23	2,73	21
		δ_A	0,907	0,014	0,141	0,016	1,15	0,005	0,000	2,31	0,71	12
р. Ки- словка	устье	A	1,970	0,056	4,703	0,026	1,46	0,373	0,001	20,48	2,20	37
		δ_A	0,857	0,036	4,366	0,010	0,15	0,282	0,001	5,17	0,91	11
Лев. при- токи Оби	от Васюгана до Большого Югана	A	0,280	0,480	2,313	0,160	3,88	0,056	0,005	79,33	1,93	0
		δ_A	0,280	0,480	0,737	0,126	1,17	0,034	0,002	10,67	0,50	0
Пр. при- токи Оби	от Тыма до Ваха	A	0,731	0,290	0,946	0,060	4,81	0,163	0,000	68,04	3,76	23
		δ_A	0,320	0,272	0,262	0,045	2,08	0,074	0,000	18,71	0,25	10
Притоки Васюгана	верхнее течение Васюгана	A	3,795	0,040	1,882	0,253	3,80	0,106	0,001	290,48	2,86	31
		δ_A	0,966	0,013	0,255	0,110	–	0,032	0,001	130,10	0,62	18
Притоки Васюгана	среднее течение Васюгана	A	1,663	0,016	1,491	0,421	2,64	0,111	0,000	132,94	2,65	32
		δ_A	0,299	0,015	0,231	0,100	0,33	0,027	0,000	31,78	0,86	6

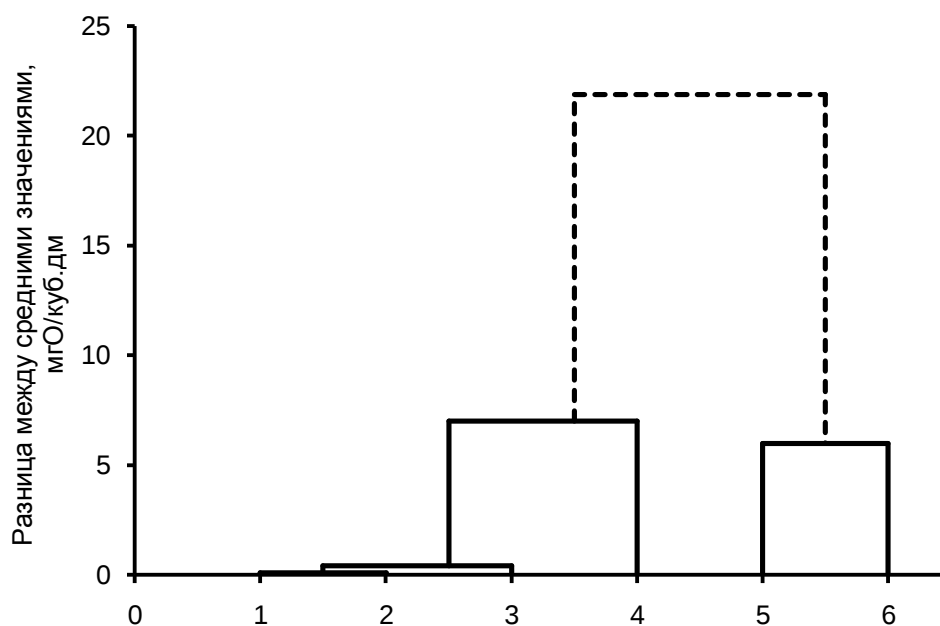


Рис. 3.6.1.6. Дендрограмма среднегодуальных значений ХПК в водах равнинных притоков р. Обь таежной зоны (1 – р.Васюган – с.Средний Васюган; 2 – р.Чая – с.Подгорное; 3 – р.Шегарка – с.Бабарыкино; 4 – р. Парабель – с. Новиково; 5 – р. Кеть – с. Максимкин Яр; 6 – р. Тым – с. Напас); пунктиром обозначены связи между группами рек, неоднородными по ХПК при уровне значимости 5 %

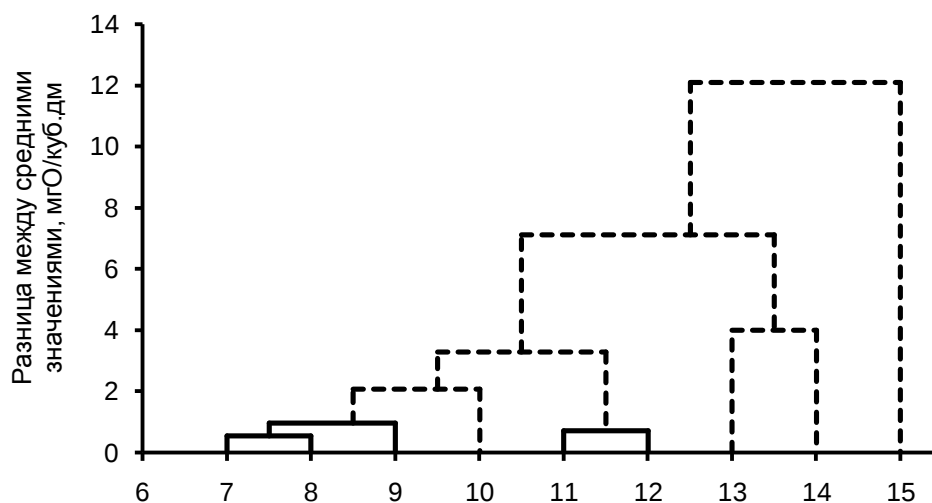


Рис. 3.6.1.7. Дендрограмма среднегодуальных значений ХПК в водах средних рек бассейнов рр. Томь и Чулым (7 – р. Средняя Терсь – с. Мутное; 8 – р. Уса – г. Междуреченск; 9 – р. Мрас-Су – г. Мыски; 10 – р. Кия – г. Мариинск; 11 – р. Тайдон – п. Медвежка; 12 – р. Томь – г. Междуреченск; 13 – р. Кондома – г.Новокузнецк; 14 – р.Яя – пгт.Яя; 15 – р.Четь – п.Конторка); пунктиром обозначены связи между группами рек, неоднородными по ХПК при уровне значимости 5 %

Важную роль также играет и интенсивность водообмена, механизмы влияния которого на содержание органических веществ являются неоднозначным. С одной стороны, чем больше поверхностный сток, тем больше вынос ОВ с заболоченных территорий. С другой стороны, замедленный водообмен характерен для слабодренируемых территорий. Поэтому одновременно с незначительным водным стоком малых болотных рек отмечают очень высокие значения ХПК. В целом же, судя по зависимости между ХПК и модулями водного стока, преобладает именно второй механизм (рис. 3.6.1.8).

Таблица 3.6.1.4

Средние значения гидрохимических показателей рр. Кеть, Пайдугина, Тым, Кенга, Чузик, Бакчар, Андарма, Икса, Парбиг, Шегарка в настоящее время и в предположении отсутствия болот на водосборных территориях

Показатель	Условие	$\Sigma_{\text{и}}$	$C_{\text{орг.}}$	$\text{Fe}_{\text{общ.}}$
Содержание, мг/дм ³	Ннаблюдаемое	227,9	17,1	0,45
	Вычисленное в отсутствие болот	198,0	3,1	0,25
Сток, тыс. т/год	Наблюдаемый	239,0	24,6	1,09
	Вычисленное в отсутствие болот	442,7	6,9	0,40
Разница между наблюдаемым и расчетным гидрохимическим стоком		-203,7	17,8	0,69
Модуль стока, т/(год·км ²)	Наблюдаемый	22,7	2,1	0,08
	Вычисленное в отсутствие болот	39,4	0,6	0,05
Разница между наблюдаемым и расчетным модулем гидрохимического стока		-16,7	1,5	0,03

В водах практически всех рассмотренных рек наблюдаются достаточно большие концентрации нефтепродуктов по данным, полученным Росгидрометслужбой методом ИК-спектрометрии. Причём в речных водах малонаселенных территорий Кемеровской области (в Кузнецком Алатау) средние содержания нефтепродуктов равны или даже больше соответствующих показателей для рр. Парабель и Васюган, в водосборах которых ведется нефтегазодобыча. По мнению ряда исследователей, повышенное содержание углеводородов в природных водах бассейна р. Томь может быть связана с участками распространения угленосных пород [122, 135]. Какое-то количество углеводородов и прочих органических соединений, возможно, поступает в притоки р. Томь из атмосферного воздуха, загрязненного выбросами автотранспорта, промышленных и сельскохозяйственных предприятий [140]. Кроме того, согласно распространенным

в отечественном почвоведении представлениям, в условиях высокого атмосферного увлажнения и достаточно низких температур (характерных для горных и полугорных районов бассейнов рр. Томь и Чулым) происходит интенсивное вымывание ОВ из почвогрунтов и поступление продуктов их трансформации в водотоки [39, 101], что, видимо, в какой-то мере определяет повышенное содержание углеводов в речных водах.

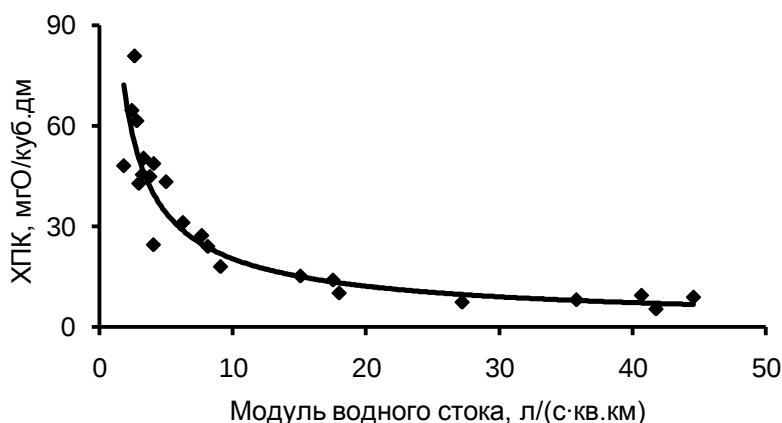


Рис. 3.8.1.8. Зависимость средних значений ХПК от нормы модулей водного стока M_Q в бассейне Средней Оби ($[ХПК]=111,99 \cdot M_Q^{-0,7407}$; $S/\sigma=0,92$)

Источником поступления углеводов в речные воды могут служить и болота, что подтверждается данными о составе ОВ торфов, приведенными в работах [54, 86, 92, 196] и сведениями о содержаниях органических соединений непосредственно в болотных водах [209]. Анализ последних позволяет сделать вывод о преобладании *n*-алканов с нечетным количеством атомов углерода, что указывает на их природное происхождение. В целом, можно предположить, что поступление углеводов в реки с болотными водами является одним из важных природных факторов их повышенного содержания в речных водах таежной зоны обского бассейна, поскольку примерно одинаковые средние концентрации этих веществ (0,4...0,6 мг/дм³), определенные методом ИК-спектроскопии, встречаются и там, где ведется добыча нефти и газа, и там, где хозяйственная деятельность практически отсутствует [147]. Все это не означает отрицание влияния нефтедобывающего комплекса на состояние водных объектов. Оно, конечно же, проявляется, например, в виде существенного (более чем в два раза) увеличения среднего уровня содержания смолистых веществ в р. Васюган по сравнению с другими средними реками рассматриваемой территории (табл. 3.6.1.4), в периодическом резком увеличении концентраций углеводов в речных водах в результате аварийных ситуаций на объектах нефтедобычи и нефтепроводах, в накоплении мало- и нерастворимых в воде компонентов неф-

тей в донных отложениях и придонных слоях, в снижении биоразнообразия водных экосистем [116, 139, 177].

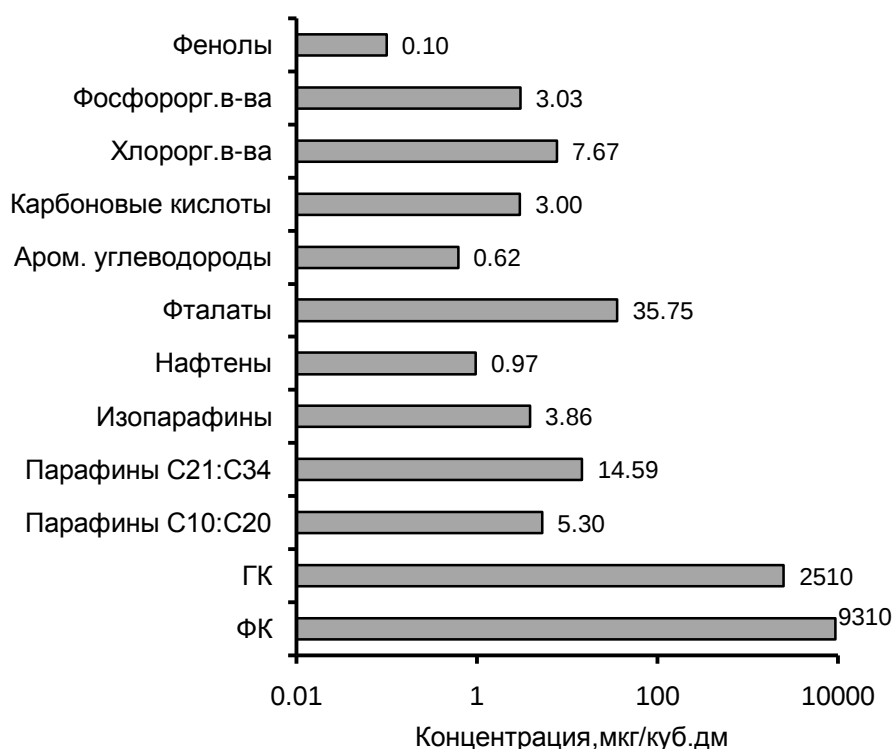


Рисунок 3.6.1.9. Средние концентрации некоторых органических веществ в водах Средней Оби (обобщение данных ИХН СО РАН, ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН; 5...13 проб, хлорорганические соединения – 2 пробы)

Помимо углеводов в речных водах на территории Томской области обнаружен целый ряд других органических соединений, включая карбоновые кислоты, фталаты, хлорсодержащие вещества (рис. 3.6.1.9). По данным Росгидромета, в составе последних присутствуют и пестициды, причем их поступление не всегда связано непосредственно с деятельностью сельскохозяйственных предприятий. Так, среднее содержание α -ГХЦГ в водах р. Васюган у с. Средний Васюган в 1990-е гг. составляло 4 нг/дм³ при том, что большую часть водосбора этой реки занимают леса и болота. Возможно, что какая-то часть хлорорганических соединений, обнаруживаемая в речных водах, связана с проведением противоклещевых мероприятий.

Сравнение имеющейся информации с российскими нормативами показало, что содержания нефтепродуктов, фенолов, значения ХПК и БПК₅ являются показателями, по которым наиболее часто среди гидрохимических показателей наблюдается нарушение российских нормативов рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого водопользования (вероятность превышения для всех рек ре-

гиона более 30 %). Кроме того, в речных водах зафиксированы содержания высокотоксичных веществ (хлорорганических и фосфорорганических соединений, фталатов и т.д.), которые в них вообще должны отсутствовать. Все это позволяет (в соответствии с требованиями [32]) отнести речные воды к категориям от ксеносапробных («чистых») до альфамезосапробных («загрязненных») и даже полисапробных («грязных»).

Биогенные вещества и железо. Как было отмечено выше, в речную сеть поступает поверхностный и подземный сток с болот, содержащий большое количество органических веществ. Непосредственно в болотные воды органические вещества попадают в процессе образования и эволюции болот, возникновению которых способствуют избыточное увлажнение и слабая дренированность водосборов. Некоторая часть органических веществ минерализуется с образованием аммиака, а в водной среде – ионов аммония. В условиях дефицита кислорода процесс нитрификации протекает недостаточно интенсивно, что и приводит к накоплению в болотных водах ионов NH_4^+ и NO_2^- . Кроме того, некоторые органические кислоты (например, фульвокислоты) могут образовывать весьма устойчивые соединения с железом, марганцем и рядом других металлов, накапливающиеся в водной среде (преимущественно в виде взвесей и коллоидных образований). По этой причине не только в болотных, но и речных водах региона наблюдаются повышенные концентрации Fe, NH_4^+ , несколько реже – NO_2^- (табл. 3.6.1.6), причём в количествах, очень часто превышающих установленные нормативы качества вод (с вероятностью более 20 %). По мере поступление болотных вод в речную сеть происходит их некоторое разбавление и разложение в среде, более богатой кислородом (в части содержаний органических и биогенных веществ). С учетом этого, в речных водах, как правило, снижается содержание железа, азота аммонийного и нитритного, органических веществ.

Превышения ПДК_р и ПДК_{х-п} по содержанию фосфатов, нитратов и кремния в водах рек региона достаточно редки, причём если повышенные концентрации кремния обусловлены естественными причинами (увеличение в водном питании рек доли подземных вод с более высоким содержанием кремния, взаимодействие кислых болотных вод с кремнийсодержащими горными породами в северо-восточной части Томской области), то высокие концентрации фосфатов и нитратов во многих случаях связаны с загрязнением малых рек. В целом, по содержанию биогенных веществ и железа речные воды региона обычно характеризуются как альфамезосапробные или полисапробные.

Таблица 3.6.1.5

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) содержаний железа и микроэлементов в речных водах Томской области, мг/дм³

Объект	Пункт	Показатель	Fe (общее)	Al	Mn	Cu	Zn	Pb
Большие реки								
р. Обь	с. Кожевниково – с. Победа	A	0,572	0,027	0,058	0,0016	0,0036	0,0005
		δ_A	0,102	0,014	0,012	0,0003	0,0015	0,0002
р. Обь	г. Колпашево, 3 км выше города	A	0,124	0,005	0,012	0,0056	0,0190	0,0022
		δ_A	0,016	0,002	0,002	0,0017	0,0103	0,0009
р. Обь	г. Колпашево, 12 км ниже города	A	0,316	0,010	0,010	0,0041	–	–
		δ_A	0,055	0,004	0,002	0,0016	–	–
р. Обь	с. Прохоркино	A	0,460	0,003	0,010	0,0038	0,0760	0,0010
		δ_A	0,150	0,001	0,003	0,0010	0,0710	0,0006
р. Обь	с. Александровское	A	0,491	0,006	0,023	0,0049	0,0312	0,0011
		δ_A	0,048	0,002	0,008	0,0012	0,0127	0,0002
р. Томь	с. Ярское	A	0,382	0,020	0,041	0,0014	0,0043	0,0009
		δ_A	0,064	0,005	0,007	0,0002	0,0013	0,0005
р. Томь	г. Томск, 0,3 км выше города	A	0,180	0,038	0,021	0,0042	0,0056	0,0017
		δ_A	0,033	0,014	0,011	0,0007	0,0020	0,0005
р. Томь	г. Томск, 3,5 км ниже города	A	0,302	0,015	0,040	0,0019	0,0020	0,0007
		δ_A	0,042	0,005	0,017	0,0003	0,0005	0,0002

Продолжение табл. 3.6.1.7

Объект	Пункт	Показатель	Fe (общее)	Al	Mn	Cu	Zn	Pb
р. Томь	с. Козюлино	A	0,407	0,034	0,010	0,0026	0,0066	0,0037
		δ_A	0,148	0,016	0,005	0,0008	0,0026	0,0030
р. Чулым	с. Тегульдэт	A	0,252	–	–	–	–	–
		δ_A	0,045	–	–	–	–	–
р. Чулым	с. Батурино	A	0,240	–	–	–	–	–
		δ_A	0,048	–	–	–	–	–
Средние реки								
р. Кия	с. Окунеево	A	0,526	–	0,063	0,0010	0,0034	0,0001
		δ_A	0,086	–	0,016	0,0003	0,0014	0,0000
р. Кеть	с. Максимкин Яр	A	0,987	–	–	–	–	–
		δ_A	0,147	–	–	–	–	–
р. Кеть	с. Волково	A	1,170	0,163	0,030	0,0010	0,0142	0,0007
		δ_A	0,128	0,137	0,030	0,0001	0,0112	0,0003
р. Пайдугина	с. Березовка	A	0,795	–	–	–	–	–
		δ_A	0,186	–	–	–	–	–
р. Тым	с. Напас	A	1,129	0,075	0,031	0,0026	0,0515	0,0014
		δ_A	0,118	0,075	0,031	0,0012	0,0475	0,0007
р. Шегарка	с. Бабарыкино	A	0,356	0,046	0,320	0,0014	0,0006	0,0002
		δ_A	0,065	0,046	0,089	0,0012	0,0004	0,0002

Продолжение табл. 3.6.1.7

Объект	Пункт	Показатель	Fe (общее)	Al	Mn	Cu	Zn	Pb
р. Чая	с. Подгорное	A	0,621	–	–	–	–	–
		δ_A	0,087	–	–	–	–	–
р. Андарма	с. Панычево	A	0,385	–	–	–	–	–
		δ_A	0,073	–	–	–	–	–
р. Бакчар	с. Гореловка	A	0,246	–	–	–	–	–
		δ_A	0,046	–	–	–	–	–
р. Икса	с. Плотниково	A	0,503	0,350	0,025	0,0027	0,0454	0,0044
		δ_A	0,088	–	–	0,0027	0,0372	0,0036
р. Парабель	с. Новиково	A	0,795	–	1,280	0,0195	0,0610	0,0140
		δ_A	0,195	–	–	0,0155	0,0590	0,0140
р. Чузик	п. Осипово	A	0,682	–	–	–	–	–
		δ_A	0,097	–	–	–	–	–
р. Васюган	с. Средний Васюган	A	0,851	0,340	–	0,0018	0,0070	0,0013
		δ_A	0,103	–	–	–	–	–
р. Васюган	устье	A	1,858	0,027	0,094	0,0019	0,0089	0,0006
		δ_A	0,190	0,022	0,062	0,0004	0,0045	0,0003
р. Нюролька	верхнее течение	A	2,476	0,000	0,038	0,0017	0,0041	–
		δ_A	0,387	0,000	0,027	0,0005	0,0027	–
р. Чижапка	верхнее течение	A	1,348	–	0,102	0,0163	–	0,0195
		δ_A	0,509	–	0,000	0,0082	–	0,0113

Продолжение табл. 3.6.1.7

Объект	Пункт	Показатель	Fe (общее)	Al	Mn	Cu	Zn	Pb
Малые реки								
р. Ушайка	г. Томск	A	0,436	0,021	0,155	0,0079	0,0027	0,0032
		δ_A	0,095	0,009	0,043	0,0023	0,0017	0,0013
р. Большая Киргизка	устье	A	0,799	0,020	0,098	0,0020	0,0089	0,0007
		δ_A	0,128	0,008	0,019	0,0004	0,0039	0,0002
р. Самуська	устье	A	1,136	0,002	0,126	0,0020	0,0162	0,0017
		δ_A	0,242	0,001	0,042	0,0006	0,0089	0,0012
р. Кисловка	устье	A	0,730	0,003	0,166	0,0012	0,0123	0,0006
		δ_A	0,147	0,002	0,079	0,0005	0,0058	0,0002
Притоки	левый берег Оби Большого Югана	A	2,420	0,337	0,150	0,0047	0,0070	–
		δ_A	0,809	0,092	0,050	0,0009	0,0036	–
Притоки	правый берег Оби	A	4,570	–	–	–	0,0040	–
		δ_A	1,909	–	–	–	0,0020	–
Притоки Васюгана	верхнее течение Васюгана	A	3,526	–	0,560	0,0058	0,0088	0,0038
		δ_A	0,539	–	0,470	0,0021	0,0030	0,0020
Притоки Васюгана	среднее течение Васюгана	A	2,443	–	–	–	–	–
		δ_A	0,423	–	–	–	–	–
Притоки Чижалки	верхнее течение Чижалки	A	1,865	–	0,062	0,0140	–	0,0200
		δ_A	0,413	–	0,062	0,0081	–	0,0117

Микроэлементы. Речные воды на территории Томской области характеризуются чрезвычайно широким диапазоном колебаний микроэлементов (табл. 3.6.1.7). Хорошо выраженные закономерности в пространственном распределении микроэлементов в речных водах, как правило, не обнаруживаются (по крайней мере, на основе имеющейся информации). В качестве исключения можно привести лишь выявленные тренды общего увеличения ряда редких и редкоземельных элементов в водах р. Обь на участке от устья р. Кеть до г. Стрежевой по сравнению с соответствующими показателями участка от устья р. Томь до г. Колпашево (рис. 3.6.1.10, 3.6.1.11)

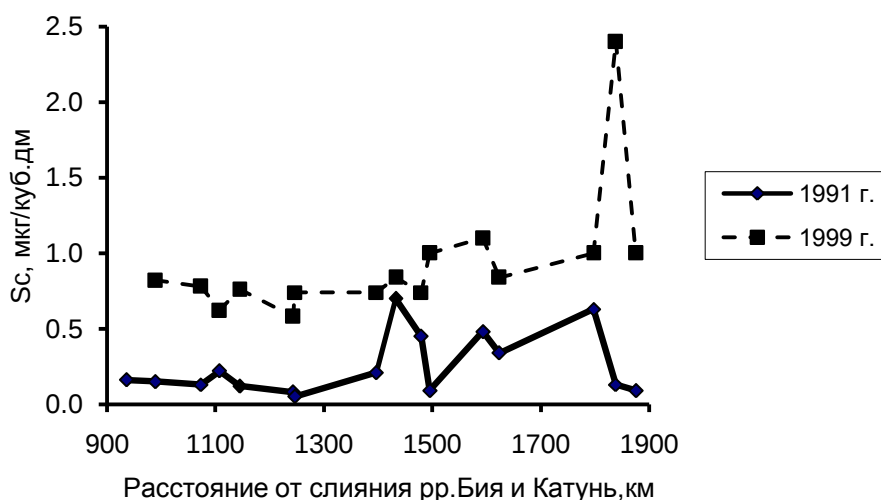


Рис. 3.6.1.10. Изменение концентраций Sc в р. Обь в 1991 и 1999 гг.

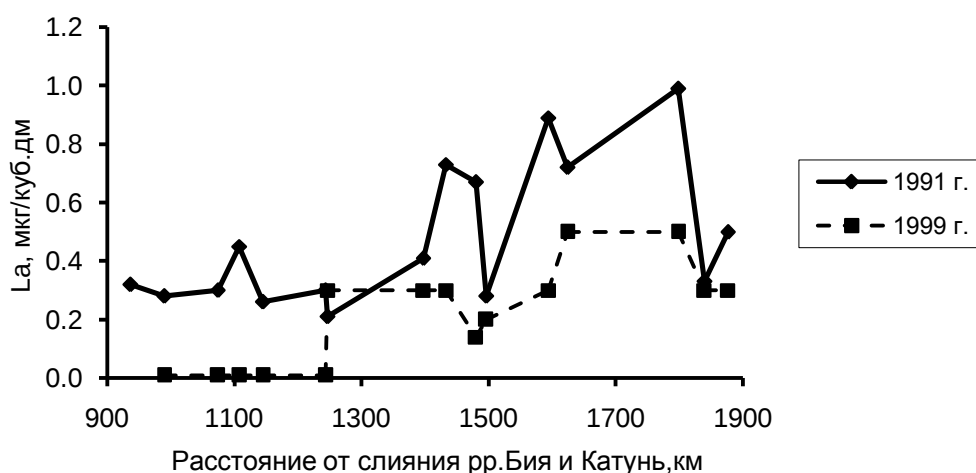


Рис. 3.6.1.11. Изменение концентраций La в р. Обь в 1991 и 1999 гг.

Анализ данных наблюдений ТПУ и ОАО «Томскгеомониторинг» показал, что уровень содержания микроэлементов в речных водах Томской области в

значительной степени определяется их термодинамическими свойствами и преобладающими формами миграции. В частности, в водах с повышенным содержанием органических кислот следует ожидать увеличение концентраций их соединений с марганцем и цинком [73], что подтверждается результатами гидрохимических обобщений и термодинамических расчётов [142, 147, 153].

Как следствие, для речных вод Томской области характерно повышенное относительно ПДК_р содержание Cu, Mn, Zn и Al, реже – Hg, Mo, V, Sr, Ni, причём нарушения нормативов по содержанию Mn в водах р. Обь и ее равнинных притоках с сильно заболоченными водосборами отмечаются чаще, чем в р. Томь, а наиболее высокие концентрации Cd, Hg и Li приурочены к р. Томь и ее притокам, протекающим в районе крупных промышленных центров.

Растворенные газы. Речные воды на территории Томской области по содержанию растворенного кислорода не удовлетворяют требованиям к водным объектам рыбохозяйственного назначения с обеспеченностью более 5–10 %, часто соответствуя, согласно [32], мезосапробному классу («загрязненные» воды), а в зимние месяцы – полисапробному классу («грязные» воды). Наиболее часто факты низкого содержания растворенного кислорода фиксируются в водах заболоченных территорий с повышенными значениями ХПК.

Токсичность. Оценка токсичности речных вод проводилась по данным ОАО «Томскгеомониторинг» [78], анализ которых показал, что в 2000-е гг. воды рр. Обь, Томь, Чулым и Кия в большинстве случаев были нетоксичными. В то же время, нельзя не отметить, что вероятность обнаружения токсичных проб весьма сильно меняется по территории. Например, для р. Томь и рек нефтегазодобывающих районов Томской области она существенно выше, чем непосредственно для р. Обь, что свидетельствует о значительно большем загрязнении притоков (табл. 3.6.1.2).

Общая оценка качества вод. В целом, речные воды на территории Томской области не соответствуют принятым в России нормативам рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого водопользования практически повсеместно и в течение всего периода наблюдений. По величине комплексного показателя качества вод, используемого в настоящее время в Росгидромете, качество речных вод изменяется в широком диапазоне – от «слабо загрязненных» до «очень загрязненных».

3.6.2. Многолетние изменения химического состава речных вод

Одна из ключевых проблем геоэкологии связана с оценкой изменения окружающей среды, в том числе, и водных экосистем. Применительно к Томской области её решением в части выявления многолетних изменений химического состава речных вод занимаются в системе Росгидромета и МПР России [20–22, 75, 78]. Кроме того, В.П. Зверевым с соавторами проведено изучение изменения

массопотоков нефтепродуктов с речными водами России, в целом, и р. Обь, в частности, а Г.К. Парфеновой, Е.Ю. Осиповой, Г.М. Роговым, В.К. Поповым и В.А. Земцовым исследовались изменения качества речных вод и ионного стока рр. Томь, Кия и Яя [57, 102, 107–110, 136]. Материалы собственных исследований многолетних изменений химического состава речных вод в бассейне Средней Оби изложены в [147, 153, 165].

Прежде всего, рассмотрим изменения двух ключевых показателей – суммы главных ионов и ХПК, сочетание значений которых позволяет в значительной степени охарактеризовать условия взаимодействия в системе «вода – порода – органическое вещество» и антропогенное влияние на состояние водного объекта [29, 91]. При этом особое внимание следует уделить изменениям химического состава р. Томь, водосбор которой, согласно [22, 75 и др.], испытывает максимальную антропогенную нагрузку. Учитывая указанные выше обстоятельства, усложняющие выявление временных закономерностей изменения химического состава речных вод, нами были определены зависимости между измеренными значениями $\Sigma_{\text{и}}$ и расходами воды (табл. 3.6.2.1).

Таблица 3.6.2.1

Характеристика связи между суммой измеренных концентраций главных ионов $\Sigma_{\text{и}}$ и среднесуточными расходами воды Q р. Обь и ее притоков за однородный период

Река – створ	Коэффициент корреляции r	Ошибка определения r	Уравнение связи	Критерий качества S/σ
р. Обь – г. Колпашево	-0,69	0,07	$\Sigma_{\text{и}}=2092,298 \cdot Q^{-0,313}$	0,78
			$\Sigma_{\text{и}}=234,730-0,012 \cdot Q$	0,72
р. Томь – г. Томск	-0,62	0,08	$\Sigma_{\text{и}}=1090,102 \cdot Q^{-0,327}$	0,61
			$\Sigma_{\text{и}}=182,001-0,019 \cdot Q$	0,78
р. Чулым – с. Батурино	-0,79	0,05	$\Sigma_{\text{и}}=1921,757 \cdot Q^{-0,370}$	0,76
			$\Sigma_{\text{и}}=257,166-0,052 \cdot Q$	0,61
р. Кеть – с.Максимкин Яр	-0,80	0,05	$\Sigma_{\text{и}}=9155,703 \cdot Q^{-0,792}$	0,45
			$\Sigma_{\text{и}}=176,004-0,127 \cdot Q$	0,60
р. Бакчар – с. Горелый	-0,68	0,11	$\Sigma_{\text{и}}=1257,567 \cdot Q^{-0,507}$	0,47
			$\Sigma_{\text{и}}=452,866-2,56 \cdot Q$	0,73
р. Шегарка – с. Бабарыкино	-0,59	0,11	$\Sigma_{\text{и}}=671,537 \cdot Q^{-0,256}$	0,64
			$\Sigma_{\text{и}}=475,234-1,697 \cdot Q$	0,81

Во многих случаях наилучшая оценка качества аппроксимации достигается при использовании степенных зависимостей $\Sigma_{\text{и}}=a \cdot Q^{-b}$, но удовлетворительные

результаты могут быть получены и для линейных уравнений вида $\Sigma_{\text{и}}=b-a\cdot Q$ [147, 150, 154, 163]. Применение зависимостей обоих видов позволило построить ряды ежедневных значений $\Sigma_{\text{и}}$ и вычислить по ним среднегодовые величины. Проверка смоделированных рядов рр. Обь и Томь на случайность и однородность, а также качественный анализ используемых зависимостей показали, что для однородного (по условиям формирования водного стока) периода гипотеза о неслучайных изменениях и нарушении однородности рядов среднегодовых величин $\Sigma_{\text{и}}$ не подтверждается при уровне значимости 5 % (табл. 3.6.2.2). Следовательно, можно с большой уверенностью утверждать, что для этих рек в течение периода 1970–2001 гг. наблюдался статистически постоянный уровень минерализации речных вод, зависящий, главным образом, от колебаний водного стока (рис. 3.6.2.1, 3.6.2.2).

Таблица 3.6.2.2

Результаты проверки расчетных среднегодовых значений $\Sigma_{\text{и}}$ на случайность и однородность за период с 1970–2002 гг.¹

Показатель	р. Обь – г. Колпашево		р. Томь – г. Томск	
	$\Sigma_{\text{и}}=a\cdot Q^{-b}$	$\Sigma_{\text{и}}=b-a\cdot Q$	$\Sigma_{\text{и}}=a\cdot Q^{-b}$	$\Sigma_{\text{и}}=b-a\cdot Q$
Критерий Питмена π ($\pi_{\text{кр}} = 2,002$)	1,612	1,843	-0,104	0,124
Критерий Уилкоксона W_k , граница интервалов – 1978 г.	72(57–150)	64 (57–150)	107(60–157)	81(47–136)
W_k , 1982 г.	128(74–178)	112(72–175)	135(77–183)	99 (70–172)
W_k , 1986 г.	104(76–179)	87 (76–179)	110 (82–190)	120 (82–190)
W_k , 1990 г.	97 (66–165)	93 (66–165)	92 (74–178)	116(74–178)
W_k , 1994 г.	74 (45–131)	81 (45–131)	101(53–147)	101(53–147)
Критерий Фишера F_k , 1978 г.	1,25 (2,40)	1,27 (2,40)	2,47 (3,15)	1,28(3,15)
F_k , 1982 г.	1,77 (2,34)	2,08 (2,34)	1,28 (2,56)	1,77 (2,31)
F_k , 1986 г.	1,95 (2,45)	2,67 (2,45)	1,29 (2,35)	1,51 (2,39)
F_k , 1990 г.	2,27 (2,79)	2,65 (2,79)	1,49 (2,31)	1,05 (2,66)
F_k , 1994 г.	2,78 (3,92)	3,29 (3,92)	1,90 (2,43)	1,38 (2,43)

Примечание: в скобках указаны критические значения статистик Уилкоксона и Фишера

Подтверждением этому служат результаты сопоставления вычисленных и измеренных значений $\Sigma_{\text{и}}$ вод р. Томь у г. Томск в многоводные 1973 г., 2002 г. (рис. 3.6.2.3) и маловодные 1974 г., 1989 г. (рис. 3.6.2.4), свидетельствующие о том, что в годы с примерно одинаковым внутригодовым распределением водного стока (при соблюдении отбора проб воды в одинаковые фазы водного режи-

ма) будет наблюдаться и близкое по виду внутригодовое изменение минерализации вод р. Томь, и близкие по величине среднегодовые значения. С учетом выделенных однородных периодов по водности рек рассматриваемой территории и данных о зависимостях $\Sigma_{и}=f(Q)$, аналогичный вывод может быть сделан и для многих других водотоков бассейна Оби.

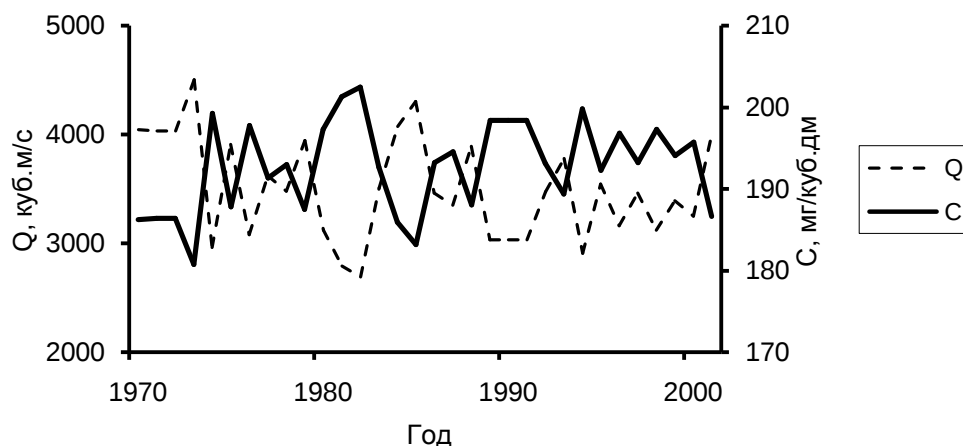


Рис. 3.6.2.1. Многолетние изменения среднегодовых значений суммы главных ионов (С) и расходов воды (Q) р. Обь у г. Колпашево за 1970–2001 гг.

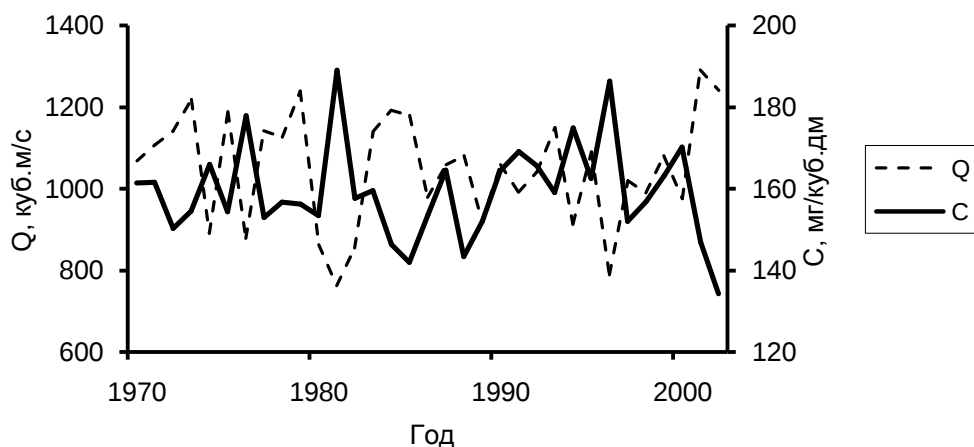


Рис. 3.6.2.2. Многолетние изменения среднегодовых значений суммы главных ионов (С) и расходов воды (Q) р. Томь у г. Томск за 1970–2002 гг.

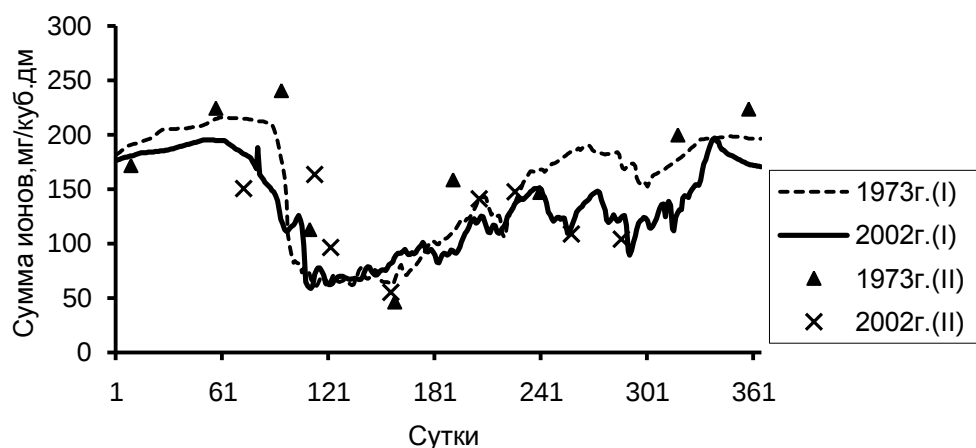


Рис. 3.6.2.3. Внутригодовое распределение вычисленных (I) и измеренных значений (II) $\Sigma_{и}$ вод р. Томь у г. Томск в многоводные 1973 и 2002 гг. (среднегодовые расходы воды 1219 и 1240 м³/с соответственно) [147]

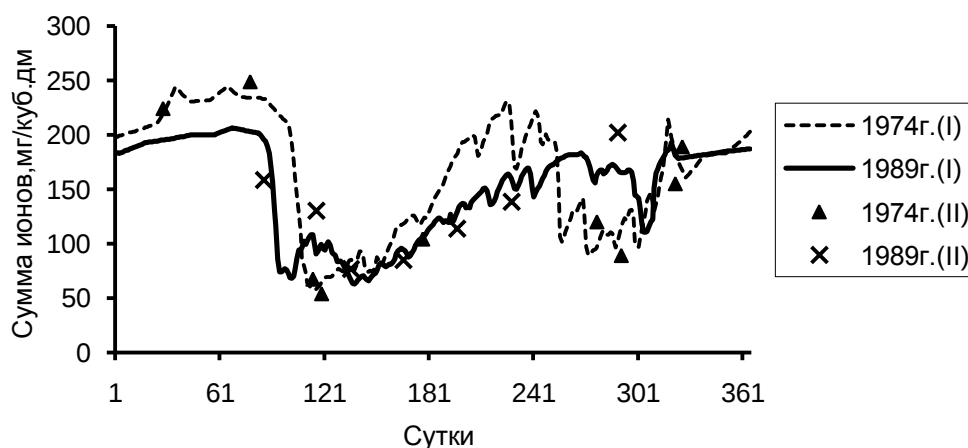


Рисунок 3.6.2.4. Внутригодовое распределение вычисленных (I) и измеренных значений (II) $\Sigma_{и}$ вод р. Томь у г. Томск в маловодные 1974 и 1989 гг. (среднегодовые расходы воды 890 и 921 м³/с соответственно)

Для среднегодовых величин ХПК вод некоторых рек в бассейнах рр. Томь и Чулым, вычисленных по измеренным значениям, характерны тенденции определенного увеличения в 1980–1990-е гг. по сравнению с 1970-ми гг. (табл. 3.6.2.3). Однако, принимая во внимание разное количество проб воды, отобранных в течение года (рис. 3.6.2.5), и в этом случае нет оснований для утверждений о значительных изменениях ХПК [141, 147], а следовательно, и общего уровня содержания ОВ. Тем более, что в 1980-2000 гг. изменения среднегодовых измеренных значений этого показателя как для р. Томь, так и для про-

чих больших и средних рек бассейна Средней Оби, преимущественно, носили характер случайных колебаний. Также относительно стабильным в течение последних 1970–2000-х гг. был уровень содержания железа и нефтепродуктов, определенных методом ИК-спектрометрии, хотя нельзя не отметить некоторое увеличение среднегодовых концентраций нефтепродуктов в речных водах в последние годы, которое трудно объяснить только ростом добычи нефти и газа в Приобье и водосборах рр. Васюган, Парабель и Киевский Ёган (рис. 3.6.2.6–3.6.2.8).

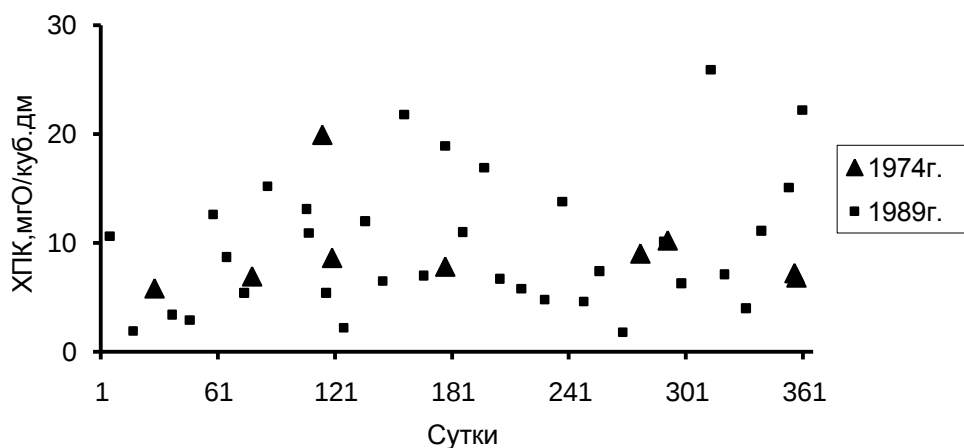


Рисунок 3.6.2.5. Внутригодовое распределение измеренных значений ХПК вод р. Томь у г. Томск в маловодные 1974 и 1989 гг.

Таблица 3.6.2.3
Среднегодовые расходы воды (Q , м³/с), значения ХПК, БПК₅, содержания нефтепродуктов, Fe, азота NO₂⁻ и NH₄⁺ (мг/дм³) в годы средней водности с обеспеченностью среднегодовых расходов 33...66 %

Река – створ	Год	Q	ХПК	Нефте-продук-ты	Fe	N(NO ₂ ⁻)	N(NH ₄ ⁺)
1	2	3	4	5	6	7	8
Обь – г.Колпашево	1962	3630	8,45(2)	–	0,09(5)	–	–
	1963	3220	9,71(7)	–	0,109(8)	0,028(8)	–
	1986	3460	9,48(11)	0,212(11)	0,148(9)	–	–
	1992	3470	7,8(10)	0,82(10)	0,02(8)	0,001(10)	0,07(10)
	1995	3540	9,40(9)	0,30(8)	0,01(4)	0,001(9)	0,25(9)
	1997	3460	8,70(11)	0,47(11)	0,12(8)	0,066(11)	0,13(11)
	1999	3390	12,7(7)	0,36(7)	0,170(4)	0,022(7)	0,20(7)
	2000	3220	8,35(11)	0,35(11)	0,080(6)	0,013(11)	0,107(7)

Продолжение табл. 3.6.2.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Томь – г. Томск	1970	1067	6,42(9)	–	0,093(9)	0,022(9)	–
	1971	1106	8,44(9)	–	0,038(8)	–	–
	1987	1058	11,7(40)	0,32(38)	0,29(15)	0,020(17)	1,09(42)
	1988	1080	12,3(96)	0,54(38)	0,24(8)	0,025(40)	1,05(30)
	1990	1059	9,24(36)	0,48(36)	0,35(7)	0,022(36)	0,67(36)
	1992	1041	8,7(36)	0,40(36)	0,24(7)	0,016(36)	0,43(36)
	1995	1090	12,1(37)	0,26(38)	0,39(7)	0,023(37)	0,37(39)
	1999	1080	11,6(36)	0,36(36)	0,37(7)	0,012(36)	0,29(36)
Чулым – с. Батурино (в 1950-е гг. п.Комму- нарка)	1956	822	–	–	0,57(4)	–	–
	1957	803	–	–	0,37(5)	–	–
	1991	833	14,2(5)	0,088(5)	0,73(5)	0,019(5)	0,58(5)
	1996	746	17,8(7)	0,27(7)	0,68(7)	0,007(7)	0,69(7)
	1997	762	15,0(5)	0,23(5)	0,09(5)	0,007(5)	0,41(5)
	2002	752	26,7(5)	0,19(5)	0,30(5)	0,014(5)	0,31(5)

В изменении концентраций легкоокисляемых органических веществ по БПК₅, фенолов, неорганических соединений азота в некоторых створах на рр. Томь и Чулым отмечено определенное уменьшение среднегодовых значений во второй половине 1990-х гг. по сравнению с предыдущими годами, сохранившееся и в 2000-е гг. (рис. 3.6.2.9–3.6.2.11). Однако, учитывая погрешности определения среднегодовых значений (более 10 %), даже в этих случаях нельзя с уверенностью говорить о хорошо выраженных тенденциях.

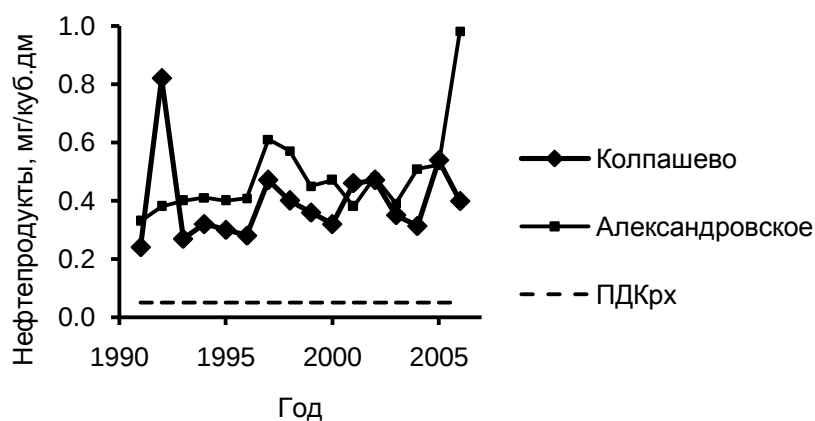


Рис. 3.6.2.6. Изменение среднегодовых измеренных концентраций нефтепродуктов в водах р. Обь

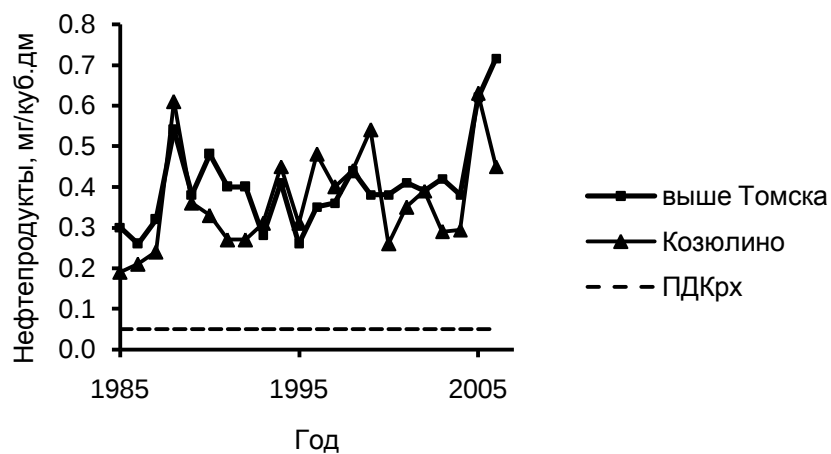


Рис. 3.6.2.7. Изменение среднегодовых измеренных концентраций нефтепродуктов в водах р. Томь

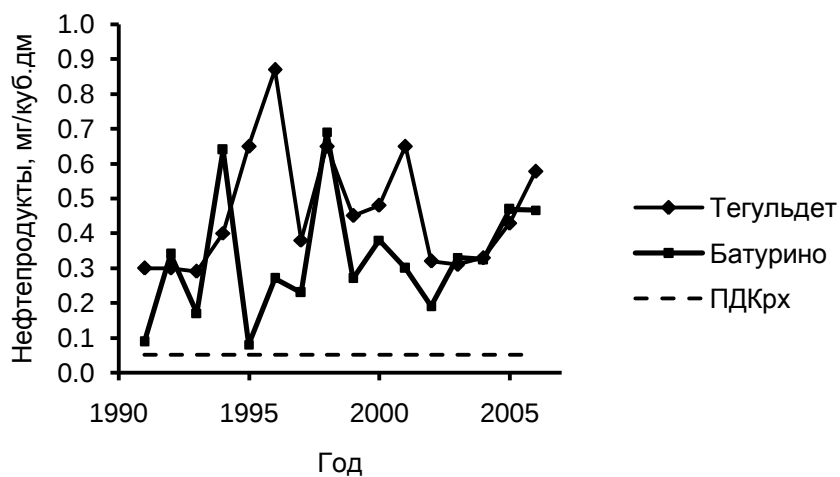


Рис. 3.6.2.8. Изменение среднегодовых измеренных концентраций нефтепродуктов в водах р. Чулым

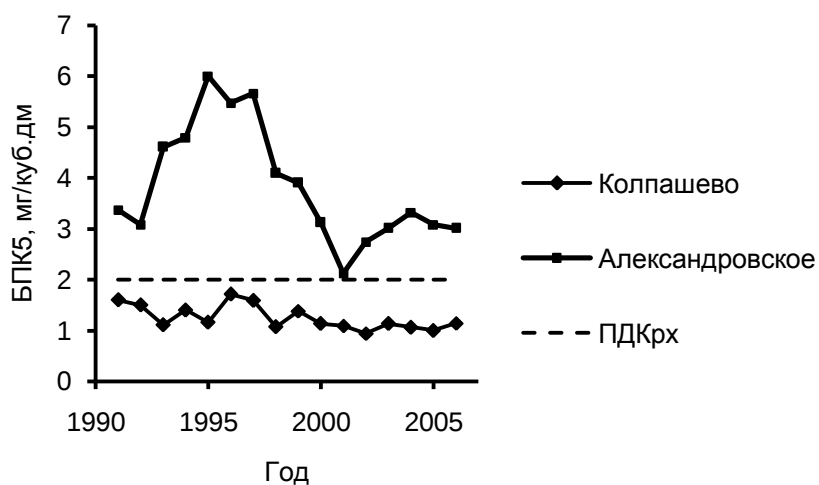


Рис. 3.6.2.9. Изменение среднегодовых измеренных значений БПК₅ вод р. Обь

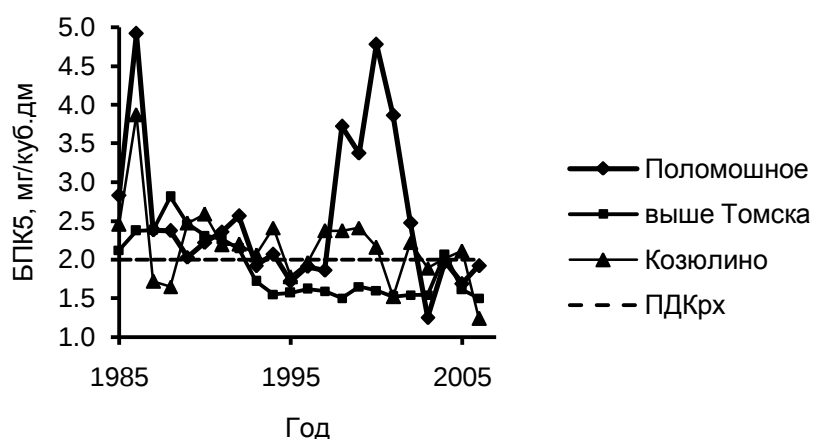


Рис. 3.6.2.10. Изменение среднегодовых измеренных значений БПК₅ вод р. Томь

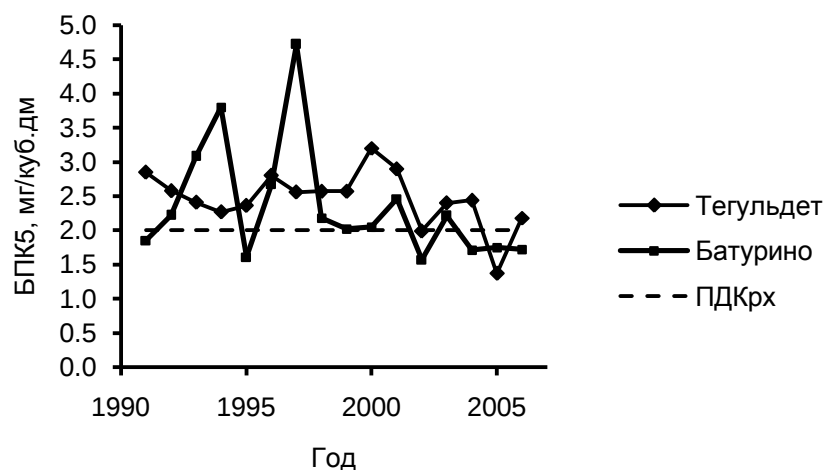


Рис. 3.6.2.11. Изменение среднегодовых измеренных значений БПК₅ вод р. Чулым

В целом же, анализ данных Росгидромета, ОАО «Томскгеомониторинг», ТПУ и других организаций позволяет сделать вывод об отсутствии значительных изменений в химическом составе речных вод бассейна Средней Оби в 1970–2000-е гг., что не исключает возможность последовательного уменьшения или увеличения минерализации, значений ХПК, БПК₅, содержаний соединений азота, фенолов и некоторых других веществ в течение нескольких лет [141, 147, 153, 165]. Более того, учитывая цикличность в колебаниях водного стока рассматриваемой территории, отмеченную в [1, 56, 57], и статистически значимые связи между расходами воды и содержаниями ряда компонентов, следует ожидать и циклическое изменение, по крайней мере, величины $\Sigma_{и}$.

3.6.3. Внутригодовые изменения химического состава речных вод

Сезонные изменения содержаний HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и величины $\Sigma_{\text{и}}$ в речных водах в целом достаточно хорошо соответствуют внутригодовому изменению водности рек Томской области и прилегающих территорий – чем больше расход воды, тем меньше концентрация указанных макрокомпонентов (табл. 3.6.3.1). Вследствие этого минимальные значения $\Sigma_{\text{и}}$, как правило, отмечаются в апреле–июне. Отклонения от указанной тенденции, наблюдаемые в случае р. Обь, объясняются «растягиванием» весеннего половодья в результате постепенного поступления водного стока с заболоченных территорий.

Для внутригодовых изменений содержаний SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ в водах разных рек могут наблюдаться различные, иногда противоположные тенденции. При этом меняется и вид связей между концентрациями указанных веществ и расходами воды. Аналогичная ситуация характерна для значений легкоокисляемых веществ по БПК₅, содержаний нефтепродуктов, NO_3^- , фенолов и микроэлементов, наибольшие значения которых могут наблюдаться в разные периоды года (табл. 3.8.3.2, 3.8.3.3), а внутригодовые изменения содержаний описываются в виде условных вероятностей в зависимости от водности реки. В частности, с помощью условных вероятностей для меди выявлено увеличение концентраций с возрастанием расходов воды, а для хрома – напротив, уменьшение [147, 153].

Хорошо выражены тенденции внутригодового изменения значений pH, ХПК, концентраций железа, кремния, растворенного кислорода, азота нитритного и аммонийного, фосфатов: для ХПК, содержаний Fe и фосфатов максимумы чаще всего приурочены ко всему периоду открытого русла, для NH_4^+ – к апрелю–июню, для кремния и NO_2^- – к зимней межени, для O_2 и pH – к летним месяцам. При этом следует отметить, что, во-первых, указанные тенденции имеют вероятностный характер. Во-вторых, на фоне общего увеличения ХПК при повышенном водном стоке выделяется р. Томь у г. Томск, где максимальные значения этого показателя наблюдаются в зимнюю межень.

В целом, при снижении водности рек от весеннего половодья до зимней межени в большинстве случаев происходит увеличение в речных водах Томской области общей минерализации и концентраций главных ионов. В период половодья и паводков отмечается увеличение значений ХПК, содержаний железа, фосфатов и азота аммонийного, в зимнюю межень в условиях разложения водной растительности – NO_2^- и Si. Таким образом, повышенные концентрации тех или иных веществ, часто превышающие установленные нормативы водопользования, наблюдаются в течение всего года, включая весенний период.

Таблица 3.8.3.1

Средние арифметические сезонные концентрации главных ионов в речных водах на территории Томской области, мг/дм³

Объект	Пункт	Сезон	рН	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и	Взвешенные вещества
				мг/дм ³								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Обь	с. Кожевниково – с. Победа	IV–VI	8,06	36,9	10,3	13,2	2,2	153,0	18,1	4,6	238,3	18,0
		VII–XI	7,90	32,5	6,9	11,6	1,4	128,4	10,6	3,7	195,4	12,3
р. Обь	г. Колпашево, 3 км выше	IV–VI	7,22	28,5	5,5	18,4	1,9	102,9	16,3	3,6	177,1	20,3
		VII–XI	7,38	29,7	5,0	15,2	1,6	109,5	13,1	3,4	177,5	22,8
		XII–III	7,32	45,4	8,7	32,1	3,3	194,2	19,2	7,9	310,9	12,3
р. Обь	г. Колпашево, 12 км ниже	IV–VI	7,16	20,8	3,6	16,7	1,7	66,7	17,7	2,7	129,8	16,4
		VII–XI	7,58	27,5	4,9	18,5	1,9	96,9	17,5	3,7	171,0	17,5
		XII–III	7,18	32,7	6,8	18,6	1,9	135,8	13,3	3,5	212,6	11,3
р. Обь	с. Прохоркино	IV–VI	7,00	26,4	4,6	20,6	2,1	95,6	18,0	3,6	170,9	44,3
		VII–XI	7,28	26,0	4,4	17,4	1,8	102,7	13,5	2,8	168,6	20,5
		XII–III	7,21	48,3	8,3	20,3	2,2	183,6	16,0	5,9	284,6	23,4
р. Обь	с. Александров ское	IV–VI	7,08	25,8	5,1	17,5	1,8	91,9	15,7	2,9	160,8	49,8
		VII–XI	7,22	23,0	4,4	16,8	1,9	89,5	13,8	2,4	151,8	21,5
		XII–III	7,16	25,6	4,9	17,4	1,9	97,3	14,4	2,9	164,4	30,8
р. Томь	с. Ярское	IV–VI	7,76	25,2	12,3	8,8	1,3	92,3	19,7	3,1	162,7	23,6
		VII–XI	8,13	25,8	8,5	10,6	1,0	113,1	12,0	4,5	177,0	3,0
		XII–III	7,20	42,1	6,1	14,2	3,0	146,4	17,2	8,6	237,6	1,0

Продолжение табл. 3.8.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Томь	г. Томск 0,3 км выше	IV–VI	7,06	14,7	2,9	13,2	1,3	48,7	13,2	2,4	96,4	47,1
		VII–XI	7,53	24,3	5,6	15,6	1,6	91,1	13,7	5,4	157,5	12,1
		XII–III	7,17	40,7	8,2	29,9	3,0	139,0	26,1	14,8	261,7	4,8
р. Томь	г. Томск 3,5 км ниже	IV–VI	7,55	14,2	3,2	16,8	1,7	51,7	14,4	2,2	104,2	28,2
		VII–XI	8,04	24,9	5,5	16,7	1,6	106,5	10,9	6,3	172,8	15,5
		XII–III	7,50	49,4	10,7	39,9	3,9	189,7	21,8	18,5	333,9	7,3
р. Томь	с. Козюлино	IV–VI	7,23	18,9	4,6	17,3	1,8	67,9	16,3	4,3	131,1	32,4
		VII–XI	7,61	24,0	5,3	11,6	1,2	96,6	12,2	5,2	156,2	27,1
		XII–III	7,06	42,3	4,7	39,7	4,1	146,5	27,9	14,0	279,2	14,7
р. Чулым	с. Тегульдет	IV–VI	7,18	26,3	13,1	19,2	2,0	109,4	17,8	2,0	189,8	30,1
		VII–XI	7,36	35,0	6,3	11,2	1,2	128,5	11,4	2,2	195,7	9,8
		XII–III	7,20	49,7	10,4	27,2	2,8	213,1	17,3	4,7	325,1	11,2
р. Чулым	с. Батурино	IV–VI	7,08	24,6	4,8	14,1	1,4	88,4	14,0	2,4	149,7	37,4
		VII–XI	7,36	36,3	6,9	16,8	1,7	144,9	13,2	2,1	221,8	47,0
		XII–III	7,06	55,4	10,5	15,8	1,6	229,8	9,0	3,4	325,4	2,7
р. Кия	с. Окунеево	IV–VI	7,27	27,4	9,6	2,7	1,6	119,0	9,9	5,3	175,4	43,5
		VII–XI	7,75	41,4	7,3	9,0	1,1	150,8	8,7	2,4	220,6	16,2
		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
р. Кеть	с. Максимкин Яр	IV–VI	6,45	11,3	2,2	5,3	0,5	39,6	5,3	1,5	65,9	–
		VII–XI	7,07	24,9	4,7	7,5	0,8	96,3	6,2	2,0	142,3	–
		XII–III	–	47,0	9,6	13,5	1,4	194,0	9,9	0,7	276,1	–

Продолжение табл. 3.8.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Кеть	с. Волково	IV–VI	6,92	9,1	3,0	18,3	1,9	45,9	13,9	2,0	94,1	12,7
		VII–XI	7,24	19,9	5,2	12,3	1,3	70,5	13,5	3,5	126,2	20,6
		XII–III	–	33,7	7,5	14,3	1,5	146,5	9,0	1,8	214,2	–
р. Пайдугина	с. Березовка	IV–VI	6,20	7,3	1,5	4,2	0,5	23,2	4,8	1,2	42,6	9,0
		VII–XI	6,82	14,9	3,2	5,7	0,6	58,5	5,8	1,2	89,8	2,5
		XII–III	6,60	22,8	4,9	12,3	1,3	101,3	7,6	0,5	150,6	–
р. Тым	с. Напас	IV–VI	6,31	6,5	1,4	5,2	0,5	25,1	4,8	1,3	44,8	25,2
		VII–XI	6,75	11,6	3,3	8,4	0,9	46,7	7,9	1,6	80,5	14,6
		XII–III	–	22,3	5,0	10,4	1,1	97,1	7,0	0,9	143,6	–
р. Шегарка	с. Бабарыкино	IV–VI	7,7	47,2	17,1	30,7	2,9	215,7	24,6	9,1	347,2	24,1
		VII–XI	7,6	74,4	13,5	40,7	4,2	283,2	25,6	24,4	466,0	23,8
		XII–III	7,7	91,2	25,1	42,9	4,2	458,4	17,6	14,5	653,9	21,4
р. Чая	с. Подгорное	IV–VI	7,28	52,3	11,9	20,4	2,2	225,1	11,9	6,9	330,8	47,8
		VII–XI	7,93	74,0	14,0	33,4	3,4	309,4	18,6	10,4	463,1	6,9
		XII–III	6,25	101,0	10,0	29,1	3,0	387,8	9,9	10,9	551,5	57,5
р. Андарма	с. Панычево	IV–VI	6,99	33,0	6,7	18,5	1,9	114,8	20,0	3,7	198,6	24,5
		VII–XI	7,39	65,6	16,5	39,4	4,0	267,8	36,1	5,4	434,8	9,1
		XII–III	7,20	61,0	9,5	47,8	4,9	294,3	18,3	7,4	443,1	33,7

Продолжение табл. 3.8.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Бакчар	с. Гореловка	IV–VI	7,01	28,0	5,9	9,9	1,0	98,8	11,0	4,6	159,2	3,5
		VII–XI	7,36	70,6	16,0	20,0	2,1	309,1	9,2	6,1	433,1	—
		XII–III	7,65	97,5	25,7	49,0	5,0	491,3	17,9	7,9	694,2	11,8
р. Икса	с. Плотниково	IV–VI	6,96	28,1	7,2	23,6	2,4	104,7	22,2	5,6	193,9	14,8
		VII–XI	7,10	40,3	13,5	16,7	1,7	166,2	18,1	7,1	263,7	19,0
		XII–III	7,19	61,3	22,7	34,5	3,5	295,1	27,2	8,8	453,0	13,5
р. Парабель	с. Новиково	IV–VI	6,38	28,5	5,4	9,4	1,1	114,3	7,6	2,3	168,6	9,8
		VII–XI	6,71	36,9	6,7	16,7	1,7	156,6	9,9	2,6	231,0	14,3
		XII–III	7,27	73,1	12,8	19,7	2,0	294,9	13,4	2,3	418,2	10,5
р. Чузик	п. Осипово	IV–VI	6,20	31,2	15,1	14,1	1,4	138,3	10,2	2,4	212,7	—
		VII–XI	—	44,9	9,5	12,0	1,2	194,2	5,9	2,3	270,1	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
р. Васюган	с. Средний Васюган	IV–VI	6,69	19,0	5,5	7,6	0,8	74,2	6,4	2,3	115,8	37,2
		VII–XI	7,06	25,1	5,0	6,1	0,6	96,8	4,5	3,2	141,4	35,7
		XII–III	6,78	58,2	14,7	19,0	1,9	276,8	2,6	10,2	383,5	23,9
р. Васюган	устье	IV–VI	7,45	31,3	0,6	5,2	0,0	96,9	7,2	4,3	145,4	17,5
		VII–XI	7,18	28,0	14,8	6,0	0,7	131,4	7,9	5,7	194,5	24,9
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
р. Ушайка	г. Томск	IV–VI	7,71	34,9	7,5	18,2	1,8	116,4	19,6	7,5	205,9	26,7
		VII–XI	7,93	60,7	8,1	23,3	1,8	211,9	23,1	14,5	343,5	13,4
		XII–III	7,60	82,1	13,0	82,0	7,6	346,7	23,1	31,5	586,1	9,0

Таблица 3.8.3.2

Средние арифметические сезонные значения ХПК, БПК₅, токсичности, концентрации нефтепродуктов и фенолов в речных водах
Томской области

Объект	Пункт	Сезон	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	ХПК, мгО/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Нефтепро- дукты, мг/дм ³	Фенолы, мг/дм ³	Токсич- ность, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Обь	с. Кожевни- ково – с. Победа	IV–VI	7,120	0,109	0,653	0,150	2,69	11,78	2,48	0,015	0,002	13
		VII–XI	1,436	0,056	0,281	0,047	2,31	11,97	2,64	0,017	0,001	4
р. Обь	г. Колпа- шево, 3 км выше	IV–VI	0,828	0,035	0,378	0,080	3,32	11,54	1,87	0,331	0,006	—
		VII–XI	0,631	0,016	0,228	0,069	2,49	13,40	1,33	0,387	0,001	—
		XII–III	1,267	0,174	0,260	0,040	4,22	7,77	1,66	0,412	0,007	—
р. Обь	г. Колпа- шево, 12 км ниже	IV–VI	0,501	0,020	0,657	0,087	2,77	14,46	1,61	0,388	0,068	—
		VII–XI	0,622	0,021	0,417	0,047	2,39	13,15	1,21	0,449	0,006	—
		XII–III	1,811	0,028	0,484	0,066	6,89	11,28	2,09	0,518	0,083	—
р. Обь	с. Прохоркино	IV–VI	0,732	0,000	1,017	0,151	3,69	14,95	2,50	1,030	0,009	—
		VII–XI	0,657	0,004	0,494	0,131	4,07	17,00	2,31	0,300	0,000	52
		XII–III	0,920	0,010	0,520	0,090	4,98	11,57	1,75	0,195	0,005	34
р. Обь	с. Александ- ровское	IV–VI	1,059	0,057	0,709	0,068	3,75	18,69	2,92	0,348	0,004	—
		VII–XI	0,630	0,018	0,639	0,447	3,16	24,59	2,98	0,427	0,005	22
		XII–III	0,814	0,035	0,661	0,286	3,47	21,45	2,98	0,409	0,004	22

Продолжение табл. 3.8.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Томь	с. Ярское	IV–VI	8,343	0,097	0,426	0,141	4,41	11,02	2,02	0,026	0,002	6
		VII–XI	4,641	0,028	0,269	0,049	2,22	10,59	2,43	0,032	0,002	7
		XII–III	27,45	0,066	0,386	0,000	3,50	9,70	3,10	0,080	0,001	—
р. Томь	г. Томск 0,3 км выше	IV–VI	2,008	0,039	0,953	0,172	3,27	11,01	1,89	0,769	0,020	2
		VII–XI	2,462	0,082	0,287	0,070	2,98	8,50	2,04	0,343	0,003	—
		XII–III	3,474	0,108	1,426	0,089	3,87	16,25	1,91	0,325	0,004	—
р. Томь	г. Томск 3,5 км ниже	IV–VI	3,767	0,064	0,708	0,109	3,31	10,27	1,65	0,291	0,001	—
		VII–XI	1,849	0,043	0,238	0,061	1,35	10,35	1,76	0,359	0,002	—
		XII–III	22,43	0,283	1,107	0,186	3,50	37,66	2,07	0,444	0,002	—
р. Томь	с. Козюлино	IV–VI	1,885	0,053	0,522	0,106	3,38	11,95	1,99	0,229	0,001	2
		VII–XI	0,989	0,054	0,468	0,130	2,44	13,90	2,54	0,235	0,002	—
		XII–III	4,223	0,092	1,025	0,092	3,50	7,12	2,02	0,455	0,002	—
р. Чулым	с. Тегульдэт	IV–VI	0,770	0,021	0,597	0,068	4,29	20,77	2,60	0,445	0,001	—
		VII–XI	0,099	0,040	0,210	0,055	3,28	12,44	2,60	0,410	0,001	—
		XII–III	1,661	0,298	0,283	0,008	6,10	16,70	3,42	0,875	0,002	—
р. Чулым	с. Батурино	IV–VI	0,752	0,031	0,478	0,091	5,10	21,29	2,37	0,218	0,002	—
		VII–XI	0,187	0,014	0,162	0,086	4,19	12,95	1,55	0,218	0,001	—
		XII–III	1,706	0,091	0,348	0,017	5,36	17,93	1,20	0,300	0,000	—

Продолжение табл. 3.8.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Кия	с. Окунеево	IV–VI	6,921	0,022	0,674	0,120	3,71	13,81	4,15	0,032	0,003	7
		VII–XI	1,039	0,001	0,386	0,052	5,26	12,52	3,53	0,019	0,001	10
р. Кеть	с. Максимкин Яр	IV–VI	0,153	0,009	–	0,173	4,17	38,60	–	–	–	–
		VII–XI	0,512	0,046	0,100	0,226	4,30	33,74	–	–	–	–
		XII–III	1,000	0,000	–	0,046	–	7,50	–	–	–	–
р. Кеть	с. Волково	IV–VI	2,931	0,012	0,657	0,118	3,62	42,51	1,25	0,233	0,002	–
		VII–XI	0,820	0,023	0,300	0,204	5,72	28,43	1,13	0,426	0,001	–
		XII–III	0,750	–	–	–	5,70	–	–	–	–	–
р. Пай– дугина	с. Березовка	IV–VI	0,417	0,011	1,460	0,060	3,43	31,38	3,00	–	–	14
		VII–XI	0,688	0,003	0,660	0,173	4,70	27,54	4,30	0,072	0,001	8
		XII–III	1,120	–	–	0,110	11,6	10,40	–	–	–	–
р. Тым	с. Напас	IV–VI	0,396	0,003	1,342	0,106	4,36	25,50	1,56	0,280	0,005	–
		VII–XI	0,533	0,008	0,530	0,126	5,59	31,43	1,59	0,460	0,003	–
р. Ше– гарка	с. Бабарыкино	IV–VI	1,476	0,078	1,007	0,155	4,25	61,32	2,99	0,198	0,001	2
		VII–XI	0,695	0,091	0,977	0,274	4,41	46,39	3,22	0,501	0,003	–
		XII–III	0,614	0,184	1,663	0,096	8,27	24,56	3,67	0,135	0,002	2
р. Чая	с. Подгорное	IV–VI	1,358	0,015	1,397	0,408	3,38	62,90	0,32	0,410	0,005	–
		VII–XI	1,129	0,125	0,296	0,370	4,83	23,50	0,53	0,790	0,001	–
		XII–III	0,266	0,026	0,361	1,043	4,60	24,40	0,24	0,100	0,002	–

Продолжение табл. 3.8.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
р. Ан-дарма	с. Панычево	IV–VI	0,956	0,033	1,278	0,143	2,57	76,16	2,56	0,265	0,001	–
		VII–XI	0,374	0,008	1,630	0,173	4,88	77,25	1,05	0,437	0,006	–
		XII–III	1,605	0,151	0,502	0,071	6,78	26,10	1,45	0,343	0,000	–
р. Бакчар	с. Гореловка	IV–VI	0,819	0,015	2,144	0,262	3,31	55,96	1,62	–	0,004	–
		VII–XI	0,389	0,050	–	0,411	4,18	66,71	–	–	–	–
		XII–III	1,675	0,237	2,488	0,157	8,42	18,44	0,63	–	0,004	–
р. Икса	с. Плотниково	IV–VI	0,407	0,035	1,437	0,150	2,76	75,90	3,33	0,347	0,003	–
		VII–XI	0,224	0,043	1,849	0,158	3,49	83,88	3,53	0,423	0,003	–
		XII–III	0,222	0,054	1,399	0,032	4,40	49,25	2,83	0,307	0,001	–
р. Парабель	с. Новиково	IV–VI	0,610	0,003	2,362	0,101	4,65	57,57	2,54	0,573	0,002	0
		VII–XI	0,510	0,000	3,823	0,170	5,03	85,93	3,31	0,428	0,004	–
		XII–III	0,534	0,007	0,952	0,033	7,74	18,43	3,95	0,550	0,002	–
р. Васюган	с. Средний Васюган	IV–VI	0,350	0,063	0,383	0,192	4,32	36,90	2,01	0,510	0,003	–
		VII–XI	0,648	0,005	1,938	0,210	4,13	58,65	1,72	0,228	0,011	12
		XII–III	–	1,050	–	0,224	6,17	20,90	3,10	0,060	0,001	–
р. Васюган	устье	IV–VI	9,021	0,020	0,400	0,230	6,20	50,63	1,56	0,328	0,002	–
		VII–XI	1,234	0,006	0,696	0,416	3,07	69,58	2,09	0,069	0,001	34
р. Ушайка	г. Томск	IV–VI	3,729	0,090	0,684	0,229	5,36	15,21	5,66	0,644	0,001	–
		VII–XI	4,046	0,250	2,692	0,245	2,73	21,18	4,24	0,333	0,001	–
		XII–III	17,39	0,201	2,155	0,898	6,80	26,30	4,12	0,540	0,007	–

Таблица 3.8.3.3

Средние арифметические сезонные концентрации железа и микроэлементов в речных водах Томской области, мг/дм³

Объект	Пункт	Сезон	Fe (общее)	Al	Mn	Cu	Zn	Pb
р. Обь	с. Кожевниково – с. Победа	IV–VI	0,616	0,010	0,057	0,0021	0,0026	0,0003
		VII–XI	0,536	0,049	0,060	0,0012	0,0045	0,0005
р. Обь	г. Колпашево, 3 км выше города	IV–VI	0,157	0,006	0,012	0,0060	–	0,0027
		VII–XI	0,112	0,004	0,010	0,0064	0,0190	0,0013
		XII–III	0,075	0,005	0,015	0,0020	–	0,0040
р. Обь	г. Колпашево, 12 км ниже города	IV–VI	0,297	0,017	0,009	0,0030	–	–
		VII–XI	0,261	0,009	0,013	0,0062	–	–
		XII–III	0,462	0,000	0,007	0,0005	–	–
р. Обь	с. Прохоркино	IV–VI	0,191	0,003	0,003	0,0035	–	–
		VII–XI	0,726	0,004	0,012	0,0042	0,1100	0,0005
		XII–III	0,335	0,000	0,010	0,0033	0,0080	0,0020
р. Обь	с. Александровское	IV–VI	0,368	0,004	0,005	0,0060	–	–
		VII–XI	0,597	0,007	0,031	0,0046	0,0312	0,0011
		XII–III	0,491	0,006	0,023	0,0049	0,0312	0,0011
р. Томь	с. Ярское	IV–VI	0,695	0,016	0,050	0,0015	0,0051	0,0006
		VII–XI	0,277	0,024	0,036	0,0013	0,0042	0,0011
		XII–III	0,080	0,000	–	0,0010	0,0027	0,0003
р. Томь	г. Томск 0,3 км выше	IV–VI	0,303	0,037	0,038	0,0072	0,0017	0,0033
		VII–XI	0,123	0,056	0,008	0,0021	0,0067	0,0011

Продолжение табл. 3.8.3.3

Объект	Пункт	Сезон	Fe (общее)	Al	Mn	Cu	Zn	Pb
		XII–III	0,087	0,022	0,021	0,0034	0,0074	0,0010
р. Томь	г. Томск 3,5 км ниже	IV–VI	0,525	0,023	0,034	0,0014	0,0008	0,0004
		VII–XI	0,156	0,014	0,043	0,0021	0,0027	0,0009
		XII–III	0,190	0,010	0,036	0,0029	0,0030	0,0004
р. Томь	с. Козюлино	IV–VI	0,241	0,051	0,002	0,0045	–	–
		VII–XI	0,617	0,030	0,014	0,0020	0,0066	0,0037
		XII–III	0,096	0,008	0,004	0,0010	–	–
р. Кия	с. Окунеево	IV–VI	0,567	0,003	0,080	0,0011	0,0034	0,0000
		VII–XI	0,516	0,001	0,047	0,0010	0,0034	0,0001
р. Кеть	с. Максимкин Яр	IV–VI	0,652	–	–	–	–	–
		VII–XI	1,226	0,180	–	0,0000	0,0030	0,0000
р. Кеть	с. Волково	IV–VI	1,052	0,300	–	0,0010	0,0030	0,0004
		VII–XI	1,176	0,026	0,060	0,0009	0,0254	0,0009
р. Парабель	с. Новиково	IV–VI	0,629	–	–	0,0040	0,0020	0,0000
		VII–XI	1,518	–	1,280	0,0350	0,1200	0,0280
р. Васюган	устье	IV–VI	1,563	0,070	0,020	0,0020	0,0025	0,0001
		VII–XI	1,976	0,005	0,243	0,0018	0,0121	0,0009
р. Ушайка	г. Томск	IV–VI	0,559	0,025	0,235	0,0117	0,0048	0,0056
		VII–XI	0,380	0,025	0,100	0,0056	0,0018	0,0014
		XII–III	0,215	0,000	0,160	0,0059	0,0009	0,0027

3.6.4. Гидрохимический сток и условия его формирования

На основе материалов обобщения и анализа данных о водном стоке и химическом составе природных вод были выполнены определение гидрохимического стока рассматриваемой территории (табл. 3.6.4.1, рис. 3.6.4.1) и исследование закономерностей его временных изменений [153, 165]. В результате установлены среднемноголетние значения суммарного гидрохимического стока в регионе, составляющего непосредственно для р. Обь 18...25 млн т/год и более, а для ее основных притоков – от 0,5 до 4,4 млн т/год. Основная часть гидрохимического стока представлена макрокомпонентами (85–90 % и более). Достаточно заметный вклад вносит сток органических веществ (от 2 до 13 %). Сток прочих веществ обычно не превышает нескольких процентов от суммарного гидрохимического стока. Распределение по территории модулей гидрохимического стока ($1,0\text{--}1,2 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ – для рр. Обь и Чулым, более $2 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ для р. Томь и ее притоков, менее $1,0 \text{ г}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ – для равнинных притоков р. Обь) обусловлено широтной зональностью водного стока и минерализации речных вод.

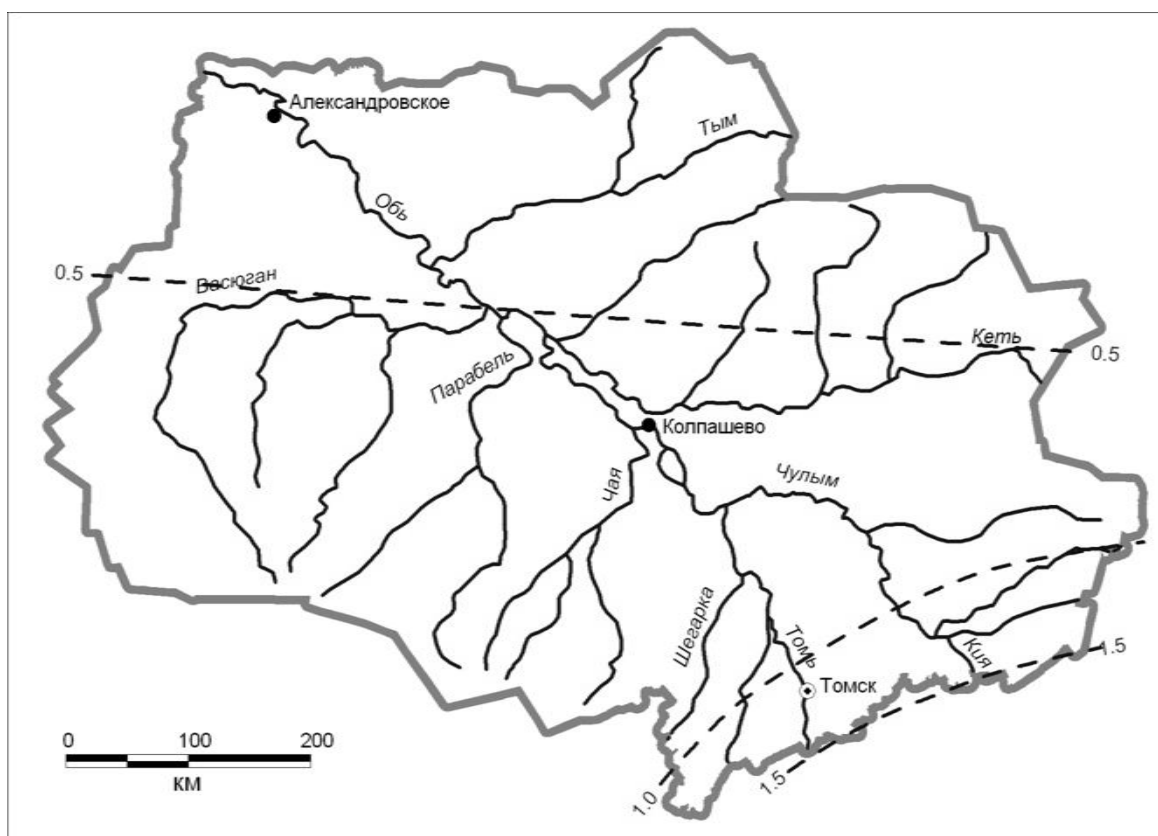
Таблица 3.6.4.1

Среднемноголетние значения стока и содержаний главных ионов ($\Sigma_{\text{и}}$), углерода органических веществ ($C_{\text{орг}}$), азота неорганических соединений (N), фосфора (P), железа общего (Fe) и нефтепродуктов (Нп)

Река – пункт	Показатель	Сток веществ					
		$\Sigma_{\text{и}}$	$C_{\text{орг}}$	N	P	Fe _{общ.}	Нп
1	2	3	4	5	6	7	8
Обь – г. Колпашево	Сток, тыс.т/год	17893,04	470,21	50,59	2,68	15,09	40,99
	Содержание, мг/л	179,3	4,00	0,489	0,021	0,113	0,390
Обь – с. Александровское	Сток, тыс.т/год	23862,20	1177,70	118,78	12,60	61,64	69,79
	Содержание, мг/л	150,7	7,11	0,594	0,027	0,316	0,508
Томь – г. Томск	Сток, тыс.т/год	4228,28	139,47	37,55	1,70	8,48	15,53
	Содержание, мг/л	145,8	4,29	0,965	0,041	0,287	0,373
Чулым – с. Батурино	Сток, тыс.т/год	4017,45	163,00	11,03	0,67	7,42	–
	Содержание, мг/л	189,4	7,10	0,630	0,038	0,366	0,309
Кеть – с. Волково	Сток, тыс.т/год	1541,52	178,65	–	–	20,24	–
	Содержание, мг/л	100,0	10,55	0,706	0,054	0,800	0,391
Тым – с. На- пас	Сток, тыс.т/год	347,53	53,78	–	–	7,20	–
	Содержание, мг/л	62,1	9,02	0,950	0,048	0,849	0,551

Продолжение табл. 3.6.4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Васюган – с. Средний Васюган	Сток, тыс.т/год	612,76	76,32	–	0,38	3,59	–
	Содержание, мг/л	134,7	16,26	1,472	0,072	0,705	0,544
Парабель – с. Новиково	Сток, тыс.т/год	468,23	55,69	6,41	0,07	1,55	1,61
	Содержание, мг/л	234,8	18,29	1,329	0,063	0,348	0,535
Чая – с. Подгорное	Сток, тыс.т/год	512,45	44,84	29,80	0,37	1,70	1,15
	Содержание, мг/л	395,6	16,07	1,560	0,096	0,521	0,437

Рис. 3.6.4.1. Распределение модулей среднемноголетнего ионного стока на территории Томской области, г/(с·км²)

Для объяснения величины и структуры гидрохимического стока были проанализированы наиболее важные факторы их формирования – приток веществ на рассматриваемую территорию и вынос с нее, поступление из атмосферного воздуха, поступление в процессе водной эрозии почвогрунтов, приток в речную сеть из болот, сброс сточных вод, поступление из неорганизованных антропогенных источников, изменение химического состава вод в результате взаимодействий в системе «вода – порода – органическое вещество». Методика исследова-

дований приведена в [153]. Ниже вкратце рассмотрены результаты изучения условий формирования гидрохимического стока в бассейне Средней Оби.

Химический состав и гидрохимический сток Верхней Оби. Химический состав вод и гидрохимический сток Оби на участке г. Новосибирск – устье р. Томь определяют граничные условия распространения веществ с обскими водами на участке ее среднего течения. Эти условия в целом характеризуются более высокой, чем в среднем течении р. Обь, минерализацией, концентрациями соединений N, P и, напротив, меньшими содержаниями органических веществ и Fe.

В целом, гидрохимический сток р. Обь в пределах Томской области в значительной мере зависит от гидрохимического стока р. Обь на участке от г. Новосибирск до устья р. Томь. Отношение ионного стока Верхней и Средней Оби (в среднем) составляет 64 % у г. Колпашево и 47 % у с. Александровское, а отношение стока органического углерода – 38 и 15 % соответственно. Таким образом, около половины ионного стока и две трети стока органических веществ р. Обь в Томской области формируется под влиянием природных и антропогенных факторов на ее водосборной территории, а остальная часть – на водосборе Верхней Оби (рис. 3.6.4.2).

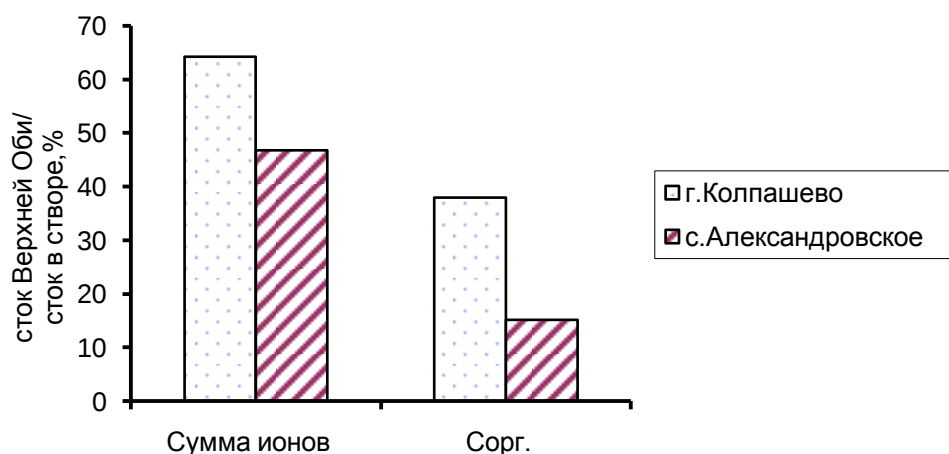


Рис. 3.6.4.2. Соотношение гидрохимического стока Верхней Оби и стока р. Обь в Томской области, %

Поступление веществ из атмосферы. Атмосфера представляет собой среду, в которой происходит интенсивный массообмен между водными объектами, сушей и воздушными массами. Механизм этого обмена исключительно сложен и многообразен, поэтому был выполнен анализ только тех его аспектов, которые непосредственно касаются поступления веществ из атмосферы с атмосферными осадками и путем «сухого» осаждения. Выполненные расчеты показали, что на поверхность водосборного бассейна Средней Оби, значительная часть которого соответствует границам Томской области, в среднем выпадает в процентах от

стока р. Обь у с. Александровское: $\Sigma_{\text{и}}$ – около 60 %; $C_{\text{орг.}}$ – около 40 %. Если же допустить, что коэффициент поступления изученных веществ в речную сеть примерно равен коэффициенту стока атмосферных осадков K_X (принято $K_X=0,33$), то можно получить максимальную оценку атмосферной составляющей в размере: $\Sigma_{\text{и}}$ – 19 %; $C_{\text{орг.}}$ – 14 %. Для нефтепродуктов выпадение на водосбор составляет около 23,6 % (16,5 тыс. т/год) от стока (непосредственно в реки – 7,8 % или 5,4 тыс. т/год). Иное соотношение характерно для азота неорганических соединений, выпадение которого из атмосферы превышает вынос с речными водами. В целом, можно сделать вывод о том, что выпадение веществ из атмосферы играет весьма существенную роль в формировании гидрохимического стока в регионе [168].

Поступление веществ в процессе водной эрозии почв. Для оценки выноса веществ в водные объекты из почв при их водной эрозии использовался способ, основанный на универсальном уравнении почвенной эрозии. В результате вычислений было показано, что наибольшие значения характерны для выноса органических веществ – более 300 тыс. тС/год. Менее значителен – от нескольких сотен до нескольких десятков тыс. т/год – вынос Si, Al, Fe, N и Ca. Еще меньше вынос прочих элементов.

Поступление веществ из болот. Равнинная часть территории бассейна Средней Оби характеризуется высокой заболоченностью, что обуславливает необходимость специального рассмотрения вопросов влияния болот на гидрохимический сток [149]. Для решения этой задачи была получена обобщенная гидрохимическая характеристика болотных вод, проведено сопоставление химического состава болотных, речных и подземных вод равнинной части рассматриваемой территории и установлены линейные зависимости между основными гидрохимическими показателями и характеристиками заболоченности водосборов. Используя данные зависимости, было установлено, что влияние заболоченности на гидрохимический сток в регионе проявляется в уменьшении стока макрокомпонентов на 7 %, и увеличении стока органических веществ на 12 %, $Fe_{\text{общ.}}$ – на 5 % (табл. 3.8.1.5).

Сброс сточных вод. Реки Томской области достаточно интенсивно используются для отведения сточных вод. Вместе с ними в водные объекты поступает значительное количество различных веществ. Максимальное отношение массы сбросов к гидрохимическому стоку характерно для соединений N и P; для прочих веществ этот показатель обычно составляет 0,8...2,5 % и менее. В целях оценки влияния сбросов сточных вод на состояние рек были проведены расчеты изменения величины $\Sigma_{\text{и}}$ и содержаний углерода органических соединений $C_{\text{орг.}}$ на примере рр. Томь и Обь по методу В.А. Фролова и И.Д. Родзиллера, а для наиболее крупного выпуска сточных вод в р. Обь в Томской области – по методу А.В. Караушева (рис. 3.6.4.3).

Анализ полученных результатов показал, что влияние сосредоточенных водовыпусков на состояние р. Обь даже в зимний период обычно проявляется в пределах ближайших десятков, реже – нескольких сотен метров от водовыпусков [150, 152, 154, 163].

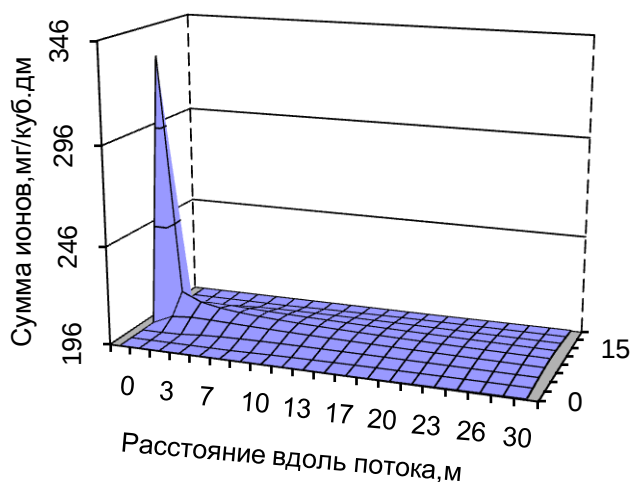


Рис. 3.6.4.3. Расчетное распределение суммы главных ионов в водах р. Обь ниже выпуска сточных вод МП «Стрежовойкоммунхоз» в зимний период маловодного года

Более заметное воздействие сбросов на химический состав речных вод и гидрохимический сток установлено для р. Томь (рис. 3.6.4.4). При этом следует отметить, что сопоставление результатов вычислений с данными наблюдений позволило выявить заметные отличия между измеренными и расчетными величинами. В случае с величиной $\Sigma_{\text{и}}$ это расхождение можно интерпретировать как подтверждение вывода о наличии механизма регулирования минерализации речных вод, определяемого характером и интенсивностью взаимодействий в системе «вода – порода». Если бы минерализация вод р. Томь формировалась только в результате процессов смешения сточных и речных вод, то значения $\Sigma_{\text{и}}$ в водах этой реки на участке от г. Новокузнецк до с. Салтымаково были бы примерно в полтора раза выше по сравнению с наблюдаемыми величинами, а ниже по течению от г. Кемерово, где отсутствуют значительные притоки, не наблюдалось бы некоторое уменьшение минерализации [152].

Кроме того, сравнение гидрохимических показателей речных и грунтовых вод свидетельствует о сопоставимости величин $\Sigma_{\text{и}}$ и $C_{\text{орг.}}$ в водах р. Томь в зимний период и подземных водах четвертичных отложений на территории ее водосбора. Все это позволяет сделать вывод о том, что в зимнюю межень именно подземный водоприток и внутриводные процессы определяют основные черты химического состава речных вод на большем протяжении реки. Таким образом,

согласно результатам моделирования, роль сосредоточенных водовыпусков в формировании минерализации и общего содержания органических веществ в водах р. Томь даже в наиболее неблагоприятный зимний период расчетного маловодного года заметна обычно на участках до 8...10 км и не является определяющей на большем удалении от городов и отдельных крупных водовыпусков (рис. 3.6.4.5).

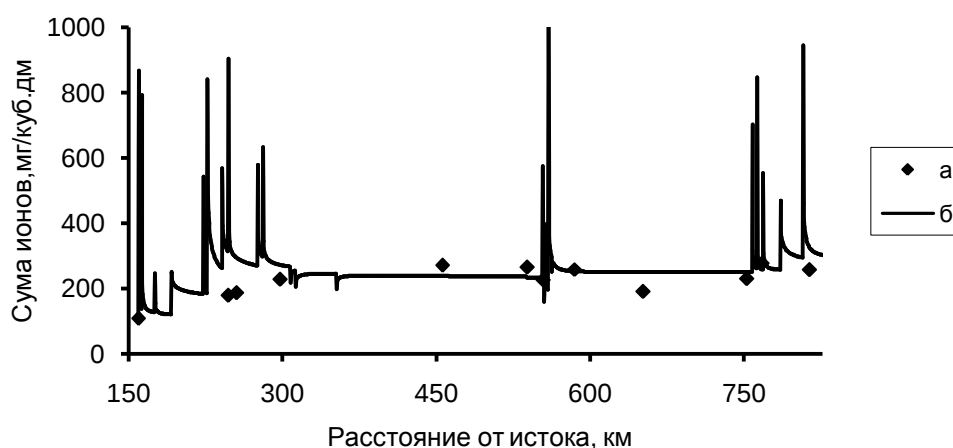


Рис. 3.8.4.4. Изменение измеренных (а) и расчетных (б) значений $\Sigma_{и}$ в водах р. Томь в максимально загрязненной струе в зимнюю межень

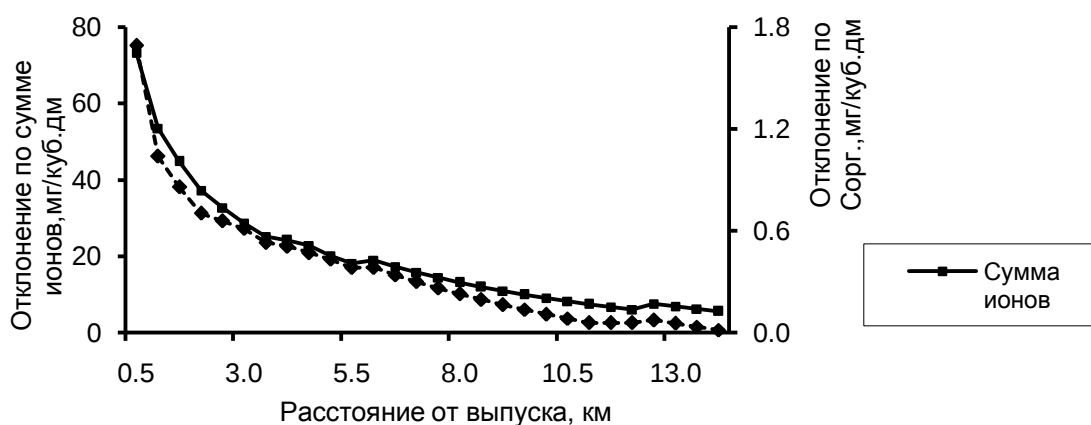


Рисунок 3.6.4.5. Среднее расчетное отклонение величин $\Sigma_{и}$ и $C_{орг}$ вод р. Томь от «фоновых» значений в створах, расположенных в 0,5 км выше по течению от выпусков стоков (устья малых сильно загрязненных рек)

Неорганизованное антропогенное поступление веществ в водные объекты. Анализ результатов расчетов показал, что воздействие неорганизованного антропогенного поступления на гидрохимический сток в бассейне Средней Оби

проявляется, прежде всего, в выносе большого количества легкоокисляемых органических веществ по БПК, нефтепродуктов, N и P. Вклад выноса с урбанизированных участков равнинной части рассматриваемой территории главных ионов, Fe, Cu, $C_{орг.}$ не превышает 15 % от их выноса с водами р. Обь. В то же время, следует отметить, что, во-первых, в абсолютном выражении эти величины существенно превышают сброс соответствующих веществ по сосредоточенным выпускам. Во-вторых, для р. Томь роль распределенных по территории антропогенных источников в формировании гидрохимического стока значительно выше, чем непосредственно для р. Обь и многих других ее притоков.

Наиболее важную роль в неорганизованном антропогенном поступлении веществ в водные объекты играет их вынос с территорий населенных пунктов, дорог и производственных площадей. На территории Томской области этот вид неорганизованного поступления веществ в водные объекты составляет, тыс. т/год: хлориды – 742,3; сульфаты – 250,8; железо – 0,8; органические вещества по БПК – 46,7; органические вещества по ХПК – 130,4; нефтепродукты – 15,5. Достаточно заметное воздействие на вынос органических веществ связано с поверхностным стоком с участков рубки леса и выгульных площадей сельскохозяйственных предприятий. В целом, неорганизованное антропогенное поступление веществ оказывает существенное воздействие на химический состав водных объектов рассматриваемой территории, обуславливая поступление в реки и грунтовые воды большого количества соединений N, P и органических веществ [153].

Роль взаимодействий в системе «вода-порода». По мнению многих исследователей, взаимодействия вод с водовмещающими и подстилающими горными породами, речными наносами и донными отложениями играют очень важную роль в формировании химического состава природных вод и гидрохимического стока. Выполненные автором термодинамические расчёты показали, что при наличии растворенного углекислого газа в необходимых количествах речные воды региона в среднем близки к равновесию с кальцитом (табл. 3.6.4.2, 3.6.4.3). В то же время, они повсеместно сильно недонасыщены относительно целого ряда первичных минералов, причем достижению равновесия вод с ними будет препятствовать выведение из раствора малорастворимых соединений кальция и карбонатов.

Выпадение этих соединений, согласно [202], приводит к снижению концентраций соответствующих элементов в растворе и тем самым способствует неравновесному состоянию воды. При этом следует отметить, что уровень содержания CO_2 в значительной мере определяет соотношение между ионами CO_3^{2-} и HCO_3^- , их концентрации, а следовательно, и степень насыщения вод относительно кальцита (при уменьшении концентрации CO_2 и относительно неизменном содержании HCO_3^- увеличивается концентрация CO_3^{2-} и pH). Данный вывод, обоснованный в целом ряде работ, достаточно хорошо подтверждается

материалами изучения минералогического состава донных отложений, свидетельствующими о появлении в них кальцита при увеличении в речных водах значений pH, концентраций Ca^{2+} и CO_3^{2-} [146]. Это увеличение должно иметь не случайный, а достаточно закономерный характер в течение длительного периода, что, например, и наблюдается на участке среднего течения р. Томь [153].

Рост содержаний кальция и магния в результате растворения горных пород может также ограничиваться наличием гуминовых кислот (ГК), образующих со многими металлами малорастворимые соединения (табл. 3.6.4.2). Косвенным подтверждением этого вывода являются материалы исследований пойменных почв и наилок на территории России, в том числе, и в рассматриваемом регионе. Так, согласно Д.С. Орлову с соавторами, в составе этих почв повсеместно преобладает фракция ГК-2, предположительно связанная с кальцием. Примечательно, что ряд авторов объясняют данный факт "... только особым характером минерализованности почвенного раствора, почвенно-грунтовых и пойменных вод", в целом, и тем, что "... воды р. Обь относятся к классу слабоминерализованных гидрокарбонатных вод, которые могут содержать довольно много кальция", в частности [101, с. 143].

С учетом проведенных вычислений представляется, что достаточно высокое содержание соединений Са и ГК в пойменных почвах более корректно объясняется все же не значительными концентрациями кальция в речных водах (в половодье, когда воды выходят на пойму, концентрации Са обычно не превышают 15...20 мг/дм³), а относительно низкой растворимостью соединений Са и ГК, причем насыщение речных вод происходит примерно при тех же концентрациях кальция, что и при насыщении карбонатными минералами. Наблюдаемые же колебания содержания фракции ГК-2 в пойменных почвах связаны, вероятно, с тем, что эффект выведения кальция и ряда других элементов из раствора с ГК и CO_3^{2-} , по мнению многих исследователей [73, 131], может многократно усиливаться при взаимодействии с основными и нейтральными аминокислотами и в результате коагуляции, или, наоборот, ослабляться в присутствии определенных органических и неорганических соединений за счет химического взаимодействия и образования физических пленок на поверхности частиц. Помимо взаимодействия кальцита с водой и CO_2 , состояние, близкое к равновесию, наблюдается также при взаимодействии речных вод с кварцем и глинистыми минералами. По отношению ко всем прочим рассмотренным минералам речные воды в большей степени недонасыщены к альбиту, ортоклазу, анортиту, в меньшей степени – к кальциту при отсутствии CO_2 , магнезиту и доломиту.

Таблица 3.6.4.2

Средние арифметические значения индекса неравновесности $\lg(\text{ПА/ПР})$ за многолетний период

Река	Пункт	Номер реакции в табл. 1.6.1											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Обь	с. Кожевниково – с. Победа	-0,32	-0,53	-0,46	-4,62	0,79	0,84	-277,81	0,38	-7,19	-6,32	-0,09	-9,41
Обь	г. Колпашево, 3 км выше	-2,50	-0,86	-4,90	-4,96	0,74	0,67	-272,05	0,39	-6,56	-10,39	-4,14	-13,25
Обь	г. Колпашево, 12 км ниже	-1,03	-1,30	-1,93	-5,32	0,69	0,63	-271,32	0,38	-7,27	-7,30	-1,04	-9,85
Обь	с. Прохоркино	-1,66	-0,93	-3,22	-5,05	0,72	0,67	-275,66	0,60	-5,74	-7,30	-2,38	-11,64
Обь	с. Александровс	-1,84	-1,38	-3,54	-5,44	0,66	0,62	-273,69	0,41	-7,10	-8,40	-2,59	-11,51
Томь	с. Ярское	-0,47	-0,69	-0,57	-4,65	0,66	0,87	-275,90	0,34	-6,72	-7,74	-0,90	-9,15
Томь	г. Томск, 0,3 км выше	-1,97	-0,64	-3,80	-4,70	0,61	0,59	-271,10	0,44	-5,56	-8,29	-2,70	-11,72
Томь	г. Томск, 3,5 км ниже	-0,83	-0,66	-1,44	-4,64	0,59	0,62	-269,50	0,17	-6,21	-7,73	-0,31	-9,15
Томь	с. Козюлино	-1,17	-1,51	-2,08	-5,50	0,61	0,61	-274,02	0,34	-7,53	-7,79	-1,34	-9,94
Чулым	с. Тегульдэт	-1,09	-1,28	-2,01	-5,25	0,72	0,69	-272,16	0,50	-7,01	-6,99	-1,34	-10,19
Чулым	с. Батурино	-2,58	-0,47	-4,98	-4,30	0,82	0,81	-263,21	0,46	-5,94	-11,33	-4,76	-13,48
Кия	с. Окунеево	-0,61	-0,83	-1,17	-5,16	0,84	0,76	-280,43	0,74	-6,11	-6,46	-2,09	-10,12

Продолжение табл. 3.6.4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кеть	с. Максимкин Яр	-5,00	-0,46	-9,88	-4,55	0,50	0,47	-274,88	0,50	—	-16,01	-8,91	-17,42
Кеть	с. Волково	-4,06	-2,43	-7,78	-6,28	0,40	0,52	-269,07	0,49	-7,81	-11,75	-6,39	-14,89
Пайдуги-на	с. Березовка	-3,49	—	-6,80	—	0,20	0,23	—	0,53	—	-9,57	-4,81	-13,35
Тым	с. Напас	-6,01	-2,71	-11,8	-6,41	0,20	0,29	-275,02	0,63	-7,00	-15,06	-10,13	-18,56
Шегарка	с. Боборыкина	-3,58	-0,16	-6,90	-4,27	0,99	1,08	-273,11	0,57	-5,31	-11,01	-7,19	-16,35
Чая	с. Подгорное	-5,68	-0,56	-11,3	-4,37	1,00	0,95	-256,01	0,42	-8,61	-16,31	-11,76	-20,44
Андарма	с. Панычево	-2,94	-1,00	-5,76	-5,11	0,86	0,82	-276,85	0,51	-6,00	-10,43	-5,52	-14,58
Бакчар	с. Гореловка	-1,65	-1,24	-3,06	-5,31	0,88	0,94	-275,84	0,53	-6,59	-6,99	-3,42	-11,94
Икса	с. Плотниково	-2,18	-1,24	-4,05	-5,10	0,75	0,90	-274,80	0,43	-6,64	-8,67	-3,29	-12,64
Парабель	с. Новиково	-5,85	-1,25	-11,6	-5,26	0,76	0,74	-274,06	0,63	-7,36	-15,67	-11,48	-20,02
Чузик	п. Осипово	-8,04	—	-15,8	—	0,73	0,90	—	0,73	—	-20,35	-15,54	-24,70
Васюган	с. Средний Васю	-4,25	-1,35	-8,32	-5,25	0,59	0,62	-273,89	0,53	-7,57	-12,61	-7,91	-16,32
Васюган	Устье	-1,24	—	-2,23	—	0,68	0,89	—	0,64	—	-11,34	-4,33	-11,03
Ушайка	г. Томск	-0,22	-0,37	-0,45	-4,62	0,90	0,71	-271,81	0,44	-5,58	-5,88	-0,15	-8,94
Большая Киргизка	Устье	-0,04	—	0,14	—	0,85	0,90	—	0,21	—	-6,41	0,11	-8,76
Самуська	Устье	0,09	—	0,38	—	0,89	0,92	—	0,54	—	-5,20	-0,01	-8,54
Кисловка	Устье	0,20	—	0,57	—	0,94	0,97	—	0,18	—	-7,34	0,29	-8,77

Таблица 3.6.4.3

Средние арифметические сезонные значения индекса неравновесности $\lg(\text{ПА/ПР})$

Река	Пункт	Сезон	Номер реакции в табл. 1.6.1							
			1	2	3	5	6	7	8	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Обь	с. Кожевниково – с. Победа	IV-VI	-0,18	-0,23	-0,08	0,81	0,97	-279,77	0,43	-9,31
		VII-XI	-0,43	-0,78	-0,78	0,78	0,72	-276,25	0,30	-9,49
Обь	г. Колпашево, 3 км выше Города	IV-VI	-2,50	-1,24	-4,92	0,69	0,63	-273,88	0,47	-13,21
		VII-XI	-2,60	-0,61	-5,10	0,74	0,67	-268,50	0,24	-13,28
		XII-III	-1,97	-0,91	-3,85	0,89	0,86	-281,23	0,71	-13,24
Обь	г. Колпашево, 12 км ниже Города	IV-VI	-1,52	-1,76	-2,92	0,58	0,47	-269,71	0,27	-10,17
		VII-XI	-0,73	-0,93	-1,32	0,71	0,64	-268,36	0,21	-9,16
		XII-III	-1,16	-1,67	-2,19	0,76	0,78	-280,72	0,89	-11,05
Обь	с. Прохоркино	IV-VI	-2,15	-1,29	-4,20	0,65	0,62	-278,40	0,58	-12,43
		VII-XI	-1,58	-0,62	-3,04	0,69	0,63	-270,56	0,56	-11,27
		XII-III	-0,83	-0,73	-1,62	0,93	0,87	-280,88	0,78	-10,97
Обь	с. Александровское	IV-VI	-2,39	-1,55	-4,63	0,64	0,64	-275,82	0,49	-12,70
		VII-XI	-1,62	-1,29	-3,07	0,64	0,59	-270,65	0,32	-10,81
		XII-III	-1,84	-1,38	-3,54	0,66	0,62	-273,69	0,41	-11,51
Томь	с. Ярское	IV-VI	-0,90	–	-1,42	0,61	0,86	–	0,61	-9,90
		VII-XI	-0,28	-0,69	-0,19	0,67	0,88	-275,90	0,16	-8,80
		XII-III	-0,87	–	-1,68	0,88	0,76	–	0,51	-10,34

Продолжение табл. 3.6.4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Томь	г. Томск 0,3 км выше	IV-VI	-2,54	-1,08	-4,97	0,42	0,38	-273,40	0,47	-12,28
		VII-XI	-1,67	-0,24	-3,16	0,65	0,64	-265,39	0,32	-11,09
		XII-III	-1,54	-0,31	-2,98	0,85	0,84	-279,58	0,64	-11,98
Томь	г. Томск 3,5 км ниже	IV-VI	-1,57	-1,27	-2,89	0,40	0,46	-271,39	0,42	-9,99
		VII-XI	-0,32	-0,27	-0,43	0,66	0,65	-266,90	-0,10	-8,21
		XII-III	-0,55	0,39	-0,93	0,91	0,96	-278,73	0,57	-10,15
Томь	с. Козюлино	IV-VI	-1,67	-2,00	-3,10	0,48	0,55	-275,33	0,45	-10,69
		VII-XI	-0,77	-1,11	-1,15	0,65	0,68	-270,21	0,15	-8,99
		XII-III	-1,20	-1,20	-2,39	0,86	0,51	-281,53	0,62	-11,33
Чулым	с. Тегульдет	IV-VI	-1,32	-1,63	-2,42	0,63	0,68	-272,66	0,53	-10,43
		VII-XI	-0,76	-0,79	-1,45	0,81	0,66	-269,34	0,37	-9,61
		XII-III	-0,77	-0,99	-1,40	0,94	0,97	-281,34	0,88	-10,97
Чулым	с. Батурино	IV-VI	-3,12	-1,62	-6,08	0,61	0,60	-272,95	0,60	-13,97
		VII-XI	-2,58	-0,47	-4,98	0,82	0,81	-263,21	0,46	-13,48
		XII-III	-3,18	-0,82	-6,27	0,98	0,97	-281,25	0,80	-15,92
Кия	с. Окунеево	IV-VI	-1,19	–	-2,06	0,70	0,89	–	0,61	-10,79
		VII-XI	-0,47	-0,83	-0,97	0,87	0,73	-280,43	0,79	-9,96
Кеть	с. Максимкин Яр	IV-VI	-6,53	–	-12,94	0,26	0,23	–	0,50	-19,63
		VII-XI	-3,75	-0,46	-7,36	0,66	0,64	-274,88	0,50	-15,50
		XII-III	-8,02	–	-15,91	0,92	0,95	–	–	-25,40

Продолжение табл. 3.6.4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кеть	с. Волково	IV-VI	-5,30	-3,27	-10,17	0,18	0,39	-269,23	0,37	-16,75
		VII-XI	-2,80	-1,90	-5,33	0,57	0,62	-268,97	0,58	-12,82
		XII-III	-8,27	–	-16,37	0,80	0,86	–	0,85	-25,53
Пайдугина	с. Березовка	IV-VI	-4,24	–	-8,32	0,04	0,07	–	0,47	-14,26
		VII-XI	-2,08	–	-3,94	0,47	0,52	–	0,55	-11,52
		XII-III	-1,98	–	-3,80	0,65	0,70	–	1,16	-12,48
Тым	с. Напас	IV-VI	-6,38	-3,25	-12,59	0,02	0,05	-280,63	0,57	-18,65
		VII-XI	-5,50	-2,56	-10,79	0,35	0,49	-273,41	0,67	-18,05
		XII-III	-8,61	–	-17,05	0,64	0,70	–	0,83	-25,69
Шегарка	с. Бабарыкино	IV-VI	-4,52	-0,77	-8,64	0,86	1,11	-275,96	0,58	-17,94
		VII-XI	-2,71	0,13	-5,34	1,07	0,96	-269,98	0,41	-14,52
		XII-III	-3,16	0,12	-6,05	1,14	1,30	-280,10	1,00	-16,62
Чая	с. Подгорное	IV-VI	-5,86	-1,29	-11,49	0,89	0,97	-276,84	0,56	-20,72
		VII-XI	-5,79	0,54	-11,45	1,07	0,96	-224,78	0,20	-20,47
		XII-III	-4,33	–	-8,99	1,21	0,77	–	0,76	-18,87
Андарма	с. Панычево	IV-VI	-4,19	-1,64	-8,25	0,75	0,71	-276,11	0,30	-16,43
		VII-XI	-2,16	-0,12	-4,05	1,02	1,13	-274,12	0,64	-13,59
		XII-III	-0,59	-0,59	-1,24	0,99	0,80	-281,06	0,84	-10,94
Бакчар	с. Гореловка	IV-VI	-1,80	-1,77	-3,38	0,71	0,74	-272,17	0,44	-11,52
		VII-XI	-1,07	–	-1,84	1,04	1,10	–	0,34	-10,95
		XII-III	-1,91	-0,46	-3,60	1,17	1,28	-281,34	0,99	-14,23

Продолжение табл. 3.6.4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Икса	с. Плотниково	IV-VI	-3,08	-1,50	-5,91	0,67	0,76	-273,78	0,35	-14,04
		VII-XI	-1,40	-1,27	-2,42	0,81	1,02	-273,61	0,47	-11,29
		XII-III	-0,69	-0,48	-1,05	0,95	1,16	-281,08	0,68	-10,99
Парабель	с. Новиково	IV-VI	-6,37	-2,08	-12,56	0,61	0,62	-273,39	0,58	-20,63
		VII-XI	-6,06	-1,03	-11,92	0,80	0,77	-264,66	0,50	-20,21
		XII-III	-4,05	-0,59	-8,05	1,08	1,03	-281,00	0,98	-17,97
Чузик	п. Осипово	IV-VI	-8,10	-	-15,80	0,59	0,86	-	0,69	-24,44
		VII-XI	-8,01	–	-15,84	0,89	0,93	–	0,81	-25,04
Васюган	с. Средний Васю	IV-VI	-4,78	-1,32	-9,37	0,50	0,53	-275,54	0,54	-17,10
		VII-XI	-3,73	-1,73	-7,27	0,67	0,68	-271,64	0,46	-15,42
		XII-III	-3,28	0,10	-6,34	1,00	1,11	-279,62	0,88	-16,29
Васюган	устье	IV-VI	-0,97	–	-2,45	0,77	0,09	–	0,81	-10,28
		VII-XI	-1,35	–	-2,19	0,65	1,04	–	0,51	-11,31
Ушайка	г. Томск	IV-VI	-0,66	-0,84	-1,23	0,75	0,67	-273,27	0,49	-9,40
		VII-XI	0,16	-0,17	0,28	0,98	0,74	-268,31	0,27	-8,27
		XII-III	-0,11	0,76	-0,46	1,10	0,73	-278,78	0,85	-9,82

Следует отметить, что аналогичные результаты были получены не только для речных, но также болотных и озерных вод, в разной степени испытывающих антропогенное воздействие [164], причем наиболее близкими к насыщению относительно соединений Са и ГК оказались воды верхового болота, а недонасыщенными – талые воды и воды внутриболотного озера (рис. 3.6.4.6). Наиболее детальные исследования пространственно-временных закономерностей изменения насыщенности речных вод относительно ряда минералов и органоминеральных соединений были проведены на р. Томь [146]. Выполненный при этом анализ данных термодинамических расчетов показал, что статистически значимое изменение индекса насыщения L в зависимости от времени наблюдается при взаимодействии речных вод с кварцем, кальцитом и доломитом в отсутствии CO_2 (коэффициенты корреляции между количеством суток с начала года и значениями индекса насыщения относительно: кальцита $0,60 \pm 0,22$; доломита $0,58 \pm 0,22$; кварца $-0,67 \pm 0,18$). Причём независимо от характера связи (прямой или обратной) эти процессы протекают в направлении приближения к равновесию от весеннего половодья к зимней межени.

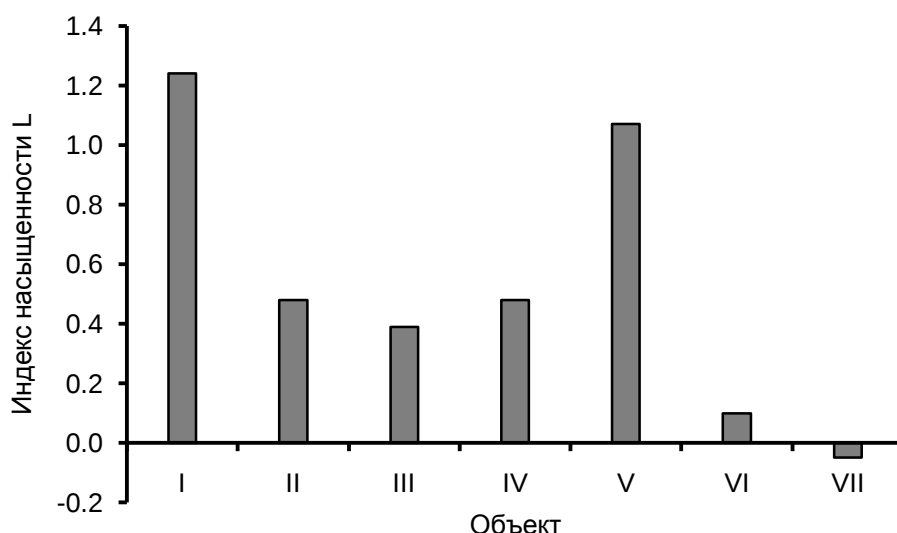


Рис. 3.6.4.6. Изменение индекса насыщенности вод относительно соединений Са и ГК в бассейне р. Васюган в 2003 г.: I – загрязненный участок болота; II – переувлажненный участок болота; III – внутриболотный водоток; IV – загрязненные болотные воды; V – евтрофное болото; VI – олиготрофное болото; VII – внутриболотное озеро [8]

Данный факт объясняется тем, что в весенние месяцы речной сток многократно возрастает за счет поступления большого количества талых вод с минимальным содержанием растворенных солей и величиной pH. Речные воды достаточно активно взаимодействуют с подстилающими породами, донными отложениями и речными наносами и в зависимости от минералогического состава

последних, интенсивности водообмена и ряда других факторов насыщаются кальцием, магнием, гидрокарбонатами и калием в пределах растворимости органоминеральных соединений, карбонатных и глинистых минералов (с учетом ингибирующего воздействия ряда органических кислот и минеральных солей).

Пересыщение речных вод относительно кварца в весенний период и постепенное приближение к равновесию с этим минералом в летне-осенний период, видимо, объясняется более интенсивным взаимодействием кислых талых вод с породами в весенние месяцы. Кроме того, согласно [3], уровень содержания кремния во многом зависит и от сезонных процессов его потребления водной растительностью, в частности, увеличения потребления Si диатомовыми водорослями в летний период. Для р. Обь, как и для р. Томь, приближение к равновесию с кварцитом также отмечается в летне-осенний период, однако максимальное пересыщение в среднем наблюдается не в весенний, а зимний период (табл. 3.6.4.3). Зимой отмечено и наибольшее пересыщение вод относительно соединений Ca и Mg с ГК.

Анализ результатов термодинамических расчетов, проведенных по данным наблюдений на р. Томь, позволил выявить статистически значимые пространственные изменения индекса насыщения вод этой реки относительно целого ряда минералов. В случае взаимодействия вод с соединениями Mg и ГК, магнетитом эта зависимость линейная. Значения индексов насыщения вод относительно прочих минералов по длине р. Томь изменяются более сложным образом – чаще всего, по полиномиальной, степенной или логарифмической зависимостям. При этом следует отметить, что максимальное насыщение карбонатных минералов наблюдается на участке среднего течения одновременно с наибольшими концентрациями в речных водах главных ионов и минерализации.

Для рр. Обь и Чулым по мере движения водных масс происходит определенное увеличение индексов насыщенности раствора относительно кварца и уменьшение относительно карбонатных минералов и соединений Ca и Mg с ГК. Для средних рек региона в целом характерно большее отклонение от равновесного состояния, чем для рр. Обь, Томь и Чулым. При этом следует отметить, что наблюдается сходство в пространственном изменении индексов насыщенности речных вод относительно карбонатных минералов, расходов воды и модулей водного стока, подтверждаемое результатами корреляционного анализа. В частности, наибольшие модули водного стока и недонасыщенность речных вод относительно кальцита, а также наименьшие значения минерализации воды приурочены к Кеть-Тымскому участку обского бассейна, а также к прилегающим районам Кузнецкого Алатау (коэффициент корреляции между среднегодовыми расходами воды и значениями индекса насыщенности вод относительно кальцита составляет – 0,84). Другая особенность пространственного изменения индексов насыщения речных вод связана с их зависимостью от заболоченности водосборов, с возрастанием которой увеличивается насыщение воды относи-

тельно доломита, соединений Mg и ГК, кварца (коэффициент корреляции соответственно: 0,56; 0,59; 0,64).

В целом, наиболее активное взаимодействие воды и донных отложений крупных рек закономерно происходит в пространственном разрезе – в верхнем течении рек (в горных и предгорных районах), а во времени – в весеннее половодье. При движении водных масс от верховий к среднему течению и при переходе от половодья к межени в результате растворения первичных алюмосиликатов увеличиваются концентрации макрокомпонентов. Однако состояние, близкое к равновесному, наблюдается в основном только при взаимодействии вод с кварцем, глинистыми минералами, соединениями металлов с ГК, кальцитом (в присутствии растворенного CO_2). По отношению к первичным алюмосиликатам речные воды повсеместно и в течение всего года недонасыщены, поскольку достижение равновесного состояния ограничивается выведением из раствора кальция в соединениях с карбонатами и ГК. При этом следует отметить важную роль CO_2 , который, согласно [202], наряду с выносом продуктов химических реакций обуславливает непрерывность процесса растворения первичных минералов.

С учетом этого можно предположить, что рост концентраций растворенных неорганических веществ в водах рек – приемников сточных вод в определенной степени ограничивается относительно низкой растворимостью ряда соединений макрокомпонентов. Поэтому увеличение минерализации и концентраций таких ионов, как Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , K^+ , а также ряда микроэлементов, содержание которых контролируется процессами растворения – осаждения с участием главных ионов, соосаждения и сорбции на глинистых минералах, в случае возможного возрастания объемов сброса загрязненных сточных вод в ближайшие годы при неизменных гидроклиматических условиях в бассейне р. Обь представляется маловероятным. Этот вывод подтверждается и результатами расчетов по зависимостям, полученным при упрощении термодинамической модели взаимодействий в системе «вода-порода». Их анализ показал, что даже в случае ионов Na^+ приращение концентраций составит не более 70...90 % от максимально возможного увеличения только за счет смешения речных и сточных вод (рис. 3.6.4.7).

Количественная оценка взаимодействий в системе «вода-порода» на гидрохимический сток была выполнена в предположении, что масса неорганических солей, не поступающая в речную сеть в результате заболачивания земель, соответствует минимальному значению выноса веществ $G_{\text{в-п}}$ при этих взаимодействиях. Тогда искомое решение для рассматриваемой территории может быть получено в зависимости от интенсивности водообмена из пропорций:

1) в отсутствие болот величина $G_{\text{в-п}}$ ориентировочно составит 1586,3 тыс. т/год при модуле водного стока 6,28 л/(с·км²);

2) модуль водного стока для водосбора Оби на участке г. Колпашево – с. Александровское равен 5,32 л/(с·км²); $G_{\text{в-п}}=1586,3 \cdot 5,32/6,28=1343,8$ тыс. т/год;

3) средневзвешенный модуль водного стока для водосборов рр. Томь и Чулым составляет $9,65 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$; тогда $G_{\text{в-п}} = 1586,3 \cdot 9,65 / 6,28 = 2437,5$ тыс.т/год, а для территории бассейна Средней Оби $G_{\text{в-п}} = 1343,8 + 2437,5 = 3781,3$ тыс. т/год.

Таким образом, отношение выноса главных ионов в результате взаимодействия воды и пород к ионному стоку, формирующемуся в регионе, составляет не менее 30 %.

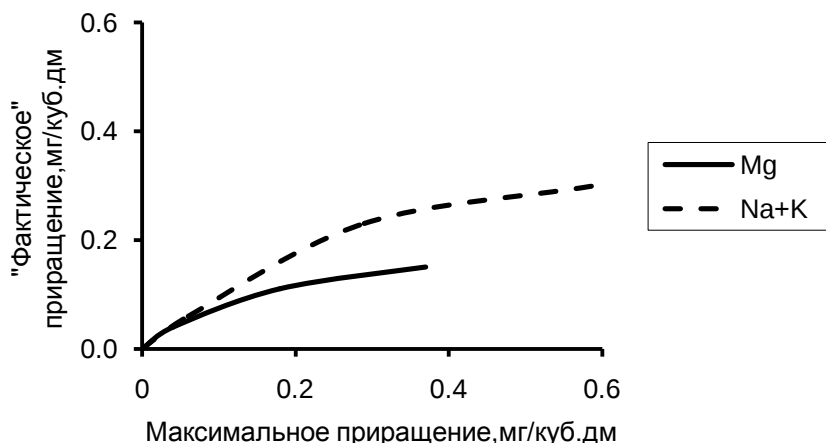


Рис. 3.6.4.7. Соотношение максимально возможных и «фактических» приращений концентраций ионов магния, натрия и калия в речных водах в результате сброса стоков

Влияние интенсивности водообмена на химический состав природных вод и гидрохимический сток. Одним из ключевых факторов формирования химического состава природных вод является интенсивность водообмена, что обуславливает необходимость математического описания влияния водного фактора на химический состав природных вод. Исследования в этом направлении проводятся достаточно давно. Традиционно они сводятся либо к составлению и решению системы дифференциальных уравнений Сен-Венана и турбулентной диффузии, либо к поиску регрессионных зависимостей типа $C=C(Q)$, где C – концентрация вещества, а Q – расход воды. В данной работе роль водного фактора показана путем ряда преобразований одномерного уравнения турбулентной диффузии (вместо координат пространства и времени вводится новая переменная – расход воды), в результате которых получена (как частное решение) степенная зависимость концентрации от расхода воды, имеющая вполне понятный физический смысл. Анализ ее структуры показал, что среднегеометрическое значение концентрации вещества формально соответствует условно равновесному состоянию, отклонения от которого в значительной мере связаны с колебаниями водности. С учетом этого можно сделать вывод, что интенсивность водообмена является управляющим фактором, регулирующим характер и интен-

сивность практически всех процессов формирования химического состава и гидрохимического стока.

Соотношение потоков веществ. Выполненные расчёты поступления веществ в водные объекты, безусловно, имеют приближенный характер, но, тем не менее, позволяют получить общую картину и выделить наиболее важные источники и процессы (табл. 3.6.4.4). Среди них, прежде всего, следует отметить выпадение веществ из атмосферы. Значительный вклад в формирование гидрохимического стока вносит и поступление веществ в результате взаимодействий в системе «вода-порода», а также приток веществ из болот, роль которых заключается не только в изменении выноса тех или иных веществ, но и в формировании геохимической среды в целом. Наиболее значительное антропогенное влияние связано с поступлением в атмосферу, а затем и в водные объекты соединений азота и углеводов, а также с неорганизованным выносом с урбанизированных территорий биогенных и органических веществ.

Таблица 3.6.4.4

Соотношение поступления веществ из различных источников к приращению выноса с водами р. Обь в её среднем течении, %

Источник (процесс)	Главные ионы	C _{орг}	N	Нефтепродукты
Атмосферные выпадения	37,4	16,3	150,0	13,6
Взаимодействия в системе «вода-порода»	50,7	–	–	–
Вынос из почв	–	32,8	9,7	–
Сток с болот	–	44,3	–	–
Сброс стоков	3,8	1,7	18,0	0,8
Неорганизованное загрязнение	8,7	4,9	37,1	40,8
Факторы формирования	Преим. природные	Преим. природные	Природно-антропогенные	Природно-антропогенные

Проведенные вычисления не позволили получить гидрохимический баланс для основных показателей в сумме 100 %. В случае главных ионов это объясняется недоучетом роли взаимодействий в системе «вода-порода», а в случае органических веществ – заниженной оценкой влияния болот. С учетом этого вклад взаимодействий в системе «вода – порода» в ионный сток с территории бассей-

на р. Обь в её среднем течении может составлять до 50 % (6201 тыс. т/год), а вклад болот в сток органических веществ по $C_{орг}$ – до 44 % (442 тыс. т/год).

Неожиданный, на первый взгляд, результат расчетов поступления в реки региона неорганических соединений азота предположительно связан с биогеохимическими процессами, приводящими к значительному снижению концентраций азота в речных водах, а значительная невязка баланса веществ, идентифицируемых как нефтепродукты, объясняется природным происхождением не менее половины массы их выноса с речными водами. Допустимая невязка водохозяйственных балансовых расчетов составляет примерно 5...20 %. Принимая во внимание указанные значения, предположим, что при вкладе антропогенных факторов в приращение гидрохимического стока в размере менее 5 % содержание вещества в поверхностных водах определяется природными факторами, в диапазоне 5...20 % – преимущественно природными, более 20 % – природно-антропогенными. Исходя из этого, можно сделать вывод о преимущественно природном происхождении основной части гидрохимического стока в бассейне Средней Оби.

Таким образом, анализ результатов выполненных исследований показал, что, во-первых, большая часть гидрохимического стока на рассматриваемой территории представлена макрокомпонентами и трудноокисляемыми органическими веществами и формируется в результате действия природных факторов. Во-вторых, природная трансформация гидрохимического стока, химического состава и качества речных вод в ближайшие годы, предположительно, будет связана с незначительным увеличением выноса органических веществ вследствие прогрессирующего заболачивания водосбора и выноса макрокомпонентов из-за постепенного роста подземной составляющей водного стока. Помимо природной, наблюдается и антропогенная трансформация гидрохимического стока. Она проявляется в формировании или увеличении интенсивности стока нефтепродуктов, легкоокисляемых органических веществ по БПК₅, неорганических соединений азота и связана, прежде всего, с загрязнением атмосферного воздуха и неорганизованным поступлением с урбанизированных территорий. Сброс загрязненных сточных вод по сосредоточенным выпускам также оказывает определенное влияние на состояние водных объектов, но оно заметно меньше воздействия указанных выше антропогенных факторов и в основном проявляется на локальных участках в районе расположения городов и крупных предприятий. Это объясняется тем, что любое внешнее воздействие на химический состав речных вод является нелинейным, а резкое и относительно долгосрочное увеличение концентрации какого-либо вещества может произойти только при существенном увеличении концентраций сразу большинства основных компонентов химического состава вод в размере, сопоставимом с гидрохимическим стоком.

3.7. Геохимия донных отложений

Донные отложения рек формируются в результате целого комплекса гидрологических, физико-химических и биогеохимических процессов, протекающих как непосредственно в русле, так и на всей водосборной территории, что позволяет рассматривать их гранулометрический, минералогический и химический составы в качестве интегральных показателей характера и интенсивности энерго- и массопотоков в речных бассейнах. В свою очередь, это определяет постоянный интерес к изучению донных отложений с самых различных точек зрения. Например, образование в них геохимических аномалий может рассматриваться в геологическом масштабе времени как одна из составляющих процесса формирования месторождений полезных ископаемых. Большое значение имеют и экологические аспекты проблемы природно-антропогенных изменений речных систем, поскольку при отсутствии данных о типоморфных элементах и уровне их содержания в донных отложениях сложно получить объективную оценку экологического ущерба окружающей среде при русловой добыче полезных ископаемых, проведении строительных работ в акваториях и защитных зонах водных объектов, сбросе в них загрязненных стоков и т.д.

В настоящее время в ряде регионов России, в том числе, и в Томской области, достаточно остро ощущается дефицит подобных данных. В связи с этим автором совместно с В.А. Льготиным и В.А. Базановым [155, 160] выполнено обобщение и анализ данных ОАО «Томскгеомониторинг», ООО «ИНГЕОТЕХ», НИИ биологии и биофизики при ТГУ, ТПУ о содержании в пылевато-глинистой фракции донных отложений рек нефтепродуктов и химических элементов, относящихся, согласно классификации В.И. Вернадского [17], к «циклическим». В результате были установлены средние содержания изученных веществ в донных отложениях рек региона (табл. 3.7.1, 3.7.2) и выявлен ряд особенностей пространственного изменения химического состава донных отложений рек Томской области, которые можно обобщить в виде следующих положений.

Уровень содержания ряда циклических элементов (Mn, Co, Cr, Cu, Pb) в донных отложениях рек во многих случаях оказался выше предельно допустимых значений, установленных для почв. Содержания нефтепродуктов, превышающие граничное значение 1000 мг/кг между категориями «чистых» и «загрязненных» почв [89], отмечены только в местах разливов нефти и нефтепродуктов. Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов и большинства изученных химических элементов обнаружены в донных отложениях притоков рр. Томь и Васюган, среди которых по количеству и абсолютным значениям выявленных максимумов следует особо отметить правобережные притоки р. Томь (пр. Ушайка, Большая и Малая Киргизка, их притоки), ряд малых водотоков в водосборе р. Чижалка и левобережных притоков р. Васюган [155].

Таблица 3.7.1

Средний химический состав донных отложений рр. Обь и её притоков, мг/кг

Показатель	р. Обь ¹	р. Томь – устье ²	Левобереж- ные притоки р. Томь ³	Правобережные притоки р. Томь ⁴	р. Тым ³	Притоки р. Чулым ⁵
нефтепродукты	59,2	–	–	–	–	72,1
P	1100	–	973	–	667	620
Fe	3367	4300	–	–	13333	–
Mn	597,7	316,2	806,5	2492,3	183,3	590,0
Cu	53,7	11,4	96,5	65,4	16,7	18,7
Pb	13,2	1,3	20,9	21,0	8,7	8,5
Zn	54,0	36,5	71,5	133,7	30,0	31,6
Ni	60,0	–	41,1	60,8	18,7	31,0
Ti	4833,3	–	4698,8	–	2666,7	3440,0
Cr	103,3	–	96,5	81,2	200,0	72,0
Co	15,5	6,9	19,6	13,1	3,7	21,0
V	93,3	–	102,7	–	26,7	81,0
Sr	233,3	–	242,3	–	266,7	228,0
Ba	566,7	–	433,3	–	500,0	560,0
Количество проб	4–24	6	8–16	13–14	3	2–10

Примечания: 1 – обобщение данных [38, 78, 146, 214, 217] и фондовых материалов ОАО «Томскгеомониторинг»; 3 – фондовые материалы ОАО «Томскгеомониторинг»; 4 – [72]; 5 – обобщение данных [100] и фондовых материалов ОАО «Томскгеомониторинг»; прочерк обозначает отсутствие данных

Таблица 3.7.2

Средний химический состав донных отложений р. Васюган и ее притоков, мг/кг

Показатель	р. Васюган	притоки р. Васюган	р. Чи- жапка	Притоки р. Чижапка	р. Нью- ролька	Притоки р. Ньюролька
1	2	3	4	5	6	7
нефтепро- дукты	95,4	176,6	141,2	310,8	–	184,7
P	1067	1240	–	–	1400	2500
Fe	30000	22857	–	–	30000	35000
Mn	500,0	808,3	821,8	1859,5	890,0	733,3

Продолжение табл. 3.7.2

1	2	3	4	5	6	7
Al	60000	57143	–	–	23333	60000
Cd	–	–	0,923	0,696	–	–
Cu	23,7	27,1	11,4	10,0	20,0	17,9
Pb	17,3	17,8	8,7	6,3	13,8	10,7
Zn	57,6	65,0	47,4	51,7	48,0	34,0
Ni	35,8	36,3	–	37,3	25,0	40,0
Ti	5166,7	4750,0	–	–	3400,0	4333,3
Cr	113,3	180,8	–	–	94,0	250,0
Co	15,8	14,9	–	–	8,8	16,0
V	85,0	80,0	–	–	50,0	76,7
Sr	283,3	258,3	–	–	220,0	233,3
Ba	683,3	558,3	–	–	540,0	566,7
Количество проб	1–7	7–12	4–6	3–11	3–5	2–6

К ним же, чаще всего, приурочены и повышенные средние содержания. Наименьшие разовые и средние значения в целом характерны для рек с наиболее высокими модулями водного стока – рр. Обь, Томь, Кия, Яя, Тым (табл. 3.7.1, 3.7.2). Данный вывод подтверждается результатами корреляционного анализа, позволившего выявить статистически значимые связи между геохимическими и гидрологическими показателями изученных рек (табл. 3.7.3).

Уровень содержания большинства изученных химических элементов в донных отложениях рек Томской области в основном не выходит за пределы, установленные для рек мира [97]. Наиболее заметное исключение составляет Si, среднее содержание которого заметно выше соответствующих показателей для других рек. В сравнении с почвами и почвообразующими породами Западной Сибири [133, 134, 192] в донных отложениях р. Оби и ее притоков отмечены более высокие содержания Mn, P, Ba и менее значительные – Zn, Cu, Pb, Fe, Ni. Концентрации V, Zn, Ti, Sr и Co примерно равны либо в целом по Томской области, либо в пределах ее крупных участков. Несколько иная картина получена при сравнении с торфами региона [51], показавшем, что для донных отложений рек характерны более высокие концентрации Cr, Co, Sr, Ba. Содержания Ca и Fe в донных отложениях больше, чем в верховых торфах, но меньше, чем в низинных [155, 160].

Учитывая, что в речных долинах и на прилегающих к ним территориях расположены преимущественно низинные болота с преобладанием соответствующих типов торфов, можно предположить, что, по крайней мере, одним из важных источников поступления изученных элементов в донные отложения рек

Томской области являются частицы торфа и почв, вынесенные в реки с поверхностным и подповерхностным стоком с болот и заболоченных территорий. Аналогичные выводы были сделаны и в случае углеводородов, содержания которых в минеральных почвах и торфах на незагрязненных территориях в зоне северной тайге Западной Сибири достигают 1000 мг/кг и более [177], что заметно больше установленных средних концентраций нефтепродуктов в донных отложениях рек Томской области. Следовательно, одним из источников поступления углеводородов в речную сеть также может являться вынос с болот.

Таблица 3.7.3

Статистически значимые коэффициенты корреляции между средними значениями геохимических и гидрологических показателей

Геохимический показатель (мг/кг)	Сток взвешенных наносов (т/год)	Средняя годовая мутность речных вод (г/м ³)	Средний годовой модуль водного стока (л/с·км ²)
Нефтепродукты	-0,62	-0,67	-0,49
P	-0,43	-0,46	–
Cd	-0,63	-0,73	-0,52
Cu	–	–	-0,52
Pb	-0,47	–	-0,52
Zn	-0,49	–	-0,67
Ni	–	–	-0,66
Ti	–	–	-0,73
Co	–	–	-0,65
V	–	–	-0,73

Анализ обширной информации по рекам Томской области показала, что, во-первых, изучение природно-антропогенных условий в местах расположения пунктов опробования показало, что концентрации нефтепродуктов, не превышающие 65 мг/кг, встречаются только в донных отложениях рек, в бассейнах которых хозяйственная деятельность либо вообще не ведется, либо потенциальные источники загрязнения расположены не ближе 10 км от створа наблюдений (иными словами, для «чистых» объектов). Указанное значение (65 мг/кг) примерно соответствует эмпирической обеспеченности 75 % (табл. 3.7.4). Во-вторых, концентрации нефтепродуктов, превышающие 250–260 мг/кг и приблизительно соответствующие обеспеченности 25 %, напротив, достаточно часто приурочены к участкам вблизи нефтеналивных причалов и кустовых площадок нефтяных скважин, нефтепроводов, то есть к местам с повышенной антропогенной нагрузкой. При этом следует отметить, что концентрации нефтепродуктов в диапазоне от 65 до 260 мг/кг обнаружены и в донных отложениях малых рек с

заболоченными водосборами (заболоченность более 20 %), в пределах которых хозяйственная деятельность вообще не ведется. В-третьих, согласно [8, 10, 11, 155, 177], непосредственно на участках аварийного разлива нефти и нефтепродуктов, обнаружены концентрации нефтяных компонентов свыше 800 мг/кг при погрешности определения около 30% (то есть, не менее 240 мг/кг). Следовательно, максимальное содержание нефтепродуктов, не связанное с явно выраженным загрязнением, не должно превышать 550...560 мг/кг (обеспеченность указанных значений 10 и 9,6 % соответственно), что позволяет использовать эти значения в качестве критерия разделения донных отложений на «загрязненные» и «грязные».

Исходя из указанного выше, предложено выделять по содержанию нефтепродуктов четыре категории донных отложений: 1) до 65 мг/кг – «чистые»; 2) от 65 до 260 мг/кг – «чистые» для малых рек с заболоченными водосборами и «умеренно загрязненные» в остальных случаях; 3) от 260 до 550 мг/кг – «загрязненные»; 4) свыше 550 мг/кг – «грязные». Кроме того, при оценке антропогенного влияния на водные объекты на территории Томской области в качестве «фоновых» содержаний нефтепродуктов в донных отложениях можно использовать значение 260 мг/кг для малых рек с заболоченными водосборами и 65 мг/кг – для прочих рек. Концентрации, превышающие это значение, с вероятностью более 90 % свидетельствуют об антропогенном загрязнении водных объектов. С учетом предложенной классификации донные отложения большинства изученных рек в Томской области можно отнести к категории «умеренно загрязненных», что свидетельствует, по крайней мере, о региональных масштабах антропогенного изменения состояния водных объектов. Наибольшая степень загрязнения донных отложений нефтепродуктами («загрязненные» и «грязные» донные отложения) выявлена для некоторых малых водотоков в бассейне р. Чижапка и левобережных малых притоков р. Васюган в его верхнем и среднем течении [160].

Применить подобный подход к классификации донных отложений по содержанию прочих веществ не удалось из-за менее выраженной зависимости их от антропогенных воздействий и, предположительно, более значительной связи с особенностями геологического строения водосборных территорий. Тем не менее, и в случае циклических элементов представляется целесообразным в качестве граничных значений между характерными категориями использовать первую (25 %) и третью (75 %) квартили эмпирической кривой обеспеченности. В отличие от нефтепродуктов, данные категории отражают не только степень загрязнения донных отложений, но и особенности природных условий формирования их химического состава, что само по себе представляет большой интерес. В связи с этим, при проведении исследований конкретных речных систем на территории Томской области следует уделять особое внимание фактам обнаружения циклических элементов в донных отложениях в концентрациях, превы-

шающих первую квартиль, а значения в диапазоне от первой до третьей квартили в первом приближении могут рассматриваться как «фоновые» (табл. 3.7.4). Исходя из этого предположения, на территории Томской области выделяются следующие участки с заметным превышением «фоновых» значений: северная часть бассейна р. Томи – по содержанию V, Cu, Pb, Zn, Ni; водосбор р. Чижалки – по содержанию Mn; водосбор р. Нюролька – по содержанию Cr [160].

Таблица 3.7.4

Статистические параметры распределения концентраций нефтепродуктов и циклических элементов в донных отложениях рек Томской области, мг/кг

Геохимический показатель	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Квартили эмпирической кривой обеспеченности	
			25 %	75 %
Нефтепродукты	198,2	191,6	258,9	64,8
Ca	6938	4312	10000	3250
Mg	3238	2304	5750	1250
Na	8625	1996	10000	6500
K	12063	2720	15000	10000
Si	359375	70711	400000	350000
P	1276	856	1500	800
Fe	17449	13806	30000	1868
Mn	987,9	1174,8	1312,7	300,0
Al	47500	18797	60000	30000
Cd	0,7	0,8	1,5	<0,1
Cu	18,0	11,7	30,0	7,7
Pb	12,0	8,1	20,0	4,0
Zn	49,1	32,0	70,0	21,0
Ni	33,2	15,4	40,0	20,0
Ti	4344,8	1541,7	5500	3000
Cr	161,0	89,5	200	85
Co	13,0	8,2	20,0	6,0
V	70,0	30,5	90,0	50,0
Ba	575,9	115,4	700,0	500,0

Таким образом, на рассматриваемой территории по содержанию нефтепродуктов и циклических элементов выделяются водосборы р. Томь и некоторых притоков р. Васюган, в пределах которых обнаружены концентрации большинства изученных веществ с обеспеченностью менее 25 %. Вероятность обнаружения повышенных концентраций ряда изученных веществ (нефтепродукты, Cu, Zn, Pb, Mn, Ni, Co, Ti, Cd, V) заметно возрастает при одновременном увеличении антропогенной нагрузки на водные объекты и уменьшении модулей водно-

го и твердого стока. Влияние хозяйственной деятельности в наибольшей степени сказывается на уровне содержания нефтепродуктов.

3.8. Микробиоценозы

Микроорганизмы играют исключительно важную роль в формировании эколого-геохимического состояния компонентов биосферы, включая и водные экосистемы. По этой причине количественный и групповой состав микроорганизмов являются одними из важнейших критериев состояния поверхностных водных объектов. В результате исследований, выполненных в ТПУ и ТФ ИНГГ СО РАН, в речных водах региона были определены различные группы гетеротрофных и литотрофных микроорганизмов, среди которых имеют место: 1) сапрофитные бактерии, минерализующие отмерший органический материал; 2) олиготрофные бактерии, способные развиваться при низких концентрациях ОВ; 3) хемоорганотрофные бактерии, окисляющие углеводороды и кислородсодержащие органические соединения; 4) денитрифицирующие бактерии, способные при недостатке кислорода восстанавливать нитраты до газообразных форм; 5) нитрифицирующие бактерии – автотрофные микроорганизмы, получающие энергию в результате окисления восстановленных соединений азота; 6) аммонифицирующие бактерии, разлагающие сложные азотсодержащие органические соединения (белки, аминокислоты и ряд других веществ) с выделением аммиака, сероводорода и углекислого газа; 7) тионовые бактерии, получающие энергию за счет окисления серы и ее восстановленных соединений; 8) сульфатвосстанавливающие бактерии – анаэробные микроорганизмы, обладающие способностью восстанавливать сульфаты до сульфидов в процессе метаболизма [143, 147, 203, 207]. Общая характеристика выявленных экологотрофических групп микроорганизмов, присутствующих в водах р. Обь и её притоков, представлена в таблице 3.8.1.

Анализ полученной информации показал, что для р. Обь характерно преобладание в групповом составе микроорганизмов олиготрофных бактерий, приспособленных к усвоению рассеянного органического материала. Концентрации сапрофитных бактерий в среднем ниже содержаний олиготрофов более чем в два раза, причем соотношение концентраций сапрофитных и олиготрофных бактерий уменьшается по мере движения водных масс с юга на север [143]. В р. Обь выше и ниже устья р. Томь, а также у сел Кривошеино, Молчаново, Могочино в сентябре 1991 г. было отмечено развитие тионовых бактерий [203]. Их наличие и высокая интенсивность развития позволяет сделать предположение, что в этих пунктах в речных водах содержались восстановленные соединения серы. При продвижении далее на север, начиная с точки, расположенной выше г. Колпашево, в этот же период времени (сентябрь 1991 г.) тионовые бактерии

не были обнаружены. Весьма вероятно, что их присутствие в обских водах, по крайней мере в 1991 г., связано с притоком загрязненных вод р. Томь [143].

Таблица 3.8.1

Средние содержания некоторых групп бактерий в водах рр. Обь, Томь и их притоков (средних рек) [143, 147]

Бактерии	Единица измерения	р. Обь	р. Томь	Притоки р. Томь	Равнинные притоки р.Обь
Сапрофитные	кл/см ³	12131	12532	7576	21227
Олиготрофные	кл/см ³	41891	37653	65096	33890
Тионовые	балл	4	6	2	0
Нитрифицирующие	балл	7	5	3	–
Денитрифицирующие	балл	9	10	10	12
Аммонифицирующие	кл/см ³	8646	4451	–	–
Сульфатовосстанавл.	балл	<1	1	0	–
Окисляющие:					
гептан	усл. ед.	326	235	169	–
октан	усл. ед.	332	279	300	–
декан	усл. ед.	386	338	344	–
фенол	усл. ед.	229	245	309	–
Количество проб		20	9...32	3...11	6

В целом, при продвижении на север наблюдается уменьшение численности бактерий, окисляющих азотсодержащие органические вещества. В изменении содержаний других групп гетеротрофных бактерий подобная тенденция не обнаружена [143, 203]. Что касается углеводородокисляющих бактерий, то их суммарная интенсивность развития в водах р. Обь в основном стабильна, за исключением нескольких точек, где летом 1999 г. было отмечено резкое увеличение содержаний нефтеокисляющих бактерий с 0...5000 кл/см³ в большинстве створов до 9000...28000 кл/см³ на участке ниже по течению от с. Каргасок [207]. Учитывая, что при этом все пробы воды с повышенными концентрациями микроорганизмов были отобраны в местах стоянки речного транспорта или ниже по течению от них, можно сделать вывод об антропогенном загрязнении речных вод нефтепродуктами.

Содержания сапрофитных микроорганизмов, минерализующих отмерший органический материал, в водах р. Томь в среднем несколько выше, чем в р. Обь, причем самые высокие их концентрации обнаружены не только в створах крупных городов – потенциальных источников микробиологического загрязнения водных объектов (62000 кл/см³ у г. Томск), но и в Кемеровской области на участке реки выше по течению от г. Междуреченск (69000 кл/см³ в 5 км

выше города). В целом, бактериальное загрязнение реки эпизодически наблюдается на всём ее протяжении, что было отмечено в ходе Государственной экологической экспертизы Крапивинского гидроузла на р. Томь [174] и ряде других водохозяйственных документов, причём повышенные содержания некоторых микроорганизмов в водах р. Томь зафиксированы уже в 1930-е гг. [169].

Уровень содержания олиготрофных бактерий, способных развиваться при низких концентрациях ОВ, в отличие от сапрофитов, выше в р. Обь, а не в р. Томь. Учитывая, что развитие олиготрофных бактерий может быть затруднено в среде с повышенным содержанием азотсодержащих органических соединений, это свидетельствует о существенном различии в качественном составе ОВ, растворенных в водах двух рек. Среди прочих групп микроорганизмов, выявленных в водах р. Томь, следует отметить сульфатвосстанавливающие бактерии, существующие при недостатке кислорода. Подобные микроорганизмы в количестве 1 кл/см³ были обнаружены нами в марте 1998 г. в 0,3 км выше г. Томск. Кроме того, в створах гг. Кемерово и Томск было отмечено присутствие тионовых бактерий. Это позволило сделать предположение о наличии в водах рассматриваемой реки восстановленных соединений серы. Содержания нефтеокисляющих бактерий в водах р. Томь, как и в р. Обь, изменяются слабо и в среднем составляют около 2000 кл/см³, что хорошо согласуется с относительно равномерным распределением содержаний углеводов в речных водах. Большей неравномерностью характеризуется распределение хемоорганотрофных бактерий [143].

Согласно [34], воды Средней Оби и её притоков по микробиологическим показателям в целом классифицируются как загрязненные, по [32] – альфа- и бетамезосапробные («загрязненные»). Поскольку содержания микроорганизмов в речных водах рассматриваемой территории варьируют в достаточно большом диапазоне [143, 147], то и категория сапробности, и класс качества также существенно изменяются – от ксеносапробных («чистых») до полисапробных («грязных»). Наихудшее состояние характерно для малых рек, расположенных в населенных пунктах или по близости от них. Определённое ухудшение качества речных вод по микробиологическим показателям закономерно отмечается в створах р. Томь, расположенных в черте или ниже по течению от населенных пунктов и сбросов сточных вод жилищно-коммунальных предприятий.

3.9. Краткие выводы

На территории Томской области сосредоточены значительные ресурсы речных вод. Среднемноголетний годовой сток главной водной артерии региона – р. Обь – на северной границе (с Ханты-Мансийским автономным округом) составляет около 160 км³/год, что более чем в три раза превышает сток р. Обь в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС. Несмотря на это, на многих реках в межен-

ный период могут наблюдаться весьма низкие расходы воды, существенно затрудняющие использование рек в целях водоснабжения и водного транспорта. В весенний период, напротив, периодически отмечаются очень высокие расходы воды, превышающие норму стока в 8...10 и более раз, причём вследствие природных причин часто формируются ледовые заторы и зажоры, приводящие к мощным наводнениям. Анализ многолетних изменений гидрологических условий в регионе показал, что в связи с вводом в эксплуатацию в 1959 г. Новосибирского гидроузла произошло определенное изменение водного режима, проявляющееся в изменении условий затопления поймы, снижении максимальных и увеличении минимальных уровней и расходов воды, особенно на участке до устья р. Томь. Ниже по течению (от устья Томи) влияние регулирования стока постепенно снижается, но остаётся заметным практически на всей территории Томской области. Годовой сток большинства притоков р. Обь в Томской области в течение 1930-2000-х гг. остаётся статистически постоянным, однако во многих случаях отмечено увеличение стока зимней межени, когда питание рек связано преимущественно с подземными водами.

Большая часть химического состава речных вод и гидрохимического стока на территории Томской области формируется в результате действия природных факторов. Их изменение в ближайшие годы, предположительно, будет связано с незначительным увеличением выноса органических веществ вследствие прогрессирующего заболачивания водосбора и выноса макрокомпонентов из-за постепенного роста подземной составляющей водного стока. Антропогенная трансформация химического состава и гидрохимического стока также имеет место и проявляется в формировании или увеличении интенсивности стока нефтепродуктов, легкоокисляемых ОРВ по БПК₅, соединений азота и связана, прежде всего, с загрязнением атмосферного воздуха и неорганизованным поступлением с урбанизированных территорий. Влияние сбросов загрязненных сточных вод по сосредоточенным выпускам в основном проявляется на локальных участках в районе расположения городов и крупных предприятий.

С учётом значительной роли природных факторов (прежде всего – высокой заболоченности водосборов), достижение полного соответствия качества речных вод на территории Томской области российским нормативам водопользования представляется крайне маловероятным событием, но вполне возможно существенное снижение концентраций и выноса с речными водами нефтепродуктов, легкоокисляемых органических и биогенных веществ за счет создания водоохраных зон, ликвидации необустроенных мест хранения отходов и токсичных материалов, снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха и предотвращения загрязнения грунтовых вод.

4. Озёра, водохранилища и пруды

4.1. Общие сведения о водоёмах

Значительная часть поверхностных водных ресурсов Томской области сосредоточена в многочисленных внутриболотных озёрах и речных старицах, представленных, в основном, небольшими по объёму и площади водоемами в количестве 112900 единиц общей площадью 4451 км² [78]. Наиболее крупный из них – озеро Мирное, имеющее площадь 18,4 км² и расположенное на водоразделе рр. Чижанка (приток р. Васюган) и Чузик (приток р. Парабель). В целом, количество озёр возрастает к северу по мере увеличения степени увлажнения территории. За исключением санитарных исследований отдельных стариц и озёр вблизи г. Томск, регулярные гидрологические и геохимические наблюдения на естественных водоёмах в общегосударственной сети наблюдений ранее не проводились, что не позволяет достоверно оценить водный, термический и ледовый режим озёр. Лишь в последнее десятилетие специалистами ОАО «Томскгеомониторинг» более или менее систематически стал изучаться химический состав озёр в нижнем течении р. Томь и районах размещения нефтегазодобывающих предприятий [77], что позволило получить лишь предварительную гидрохимическую характеристику озёрных вод региона, приведённую в разделе 4.2.

Основной объём информации о прудах и водохранилищах получен специалистами Администрации Томской области и ОАО «Томскгеомониторинг» при непосредственном участии автора в 2001–2002 гг. в процессе инвентаризации гидротехнических сооружений (ГТС) на территории Томской области. Однако и этих данных недостаточно для полноценного описания гидрологического режима искусственных водоёмов, особенно в части оценки временных изменений уровней и объёмов воды. Всего в рассматриваемом регионе по состоянию на 2002 г. выявлено 404 искусственных водоёма, основная часть которых представлена прудами (объём воды менее 1 млн. м³). Водоохранилищ (объём воды равен или более 1 млн. м³) всего шесть, все они расположены в водосборе р. Томь. Наибольшее количество прудов расположено в южной части региона, на территории Томского, Кожевниковского, Асиновского, Зырянского районов, в пределах водосборов рр. Томь, Чулым и на территориях, непосредственно примыкающих к р. Обь [78]. В северных административных районах области, соответствующих территории водосборных бассейнов рр. Васюган, Парабель, Кеть, Тым, количество прудов значительно меньше или они вовсе отсутствуют (табл. 4.1.1). Ниже приведены краткие сведения о прудах на территории административных районов Томской области.

Асиновский район и г. Асино. На территории Асиновского района зафиксировано 26 прудов. Все пруды сезонного регулирования, расположены в пределах водосбора р. Чулым. Большая часть прудов была построена для организации сельскохозяйственного водоснабжения, рекреации и рыболовства. Плотины час-

ти прудов служат преимущественно для проезда автотранспорта, но при этом не исключаются и другие виды водопользования. Один пруд предназначен для хранения жидких отходов животноводства. Объемы прудов находятся в пределах от 0,0002 до 0,68 млн. м³ (в среднем – 0,107 млн. м³), средние глубины – около 3 м.

Таблица 4.1.1

Общие сведения о водохранилищах и прудах на территории Томской области по состоянию на 2002 г. (по данным [78] без учёта ЗАТО Северск)

Водосбор реки	Полный объем, млн. м ³		Площадь зеркала, км ²		Норма стока в нижний бьеф гидроузла, км ³ /год	
	сумма	среднее для одного водоёма	сумма	среднее для одного водоёма	сумма	среднее для одного водоёма
Томь	20,251	0,2382	5,693	0,067	0,1780	0,0021
Чулым	5,079	0,069	3,323	0,045	0,2954	0,0040
Чая	3,041	0,060	2,142	0,042	0,6032	0,0118
Кеть	0,004	0,004	0,008	0,008	0,0002	0,0002
Обь	15,079	0,080	13,393	0,071	0,3474	0,0018
Сумма	43,454	0,109	24,558	0,061	1,4243	0,0036

Бакчарский район. На территории Бакчарского района, в пределах водосбора р. Чая выявлено 39 прудов. Все пруды сезонного регулирования. Часть прудов образовалась в результате строительства автодорог. Пруды, расположенные в населенных пунктах, используются для водопоя скота и птицеводства, в некоторых случаях – для рекреации, а плотины большинства этих прудов – для проезда автотранспорта. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,0004 до 0,46 млн. м³, средние глубины – 0,25...3,2 м.

Верхнекетский район. На территории Верхнекетского района выявлен один пруд в п. Белый Яр (водосбор р. Кеть). Пруд сезонного регулирования; используются для водопоя скота и птицеводства, а плотина – для проезда автотранспорта. Объём пруда составляет 0,004 млн. м³.

Зырянский район. На территории Зырянского района (в границах водосбора р. Чулым) обследовано 38 прудов. Все пруды сезонного регулирования. Часть прудов образовалась в результате строительства автодорог. Пруды, расположенные в населенных пунктах, используются для водопоя скота и птицеводства, в некоторых случаях – для рекреации, а плотины большинства этих прудов – для проезда автотранспорта. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,0003 до 0,42 млн. м³, средние глубины – до 3 м (в среднем – около 1 м).

Кожевниковский район. На территории Кожевниковского района обнаружено 104 пруда, расположенных в границах водосбора непосредственно р. Обь и/или её малых притоков. Все пруды сезонного регулирования. Часть прудов образовалась в результате строительства автодорог или добычи торфа. Пруды, расположенные в населённых пунктах, используются для водопоя скота и птицеводства, в некоторых случаях – для рекреации, а плотины большинства этих прудов – для проезда автотранспорта. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,005 до 0,392 млн. м³, средние глубины – 1,0...4,8 м.



Рис. 4.1.1. Пруд на окраине
с. Беловодовка, Зырянский район



Рис. 4.1.2. Пруды в с. Кривошеино
(районный центр)

Колпашевский район. На территории Колпашевского района, в пределах водосбора р. Чая и непосредственно р. Обь зафиксировано 6 прудов. Все пруды сезонного регулирования. Пруд-накопитель (комплекс из 4 водоёмов) в с. Чажемто является частью водоохранного комплекса санатория «Чажемто». Один пруд образовался в результате подпора поверхностного стока при строительстве осушительной системы на заболоченной местности. Два пруда образовались в результате строительства автодорог в районе сёл Игнашкино и Старокороткино. Кроме указанного выше пруда-накопителя, в с. Чажемто расположены ещё два пруда, используемые местным населением для водопоя скота и птицеводства, проезда автотранспорта по плотине. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,0018 до 0,1 млн. м³ (в среднем – 0,04 млн. м³), средние глубины – около 0,7...1,0 м.

Кривошеинский район. На территории Кривошеинского района, в границах водосбора р. Обь и её малых притоков выявлено 44 пруда. Все пруды сезонного регулирования. Большая часть прудов образовалась в результате строительства автодороги Томск – Колпашево. Пруды, расположенные в населённых пунктах, используются для водопоя скота и птицеводства, в некоторых случаях – для рекреации, а плотины большинства этих прудов – для проезда автотранспорта.

Объёмы прудов находятся в пределах от 0,00039 до 0,648 млн. м³, средние глубины – 0,2...2,9 м.

Молчановский район. На территории Молчановского района (водосбор р. Обь и её малых притоков) обнаружено 6 прудов. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,046 до 0,43 млн. м³, средние глубины – 1...4,7 м. Все пруды – сезонного регулирования, служат для водопоя скота, птицеводства и рекреации.

Первомайский район. На территории Первомайского района, в водосборе р. Чулым расположено 6 прудов. Все пруды сезонного регулирования, служат для водопоя скота, птицеводства и рекреации. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,014 до 0,11 млн. м³, средние глубины – 0,9...1,9 м.

Томский район и г. Томск. На территории г. Томск и Томского района выявлено 90 гидроузлов, расположенных преимущественно в водосборе р. Томь. Все обследованные пруды и водохранилища сезонного регулирования; 60 прудов используются для водопоя скота, птицеводства, рекреации и рыболовства, 7 прудов – для очистки стоков и как накопители отходов, плотины 17 прудов – преимущественно для проезда автотранспорта. Один пруд образовался в результате строительства железнодорожной насыпи. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,001 до 7,3 млн. м³, средние глубины – 0,8...4,3 м.

Один из наиболее крупных искусственных водоёмов на территории Томской области – водохранилище на р. Ум (левый приток р. Томь), образованное путем строительства земляной насыпной плотины. Проект разработан институтом «Томскгипроводхоз». Год сооружения плотины – 1989 г. Водоохранилище сезонного регулирования первоначально было предназначено для целей мелиорации и должно было иметь межсовхозное значение. Среднемноголетний сток в створе ГТС – 0,019 км³/год. Площадь водохранилища – 1,7 км², полезный объём – 7,3 млн. м³.

Шегарский район. На территории Шегарского района расположено 36 прудов. Все пруды сезонного регулирования. Часть прудов образовалась в результате строительства автодорог. Пруды, расположенные в населённых пунктах, используются для водопоя скота и птицеводства, в некоторых случаях – для рекреации, а плотины большинства из них – для проезда автотранспорта. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,0002 до 0,34 млн. м³, средние глубины – около 0,5...1,4 м.

Чаинский район. На территории Чаинского района выявлены бетонная плотина ГЭС на р. Икса у с. Григорьевка и 6 прудов, образовавшихся при строительстве автодороги Подгорное – Гришкино. Все пруды сезонного регулирования. Объёмы прудов находятся в пределах от 0,014 до 0,054 млн. м³, средние глубины прудов – 0,6...6,0 м.

На территории прочих административных районов Томской области пруды не выявлены, что не исключает их образование при строительстве и реконструкции автодорог и крупных производственных объектов, а также в результате

разработки карьеров. Краткая гидрохимическая характеристика искусственных водоёмов приведена в разделе 4.3.

4.2. Химический состав озёрных вод

Макрокомпоненты и pH. Озёрные воды в среднем характеризуются как пресные с минерализацией от малой (для внутриболотных озёр) до средней (в бассейне р. Томь), гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные и слабощелочные, воды средних и малых рек – пресные с минерализацией от малой до повышенной, по величине pH – от кислых до слабощелочных (табл. 4.2.1). Минерализация и pH внутриболотных озёр во многих случаях ниже соответствующих показателей воды рек, в водосборах которых они расположены. Минерализация вод городских озёр (г. Томск) в меженный период, напротив, часто превышает минерализацию речных вод не только больших, но и малых рек. Содержания главных ионов в озёрных водах (как и речных) изменяются в широком диапазоне, причём характерной особенностью городских озёр является относительно повышенное содержание хлорид-иона, что, вероятнее всего, свидетельствует об их бытовом загрязнении.

Органические вещества. Общее содержание углерода органических веществ $C_{\text{орг}}$ в озёрных водах Томской области составляет 14...17 мг/дм³. Достаточно высоко и содержание легкоокисляемых ОВ по величине БПК₅ (табл. 4.2.2). По имеющимся данным, концентрации углеводов в водах внутриболотных озёр в среднем выше, чем в городских озёрах, что, предположительно, объясняется поступлением указанных веществ в водную среду в процессе торфообразования.

Биогенные вещества и железо. Высокий уровень содержания в озёрных водах органических веществ в суровых климатических условиях закономерно определяет повышенные содержания азота аммонийного. Существенное влияние на содержание биогенных веществ, безусловно, оказывает антропогенное загрязнение, являющееся фактором дополнительного увеличения в воде NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , а также PO_4^{3-} , концентрации которого во внутриболотных озёрах, как правило, минимальны (табл. 4.2.2). Уровень содержания железа в целом высок и в городских, и в болотных озёрах, но в последнем случае он все же выше, что объясняется его поступлением с прилегающих территорий и образованием соединений с органическими кислотами природного происхождения.

Токсичность и общая оценка качества вод. Анализ данных ОАО «Томскгеомониторинг» показал, что в 2000-е гг. среднее значение токсичности вод городских озёр составляло 35 %, а внутриболотных озёр – 38 %.

Таблица 4.2.1

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) значений pH, суммы главных ионов, содержаний главных ионов и взвешенных веществ в озёрных водах

Озёра	Показатель	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и	Взвешенные вещества
			мг/дм ³								
Годородские (г. Томск)	A	7,90	47,2	13,5	23,9	2,8	239,0	14,8	24,6	365,9	20,1
	δ_A	0,11	7,0	1,6	3,9	0,5	23,6	2,5	3,7	36,3	4,4
Болотные	A	4,86	5,4	1,5	0,9	0,4	15,6	1,7	1,3	26,7	4,9
	δ_A	0,33	1,8	0,7	0,3	0,1	9,1	0,5	0,3	12,0	1,3

Таблица 4.2.2

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) содержаний железа, биогенных и органических веществ в озёрных водах, мг/дм³

Объект	Показатель	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Fe	ХПК	БПК ₅	Нефтепродукты	Фенолы
Годородские (г. Томск)	A	3,870	0,361	7,038	0,475	2,25	0,826	38,06	5,65	0,059	0,001
	δ_A	1,028	0,095	1,900	0,242	0,51	0,554	4,28	1,05	0,016	<0,001
Болотные	A	0,979	0,004	0,820	0,016	1,50	1,459	43,67	3,23	0,229	0,002
	δ_A	0,652	0,002	0,201	0,005	1,30	1,170	12,54	0,45	0,037	0,001

Учитывая различие в степени антропогенного воздействия, это, предположительно, свидетельствует о заметном неблагоприятном воздействии на тестовые организмы органических веществ, поступающих в озёра с болотными водами. В целом, озёрные воды на территории Томской области как по максимальным, так и по средним значениям ряда гидрохимических показателей не соответствуют принятым в России нормативам качества.

Внутригодовые изменения химического состава вод внутриболотных озёр в целом характеризуются закономерным увеличением в межень минерализации и значений ХПК (табл. 4.2.3, 4.2.4), что объясняется притоком в водоёмы в весенний период менее насыщенных солями и ОВ талых вод, а в летне-осенний – более минерализованных грунтовых вод и дождевых вод, контактирующих с подстилающими породами и почвенным покровом. В случае городских озёр картина внутригодового изменения химического состава вод иная – наибольшие значения минерализации и ХПК наблюдаются не в летне-осенний, а в весенний период (табл. 4.2.3, 4.2.4). Предположительно, это связано с выносом в водоёмы с поверхностным стоком веществ, накопившихся на селитебной территории в зимний период, что достаточно наглядно подтверждается почти двухкратным увеличением в весенний период концентраций хлорид-иона, образующегося при растворении противогололёдных смесей.

Взаимодействия в системе вода – порода. Озёрные воды на территории г. Томск в целом более близки к равновесию со значительным количеством веществ по сравнению с водами внутриболотных водоёмов. В последнем случае равновесие наблюдается относительно соединений гуминовых кислот с кальцием и некоторое пересыщение – относительно соединений (гуминовых кислот) с магнием (табл. 4.2.5). На основе результатов термодинамических расчётов можно сделать следующие выводы: 1) дальнейшее увеличение минерализации вод городских водоёмов ограничено наличием геохимического барьера, связанного с выпадением малорастворимых соединений кальция и магния; 2) ненасыщенность вод внутриболотных озёр поддерживается за счёт дефицита минерального питания.

4.3. Химический состав вод прудов и водохранилищ

Изученные искусственные водоёмы расположены преимущественно на юге Томской области. С учётом этого химический состав их вод в целом близок к составу городских озёр, причём степень близости по отдельным гидрохимическим показателям коррелирует со степенью и характером антропогенного воздействия.

Таблица 4.2.3

Средние арифметические сезонные значения pH, суммы главных ионов, концентрации главных ионов и взвешенных веществ в озёрных водах на территории Томской области

Озёра	Сезон	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и	Взвешенные вещества
			мг/дм ³								
Годородские (г. Томск)	IV–VI	7,86	65,9	16,8	23,3	2,4	286,5	19,9	32,5	447,3	18,7
	VII–XI	7,93	33,2	10,9	24,3	3,1	203,5	11,0	18,7	304,8	21,1
Болотные	IV–VI	4,35	2,0	0,3	0,5	0,5	5,0	1,0	1,0	10,3	2,5
	VII–XI	4,99	6,2	1,7	1,0	0,4	18,2	1,9	1,3	30,8	5,5

Таблица 4.2.4

Средние арифметические сезонные концентрации биогенных и органических веществ, значения ХПК и БПК₅ озёрных вод на территории Томской области, мг/дм³

Озёра	Сезон	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Fe	ХПК, мгО/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Нефтепро- дукты	Фенолы
Годородские (г. Томск)	IV–VI	6,447	0,363	8,039	0,111	2,31	1,174	40,21	5,51	0,066	0,002
	VII–XI	1,937	0,361	6,287	0,788	2,21	0,566	36,34	5,75	0,057	0,001
Болотные	IV–VI	0,332	0,016	1,228	0,025	0,17	0,080	35,05	3,60	–	–
	VII–XI	1,140	0,001	0,718	0,013	2,16	1,631	45,83	3,13	0,229	0,002

Таблица 4.2.5

Средние арифметические значения индекса неравновесности $\lg(\text{ПА/ПР})$ за многолетний период

Озёра	Номер реакции в табл. 1.6.1							
	1	3	5	6	8	10	11	12
Годородские	-0,18	0,01	0,77	0,98	0,27	-7,42	-0,04	-9,20
Болотные	-5,45	-9,06	-0,10	0,31	-0,69	-19,35	-8,19	-16,10

Например, озёра на территории Томска и пруды у посёлков Богашёво и Лоскутово примерно сопоставимы по величине и химическому составу поверхностного стока с селитебных территорий. Сравнимы и концентрации хлорида-иона в водах искусственных и естественных водоёмов (табл. 4.3.1).

4.4. Краткие выводы

На территории Томской области в озёрах, прудах и водохранилищах сосредоточены значительные водные ресурсы, но малые размеры, плохая доступность водоёмов и несоответствие установленным в России нормативам качества существенно ограничивают их использование. В частности, указанные особенности практически делают невозможным использование водоёмов в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения. Более рациональным следует считать организацию у водоёмов зон рекреации и объектов рыбного хозяйства. В ряде случаев представляется очень перспективным использование как искусственных, так и естественных малых водоёмов с местной или внедрённой водной растительностью для очистки и доочистки сточных вод. Особенно продуктивен этот подход в труднодоступной местности, для малых населённых пунктов и вахтовых посёлков.

Химический состав и качество озёрных и прудовых вод определяются как зональными, так и азональными природными факторами, а также степенью и характером антропогенного воздействия. На селитебных территориях региона воды озёр, прудов и водохранилищ обычно содержат повышенное количество органических и биогенных веществ. Воды внутриболотных озёр по своему химическому составу близки к водам болот, примыкающих к водоёмам и наиболее распространенным на их водосборах. С учётом указанных особенностей основным мероприятием по улучшению качества вод в озёрах, прудах и водохранилищах на юге Томской области является организация водоохраных зон и строгое соблюдение установленного режима хозяйственной деятельности.

Таблица 4.3.1

Химический состав вод искусственных водоёмов на территории Томской области (по данным [78, 185–189])

Наименование объекта	Водохранилище на р. Ум у плотины	Водохранилище на р. Ум, верхняя часть	Пруд на р. Порог	Пруд на р. Куртук	Пруд у с. Октябрьское	СавинЛог у плотины	Савин Лог, верхняя часть	Пруд у п. Лоскутово		Пруд у п. Богашево	Пруд у с. Чажемто	Среднее
Дата отбора	13.08.02	13.08.02	05.07.00	20.07.00	30.05.05	05.08.02	05.08.02	02.04.03	08.06.04	08.06.04	30.06.04	–
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
pH	8,6	7,6	8,45	8,2	8,6	8,3	8,1	7,7	8,7	7,7	7,2	8,1
мг/дм ³												
Взвешенные вещества	<2,0	17,0	–	44,8	85,0	25,0	2,0	19,7	67,0	79,0	80,0	42,0
Ca ²⁺	40,1	47,1	44,1	16,0	–	26,1	26,1	–	–	–	–	33,3
Mg ²⁺	9,7	27,1	19,5	5,5	–	6,1	7,3	–	–	–	–	12,5
Na ⁺ +K ⁺	10,2	<1	4,4	10,1	–	12,0	11,8	–	–	–	–	4,0
HCO ₃ ⁻	164,7	189,1	213,5	109,8	–	122,0	122,0	–	–	–	–	153,5
Cl ⁻	1,1	1,4	0,5	2,4	9,5	8,6	8,6	34,6	36,5	29,0	23,0	14,1

Продолжение табл. 4.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SO ₄ ²⁻	16,2	19,2	114,1	–	14,1	2,5	<1	16,6	27,8	42,5	22,0	27,5
Σ _n	246,5	283,9	405,1	151,3	–	177,3	175,8	–	–	–	–	231,2
N-NH ₄ ⁺	0,460	0,390	0,430	1,600	0,060	0,260	0,130	32,2	11,5	35,800	1,250	7,644
N-NO ₂ ⁻	<0,01	<0,01	0,020	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,61	0,030	<0,01	0,065
N-NO ₃ ⁻	0,490	0,490	0,800	0,170	0,100	0,330	1,600	0,12	0,08	0,060	0,110	0,395
Si	–	–	5,7	0,5	–	–	–	–	–	–	–	3,1
Фосфаты	–	–	0,153	<0,01	–	–	–	2,810	5,140	7,850	1,040	2,832
Fe _{общ.}	0,10	0,87	0,93	0,48	0,30	0,61	0,26	0,94	0,60	0,70	2,40	0,75
Cu	–	–	<0,0001	0,0050	–	<0,0001	0,0017	–	–	–	–	0,0017
Zn	–	–	0,0006	0,0050	–	0,0225	0,0014	–	–	–	–	0,0074
Pb	–	–	0,0010	0,0034	–	0,0007	0,0004	–	–	–	–	0,0014
Mn	–	–	0,1500	0,0900	–	0,1300	0,0910	–	–	–	–	0,1153
Фенолы	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	0,013	0,005	<0,001	<0,001	0,002	0,002
Нефте- продукты	<0,01	<0,01	–	0,030	0,030	0,000	0,000	0,084	0,170	0,210	0,090	0,061
СПАВ	–	–	0,040	0,220	0,070	–	–	0,016	0,090	0,360	0,000	0,114
ХПК	45,10	52,50	55,60	51,80	52,80	39,60	26,40	120,0	151,2	142,80	108,20	76,91
БПК ₅	5,10	3,98	5,70	7,30	5,35	5,20	5,60	40,0	24,0	15,40	38,20	14,17

5. Болота

5.1. Общие сведения о болотах

Территория Томской области характеризуется очень высокой заболоченностью региона и тенденцией её дальнейшего роста. Так, по данным [151] в пределах Томской области общая площадь болот (без учёта заболоченных земель) составляет 116153 км² или 37 % территории, в том числе площадь верховых болот – 53492 км² (17 % территории Томской области), переходных – 48934 км² (15,6 %), низинных – 13727 км² (4,4 %). Природоформирующая роль болотного процесса уже сейчас прослеживается практически во всех компонентах, процессах и явлениях природной среды региона [15, 74]. Схема распространения болот на территории Томской области, разработанная В.А. Базановым и А.А. Скугаревым на основе анализа космоснимков и полевых наблюдений, приведена на рис. 5.1.1, характерный вид участков болот – на рис. 5.1.2–5.1.5.

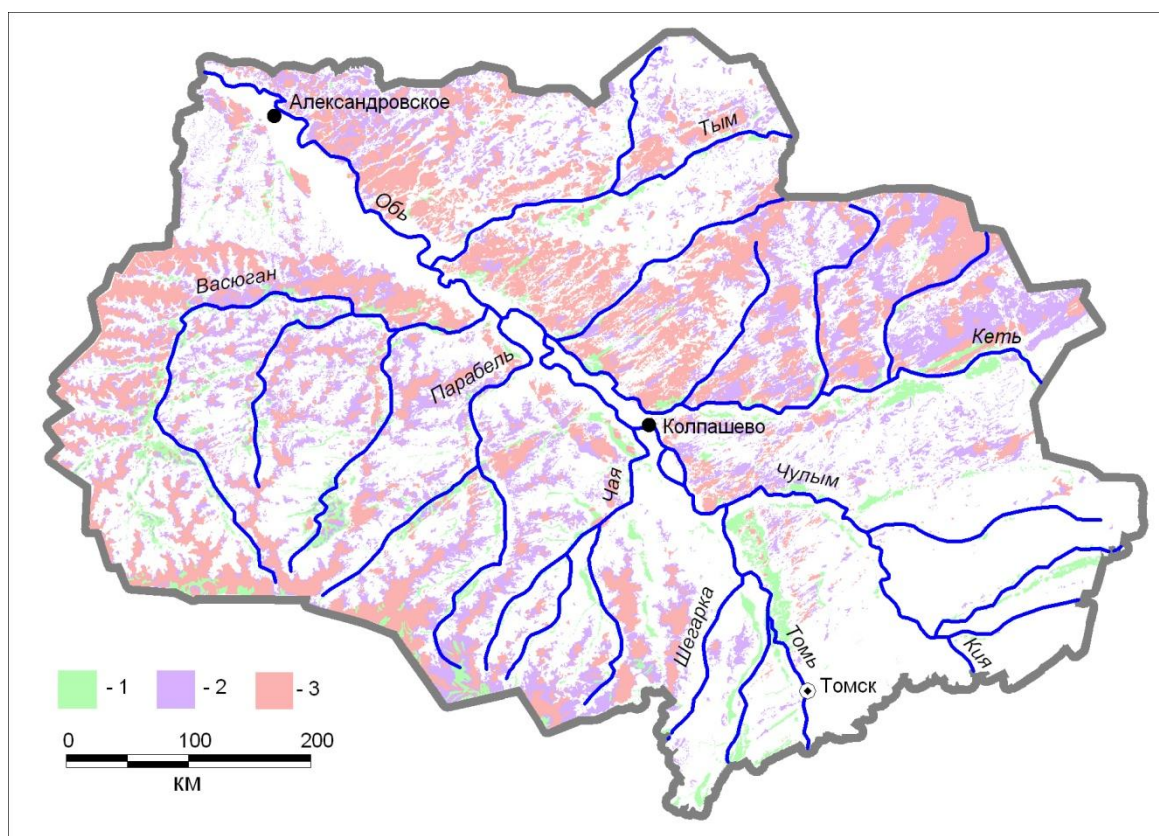


Рис. 5.1.1. Схема распространения эвтрофных (1), мезотрофных (2) и олиготрофных (3) болот на территории Томской области [151]



Рис. 5.1.2. Сосново-кустарничково-сфагновый биогеоценоз олиготрофного типа в пределах Васюганского болота



Рис. 5.1.3. Сосново-кустарничково-сфагновый биогеоценоз мезотрофного типа в Обь-Томском междуречье



Рис. 5.1.4. Древесно-мохово-травяной биогеоценоз евтрофного типа в пределах Васюганского болота

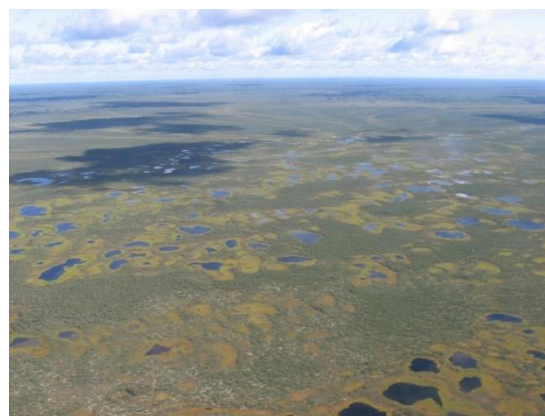


Рис. 5.1.5. Грядово-мочажинно-озерково-грядовый комплекс в междуречье рр. Васюган и Парабель

Крупнейшим не только в Томской области или Западной Сибири, но и в мире в целом, является Васюганское болото, расположенное на территории Томской, Омской и Новосибирской областей и охватывающее водосборы рек Шегарка, Чая, Парабель, Васюган, Омь и Тара. Его изучением в течение многих десятилетий занимаются специалисты различного профиля из научных и образовательных учреждений не только России, но и дальнего зарубежья, причём значительная часть информации получена на восточном участке Васюганского болота, в районе с. Поляненька (рис. 5.1.6). Наличие значительного объёма разноплановой информации наряду с типичностью для юга Западно-Сибирской равнины определило целесообразность более подробного рассмотрения этого участка и в данной работе.

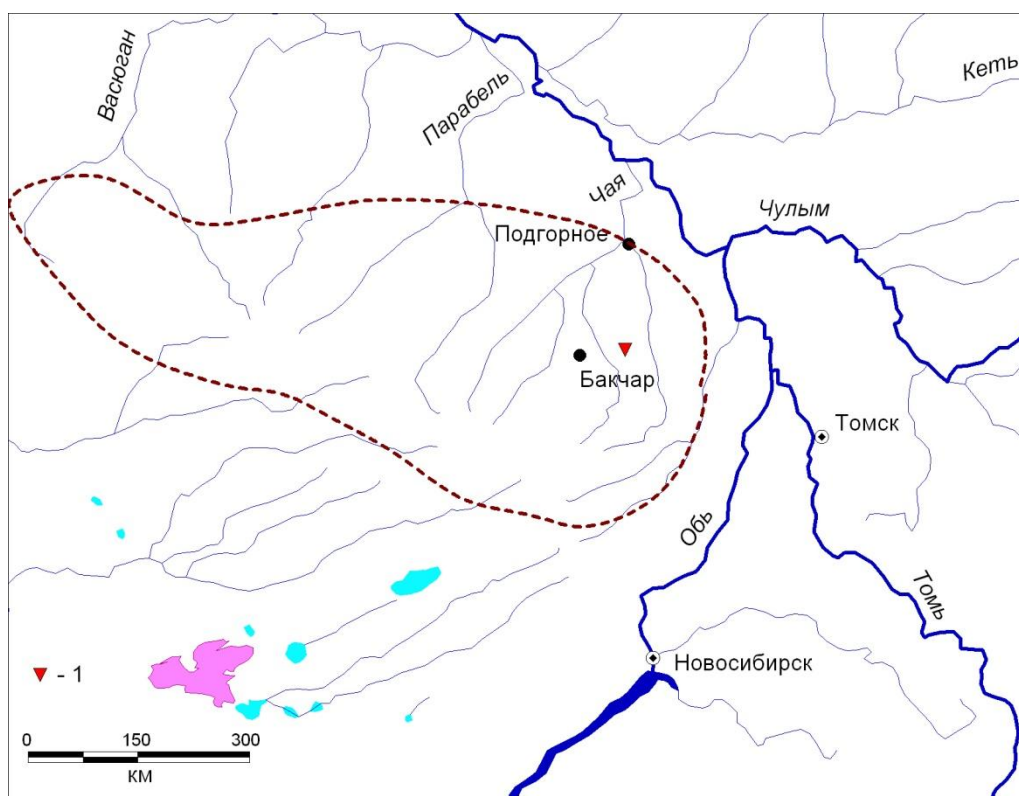


Рис. 5.1.6. Ориентировочные границы Васюганского болота и местоположение опорного пункта исследований в водосборе р. Ключ (1)

5.2. Общая характеристика водных ресурсов и гидрологического режима болот

В болотах Томской области сосредоточены очень значительные водные ресурсы. Ориентировочная оценка их статической составляющей с учётом данных о мощности торфяной залежи и влажности торфов разных типов, согласно [198], получена в размере 220 км^3 (табл. 5.2.1). Водообмен в болотах затруднён, причём основная часть водных масс перемещается в деятельном горизонте – верхнем слое торфяной залежи мощностью $0,2 \dots 0,5 \text{ м}$, характеризующемся сезонными изменениями уровня воды, окислительной геохимической обстановкой и коэффициентами фильтрации порядка $5 \cdot 10^{-5} \dots 0,004 \text{ см/с}$ [60]. С учётом наличия этого слоя динамическая составляющая ресурсов болотных вод может быть приближённо оценена в размере $0,565 \text{ км}^3/\text{год}$ (табл. 5.2.1).

Необходимо отметить, что болота продолжают расширяться и в настоящее время. Согласно М.И. Нейштадту, ежегодно площадь только Васюганского болота увеличивается на 1800 га [96]. По данным, приведенным в работе [76], средний вертикальный рост торфяной залежи в целом для южно- и среднетаежной подзон составляет $0,8$ и $0,67 \text{ мм/год}$ соответственно. Близкие оценки роста

торфяной залежи для Западной Сибири (0,39...0,8 мм/год), в целом, и Васюганского болота (0,6...2,62 мм/год), в частности, представлены в работе [114]. Полагая, что средняя интенсивность прироста торфяной залежи в настоящее время составляет около 1 мм/год, можно получить приближенную оценку минимального годового прироста объема болотных вод на территории Томской области в размере 0,016 млн. м³/год.

Таблица 5.2.1

Статическая и динамическая составляющие ресурсов болотных вод на территории Томской области

Тип болота	Площадь распространения, км ²	Средняя мощность торфяной залежи, м	Объем торфяной залежи, км ³	Статический объем воды в болотах, км ³	Динамический объем воды в болотах, км ³
Олиготрофный	53492	2,21	118,217	107,814	0,209
Мезотрофный	48934	2,16	105,697	95,656	0,267
Евтрофный	13727	1,35	18,531	16,567	0,088
В целом	116153	2,09	242,446	220,037	0,565

Наиболее подробные исследования гидрологического режима болот, как указывалось выше, были выполнены на восточном участке Васюганского болота у с. Полынянка, в водосборе р. Ключ (элемент гидрографической системы: р. Ключ – р. Бакчар – р. Чая – р. Обь), расположенном, согласно болотному районированию [74], в пределах Бакчарского болотного округа южнотаёжных олиготрофных грядово-мочажинных и сосново-кустарничково-сфагновых болот в сочетании с эвтрофными и мезотрофными сосново-елово-березово-осоково-гипновыми или сфагновыми) и осоково-гипновыми (или сфагновыми).

Гидрологический режим рассматриваемой территории, согласно данным, полученным в Сибирском НИИ сельского хозяйства и торфа СО РАСХН [62, 167], характеризуется растянутым весенне-летним половодьем, низкой летне-осенней меженью вплоть до пересыхания р. Ключ и зимней меженью средней продолжительности с ежегодным перемерзанием русла (табл. 5.2.2). Подъем уровней болотных вод обычно приурочен к апрелю, максимумы – в мае, после чего наблюдается постепенное их уменьшение (табл. 5.2.3). Наибольшие колебания уровней болотных характерны (по величине среднего квадратического отклонения) для сосново-сфагновых внутриболотных экосистем в августе–сентябре, наименьшие – на сфагново-осоковой топи, где одновременно, как правило, наблюдаются и минимальные глубины залегания болотных вод относи-

тельно поверхности болота. Диапазон колебаний уровней болотных вод в целом незначительный – от 0,04 до 0,17 м [9, 62, 167].

Таблица 5.2.2.

Среднемесячные значения температуры атмосферного воздуха, атмосферных осадков на метеостанции Бакчар и элементов водного баланса р. Ключ за одно-родный период [9, 167]

Период	Метеостанция Бакчар		Водный баланс р. Ключ		
	Темпера- тура воз- духа, °С	Слой атмо- сферных осадков, мм	Слой сум- марного увлажне- ния, мм	Слой испарения (по В.С. Мезен- цеву), мм	Слой водного стока, мм
Январь	-18,6	22,7	0,0	4,1	0,0
Февраль	-14,7	15,6	0,0	5,9	0,0
Март	-8,1	16,5	0,0	13,6	0,0
Апрель	0,9	23,4	26,7	29,0	7,7
Май	10,9	31,0	31,0	38,5	36,7
Июнь	15,7	49,4	49,4	47,8	8,0
Июль	18,1	74,5	74,5	64,5	3,9
Август	14,6	65,9	65,9	55,8	5,5
Сентябрь	8,9	47,6	47,6	38,5	4,4
Октябрь	2,0	45,7	41,2	30,2	3,6
Ноябрь	-9,0	33,7	0,0	7,7	0,4
Декабрь	-15,2	28,0	0,0	5,5	0,2

Анализ месячного водного баланса р. Ключ за 1973–2006 гг. показал, что фактическое увлажнение водосбора р. Ключ, складывающееся за счёт осадков в тёплый период года и водоотдачи из снежного покрова за вычетом испарения и инфильтрации, распределено в течение года относительно неравномерно (табл. 5.2.2). Среднемноголетний водный сток составляет 74,5 мм/год, то есть всего лишь 16 % от годовой суммы атмосферных осадков. Потери стока P в значительной степени определяются суммарным испарением с поверхности водосбора и могут быть рассчитаны по зависимости:

$$P = 0,973 E_m - 0,414 |\Sigma - T|^{0,79}, S/\sigma = 0,81 \quad (5.2.1)$$

где E_m – суммарное испарение с поверхности водосбора, рассчитанное по методу В.С. Мезенцева; $|\Sigma - T|^{0,79}$ – функция суммы отрицательных температур воздуха за предыдущие месяцы водохозяйственного года, характеризующая влияние термического режима болота на фильтрационные свойства деятельного горизонта и, следовательно, интенсивность водообмена внутри болота и с прилегающими территориями (принята с учётом рекомендаций [18]). К сожалению,

существующие методы определения суммарного испарения позволяют получить лишь ориентировочную оценку этой величины, в рассматриваемом случае – в размере 340 мм/год [159, 167].

Таблица 5.2.3.

Средние арифметические (A) глубин h_{δ} (уровней Z_{δ}) и средние квадратические отклонения (σ) уровней болотных вод в водосборе р. Ключ за 1998–2008 гг. [167], м

Экосистема	Характеристика	Месяц					V-IX
		V	VI	VII	VIII	IX	
Болотная сосново-сфагново-кустарничковая	A	-0,13*/ 112,28	-0,22/ 112,19	-0,28/ 112,12	-0,33/ 112,08	-0,34/ 112,07	-0,26/ 112,15
	σ	0,09	0,10	0,11	0,16	0,15	0,09
Болотная сосново-сфагново-кустарничковая на границе с болотной сфагново-осоковой	A	0,06/ 113,59	0,03/ 113,56	-0,03/ 113,51	-0,07/ 113,47	-0,09/ 113,44	-0,02/ 113,51
	σ	0,06	0,04	0,07	0,12	0,13	0,06
Болотная сфагново-осоковая (топяная)	A	0,07/ 113,42	0,04/ 113,39	0,01/ 113,36	-0,01/ 113,34	-0,01/ 113,34	0,02/ 113,37
	σ	0,05	0,05	0,06	0,08	0,08	0,03

Примечание: приведены значения $h_{\delta} = Z_{cp} - Z_{\delta}$, Z_{cp} – среднее значение высотных отметок поверхности болота с учётом понижений и кочек (всего около 20 точек в радиусе 5 м от скважины)

В целом можно констатировать факт весьма слабой зависимости величины слоя водного стока р. Ключ от общего увлажнения водосборной территории и испарения. Это объясняется не только внутригодовым распределением тепло-энергетических ресурсов [62], но и регулирующей ролью внутриболотных биогеоценозов, в которых происходит накопление и перераспределение запасов влаги. При этом важное значение имеет не только различие в условиях стока с заболоченных и незаболоченных территорий в годы разной водности, описанное в [60], но и возможность стока одновременно в разные речные системы, в частности, не только в р. Ключ, но и расположенную восточнее р. Гавриловку (элемент гидрографической системы р. Гавриловка – р. Икса – р. Чая – р. Обь).

Для всего бассейна р. Чая по результатам гидрологического и статистического анализа сделаны выводы о том, что в 1990–2006 гг., по сравнению с 1973–

1989 гг., произошло увеличение среднемесячной температуры атмосферного воздуха в феврале, мае и октябре, эффективного увлажнения водосбора и суммарного испарения в октябре и уменьшение эффективного увлажнения водосбора в апреле и мае, суммарного испарения в апреле, слоя стока в апреле, июне, ноябре и декабре. Кроме того, выявлено увеличение суммы положительных температур воздуха (в том числе суммы температур более 10°C), что косвенно указывает на определенное улучшение условий произрастания среднетребовательной к теплу растительности и, возможно, повышение биопродуктивности экосистемы рассматриваемой территории [9, 159]. Тем не менее, годовые характеристики водного баланса остаются статистически неизменными (при уровне значимости 5 %). Этот вывод в первом приближении может быть распространён на всё Васюганское болото и другие крупные болотные системы Томской области.

5.3. Гидрохимический режим

Болотные воды региона в естественном состоянии характеризуются в целом как слабокислые (олиготрофные и мезотрофные, реже евтрофные) или нейтральные (евтрофные), пресные с малой и средней минерализацией (до 200 и 200...500 мг/дм³ соответственно). Минерализация вод олиготрофных и мезотрофных болот обычно заметно меньше, чем евтрофных (табл. 5.3.1), причём в катионном составе вод олиготрофных болот значительно возрастает доля ионов Na⁺ и Mg²⁺, а в анионном – резко усиливается доля ионов Cl⁻ и SO₄²⁻. Содержания органических веществ в болотных водах составляет около 25...50 мгС/дм³. Значительная их часть представлена фульвокислотами, концентрации которых в водах олиготрофных болот в среднем равны 76,38 мг/дм³, а в евтрофных – 44,44 мг/дм³ (табл. 5.3.2). Обобщение материалов собственных исследований и данных других авторов [8, 10 -12, 63, 120, 124, 209] показало, что в болотных водах рассматриваемой территории присутствуют различные группы органических соединений – карбоновые кислоты, фенолы, ароматические и парафиновые углеводороды, органические фосфаты, фталаты и другие соединения, в том числе и вещества, идентифицируемые как «нефтепродукты» [209, 227]. Концентрации последних могут превышать ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения (0,3 мг/дм³).

Таблица 5.3.1

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) значений pH, суммы главных ионов, содержаний главных ионов и взвешенных веществ в болотных водах на территории Томской области, мг/дм³

Тип болота	Состояние	Показатель	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и	Взвешенные вещества
				мг/дм ³								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Олиготрофный	Естественное	A	4,38	12,4	4,7	2,5	0,8	23,1	7,0	2,4	196,8	37,8
		δ_A	0,26	2,5	0,8	1,1	0,3	8,9	2,0	0,3	85,3	–
Мезотрофный	Естественное	A	5,05	21,9	7,5	1,9	0,6	70,9	3,3	3,2	506,2	27,7
		δ_A	0,37	6,6	1,9	1,4	0,4	30,2	1,5	0,5	343,1	10,1
Евтрофный	Естественное	A	5,81	34,9	9,0	13,0	2,0	149,3	5,1	9,3	114,2	67,0
		δ_A	0,24	7,8	1,8	7,0	0,4	38,0	1,8	3,7	39,5	14,9
Все типы	Естественное	A	5,16	24,5	7,2	6,9	1,3	89,3	5,3	5,6	230,1	59,3
		δ_A	0,18	4,0	1,0	3,1	0,2	19,5	1,1	1,7	83,2	12,4
Олиготрофный	Загрязненное	A	6,33	249,7	29,3	723,0	13,5	139,7	7,3	1469,2	–	–
		δ_A	0,33	218,8	21,0	698,6	12,4	58,7	6,3	1445,4	–	–
Мезотрофный	Загрязненное	A	5,73	16,5	10,2	7,8	1,0	42,4	1,0	4,1	83,0	10,5
		δ_A	0,37	4,2	2,8	1,5	0,4	14,5	<0,1	0,9	22,7	2,1
Евтрофный	Загрязненное	A	7,25	126,9	35,5	80,7	14,8	678,6	18,0	93,9	1134,2	2690,3
		δ_A	0,13	7,3	3,9	29,3	7,5	93,5	7,7	21,0	182,1	1836,0

Продолжение табл. 5.3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Олиготрофный	Осушенное	A	5,70	38,1	28,0	7,0	1,6	180,7	1,0	3,5	270,1	1212,0
		δ_A	1,40	22,1	3,6	7,0	1,6	179,2	0,0	0,0	219,8	451,0
Олиготрофный	Гарь на осушенном болоте	A	5,27	59,8	27,8	<0,1	<0,1	189,6	4,0	2,7	284,9	708,0
		δ_A	0,81	35,8	8,7	<0,1	<0,1	179,8	3,0	0,3	229,3	368,4
Олиготрофный	Рекультивированный участок	A	5,73	41,6	10,7	84,0	19,7	144,1	0,1	176,3	476,4	196,5
		δ_A	1,98	34,6	2,8	81,3	19,1	142,6	<0,1	135,0	415,3	194,5

Таблица 5.3.2

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) значений ХПК и БПК₅, содержаний биогенных и органических веществ в болотных водах на территории Томской области, мг/дм³

Тип болота	Состояние	Показатель	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	ХПК, мгО/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Нефтепродукты	Фенолы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Олиготрофный	Естественное	A	0,268	0,007	1,159	0,118	1,26	322,13	13,60	0,189	0,001
		δ_A	0,129	0,002	0,257	0,066	0,25	52,53	6,63	0,074	0,001
Мезотрофный	Естественное	A	0,073	0,010	0,939	0,209	3,40	307,88	37,19	0,128	0,005
		δ_A	0,036	0,003	0,341	0,161	1,52	151,55	10,38	0,081	0,002

Продолжение табл. 5.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Евтрофный	Естественное	A	0,112	0,005	1,653	19,066	4,15	228,51	11,13	0,157	0,010
		δ_A	0,029	0,002	0,301	4,667	0,74	50,59	3,69	0,053	0,007
Все типы	Естественное	A	0,155	0,007	1,326	9,382	3,00	277,29	18,17	0,163	0,005
		δ_A	0,046	0,001	0,177	2,683	0,48	42,72	3,90	0,038	0,002
Олиготроф- ный	Загрязненное	A	0,799	0,003	0,865	0,068	3,58	500,97	18,16	0,047	0,020
		δ_A	0,444	0,001	0,190	0,023	2,78	432,99	3,75	0,017	0,010
Мезотрофный	Загрязненное	A	0,682	0,008	1,775	0,318	1,97	141,85	22,70	0,025	–
		δ_A	0,094	0,004	0,491	0,126	0,42	27,90	0,89	0,025	–
Евтрофный	Загрязненное	A	0,250	0,025	15,68	4,600	8,15	494,43	132,20	0,065	0,004
		δ_A	0,191	0,024	9,369	3,200	3,35	165,25	63,52	0,037	0,002
Олиготроф- ный	Осушенное	A	0,084	0,027	2,209	–	–	214,20	82,95	0,020	0,023
		δ_A	0,063	0,003	1,291	–	–	37,40	44,95	0,020	0,001
Олиготроф- ный	Гарь на осушенном болоте	A	0,062	0,011	1,553	–	–	338,60	90,80	0,013	0,018
		δ_A	0,033	0,011	0,490	–	–	62,01	24,27	0,013	0,017
Олиготроф- ный	Рекультивирован- ный участок	A	0,047	0,002	0,867	0,080	1,50	99,45	5,11	0,120	–
		δ_A	0,009	0,000	0,051	0,080	0,70	36,25	1,70	0,030	–

Таблица 5.3.3

Средние арифметические (A) и погрешности определения средних арифметических (δ_A) токсичности, содержаний железа и микроэлементов в болотных водах на территории Томской области

Тип болота	Состояние	Пока- затель	Fe (общее)	Al	Mn	Cu	Zn	Pb	Токсич- ность, %
			мг/дм ³						
Олиготрофный	Естественное	A	1,185	<0,001	–	0,0016	0,0093	<0,0001	60
		δ _A	0,168	<0,001	–	0,0003	0,0024	<0,0001	11
Мезотрофный	Естественное	A	3,539	0,007	–	0,0021	0,0060	0,0006	37
		δ _A	1,579	0,007	–	0,0013	0,0018	0,0004	16
Евтрофный	Естественное	A	8,530	<0,001	0,196	0,0048	3,6346	0,0932	22
		δ _A	2,977	<0,001	0,050	0,0033	3,6082	0,0868	9
Все типы	Естественное	A	4,880	0,002	0,182	0,0026	1,0964	0,0356	39
		δ _A	1,383	0,002	0,048	0,0010	1,0829	0,0333	7
Олиготрофный	Загрязненное	A	18,294	–	0,023	0,0035	0,0183	0,0008	30
		δ _A	18,027	–	0,014	0,0009	0,0106	0,0003	10
Мезотрофный	Загрязненное	A	4,385	–	0,141	0,0072	0,0162	0,0013	30
		δ _A	1,474	–	0,068	0,0015	0,0081	0,0001	14
Евтрофный	Загрязненное	A	71,193	<0,001	0,285	–	–	–	44
		δ _A	41,893	<0,001	0,085	–	–	–	10
Олиготрофный	Рекультивированный участок	A	1,390	–	–	–	–	–	27
		δ _A	0,070	–	–	–	–	–	7

Однако происхождение этой группы углеводородов, скорее всего, связано в основном не с антропогенными, а природными факторами, поскольку по данным С.Л. Шварцева и соавторов [209] в составе *n*-алканов в болотных водах незагрязненных участков преобладают парафины группы $C_{25}:C_{33}$ с нечетным количеством атомов углерода. Согласно [13], это указывает на поступление значительной части парафиновых углеводородов в водную среду при разложении остатков болотной растительности. По причинам, указанным в разделе 3.6.1, болотные воды региона характеризуются высоким содержанием не только органических веществ, но и азота аммонийного, железа, марганца и ряда других веществ (табл. 5.3.2, 5.3.3). В связи с этим нарушение установленных в России нормативов качества наблюдается для болотных вод повсеместно и постоянно, что делает невозможным их использование в хозяйственно-питьевых целях.

Сравнение химического состава болотных и речных вод показало, что внутриболотные водотоки характеризуются более высокими содержаниями в воде растворенных солей по сравнению с водами олиготрофных болот и меньшими – по сравнению с водами евтрофных болот. Первый факт объясняется дренированием (в той или иной мере) водотоками более минерализованных грунтовых вод, оказывающих как прямое (непосредственное поступление растворенных солей в речное русло), так и косвенное (создание условий для распространения в речных долинах евтрофных болот) воздействие. Второй факт связан с наличием обратной связи между минерализацией вод и интенсивностью водообмена, теоретическое обоснование которой приведено в работе [150, 154, 163]. С учетом этой зависимости воды внутриболотных водотоков, в питании которых не принимают участие минерализованные подземные воды, обычно содержат меньшее количество растворенных солей, чем воды евтрофных болот, в пределах которых рассматриваемые водотоки размещены.

Кластерный анализ средних значений суммы главных ионов в болотных водах позволил выявить заметные отличия не только между олиготрофными и евтрофными болотами, но и внутри этих типов в зависимости от интенсивности водообмена и преобладающих болотных биогеоценозов (рис. 5.3.1). Так, минимальные отличия установлены между суммой главных ионов в водах топей на сфагновых биогеоценозах, грядово-мочажинных и грядово-озерковых комплексов с преобладанием внутриболотных водоемов линейной формы. Достаточно близки к ним олиготрофные болота с преобладанием сфагново-кустарничковых биогеоценозов и, в меньшей степени, воды грядово-мочажинных и грядово-озерковых комплексов с преобладанием внутриболотных водоемов нелинейной формы. Группа мезотрофных болот и олиготрофных болот с сосново-сфагновым биогеоценозом обособлена от прочих олиготрофных болот и занимает переходное место между ними и евтрофными болотами [153].

Обобщение данных о химическом составе болотных, речных и подземных вод на территории Томской области показало, что в естественных условиях

суммарное содержание растворённых солей на территориях распространения олиготрофных болот убывает в ряду «подземные воды – речные воды – болотные воды», а на территориях распространения евтрофных болот – «подземные воды – болотные воды – речные воды» (табл. 5.3.4). При этом следует отметить, что на границе болотных и лесных ландшафтов происходит интенсивное насыщение поверхностных вод различными неорганическими и органическими веществами, что объясняется (в случае верховых болот), во-первых, контактом кислых болотных вод, содержащих большое количество фульвокислот, с минеральным грунтом и последующим образованием водорастворимых и коллоидных комплексов. Во-вторых, на окраинах болот (и олиготрофных, и евтрофных) скапливаются значительные количества воды и формируются её направленные потоки, с которыми и выносятся образовавшиеся соединения. В-третьих, при движении потоков воды происходит размыв почвогрунтов и формирование стока взвешенных и влекомых наносов, сопровождающееся увеличением площади контакта воды и частиц породы, сорбцией на поверхности последних некоторых растворенных и коллоидных веществ и т.д. [167].

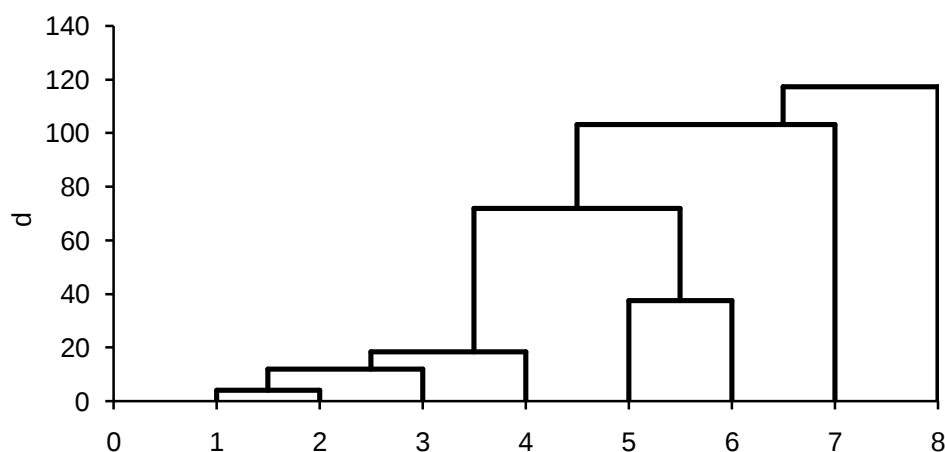


Рис. 5.3.1. Дендрограмма евклидовых расстояний между средними значениями суммы главных ионов в водах различных групп болот (d , $\text{мг}^2/\text{дм}^6$); обозначения: болота с преобладанием микроландшафтов: 1 – ГМОК, линейные формы внутриболотных водоемов; 2 – топи сфагновых болот; 3 – сфагново-кустарничковые; 4 – ГМОК, нелинейные формы внутриболотных водоемов; 5 – сосново-сфагновые; 6 – древесно-мохово-травяные переходные; 7 – древесно-мохово-травяные низинные; 8 – мохово-травяные

Временные изменения химического состава болотных вод региона, в целом, и водосбора р. Ключ, в частности, изучены крайне недостаточно. Предварительно можно лишь сделать вывод об отсутствии ярко выраженного увеличения минерализации вод олиготрофных участков в зимний период, характерного,

например, для речных вод, что связано с минимальным влиянием подземного питания. Тем не менее, определенные сезонные изменения всё же отмечены. В частности, они проявляются в некотором увеличении концентраций соединений азота и железа в летне-осенний период по сравнению с весенним (табл. 5.3.5–5.3.6).

Таблица 5.3.4

Средний химический состав природных вод Васюганского болота и прилегающих территорий [167], мг/дм³

Показатель	Подземные воды		Участки Васюганского болота			р. Бакчар у п. Горелый	р. Чая у с. Подгорное
	палеогеновые отложения у с. Чажемто	четвертичные отложения у с. Бакчар	евтрофный	мезотрофный	олиготрофный		
pH	6,93	7,19	6,00	5,34	4,70	7,20	7,33
Ca ²⁺	79,5	48,1	63,4	30,0	17,0	52,3	66,6
Mg ²⁺	31,8	15,3	16,2	9,3	4,9	12,4	12,7
Na ⁺ +K ⁺	26,9	17,7	17,2	0,1	4,1	22,4	29,9
HCO ₃ ⁻	451,5	243,2	306,6	95,6	33,9	229,1	278,2
SO ₄ ²⁻	<1	1,3	10,2	1,0	9,7	12,0	14,8
Cl ⁻	20,9	9,9	2,6	2,9	1,8	5,6	8,8
Σ _и	610,5	335,5	439,2	139,9	75,7	333,8	411,0
NH ₄ ⁺	1,79	0,83	2,02	1,10	1,51	2,28	0,86
NO ₃ ⁻	0,16	0,63	0,26	0,035	0,37	0,84	1,10
Fe _{общ.}	7,83	2,94	14,45	1,96	1,28	0,25	0,62
Si	16,61	2,90	2,04	3,34	1,22	4,55	4,09
XПК	–	–	182,6	160,2	296,6	50,6	43,4
Количество проб	3	30-66	3	7	11	34	22

В первом случае (для соединений азота) это объясняется постепенным усилением минерализации органического вещества в конце лета, во втором (для железа) – одновременно и определенным разбавлением болотных вод снеговыми, и более интенсивным образованием в летне-осенний период (по сравнению с весенним) комплексов с фульвокислотами. Термодинамические расчёты показали, что относительно всех изученных карбонатных минералов, первичных и вторичных алюмосиликатов болотные воды в естественном состоянии не насыщены в течение всего периода наблюдений. В то же время, болотные воды близки к равновесию относительно малорастворимых соединений кальция и магния с гуминовыми кислотами в весенний период и незначительно пересыщен-

ны в летне-осенний, причём ненасыщенность вод по отношению к алюмосиликатам возрастает по мере насыщения относительно соединений кальция и магния с гуминовыми кислотами.

Учитывая, что в пределах заболоченных участков рассматриваемой территории достаточно интенсивно добывается нефть и газ, целесообразно рассмотреть, какие изменения в состоянии болотных вод произошли в результате хозяйственной деятельности. С этой целью автором проведено обобщение материалов ТПУ, ОАО «Томскгеомониторинг», НИИББ при ТГУ (табл. 5.3.1–5.3.3). Анализ этих данных показал, что при осушении или рекультивации загрязненных участков олиготрофных болот происходит трансформация химического состава болотных вод по типу, характерному не для олиготрофных, а для евтрофных болот. Кроме того, было установлено, что при сбросе сточных вод в болота или аварийных разливах нефти и минерализованных вод, используемых для поддержания пластового давления, изменения в химическом составе болотных вод обычно наблюдаются в пределах 100...300 м от источника загрязнения (рис. 5.3.2, 5.3.3), причем наиболее существенные отклонения содержаний от обычных для конкретного типа болот и комплекса преобладающих биогеоценозов значений достаточно часто прослеживаются на локальных участках до нескольких десятков метров. В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что влияние антропогенных факторов на гидрохимические показатели болотных вод на территории Томской области в значительной степени зависит от интенсивности водообмена в болотных биогеоценозах – чем она больше, тем больше зона загрязнения [8, 79].

В целях объяснения достаточно резкого снижения минерализации болотных вод по мере удаления от источника загрязнения (рис. 5.3.2, 5.3.3) автором были проведены исследования механизмов самоочищения болотных вод региона с использованием методов химической термодинамики. Анализ полученных при этом материалов позволил предположить, что удаление ионов Ca^{2+} и HCO_3^- , а следовательно и уменьшение минерализации природно-техногенных вод, может быть связано с образованием малорастворимых соединений ГК и Ca^{2+} . В подтверждение этой гипотезы можно привести результаты термодинамических расчетов, выполненных на основе обобщения данных о химическом составе болотных вод региона (табл. 5.3.7). Их анализ позволяет объяснить наблюдаемое значительное снижение минерализации воды по мере удаления от источника загрязнения.

Таблица 5.3.5

Средние арифметические сезонные значения pH, суммы главных ионов, содержаний главных ионов и взвешенных веществ в болотных водах (в естественном состоянии) на территории Томской области

Тип болота	Сезон	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и	Взвешенные вещества
			мг/дм ³								
Олиготрофный	IV–VI	4,35	11,0	3,5	4,2	1,4	22,3	13,5	2,6	64,0	86,7
	VII–XI	4,40	13,0	5,2	1,7	0,6	23,4	4,1	2,4	51,3	251,8
Мезотрофный	IV–VI	5,20	26,8	8,6	0,1	0,4	85,3	1,9	2,8	126,6	219,0
	VII–XI	4,81	14,2	5,7	4,7	1,0	47,9	5,6	4,0	88,0	1272,0
Евтрофный	IV–VI	6,24	56,4	11,1	7,9	2,5	221,5	11,5	1,8	321,4	116,2
	VII–XI	5,68	28,2	8,3	14,6	1,9	126,5	3,1	11,6	198,8	113,5

Таблица 5.3.6

Средние арифметические сезонные значения ХПК и БПК₅, концентрации железа, биогенных и органических веществ в болотных водах Томской области, мг/дм³

Тип болота	Сезон	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Si	Fe	ХПК	БПК ₅	Нефтепродукты	Фенолы
Олиготроф- ный	IV–VI	0,600	0,015	0,970	0,334	1,48	0,883	174,84	23,94	0,359	0,002
	VII–XI	0,115	0,003	1,246	0,028	1,14	1,325	390,11	6,70	0,111	0,001
Мезотроф- ный	IV–VI	0,032	0,015	0,526	0,103	0,98	1,383	135,88	46,80	0,024	0,005
	VII–XI	0,138	0,002	1,600	0,280	4,61	6,990	651,90	11,57	0,311	0,005
Евтрофный	IV–VI	0,263	0,014	0,712	0,197	4,78	1,953	75,00	9,78	0,278	0,004
	VII–XI	0,064	0,002	1,950	26,614	3,86	10,723	276,99	11,58	0,115	0,015

Таблица 5.3.7

Средние арифметические значения индекса неравновесности lg(ПА/ПР) за многолетний период

Тип болота	Состояние	Номер реакции в табл. 1.6.1											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Олиготроф- ный	Незагрязненное и неосушенное	-5,66	-5,94	-10,5	-9,83	0,17	0,62	-286,4	0,07	-14,5	-14,96	-9,22	-17,15
Мезотрофный	Незагрязненное и неосушенное	-4,51	-3,70	-8,17	-7,41	0,41	0,82	-284,0	0,26	-14,5	-14,89	-7,69	-15,72
Евтрофный	Незагрязненное и неосушенное	-3,33	-4,44	-6,49	-8,39	0,51	0,56	-285,0	0,61	-12,5	-10,18	-4,82	-14,19
Все типы	Незагрязненное и неосушенное	-4,38	-4,44	-8,12	-8,35	0,37	0,64	-284,9	0,36	-12,9	-12,08	-6,35	-15,53
Олиготроф- ный	Загрязненное	-2,06	–	-3,78	–	0,81	0,94	–	0,07	–	-13,62	-3,32	-11,67
Мезотрофный	Загрязненное	-3,47	–	-6,21	–	0,44	0,95	–	0,10	–	-12,96	-5,02	-13,11
Евтрофный	Загрязненное	0,07	–	0,40	–	1,24	1,40	–	0,97	–	-3,77	-0,73	-10,58
Олиготроф- ный	Осушенное	-3,43	–	-6,08	–	0,74	1,41	–	–	–	–	-1,33	-14,19
Олиготроф- ный	Гарь	-3,73	–	-6,83	–	0,85	1,36	–	–	–	–	–	-14,94
Олиготроф- ный	Рекультивиро- ванный участок	-3,59	–	-6,71	–	0,60	0,96	–	0,22	–	-10,93	-3,71	-14,27

Так, положительное значение индекса насыщенности L для реакций $(Ca(ГК)=Ca^{2+}+ГК)$ и $(Mg(ГК)=Mg^{2+}+ГК)$ указывает на потенциально возможное образование и последующее выведение из раствора соединений ГК, Ca^{2+} , Mg^{2+} ; последние же два элемента являются компонентами карбонатной системы, а изменение их содержаний совместно с прочими процессами приводит к снижению концентраций HCO_3^- , а следовательно и минерализации. При этом следует отметить, что если ГК образуют с рядом металлов малорастворимые соединения, выпадающие из раствора, то ФК, напротив, входят в состав подвижных органоминеральных комплексов, накапливающихся в болотных водах.

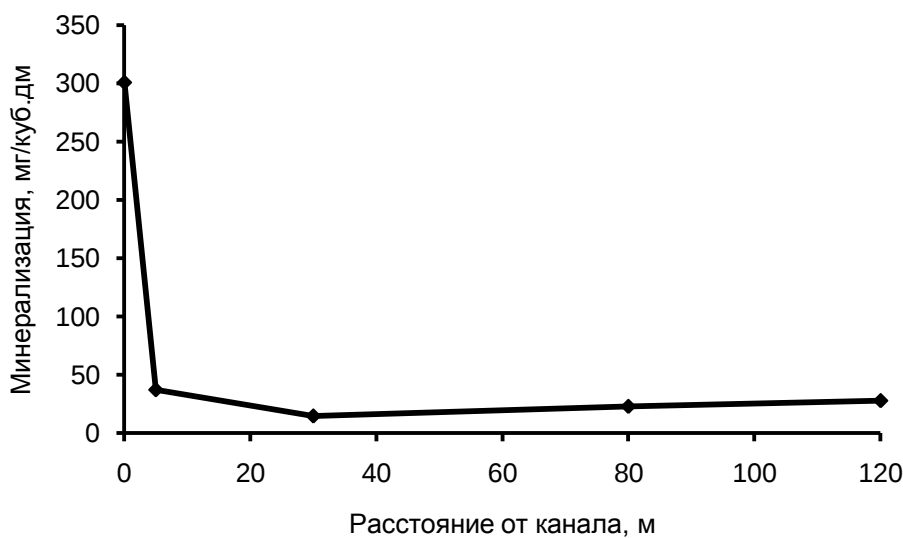


Рис. 5.3.2. Изменение минерализации вод олиготрофного болота у г. Стрежевой при удалении от канала сточных вод после станции обезжелезивания



Рис. 5.3.3. Изменение минерализации вод евтрофного (Обского) болота у с. Мельниково при удалении от выпуска коммунально-бытовых сточных вод

Именно этот механизм, а не наличие тех или иных источников антропогенного загрязнения, и оказывает основное влияние на сложившийся уровень содержания тя-

железных металлов в поверхностных водах региона. Важной особенностью геохимических процессов, протекающих в нарушенных биогеоценозах, является то, что и загрязнение, и осушение болот приводит к определенному приближению болотных вод к равновесию с изученными минералами и пересыщению относительно соединений металлов с гуминовыми кислотами. В то же время, это равновесие в большинстве случаев так и не достигается. Исключение отмечено только для осушенных участков олиготрофных болот для реакций растворения доломита и кварца, что указывает на кардинальные изменения эколого-геохимического состояния торфяников.

5.4. Краткие выводы

В болотах на территории Томской области сосредоточены огромные ресурсы вод (более 220 км³), но их использование крайне ограничено вследствие низкого качества болотных вод (для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения – практически невозможно). Наиболее оптимальным, на взгляд автора, является разработка и широкое внедрение типовых систем очистки и доочистки сточных вод на локальных участках болот (при условии их изоляции от остальной части болот).

При ведении хозяйственной деятельности на болотах, планировании и осуществлении природоохранных мероприятий необходимо учитывать следующие особенности болот: 1) болота представляют собой специфические объекты с несколькими входными и выходными каналами обмена веществом и энергией с окружающей средой, что значительно усложняет их изучение и использование; 2) низкое качество болотных вод вследствие очень высокого содержания ряда органических и биогенных веществ, некоторых металлов обусловлено природными причинами; 3) заметные различия в химическом составе поверхностных вод характерны не только для разных типов болот, но и для различных болотных биогеоценозов; 4) значительное химическое загрязнение болотных вод в регионе пока ограничено локальными участками; 5) механизм самоочищения болотных вод при их загрязнении более минерализованными стоками может быть связан с образованием малорастворимых соединений металлов с гуминовыми кислотами; 6) осушение и рекультивация загрязненных участков олиготрофных болот приводит к трансформации химического состава их вод по типу, характерному для евтрофных болот; с учётом этого в ряде случаев представляется излишним проведение рекультивации участков олиготрофных болот при относительно незначительном их загрязнении нефтепродуктами, поскольку результатом такой рекультивации является не верховое болото, а некий новый природно-антропогенный объект, существенно отличающийся от исходного болота и достаточно устойчивый к внешним воздействиям.

6. Подземные воды зоны активного водообмена

6.1. Общие сведения о подземных водах региона

В пределах Томской области выделяются гидрогеологические структуры первого порядка [6, 105, 111, 174–184]: 1) Западно-Сибирский артезианский бассейн (большая часть области за исключением крайней южной и юго-восточной части); 2) Саяно-Алтайская гидрогеологическая складчатая область (южная и юго-восточная части Томской области). Западно-Сибирский артезианский бассейн (ЗСАБ) является одним из наиболее крупных аккумуляторов подземных вод нашей планеты. В разрезе мезозойско-кайнозойских отложений бассейна выделяются два гидрогеологических этажа с резко различными условиями формирования подземных вод. Этажи разделены мощным региональным водоупором верхнемелового-палеогенового возраста, который выклинивается в краевой зоне бассейна, его восточной и юго-восточной части [26, 111].

Верхний гидрогеологический этаж представляет собой многослойную фациально-изменчивую толщу, включающую ряд водоносных горизонтов, относимых к множеству местных стратиграфических подразделений, датируемых по возрасту от олигоцена до современных. Этаж сложен песками, глинами, алевролитами, песчано-гравийно-галечниковыми отложениями и в гидродинамическом отношении представляет единую водонасыщенную систему, грунтовые и межпластовые воды которой тесно гидравлически связаны между собой. Он характеризуется в целом свободным водообменом, особенно в окраинной части бассейна, где регионально выдержанные водоупорные горизонты выклиниваются. С глубиной интенсивность водообмена снижается, а в нижней части этажа водообмен относительно затрудненный и затрудненный. В условиях преимущественно затрудненного водообмена находятся подземные воды верхнего этажа в юго-западной и южной части Западно-Сибирской равнины, в области развития плоских неогеновых равнин в сухих ландшафтах южной лесостепи и степи к юго-западу от Томской области [111, 130].

Согласно [111], питание подземных вод верхнего этажа осуществляется в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков на приподнятых участках междуречных пространств и склонах речных долин. На водоразделах наблюдаются перетоки вод из верхних горизонтов в нижние (нисходящая фильтрация), в долинах рек – переток напорных вод из нижних горизонтов в верхние и русла рек (восходящая фильтрация). Направление и интенсивность перетекания определяются неоднородными фильтрационными свойствами водоносных пород и слабопроницаемых разделяющих пластов, знаком и величиной градиента напора. Зоны разгрузки бассейнов стока приурочены к речным руслам, пойменным и низким надпойменным террасам. Все фильтрационное пространство верхнего гидрогеологического этажа в плане разобрано гидродинамическими границами на отдельные междуречные участки. В пределах этих участков направление потоков подземных вод ориентировано от водоразделов к рекам, обуславливая совпадение поверхностных и подземных водосборов.

Гидрогеологические подразделения верхнего водоносного этажа отличаются по характеру обводненности пород, водопроводимости и минерализации. Водообильность водовмещающих отложений меняется как по площади, так и по разрезу в зависимости от их литологии и мощности. Наиболее водообильными на большей части

территории Томской области, в частности, и Западно-Сибирского артезианского бассейна, в целом, являются водоносные горизонты палеогеновых отложений, составляющих нижнюю часть верхнего гидрогеологического этажа. Удельные дебиты скважин варьируют в диапазоне 0,1...6,1 л/с (преимущественно 0,4...1,0 л/с). Водопроницаемость отложений изменяется в широких пределах от 10 до 1500 м²/сут, достигая 2500 м²/сут, иногда 3500 м²/сут. Водоносный комплекс неоген-четвертичных отложений является первым от поверхности, его подземные воды тесно взаимосвязаны и циркулируют в зоне свободного водообмена, что делает их легко доступными процессам загрязнения [111, 178–184]. Для верхнего этажа на большей части региона (в пределах ЗСАБ) характерно распространение пресных вод. В целом, гидрохимическая зональность подземных вод рассматриваемого этажа соответствует закономерным изменениям гидротермического баланса земной поверхности с севера на юг [6, 111].

Нижний водоносный этаж сложен песчано-глинистыми породами различного возраста – от триасового до верхнемелового. На большей части площади всего Западно-Сибирского артезианского бассейна в разрезе нижнего этажа преобладают глинистые отложения, реже (в восточных и юго-восточных частях Томской области) – песчаные. От верхнего этажа он отличается значительной мощностью отложений, высокими напорами подземных вод и затрудненным водообменом. Региональный поток подземных вод нижнего водоносного этажа (за исключением вод верхнемеловых горизонтов) направлен от областей питания в краевых частях ЗСАБ к его центру и находится, как правило, вне сферы дренирующего влияния речной сети и воздействия современных физико-географических факторов. К нижнему этажу приурочены месторождения нефти и газа, минеральных, термальных и промышленных вод [111, 178–184].

Саяно-Алтайская гидрогеологическая складчатая область (САГСО) по гидрогеологическим условиям резко отличается от ЗСАБ. Сформировавшиеся на ее территории гидрогеологические структуры приурочены к горноскладчатым областям и обладают чертами массивов трещинных вод и адартезианских бассейнов. Неравнозначные по возрасту и длительности формирования структуры Алтае-Саянской горной страны обладают общими основными чертами: приподнятым и расчлененным рельефом, значительным атмосферным увлажнением, региональным стоком к крупным отрицательным структурам и рекам. В САГСО также выделяются два водоносных этажа, разделенных водоупорными глинами мел-палеогеновой коры выветривания. Верхний этаж сложен рыхлыми мезозойско-кайнозойскими отложениями: глинами, песками и их разностями. В нем распространены водоносные и слабоводоносные горизонты отложений разного возраста. Они часто дренируются речными долинами и имеют незначительное распространение [27, 111, 183, 184].

6.2. Гидродинамический режим

6.2.1. Общая характеристика гидродинамического режима

Водоносный комплекс четвертичных отложений. Естественные условия формирования гидродинамического режима грунтовых вод определяются природно-климатическими факторами – атмосферным питанием, дренированностью территории, литологическим составом пород зоны аэрации, наличием сезонной мерзлоты. Согласно [6], основная часть Томской области характеризуется преобладанием инфильтрационного типа водообмена грунтовых вод с атмосферой и устойчивым зимним промерзанием зоны аэрации. Интенсивность питания грунтовых вод обуславливает особенности сезонных колебаний их уровней, с учётом которых на территории региона выделяются приозерный, приречный, террасовый, склоновый и водораздельный режимы грунтовых вод. Особенности нарушенного режима определяются характером и степенью техногенного воздействия. В зонах влияния крупных водозаборов колебания уровней грунтовых вод в течение года и их амплитуды зависят от режима работы эксплуатационных скважин и количества отбираемой воды. В результате этого в ряде случаев наблюдается снижение уровней грунтовых вод). В пределах площадей городских застроек естественный режим грунтовых вод осложнялся различными техногенными факторами: утечками из водопроводов и теплотрасс, наличием асфальтовых покрытий, уплотнением грунтов под зданиями и сооружениями и т.д. Все эти факторы в различной степени влияют на характер гидродинамического режима грунтовых вод и часто приводят к подъёму уровней и подтоплению территорий крупных населённых пунктов [111, 178–184].

Водоносные комплексы неогеновых и палеогеновых отложений. Естественные условия формирования режима напорных вод неогеновых и палеогеновых отложений определяются в основном степенью изолированности их от поверхности земли, обусловленной большей глубиной залегания и наличием водоупоров в перекрывающей толще. Питание подземных вод осуществляется, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетока воды из вышележащих горизонтов. Разгрузка происходит в реки. Сезонные закономерности естественного изменения уровней подземных вод неогеновых и палеогеновых отложений в общих чертах аналогичны режиму грунтовых вод и в значительной степени зависят от водообмена с водоносным комплексом четвертичных отложений. Максимальные амплитуды колебаний уровней часто отмечаются в пределах пойм и низких надпойменных террас.

На водораздельных участках режим напорных вод более стабилен. С увеличением глубины залегания водоносных горизонтов уровенный режим подземных вод приобретает более «сглаженный» вид, обусловленный снижением интенсивности вертикального водообмена с глубиной. Нарушенный режим напорных вод неоген-палеогеновых отложений формируется под воздействием техногенных факторов, причём в частности, эксплуатации подземных вод водозаборами. При этом характер изменения уровней подземных вод зависит от режима эксплуатации водозаборных скважин, величины водоотбора из них, удаленности наблюдательных скважин от эксплуатационных. Регионального снижения уровней подземных вод пока нигде не зафиксировано, хотя на отдельных площадях образовались значительные по площади

воронки депрессии, например в районе размещения Томского подземного водозабора в Обь-Томском междуречье [178–184].

Водоносный комплекс меловых отложений. Естественный режим подземных вод меловых отложений, повсеместно распространенных в пределах Западно-Сибирского артезианского бассейна, определяется значительной глубиной залегания и наличием мощного регионального водоупора на всей площади их распространения, за исключением восточной части Томской области, где в геологическом разрезе мезокайнозойских отложений преобладают пески. На большей части площади распространения меловых отложений естественный режим подземных вод остаётся относительно стабильным в течение года и в многолетнем плане, что свидетельствует о затруднённых условиях водообмена. Нарушенный режим подземных вод меловых отложений формируется под воздействием их эксплуатации, причём в ряде случаев снижение гидростатических напоров в меловых отложениях зависит от величины водоотбора из палеогенового водоносного горизонта [178–184].

Водоносный комплекс протерозойско-палеозойских образований. Особенностью естественного режима подземных вод протерозойско-палеозойских образований является хорошая гидравлическая связь с грунтовыми водами, обусловленная спецификой геолого-гидрогеологических условий. Вследствие этого, в них совпадают или мало различаются сроки наступления экстремальных положений уровней и амплитуды их колебаний. В естественных условиях колебания уровней подземных вод коренных отложений в целом повторяют сезонные и многолетние закономерности, присущие подземным водам вышезалегающих отложений. Подземные воды зон трещиноватости протерозойско-палеозойских образований являются основным источником водоснабжения в пределах Томского района (в границах САГСО) [178–184].

6.2.2. Многолетние изменения уровней вод четвертичных и палеогеновых отложений вне зон явного антропогенного влияния

Анализ многолетних изменений среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод на территории Томской области был выполнен совместно с В.А. Льготиным и Ю.В. Макушиным [80]. Границы сезонов выбраны с учетом гидрологических условий региона: весна – с апреля по июнь; летне-осенний сезон – с июля по ноябрь; зима – с декабря текущего года по март следующего. Соответственно, и годичное осреднение проводилось не для административного года (с января по декабрь), а для гидрологического (с апреля текущего года по март следующего). Выбор пунктов наблюдений (табл. 6.2.2.1) осуществлялся, исходя из продолжительности рядов, наличия в них пропусков, отсутствия явно выраженного антропогенного воздействия на подземные воды и с учётом охвата наиболее распространенных на рассматриваемой территории четвертичных и палеогеновых водоносных отложений. Часть скважин вскрывает грунтовые воды, для которых свойственны весенне-осеннее питание при инфильтрации талых и дождевых вод и террасовый вид режима, а остальные скважины – напорные воды весенне-осеннего питания. В целом, исследуемые водоносные горизонты широко распространены в среднем течении р. Обь, что позволяет распространить результаты исследований на значительную часть обского бассейна.

Проведенные исследования позволили выявить нарушение однородности рядов среднегодовых и/или среднесезонных уровней подземных вод в течение периода с середины 1970-х до начала 1990-х гг. по данным режимных скважин у сс. Напас, Средний Васюган, Подгорное, Зырянское, Белый Яр, Мельниково. Гипотеза об однородности по среднему и дисперсии не была отклонена только в случае скв. 129р у с. Пудино (табл. 6.2.2.2). В большинстве случаев нарушение однородности рядов наблюдений за уровнями подземных вод связано с повышением последних с середины 1980-х гг. по 2005 г. по сравнению с предыдущим периодом. Наиболее выраженное увеличение характерно для зимнего периода (в среднем по всем скважинам – 0,23 м), наименьшее – для летне-осеннего сезона (0,09 м). Среднее увеличение в целом за гидрологический год составляет 0,21 м (рис. 6.2.2.1).

Таблица 6.2.2.1

Пункты наблюдений за уровнями подземных вод на территории Томской области

№	Скважина	Населенный пункт	Возраст водоносных комплексов, тип и вид режима	Период наблюдений
1	157р	с. Напас	P_{1rg} , напорные воды весенне-осеннего питания	1970–2005
2	124р	с. Александровское (районный центр)	$1Q_{III}$, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1968–2005
3	129р	с. Пудино	P_{3lg} , напорные воды весенне-осеннего питания	1969–2005
4	169р	с. Средний Васюган	$Q_{II tb} + 2Q_{III tb}$, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1972–2005
5	94р	с. Подгорное (районный центр)	$1Q_{III}$, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1965–2005
6	81р	с. Зырянское (районный центр)	$1Q_{III}$, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1965–2005
7	114р	с. Белый Яр (районный центр)	P_{3lg} , напорные воды весенне-осеннего питания	1967–2005
8	63р	с. Мельниково (районный центр)	$2aQ_{III} + P_{3lt}$, грунтовые воды весенне-осеннего питания, террасовый вид	1964–2005

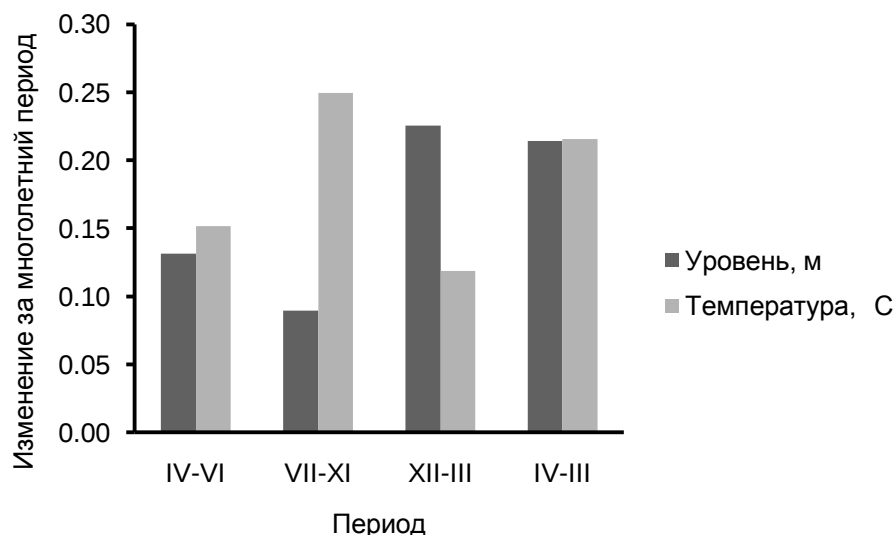


Рис. 6.2.2.1. Среднемноголетнее изменение уровней и температуры подземных вод по периодам и в целом за гидрологический год в среднем по изученным скважинам

Неслучайное изменение среднегодовых и среднесезонных уровней подземных вод за весь период наблюдений выявлено по данным скважин у сс. Подгорное (94р), Напас (157р), Зырянское (81р), Мельниково (63р), причем во всех случаях оно связано с их увеличением. Статистически значимые тренды не обнаружены по данным скважин у сс. Средний Васюган, Пудино, Александровское и Белый Яр. Тем не менее, и здесь в целом проявляется тенденция роста. Исключение составляет лишь скв. 114р у с. Белый Яр, где вследствие «пика» в 1972-1975 гг. заметное увеличение уровней, совпадающее с тенденциями для других пунктов наблюдений, наблюдается не с конца 1960-х – начала 1970-х гг., а с середины 1980-х гг. (рис. 6.2.2.2). Примечательно, что между среднегодовыми значениями уровней изученных подземных вод в большинстве случаев выявлена статистически значимая корреляция (табл. 6.2.2.2), что свидетельствует о региональном характере установленной тенденции к их увеличению в последние десятилетия [80].

Указанные факты в целом согласуются с данными о повышении меженных расходов воды крупных притоков р. Обь – рр. Томь, Чулым, Кеть, Тым, Васюган, Чая [147]. Изучение данных многолетних гидрологических наблюдений Росгидромета показало, что, во-первых, нарушение однородности рядов среднемесячных расходов воды произошло примерно на границе 1960–1970-х гг. Во-вторых, водный сток большинства изученных рек в целом за год за период наблюдений с 1930-х гг. до настоящего времени остается относительно стабильным. Это позволяет предположить, что отмеченные изменения в режиме как поверхностных, так и подземных вод в значительной степени связаны не с изменениями общей водности, а со смещением границ сезонов гидрологического года и, соответственно, перераспределением водного стока внутри административного года.

Необходимо отметить, что также был выполнен поиск связей между уровнями речных и подземных вод, показавший, что, по крайней мере, в двух случаях (у сёл Александровское и Мельниково на р. Обь) тенденции изменения уровней подземных

и речных вод за последние десятилетия противоположны, причем у с. Мельниково уровни речных вод всегда ниже уровней изученных подземных вод, а у с. Александровское экстремально высокие срочные уровни вод р. Обь в весенний период могут заметно превышать уровни грунтовых вод. С учетом этого можно предположить, что увеличение уровней грунтовых вод является причиной повышения меженной составляющей речного стока, а не наоборот. В свою очередь, рост уровней подземных вод, как показал анализ многолетних изменений сезонных и годовых сумм атмосферных осадков, а также речного стока, может быть связан не столько с повышением общего увлажнения рассматриваемого региона, сколько с внутригодовым перераспределением атмосферных осадков и изменением временных границ периода снеготаяния, следовательно, условий инфильтрации снеготалых вод в почвогрунты. Можно предположить, что это должно отразиться не только на уровнях, но и на температуре подземных вод, в связи с чем, по аналогии с изучением уровенного режима, была проведена проверка на однородность и случайность рядов среднегодовых и среднесезонных значений температуры подземных вод региона.

Таблица 6.2.2.2.

Результаты проверки рядов среднесезонных и среднегодовых значений уровней подземных вод на однородность¹, м

№ скв.	IV–VI			VII–XI			XII–III			IV–III		
	период	A	σ	период	A	σ	Период	A	σ	период	A	σ
1	1970–1982	77,06	0,32	1970–1982	76,69	0,09	1970–1982	76,71	0,15	1970–1982	76,76	0,13
	1983–2005	77,20	0,13	1983–2005	76,88	0,14	1983–2005	76,83	0,09	1983–2005	76,96	0,12
2	1970–2005	39,34	0,55	1970–2005	38,32	0,69	1970–1992	36,98	0,55	1970–1992	38,00	0,85
							1993–2005	37,15	0,31	1993–2005	38,00	0,41
3	1970–2005	87,31	0,25	1970–2005	87,21	0,24	1970–2005	87,04	0,20	1970–2005	87,18	0,21
4	1972–1995	60,10	0,26	1972–2005	60,18	0,43	1972–1995	59,85	0,30	1972–1995	59,99	0,26
	1996–2005	60,33	0,34				1996–2005	60,11	0,32	1996–2005	60,26	0,37
5	1966–2005	65,15	0,70	1966–2005	64,90	0,69	1966–1978	64,15	0,39	1966–1978	64,57	0,58
							1979–2005	64,63	0,41	1979–2005	65,00	0,53
6	1965–1980	100,28	0,34	1965–1980	99,70	0,30	1965–1980	99,00	0,17	1965–1980	99,72	0,20
	1981–2005	100,61	0,65	1981–2005	100,05	0,58	1981–2005	99,37	0,48	1981–2005	100,04	0,51
7	1967–1982	77,14	0,50	1967–1982	77,37	1,68	1967–1982	76,83	0,60	1967–1982	77,11	0,73
	1983–2005	76,94	0,32	1983–2005	77,07	0,34	1983–2005	76,71	0,26	1983–2005	76,91	0,25
8	1964–1992	78,68	0,32	1964–1992	78,58	0,31	1964–1992	78,50	0,28	1964–1992	78,58	0,30
	1993–2005	79,22	0,17	1993–2005	79,06	0,17	1993–2005	79,01	0,14	1993–2005	79,08	0,15

Примечание: уровни приведены в м балтийской системы (БС); A и σ – средние арифметические значения и стандартные отклонения уровней; нумерация соответствует пунктам в табл. 6.2.2.1

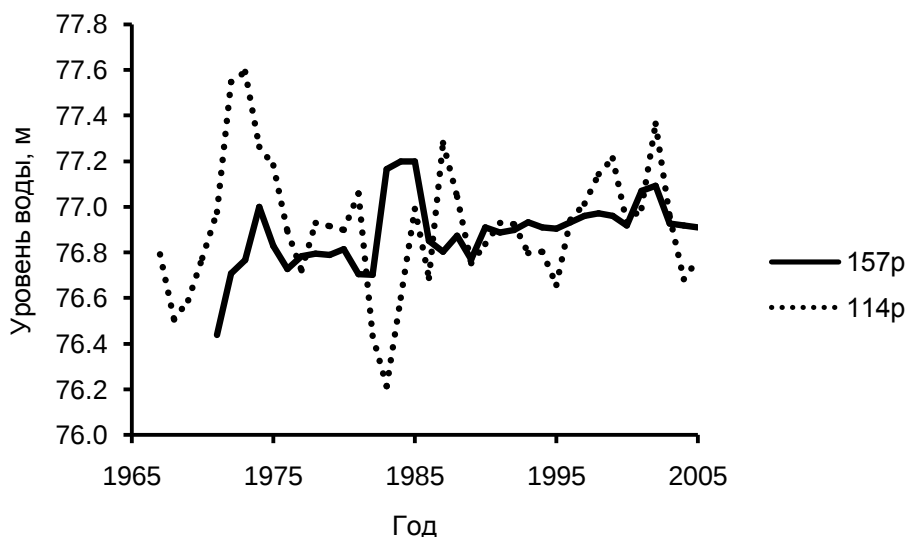


Рис. 6.2.2.2. Многолетние изменения среднегодовых уровней подземных вод в скважинах у сс. Напас (157р) и Белый Яр (114р)

По ряду причин ряды наблюдений за температурой подземных вод меньше рядов наблюдений за уровнями, что снижает эффективность сопоставления данных. Тем не менее, проведенный анализ в целом также позволил выявить общую тенденцию увеличения среднесезонных, а в ряде случаев, и среднегодовых значений температуры подземных вод. В частности, статистически значимое повышение среднесезонных значений на $0,2...0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ отмечено в скважинах у сс. Александровское, Пудино, Средний Васюган, Подгорное, Зырянское. По данным, полученным в скв. 157р у с. Напас, гипотеза об однородности по среднему и дисперсии для всех сезонов и года в целом не отклонена. Среднее по всем скважинам значение роста температуры составляет $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 6.2.2.1), что в целом согласуется с данными о повышении температуры приземных слоев воздуха в регионе со скоростью $0,20\text{--}0,49^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ [2]. В прочих случаях зафиксированы нарушения однородности по дисперсии хотя бы в один сезон (табл. 6.2.2.3).

Следует отметить, что статистически значимые нарушения однородности по уровням и температуре подземных вод, а также результаты проверки на случайность не всегда совпадают. Возможно, это связано с тем, что, во-первых, на фоне увеличения среднегодовых значений температуры воздуха происходит некоторое её понижение в летние месяцы, а в декабре-феврале, как и ранее (несмотря на достаточно ощутимый положительный тренд), среднемесячная температура обычно не превышает -10°C . Во-вторых, в пределах западносибирских болот, занимающих десятки и сотни квадратных километров, пространственная картина промерзания почвогрунтов имеет весьма сложный вид, причем на значительной их части даже в суровые зимы промерзает преимущественно деятельный горизонт толщиной $0,2...0,4\text{ м}$ при общей мощности торфяной залежи от 3 до 11 м.

Таблица 6.2.2.3

Результаты проверки рядов среднесезонных и среднегодовых значений температуры подземных вод на однородность, °С

№ скв.	IV–VI			VII–XI			XII–III			IV–III		
	период	A	σ	период	A	σ	период	A	σ	период	A	σ
1	1971–1993	3,8	0,9	1971–1993	5,8	0,7	1971–1993	3,6	0,5	1971–1993	5,2	0,6
2	1974–1983	3,0	0,1	1974–1983	3,1	0,1	1974–1983	3,0	0,1	1974–1983	3,1	0,1
	1984–1993	3,3	0,3	1984–1993	3,3	0,4	1984–1993	3,3	0,3	1984–1993	3,3	0,3
3	1974–1985	3,9	0,3	1974–1985	3,7	0,3	1974–1985	3,5	0,3	1974–1985	3,6	0,3
	1986–1993	4,4	0,4	1986–1993	4,4	0,5	1986–1993	4,1	0,4	1986–1993	4,3	0,5
4	1972–1993	3,8	0,3	1972–1982	3,7	0,3	1972–1982	4,0	0,5	1972–1993	3,8	0,3
				1983–1993	3,9	0,2	1983–1993	3,8	0,2			
5	1966–1978	3,7	0,2	1966–1978	3,4	0,8	1966–1978	3,3	0,5	1966–1978	3,5	0,3
	1979–1996	4,1	1,3	1979–1996	4,1	0,8	1979–1996	3,8	0,9	1979–1996	4,0	0,9
6	1967–1996	3,7	0,6	1967–1980	3,6	0,2	1967–1980	3,7	0,2	1967–1980	3,6	0,3
				1981–1996	3,8	0,5	1981–1996	4,0	0,1	1981–1996	3,9	0,2
7	1967–1982	3,7	0,6	1967–1982	4,0	0,4	1967–1982	3,8	0,4	1967–1992	3,8	0,4
	1983–1992	3,9	0,3	1983–1992	4,0	0,1	1983–1992	3,3	0,9			
8	1964–1979	3,8	0,3	1964–1994	3,8	0,3	1964–1994	3,6	0,2	1964–1994	3,7	0,2
	1980–1994	3,8	0,1									

Примечание: нумерация соответствует пунктам в табл. 6.2.2.1

С учетом этого, рост температур приземных слоев воздуха сказывается, прежде всего, на общей тенденции (менее значительного) увеличения температур подземных вод, на фоне которого на локальных территориях она может и не наблюдаться. Таким образом, выявлено статистически значимое увеличение среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод четвертичных и палеогеновых отложений на территории Томской области в ненарушенных хозяйственной деятельностью условиях, что совпадает с данными об увеличении зимнего меженного стока больших и средних рек региона. Можно предположить, что определенное увеличение температуры подземных вод связано с ростом температуры приземных слоев атмосферного воздуха, а увеличение уровней подземных вод – преимущественно с внутригодовым перераспределением атмосферного увлажнения, в результате которого наблюдается некоторое увеличение атмосферных осадков в летне-осенний период.

Полученные результаты являются предварительными и требуют уточнения на основе анализа более обширного материала по режимным скважинам. Тем не менее, уже сейчас можно считать установленным и достоверным фактом изменение водного и температурного режима рассматриваемой территории, напрямую не связанное с однозначно выявляемыми антропогенными факторами, например, добычей подземных вод и углеводородов, осушением болот, лесомелиорацией, вырубкой лесов и т.д. Их воздействие на уровеньный режим подземных вод в пределах Томской области в настоящее время может быть охарактеризовано в основном как локальное [80].

6.3. Ресурсы подземных вод и их многолетние изменения

Рассматриваемая территория обладает огромными ресурсами подземных вод, заключенных в рыхлых отложениях ЗСАБ, а в южной и юго-восточной частях региона – связанных с разрушенной кровлей пород фундамента и с зонами разрывных нарушений САГСО. Прогнозные ресурсы подземных вод на территории ЗСАБ оценивались неоднократно. Наиболее полная их оценка проведена в 1980-х гг. в ходе работ по региональной оценке прогнозных ресурсов подземных вод южной части ЗСАБ, по результатам которых в 1984 г. в ГКЗ СССР были оценены и апробированы прогнозные ресурсы пресных и слабосолёных вод (с минерализацией менее 5 г/л) на территории Томской области по шести водоносным комплексам на срок эксплуатации 50 лет в количестве 61,4 млн. м³/сут [111, 178–184].

В 2000–2001 гг. была завершена работа по оценке обеспеченности населения прогнозными эксплуатационными ресурсами подземных вод (ПЭРПВ) для хозяйственно-питьевого водоснабжения, которая выполнялась под руководством НППФ ГИДЭК (г. Москва). Ресурсы оценивались на неограниченный срок эксплуатации для основных водоносных горизонтов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Результаты оценки ПЭРПВ на территории Томской области в границах Западно-Сибирского региона приведены в табл. 6.3.1. Исходя из объёма оцененных ПЭРПВ, территорию Томской области можно охарактеризовать в целом как надежно обеспеченную, что не исключает возможность определённых проблем на отдельных территориях как по количеству, так и по качеству подземных вод.

Необходимо отметить, что для оценки ресурсов подземных вод широко используется гидролого-гидрогеологический подход в предположении, что подземный сток

зоны активного водообмена на территориях с постоянной речной сетью формируется под влиянием речных систем [112]. Однако реализация этого подхода сопряжена с неоднозначностью выделения подземной составляющей речного стока в весенний период и сложностью определения вклада отдельных водоносных комплексов и горизонтов. В рамках решения указанных вопросов автором разработана методика определения подземного стока на основе гидролого-гидрогеологического метода, приведенная в разделе 1.5. Её апробация была выполнена на примере средних рек (с площадью водосбора от 2000 до 50000 км²), в результате чего получены зависимости между значениями подземного стока, уровнями речных и подземных вод, удовлетворяющие условию $S/\sigma \leq 0,8$. С их помощью были вычислены среднемесячные и среднегодовые значения подземного стока (рис. 6.3.1–6.3.6), анализ которых позволил сделать следующие выводы.

Таблица 6.3.1

Распределение прогнозных эксплуатационных ресурсов и разведанных запасов подземных вод на территории Томской области (приводится по [111])

Гидрогеологическая структура	ПЭРПВ, тыс. м ³ /сут	Утвержденные и принятые к сведению запасы подземных вод по сумме категорий А+В+С ₁ +С ₂ , тыс. м ³ /сут количество месторождений и участков			
		пресных и слабоминерализованных для целей		минеральных	термальных
		хозяйственно-питьевого водоснабжения	технического водоснабжения		
Западно-Сибирский артезианский бассейн	38532,9	$\frac{983,43}{20}$	–	$\frac{0,975}{3}$	–
Саяно-Алтайская гидрогеологическая складчатая область	220,9	$\frac{44,2}{9}$	–	–	–

Во-первых, доля подземной составляющей речного стока изменяется в диапазоне от 18,0 до 56,2 %. В случае рр. Чая и Кеть подземный сток, рассчитанный по уравнению (1.5.4), оказался несколько меньше оценок, полученных путём линейной интерполяции между среднемесячными расходами воды рек в марте и декабре (за зимний период подземный сток принят равным речному); в случае рр. Чузик, Васюган и Тым – примерно равен или больше (табл. 6.3.2). В целом же результаты сопоставимы, что позволяет использовать на практике второй способ (1.5.8) для определения среднегодового подземного стока.

Во-вторых, модули суммарного и подземного стока в правобережье Средней Оби заметно выше, чем в левобережье как в абсолютном, так и в относительном (по сравнению с суммарным стоком) выражении. Это обстоятельство необходимо учитывать при обустройстве нефтяных месторождений, особенно, при проектировании шламовых амбаров – потенциальных источников загрязнения подземных вод.

В-третьих, для рассматриваемой равнинной территории обского бассейна характерно смешанное грунтовое артезианское питание рек с преобладанием последнего (табл. 6.3.3), что в большинстве случаев определяет повышение подземного стока в период весеннего половодья. Максимальное проявление подпорного режима выявлено для р. Чая, однако и здесь подземный сток весной обычно полностью не прекращается. Таким образом, условия, необходимые для формирования подземного стока средних рек сохраняются в течение всего года.

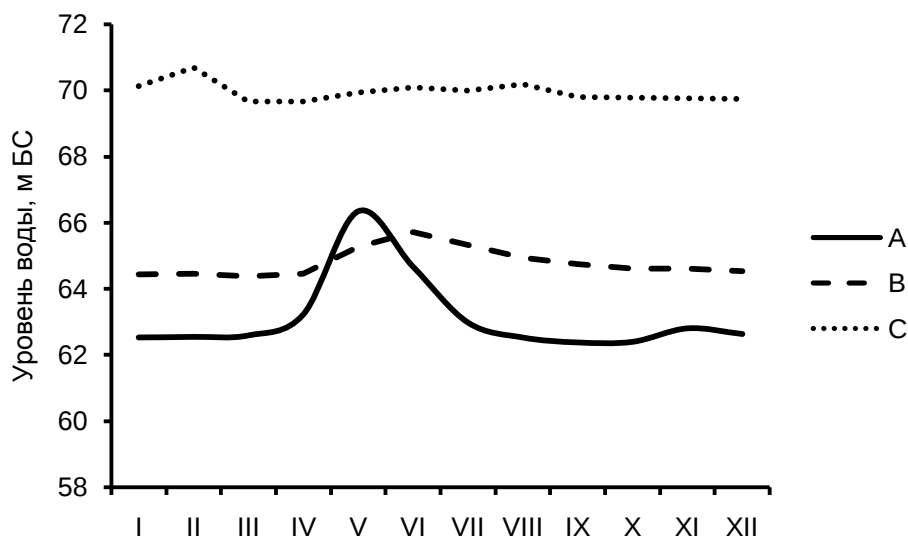


Рис. 6.3.1. Изменение среднемесячных уровней воды в р. Чая (А), подземных вод четвертичных (В) и неогеновых (С) отложений у с. Подгорное за многолетний период

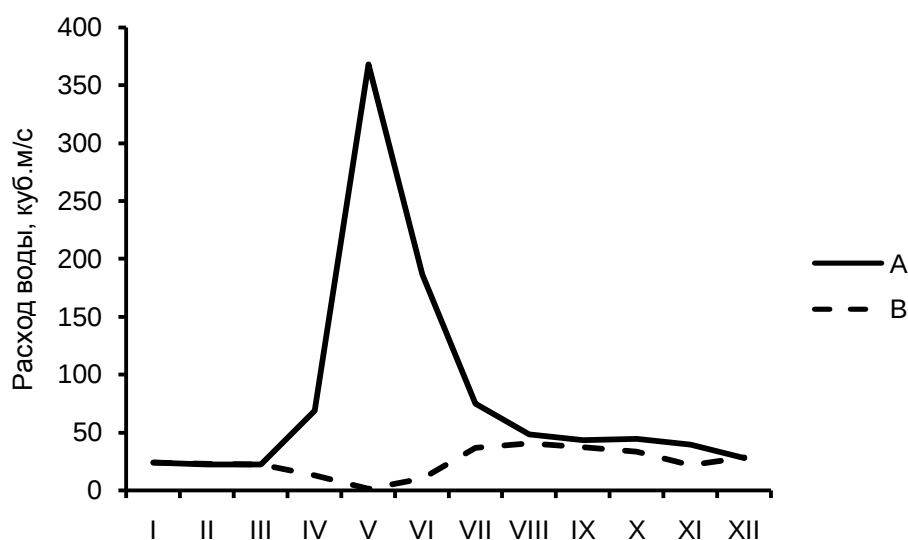


Рис.6.3.2. Изменение среднемесячных расходов воды р. Чая у с. Подгорное (А) и их подземной составляющей, полученной по зависимости от уровней грунтовых вод (за многолетний период)

В-четвертых, минерализация вод рек Чая, Парабель, Васюган, Кеть, Вах и Чичка-Юл в зимний период примерно в два раза больше минерализации грунтовых вод и в 1,13 меньше соответствующего показателя напорных вод палеогенового комплекса. Указанные соотношения или более точные линейные зависимости (рис. 6.3.7, 6.3.8) позволяют в первом приближении оценить минерализацию подземных вод неоген-четвертичного и палеогенового водоносных комплексов на неизученных равнинных территориях Томской области по данным о минерализации речных вод в зимний период [166].

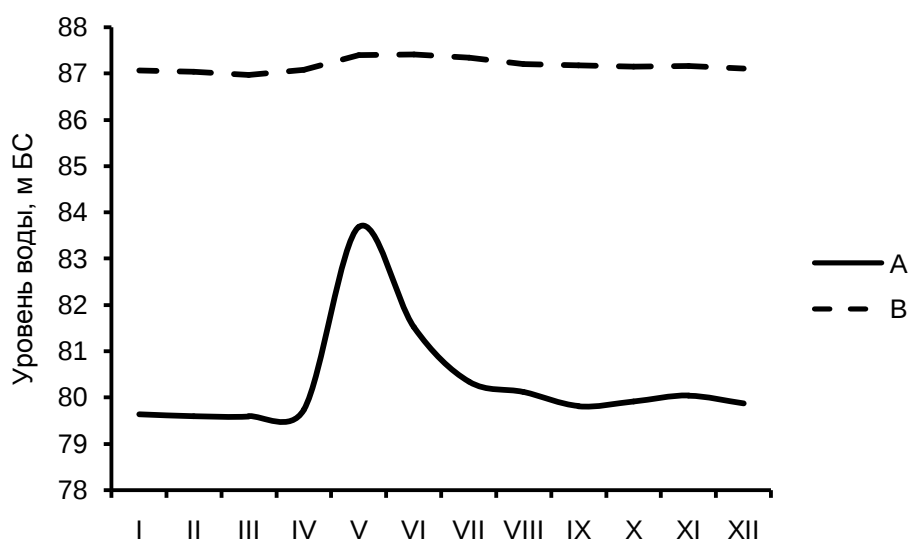


Рис. 6.3.3. Изменение среднемесячных уровней воды в р. Чузик (A), подземных вод водносного комплекса четвертичных, неогеновых и палеогеновых отложений (B) у с. Пудино за многолетний период

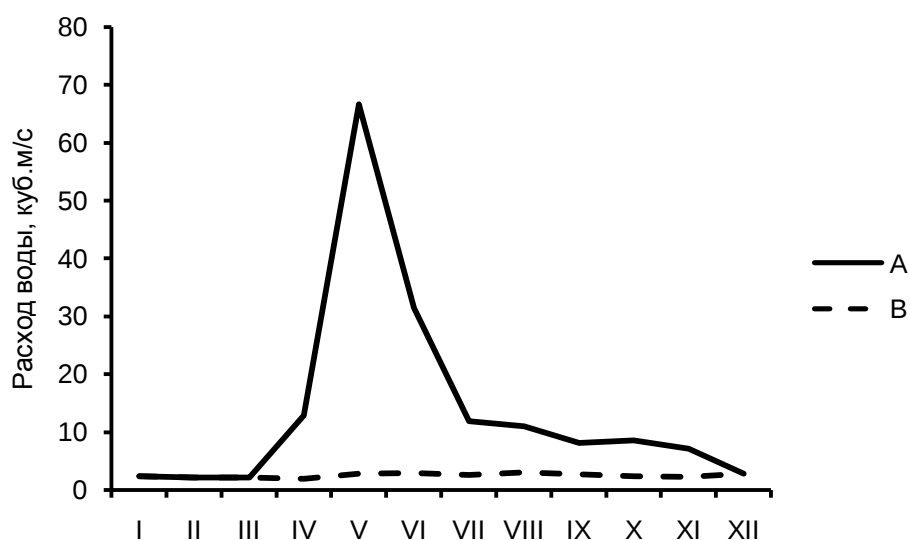


Рис. 6.3.4. Изменение среднемесячных расходов воды р. Чузик у с. Пудино (A) и их подземной составляющей, полученной по зависимости от уровней грунтовых вод (за многолетний период)

В-пятых, в течение 1970–2000-х гг. наблюдалось постепенное изменение водного режима рассматриваемой территории за счет увеличения подземного стока (табл. 6.3.4). Это изменение пока не привело к существенному изменению нормы суммарного (поверхностного и подземного) стока [147, 153]. Тем не менее, его следует учитывать при анализе и прогнозе состояния водных объектов и других компонентов окружающей среды.

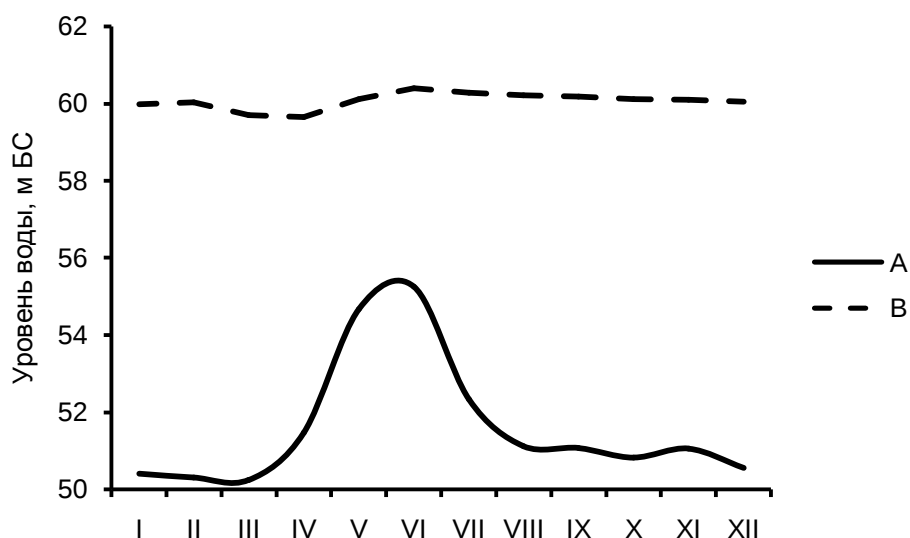


Рис. 6.3.5. Изменение среднемесячных уровней воды в р. Васюган (А) и подземных вод четвертичных отложений (В) у с. Средний Васюган за многолетний период

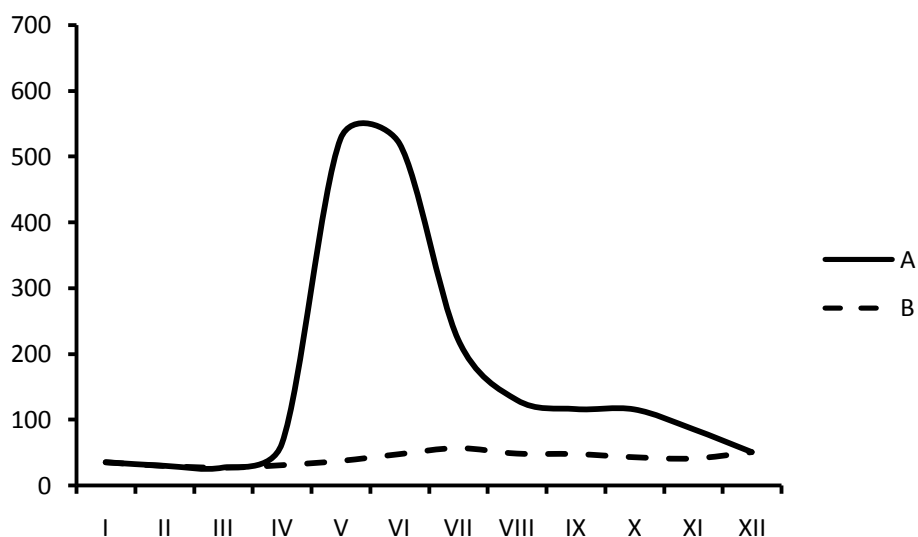


Рис. 6.3.6. Изменение среднемесячных расходов воды р. Васюган у с. Средний Васюган (А) и их подземной составляющей, полученной по зависимости от уровней грунтовых вод (за многолетний период)

Таблица 6.3.2

Среднемноголетние значения модулей суммарного речного стока и его подземной составляющей, рассчитанной по зависимости от уровней подземных вод (1.5.4) и путём линейной интерполяции между значениями за март и декабрь (1.5.8), л/(с·км²)

Река – пункт (площадь водосбора, км ²)	Сток	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
Кеть – с. Максимкин Яр (38400)	Суммарный	2,13	1,94	1,84	2,57	16,99	23,92	8,68	4,58	3,91	3,86	2,97	2,50	6,32
	Подземный ¹	2,13	1,94	1,84	1,84	1,92	2,30	2,37	2,29	2,10	2,08	2,01	2,50	2,11
	Подземный ²	2,13	1,94	1,84	1,92	1,99	2,06	2,14	2,21	2,28	2,36	2,43	2,50	2,15
Тым – с. Напас (24500)	Суммарный	2,79	2,55	2,45	3,25	19,71	25,78	10,77	7,14	6,56	6,27	4,36	3,39	7,92
	Подземный ¹	2,79	2,55	2,45	2,66	9,64	8,53	4,72	4,17	4,09	4,29	4,10	3,39	4,45
	Подземный ²	2,79	2,55	2,45	2,56	2,66	2,77	2,87	2,97	3,08	3,18	3,28	3,39	2,88
Васюган – с. Средний Васюган (31700)	Суммарный	1,10	0,93	0,85	1,99	16,65	16,42	7,00	4,09	3,66	3,64	2,70	1,59	5,05
	Подземный ¹	1,10	0,93	0,85	0,97	1,17	1,49	1,78	1,52	1,50	1,35	1,29	1,59	1,30
	Подземный ²	1,10	0,93	0,85	0,93	1,01	1,09	1,18	1,26	1,34	1,43	1,51	1,59	1,19
Чузик – с. Пудино (3400)	Суммарный	0,70	0,64	0,63	3,78	19,61	9,26	3,49	3,23	2,39	2,52	2,08	0,84	4,10
	Подземный ¹	0,70	0,64	0,63	0,56	0,84	0,85	0,76	0,90	0,80	0,68	0,66	0,84	0,74
	Подземный ²	0,70	0,64	0,63	0,65	0,67	0,70	0,72	0,74	0,77	0,79	0,81	0,84	0,72
Чая – с. Подгорное (25000)	Суммарный	0,95	0,90	0,89	2,75	14,73	7,47	3,00	1,94	1,73	1,77	1,59	1,12	3,24
	Подземный ¹	0,95	0,90	0,89	0,50	0,05	0,40	1,45	1,61	1,48	1,32	0,86	1,12	0,96
	Подземный ²	0,95	0,90	0,89	0,92	0,94	0,97	0,99	1,02	1,05	1,07	1,10	1,12	0,99

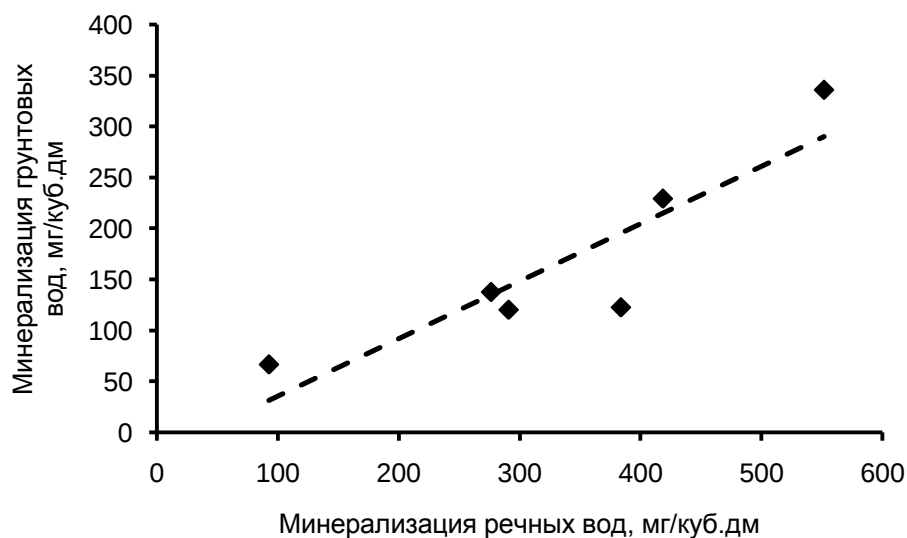


Рис. 6.3.7. Зависимость между минерализацией вод средних рек в зимний период (X) и подземных вод неоген-четвертичного водоносного комплекса (Y); $Y=0,56 X-20,11$; $S/\sigma=0,45$

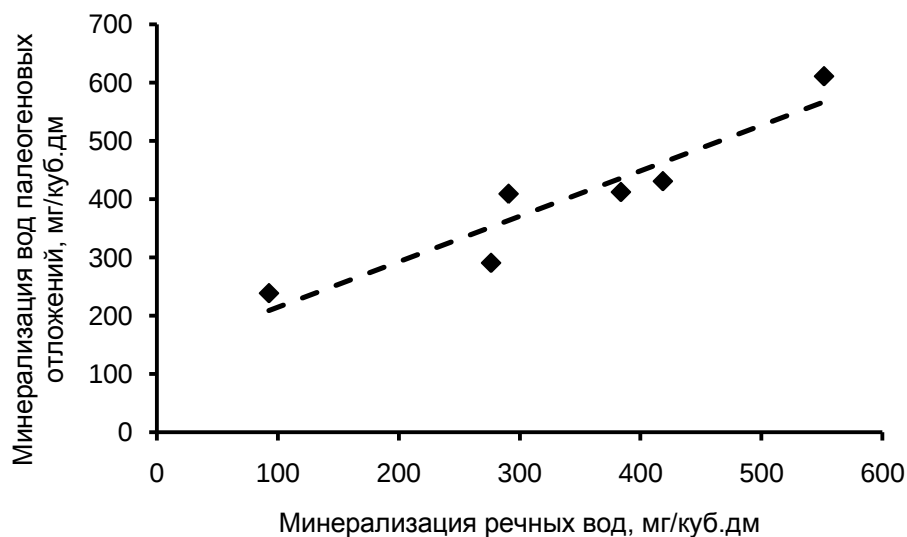


Рис. 6.3.8. Зависимость между минерализацией вод средних рек в зимний период (X) и подземных вод палеогенового водоносного комплекса (Y); $Y=0,78 X+137,00$; $S/\sigma=0,35$

Таблица 6.3.3

Подземная составляющая среднегогодового стока притоков р. Обь и вклад в её формирование неоген-четвертичного и палеогенового водоносных комплексов

Река – пункт	Подземный сток		Вклад неоген-четвертичного комплекса		Вклад палеогенового комплекса	
	м ³ /с	% от речного стока	м ³ /с	% от подземного стока	м ³ /с	% от подземного стока
1	2	3	4	5	6	7
Кеть – с. Максимкин Яр	81,1	33,4	7,65	9	73,45	91

Таблица 6.3.3

1	2	3	4	5	6	7
Тым – с. Напас	109,0	56,2	–	–	–	–
Васюган – с. Ср. Васюган	41,1	25,6	4,04	10	37,06	90
Парабель – с. Новиково	32,0	42,7	1,96	6	30,04	94
Чузик – с. Пудино ¹	2,5	18,0	0,15	6	2,35	94
Чая – с. Подгорное	24,1	29,7	5,17	21	18,93	79

1 – соотношение подземных вод четвертичных и палеогеновых отложений в стоке р. Чузик принято по данным для р. Парабель

Таблица 6.3.4

Средние значения подземной составляющей ($Q_{ндз}$) и их стандартные отклонения (σ), полученные путём расчленения гидрографа¹ по однородным рядам [153], м³/с

Река	Пункт	Период	$Q_{ндз}$	σ
Обь	г. Колпашево (восстановл.)	1962–2002	1125	24,4
Томь	г. Томск	1942–1963	178	9,6
		1964–2002	189	5,3
Чулым	с. Батурино	1938–1970	214	4,7
		1971–2002	231	5,8
Кеть	с. Максимкин Яр	1937–1961	76	2,4
		1962–1996	84	2,5
Тым	с. Напас	1964–1974	70	3,0
		1975–2002	78	2,1
Васюган	с. Средний Васюган	1936–1958	33	1,9
		1959–1996	38	1,6
Парабель	с. Новиково	1958–1971	22	1,1
		1972–2002	24	1,1
Чая	с. Подгорное	1953–1969	22	1,0
		1970–2002	25	0,7

Примечание: в зимние месяцы подземный сток принимается равным речному, с апреля по ноябрь – определяется линейной интерполяцией между значениями за март и декабрь

6.4. Химический состав подземных вод

Макрокомпоненты и pH. В пределах Томской области по макрокомпонентному составу и минерализации подземных вод зоны свободного водообмена в первом приближении выделяются участки, соответствующие ЗСАБ (основная часть региона) и САГСО (южная и юго-восточная части). Для основной части Томской области (в пределах ЗСАБ) наблюдается хорошо выраженное увеличение минерализации незагрязненных подземных вод с северо-востока на юго-запад и по мере увеличения возраста водоносных отложений (табл. 6.4.1). По классификации О.А. Алекина подземные воды палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложений и зоны региональной трещиноватости в пределах Среднеобского гидрогеологического района обычно пресные со средней и, реже, повышенной минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые или гидрокарбонатные кальциево-магниевого, нейтральные [81, 178–184]. На участках с повышенной антропогенной нагрузкой, например, вблизи кустов нефтяных скважин, городских территориях или местах складирования промышленных отходов, могут встречаться хлоридные натриевые и хлоридно-сульфатные натриевые, пресные с повышенной минерализацией и солоноватые воды. Химический состав подземных вод ниже-верхнемеловых отложений в пределах ЗСАБ весьма разнообразный, что объясняется различными условиями седиментогенеза. В прибортовых частях бассейна вдоль палеозойского обрамления преобладает инфильтрационное питание меловых вод (восточная и юго-восточная части региона). По мере погружения пород в северо-западном и западном направлении, в условиях затрудненного водообмена изменяется химический состав подземных вод (от гидрокарбонатных кальциевых и натриевых до хлоридных натриевых) и увеличивается их минерализация [111].

В пределах САГСО подземные воды верхней гидродинамической зоны имеют достаточно разнообразный химический состав. Воды рыхлых отложений в основном пресные ($0,2 \dots 1 \text{ г/дм}^3$), преимущественно гидрокарбонатные кальциевые, иногда смешанного катионного состава, от умеренно жестких до жестких. Подземные воды, приуроченные к неглубоко залегающим трещиноватым зонам протерозойско-палеозойских пород, в большинстве случаев по составу также являются гидрокарбонатными кальциевыми, иногда смешанного катионного состава, пресными, умеренно жесткими и жесткими [111, 178–184].

Органические вещества. Для подземных вод зоны активного водообмена на большей части территории Томской области в целом характерны достаточно высокие значения перманганатной окисляемости и содержания $C_{\text{орг}}$ [81, 119, 123, 202]. Меньшее количество ОВ содержится в подземных водах южной и юго-восточной частях региона. Согласно [121, 122, 229], средняя концентрация $C_{\text{орг}}$ в грунтовых водах бассейна р. Томь составляет $4,1 \pm 0,9 \text{ мгС/дм}^3$, что близко к среднемировым показателям для аналогичных природных условий.

Значительная часть органических соединений представлена ФК и ГК, концентрации которых достигают $2 \dots 4 \text{ мг/дм}^3$ и более. Кроме них в подземных водах обско-го бассейна обнаружено большое количество различных органических соединений, концентрации каждого из которых редко превышают $20 \dots 30 \text{ мкг/дм}^3$ [38, 67, 121, 122, 229]. По мнению [67, 121, 122, 229], некоторые из обнаруженных в подземных водах ОВ, например ГК и ФК, имеют предположительно природное происхождение, а ряд

веществ – явно антропогенный генезис. Одновременно с этим уровень содержания многих ОВ в пределах обского бассейна является результатом совместного действия природных и антропогенных факторов (в том числе, косвенных, изменяющих водный режим, скорость трансформации ОВ и т.д.), характер и интенсивность которых меняются в пространстве и во времени [229].

Биогенные вещества и железо. Для подземных вод региона свойственны относительно невысокие концентрации NO_3^- и значительные содержания NO_2^- , NH_4^+ и Fe. Кроме того, в северной части правобережья обского бассейна наблюдаются повышенные концентрации кремния.

Таблица 6.4.1

Среднемноголетние значения pH, концентрации макрокомпонентов и их суммы в речных и подземных водах Томской области

Объект	Отложения	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и
			мг/дм ³						
Нижневартовский полигон ¹ , вне объектов нефтедобычи (Ханты-Мансийский автономный округ)	Q	7,2	33,4	8,6	8,7	139,8	3,3	6,8	200,6
Нижневартовский полигон ¹ , на объектах нефтедобычи (ХМАО)	Q	7,0	56,6	9,8	123,7	229,4	1,3	205,8	626,6
Нижневартовский полигон ¹ , вне объектов нефтедобычи (ХМАОг)	P	6,9	26,7	12,9	15,9	176,0	0,3	6,8	238,6
Скважина 129р, с. Пудино, водосбор р. Чузик	P ₃ lg	7,35	39,8	13,4	13,8	212,1	0,9	8,4	291,8
Скважина 130р, с. Пудино, водосбор р. Чузик	P ₃ nm	7,41	39,6	15,6	13,0	229,0	0,7	6,0	304,0
Водосбор р. Чая	зона аэрации ²	7,0	96,3	24,8	24,2	460	1,8	6,9	390
То же	QII-N ₁ ²	7,2	102,0	20,1	15,1	430	1,2	5,4	370
--	P ₃ ^{3 2}	7,3	110,3	15,7	21,1	460	0,21	8,4	390
--	P ₃ nm ²	6,8	107,5	22,2	19,7	550	0,47	9,8	400
--	P ₂₋₃ jur ²	7,1	96,4	22,1	60,3	580	4,5	28,3	540
--	K ₂ ²	8,1	11,6	6,5	273,8	430	19,6	136,8	680
Скважина 114р, п. Белый Яр, водосбор р. Кеть	P ₃ lg	7,06	25,6	8,5	9,3	138,2	0,4	6,6	188,5
Скважина 115р, п. Белый Яр, водосбор р. Кеть	K ₂ sm	7,11	16,9	7,5	11,2	108,6	0,8	7,0	152,3
Бассейн р. Томь, аллювиальные отложения ³	–	6,9	20,0	8,0	7,6	86,0	12,0	5,7	139,3
Бассейн р. Томь, четвертичные отложения водоразделов ³	–	7,0	45,0	8,0	19,6	173,0	11,0	6,3	262,9
Бассейн р. Томь, воды зоны региональной трещиноватости ³	–	7,3	57,0	12,0	19,4	319,0	10,0	7,9	425,3

Примечание: 1 – данные Мегионской гидрогеологической экспедиции за 1998–2001 гг.; 2 – данные [52]; 3 – [229]

Распределение содержаний соединений азота в подземных водах разновозрастных отложений неодинаково для различных участков Томской области, что объясняется пространственными изменениями процессов поступления и вывода этих веществ из водной среды. Наиболее устойчивой для соединений азота тенденцией является практически повсеместное увеличение концентраций NO_2^- в подземных водах четвертичных и неоген-четвертичных отложений по сравнению с водами палеогеновых отложений и зоны региональной трещиноватости. Очень высокие концентрации Fe (более 3 мг/дм^3) отмечаются в подземных и речных водах в бассейнах рр. Кеть, Тым, Чая, Парабель, Васюган и др. При этом следует отметить, что в зимний период уровень содержания железа в речных водах заметно ниже, чем в период открытого русла. Данный факт свидетельствует о поступлении Fe в реки и подземные воды преимущественно с болотными водами (в результате их стока в реки и инфильтрации в подземные горизонты), что обусловлено образованием подвижных соединений железа с фульвокислотами, в большом количестве присутствующими в болотных водах, и их последующим выносом в речную систему. Поскольку интенсивность водообмена в правобережье бассейна р. Обь выше, чем в левобережье, то концентрации Fe в речных и подземных водах также будут более высокие, что обычно и наблюдается [52, 53, 81, 81]. В пределах САГСО воды трещиноватых образований также часто содержат повышенные концентрации железа, особенно вблизи зон железо-марганцевых проявлений [111].

Повышенные концентрации кремния (более 8 мг/дм^3) обычно приурочены к северной части Томской области, для которой характерны наиболее высокие для равнинной части обского бассейна модули водного стока (суммарного и подземного) и низкие значения минерализации, что соответствует указанной в [66, 104] общей закономерности изменения химического состава подземных вод по мере изменения их минерализации (преобладание или повышенное содержание в рассолах хлоридов, в солёных водах – сульфатов, в пресных водах со средней и повышенной минерализацией – гидрокарбонатов, в пресных с малой минерализацией – солей кремниевых кислот). В вертикальном разрезе обычно наблюдается увеличение содержаний Si в подземных водах зоны активного водообмена с глубиной, хотя в ряде случаев повышенные средние концентрации кремния были зафиксированы в водах неоген-четвертичных, а не палеогеновых или мезозойских отложений. С учетом того, что эти случаи отмечены на нефтяных месторождениях и в пределах крупных подземных водозаборов, можно предположить, что, по крайней мере, некоторые из них связаны с антропогенным нарушением пространственного распределения концентраций Si.

Микроэлементы. В отличие от макрокомпонентов и окисляемости, общие тенденции в изменении концентраций микроэлементов в подземных водах отложений разного возраста без явных признаков антропогенного загрязнения прослеживаются весьма слабо. Характерной особенностью подземных вод рых-

лых отложений является повсеместное присутствие марганца [111]. В бассейне Томи отмечено определенное уменьшение уровня содержаний некоторых циклических элементов (Hg и Zn) в последовательности от отложений зоны региональной трещиноватости до четвертичных отложений [119, 123, 202, 229]. В сравнении с речными водами, в подземных водах зоны активного водообмена на разных участках территории Томской области могут наблюдаться как повышенные, так и пониженные концентрации некоторых циклических микроэлементов, что в ряде случаев имеет вполне понятное объяснение. Так, самые высокие содержания Mn обычно приурочены к водным объектам болотных ландшафтов с наименьшей интенсивностью водообмена и наиболее тесной гидравлической связью с болотными водами.

Общая оценка качества подземных вод. Подземные воды всех охарактеризованных водоносных подразделений в большинстве случаев уже в природном состоянии не соответствуют требованиям [171, 171] по содержанию железа, часто марганца, ионов аммония, органических веществ и цветности, иногда брома и кремниевой кислоты. Содержание фтора практически повсеместно ниже норм, оптимальных для питьевых вод. В нефтегазоносных районах региона подземные воды в ряде случаев характеризуются иногда значительными содержаниями нефтепродуктов.

6.5. Краткие выводы

В пределах Томской области сосредоточены значительные ресурсы пресных подземных вод. В большинстве случаев эти воды вследствие специфических природных условий формирования не соответствуют установленным нормативам качества по содержанию железа, марганца, в северных районах – кремния, а также по величине перманганатной окисляемости. С учётом этого на большей части региона водоносные горизонты, согласно [35], можно отнести ко второму и третьему классам источников водоснабжения. Техногенное загрязнение на некоторых участках достигло уровня эксплуатируемых горизонтов, но пока носит локальный характер. В целом же, подземные воды, в сравнении с поверхностными, отличаются более высоким качеством, особенно по микробиологическим показателям. Приоритетное использование пресных подземных вод – хозяйственно-питьевое водоснабжение.

7. Использование водных ресурсов и негативное воздействие вод

Поверхностные водные ресурсы используются на территории Томской области в хозяйственно-питьевых и производственных целях, для отведения сточных вод, для нужд водного транспорта, а также в целях сельского хозяйства, рыболовства и для удовлетворения культурно-бытовых нужд. Всего в Томской области в 2000-е гг. функционировало от 242 до 351 организаций, отчитывающихся по форме отчетности 2-тп (водхоз) (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Основные показатели водопотребления и водоотведения на территории Томской области в 2000–2005 гг. [78], млн. м³

Наименование показателей	Среднее
1) забор воды из водных объектов, всего	660,06
в т.ч.	
1.1) поверхностных	519,74
1.2) подземных	140,31
2) из общего водозабора забор для перераспределения стока	0
3) использование воды, всего	611,02
в т.ч. на:	
3.1) хозяйственно-питьевые нужды,	73,79
в т.ч. на:	
3.2) производственные нужды	517,27
из них	
3.2.1) в том числе, питьевого качества	12,36
3.3) орошение	0,27
3.4) сельхоз-водоснабжение	4,28
3.5) прочие нужды	15,38
4) расходы в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения	2430,44
5) процент экономии воды за счет оборотного и повторно-последовательного водоснабжения	82,33
6) потери при транспортировке	39,94
7) безвозвратное водопотребление	128,98
8) водоотведение, всего	528,67
8.1) водоотведение в поверхностные водные объекты, всего	531,07
из них	

Продолжение табл. 7.1

Наименование показателей	Среднее
8.1.1) загрязненных, всего	16,81
в т.ч.	
а) без очистки	5,63
б) недостаточно очищенных	11,18
8.1.2) нормативно-чистых (без очистки)	439,24
8.1.3) нормативно-очищенных	75,03
8.2) водоотведение в подземные водные объекты	0
9) мощность очистных сооружений	104,9
10) количество водопользователей, отчитывающихся по форме 2-ТП (водхоз)	290

7.1. Водопотребление

Основная часть общего потребления воды до 2009 г. осуществлялась из поверхностных источников на нужды промышленности, в первую очередь, нужды предприятий химической и нефтехимической отраслей, среди которых основной объём воды ранее потреблялся на Сибирском химическом комбинате. Без учёта СХК картина водопотребления в Томской области меняется радикально. Одновременно с этим резко возрастает и доля вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, которое производится, преимущественно, из подземных источников (табл. 7.1, 7.1.1).

Таблица 7.1.1

Средние показатели фактического водопользования на территории Томской области за 2000–2005 гг. [78], млн. м³

Забор воды из водных объектов			Используй- вано пре- сной воды	Полное водопо- треб- ление ¹	Безвозвратное водопо- требление по отноше- нию к природным вод- ным объектам
всего	в том числе				
	поверхно- стных	подзем- ных			
660,06	519,74	140,31	611,02	3066,81	128,98

1 – определяется как сумма забора воды из природных водных объектов, оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, безвозвратного водопотребления по отношению к природным водным объектам

Используемая вода забирается из поверхностных и подземных источников, расположенных целиком на территории области. Забор воды для перераспределения стока не производится. Оборотно-повторно-последовательное водо-

снабжение осуществляется, главным образом, предприятиями химической и нефтехимической отраслей промышленности, в значительно меньшей степени – в тепло- и электроэнергетике, машиностроении, нефтегазодобыче, производстве стройматериалов, тепловых сетях и других отраслях. Наибольший объем обратного повторно-последовательного водоснабжения приходится на Сибирский химический комбинат. Использования воды предприятиями достаточно эффективно. Максимальное количество воды потребляется в бассейне р. Томь, на территории которого расположены областной центр г. Томск, г. Северск и наиболее населенный из сельских административных районов – Томский. Значительно меньший объем воды потребляется в бассейнах других рек.

7.2. Водоотведение

Объем сбросов сточных вод в водные объекты на территории Томской области в 2000–2008 гг. изменялся в диапазоне от 504 до 555 млн. м³/год (рис. 7.2.1). Большую часть сточных вод составляли нормативно чистые воды, почти полностью используемые для производственных нужд (охлаждения тепловых агрегатов) СХК в г. Северск. Водоотведение осуществлялось преимущественно в р. Томь и её притоки. В структуре сточных вод преобладали нормативно чистые и нормативно очищенные воды, сбрасываемые непосредственно в р. Томь на участке, расположенном ниже по течению от г. Томск (с. Чернильшиково – с. Орловка). Доля прочих рек, включая и р. Обь, в суммарном объеме водоотведения в Томской области несоизмеримо меньше, что позволило в структуре сбросов выделить только две группы – р. Томь вместе с её притоками и все прочие реки.

С недостаточно очищенными и неочищенными сточными водами в поверхностные водные объекты Томской области поступает значительное количество загрязняющих веществ, среди которых преобладают неорганические соли. В меньших, но все-таки, значительных количествах в реки, озера и болота сбрасываются взвешенные вещества и органические соединения (табл. 7.2.1). Согласно отчетности 2-тп (водхоз), в структуре отдельно идентифицируемых веществ преобладают сульфаты, хлориды, нитраты, азот аммонийный, железо, кремний и некоторые другие вещества. Большая часть всех загрязняющих веществ поступает в р. Томь и ее притоки. В бассейне р. Томь, в свою очередь, источником основной массы загрязняющих веществ являлись сбросы нескольких крупных предприятий, в том числе – Сибирского химического комбината, очистных сооружений г. Томск и МУП «Инженерная защита сооружений», собирающего ливневые воды г. Томск. Их вклад в загрязнение р. Томь по различным веществам достигает 100 %.

После ожидаемого уменьшения сбросов нормативно чистых сточных вод СХК в р. Томь структура водоотведения в Томской области существенно изме-

нится. Причём это снижение, скорее всего, скажется неблагоприятно на качестве вод р. Томь, поскольку вероятно ухудшение условий разбавления загрязнённых сточных вод за счёт увеличения доли загрязнённых сточных вод.

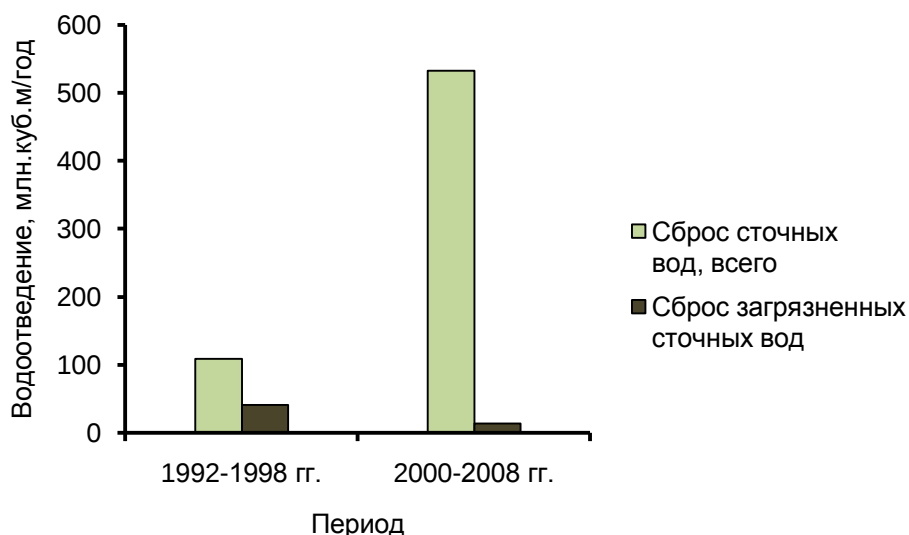


Рис. 7.2.1. Средние показатели водоотведения в целом по Томской области (данные сайта www.gks.ru)

Таблица 7.2.1

Загрязненные сточные вещества и содержащиеся в них загрязняющие вещества, поступившие в водные объекты в Томской области в 2000–2005 гг. [78]

Показатель	Среднее значение
Объем сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, млн. м ³	92,14
т/год	—
Взвешенные вещества	4175
Минеральные соли по сухому остатку	55432
Сульфаты	8755
Хлориды	5210
Кальций	2037,69
Магний	655,88
Натрий	8,30
Азот аммонийный	510,50

Продолжение табл. 7.2.1

Показатель	Среднее значение
Нитриты	74,92
Нитраты	4917,64
Фосфор общий	181,81
Кремний	98,22
Железо	149,59
Фтор	156,76
Фторреагенты	20,72
Алюминий	2,55
Медь	0,31
Марганец	0,18
Цинк	1,05
Свинец	0,26
Ртуть	0,00
Кадмий	0,00
Никель	0,14
Органические вещества по БПК _{полн.}	1430
Органические вещества по ХПК	3684
Нефтепродукты	65,00
Фенолы	0,10
СПАВ	8,52
Углеводороды ароматические	0,00
Карбамид	691,74

7.3. Другие виды водопользования

Помимо водоотведения и водопотребления, на территории Томской области осуществляется водопользование, связанное с функционированием водного транспорта, сезонным регулированием стока ряда малых водотоков, рыболовством, добычей в речных руслах и поймах песчано-гравийного материала (ПГМ), размещением на акватории водных объектов и болотах различных инженерных систем и сооружений, складов строительных материалов и т.д. Регулярное использование водного транспорта на рассматриваемой территории началось в XIX в. В настоящее время водными перевозками в Томской области занимается несколько организаций, в том числе ОАО «Томская судоходная компания» («ТСК»), в составе которой имеются более 15 теплоходов и несколько десятков единиц несамоходного флота. В структуре перевозимых грузов, объем которых только у ОАО «ТСК» составляет 2000...3000 тыс. т/год, преобладают строительные материалы, уголь, нефтепродукты, трубы, оборудование.

Часть перевозимых материалов представляют нерудные строительные материалы, в том числе добываемые на территории области в течение нескольких десятилетий. В русле нижней Томи добыча ПГМ ведется с начала 1950-х гг.: до середины 1970-х гг. – подразделениями предприятиями «Химстрой» и «Промстройматериалы», затем Томским речпортом и его преемником – ОАО «Томская судоходная компания» (ОАО ТСК), а также ЗАО «Карьероуправление». В первые три десятилетия из русла р. Томь добывалось в среднем около полутора миллионов тонн ПГМ. Максимум добычи – 6,9 млн. м³/год – был достигнут в 1982 г. [78]. В 1986 г. были выведены из эксплуатации Томское, Эуштинское, Попадейкинское, Нижне-Попадейкинское месторождения ПГМ, расположенные в районе г. Томск. До 1991 г. отрабатывалось Чернореченское месторождение, а в 1990-х гг., основная добыча ПГМ сосредоточилась на месторождениях, расположенных в пойме, островах и протоках р. Томь выше по течению от г. Томск, – Айдаковском, Коларовском, Казанские Юрты. Кроме того, в 1996 г. добыча ПГМ в русле р. Томи проводилась у с. Тахтамышево для обустройства городского пляжа. В последние годы добыча на Верхне-Томских месторождениях не превышает 1 млн. м³/год. Всего же к началу 2000-х гг. в русле и пойме р. Томи было добыто более 150 млн. м³ ПГМ. В результате этого на протяжении 1950–1980-х гг. наблюдалось снижение среднегодовых уровней воды примерно на 2,5 м.

Реки и озера Томской области являются средой обитания 33 видов рыб, 15 из которых, включая нельму, муксун, осетр, стерлядь, пелядь, имеют промысловое значение. В 1960-е гг. вылов рыбы достигал 5400 т/год. С тех пор (по официальным данным) происходило снижение уловов, в начале 2000-х гг. не превышавших уже 2000 т/год, причем вылов рыбы ведется преимущественно в северных районах Томской области [218–224].

Использование рек и водоёмов в Томской области в целях рекреации осуществляется преимущественно вблизи населенных пунктов. Места отдыха, чаще всего, специально не оборудованы, а поверхностные воды не всегда отвечают санитарным нормативам по причине их биологического и химического загрязнения (рис. 7.3.1, 7.3.2). Достаточно специфический способ использования рек и болот заключается в строительстве и эксплуатации мостовых и трубопроводных переходов, при котором водный объект не только выступает в роли среды размещения инженерного сооружения или системы сооружений, но и является важным фактором, ограничивающим или, наоборот, способствующим социально-экономическому развитию территории. Помимо перечисленных выше видов водопользования, реки Томской области ранее достаточно активно использовались для молевого лесосплава, в настоящее время запрещённого.



Рис. 7.3.1. Выпуск сточных вод в р. Томь в центральной части г. Томск



Рис. 7.3.2. Участок р. Малая Киргизка, северная окраина г. Томск

7.4. Негативное воздействие вод

Негативное воздействие вод на территории Томской области связано, прежде всего, с затоплением значительных территорий в период весеннего половодья, природным и техногенным (вследствие утечек из водоводов) подтоплением населенных пунктов, с неблагоприятным развитием русловых процессов на реках и прогрессирующим заболачиванием.

Затопление и подтопление территорий. Анализ данных многолетних наблюдений Росгидрометслужбы позволил сделать следующие выводы. Примерно в 50 случаях из 100 (то есть с обеспеченностью 50 %) во время весеннего половодья следует ожидать выход речных вод на пониженные участки поймы в г. Томск, Томском, Кожевниковском и Шегарском районах – на глубину до 0.5 м; в Александровском, Каргасокском (левобережье р. Оби), Парабельском, Чаинском, Бакcharском, Кривошеинском, Тегульдетском, Первомайском районах – на глубину от 0,5 до 2 м; в Каргасокском (правобережье р. Оби), Колпашевском, Молчановском, Верхнекетском, Асиновском, Зырянском районах – на глубину свыше 2 м. В экстремальных случаях (1 раз в 100 лет) вероятно более сильное затопление речных пойм в Александровском, Каргасокском, Парабельском, Чаинском, Бакcharском, Первомайском районах – более чем на 6 м; в Ше-

гарском районе – более чем на 1,5 м; в г. Томск в районах Черемошники, Исток и вдоль р. Ушайка – более чем на 0,5 м [78].

Прохождение весенних половодий на реках сопровождается подпором речными водами подземного и поверхностного стока и последующим подтоплением территорий на значительной части Томской области. Это явление наблюдается и в результате утечек из водоводов в населенных пунктах. Подтопление проявляется в повышении уровней грунтовых вод, формировании водоносных горизонтов и верховодки техногенного происхождения. Оно сопровождается изменением химического состава подземных вод, а также потерей несущей способности грунтов, устойчивости склонов, разрушением отдельных сооружений, выводом из строя городских коммуникаций, ухудшением общей экологической обстановки. Особенно остро проблема подтопления проявляется на территории г. Томск на участках с относительно плоским рельефом, распространением слабопроницаемых суглинистых грунтов, утечками из водонесущих коммуникаций, барражным эффектом свайных оснований. По данным Д.С. Покровского, в настоящее время на территории города участки с глубиной залегания грунтовых вод и верховодок 4 м и менее занимают почти половину всей площади города, из которой до 30 % – техногенно подтопленные. Наиболее интенсивно подтопление развито в пределах 3-й надпойменной террасы р. Томи и водораздельной равнины, где оно связано с формированием верховодок, приобретающих характер постоянно действующих водоносных горизонтов [195].

Разрушение берегов и хозяйственных объектов речными водами. Помимо опасности затопления территорий населенных пунктов и инфраструктуры, в области широко распространены процессы размыва речных берегов и ограждающих дамб. Скорости размыва берегов в пределах населенных пунктов изменяются от 2,5...9,0 м/год (п. Каргасок, с. Зырянское) до 16...23 м/год (г. Колпашево, п. Комсомольск, с. Тымск). Ежегодно в населенных пунктах, подверженных боковой эрозии, разрушаются жилые дома, коммуникации, производственные здания. Так, в п. Комсомольск ежегодно разрушается в среднем по два двухквартирных дома. В г. Колпашево, где протяженность размываемой части берега р. Обь в городской черте превышает 2 км, ежегодно разрушаются (демонтируются) в среднем 4...6 домов. Разрушению подвергаются защитные дамбы в г. Томск, г. Асино, с. Подгорное, с. Могочино. В случае внезапного прорыва дамб речными водами на этих участках негативные последствия могут быть гораздо тяжелее, чем при «обычном» затоплении, что связано с внезапностью и большой скоростью наступления воды. Особенно тяжелые последствия могут быть связаны с разрушением дамбы вокруг с. Могочино, где проживает более 3000 человек [78].

Заболачивание. Как было отмечено в разделе 5, для территории Томской области характерно сильное заболачивание (37 %), интенсивность которого высока и в настоящее время. Последствия данного процесса изучены крайне не-

достаточно. В первом приближении можно лишь предположить, что заболачивание приведет к дальнейшему ухудшению качества речных вод из-за поступления в них из болот органических веществ, железа, марганца, ионов аммония, а также к подтоплению прилегающих территорий, дополнительному поступлению в атмосферный воздух углекислого газа, метана и ряда других газов. В то же время, болота аккумулируют огромное количество органических и минеральных веществ, которые в случае деградации болот могут поступить в окружающую среду и существенно ухудшить состояние вод и атмосферного воздуха. Помимо указанных вредных воздействий природных вод следует указать и их способность оказывать физическое и химическое воздействия на инженерные сооружения. С учётом этого представляется весьма спорной идея стимулировать охрану болот на территории Томской области как аккумулятора углерода, тем более, что хозяйственная деятельность вследствие системных просчётов часто приводит к усилению заболачивания.

7.5. Краткие выводы

Томская область обеспечена водными ресурсами в объёме, многократно превышающем запросы современной промышленности, коммунального и сельского хозяйства региона. Это не исключает проблем с дефицитом воды для питьевой водоснабжения вследствие как низкого качества поверхностных и подземных вод в условиях сильной заболоченности региона, так и нехватки водных ресурсов в меженный период в районе г. Томск и малых населённых пунктов в Томь-Яйском междуречье. Другая группа проблем связана с нерациональным использованием имеющихся водных ресурсов и несовершенством водного законодательства Российской Федерации. Необходимо более чётко сформулировать критерии использования и охраны территорий, прилегающих к водным объектам, а также статус болот, обладающих свойствами «классических» водных объектов, почв, лесов и недр.

Заключение

Томская область обладает значительными ресурсами пресных поверхностных и подземных вод – главного богатства региона. Безусловно, есть определённые проблемы с качеством вод, главным образом – из-за специфически природных условий формирования химического состава вод в условиях прогрессирующего заболачивания региона. Существуют проблемы и с загрязнением природных вод, а также неэффективным использованием водных объектов, приводящем к усилению негативного воздействия вод. В частности, по мнению автора, застройка жилыми объектами речных пойм, особенно р. Томь, обуславливает как высокую вероятность затрат бюджетов разного уровня на предотвращение и ликвидацию последствий наводнений, так и загрязнение рек веществами, выносимыми с затопленных территорий. В целом, необходима разработка комплексных проектов использования и охраны водных объектов Томской области, включающих систематическое проведение руслоисправительных работ, организацию водоохранных зон и поддержание в их пределах установленного режима хозяйственной деятельности, причём границы водоохранных зон целесообразно совмещать с границами пойм. Массовое использование проектов искусственных биологических очистных сооружений, напротив, не целесообразно ввиду их затратности и неэффективности в суровых климатических условиях.

Для этих целей более разумно использование специально изолированных участков болот и/или мелководных водоёмов с местной водной растительностью, обеспечивающих очистку сточных вод до «фонового» состояния поверхностных вод. По мнению автора, хорошие перспективы у «малой» энергетики, предусматривающей строительство гидроэлектростанций на малых притоках р. Томь и Чулым. Большие возможности связаны также с развитием рыбного хозяйства и организации зон рекреации. Указанные виды водопользования, возможно, не согласуются с планами крупных корпораций, но исключительно полезны для развития региона.

В заключение отметим, что Томская область является не просто субъектом Российской Федерации с весьма средними экономическими показателями, но территорией в центре Северной Евразии, где люди проживали в течение многих тысячелетий, пережили расцвет и упадок многих культур, о которых, чаще всего, сохранились лишь отрывочные сведения. Некоторые из них пытались приспособиться к изменениям окружающей среды, но, тем не менее, исчезли, оставив на карте лишь названия рек и озёр. Как будем реагировать на эти вызовы мы? Найдём ли удачный компромисс между использованием и охраной водных объектов или исчезнем, как многие другие этносы, проживавшие здесь до нас?

Список литературы

1. Агарков С.Г., Дробот Е.А., Дружинин И.П. и др. Природа многолетних колебаний речного стока. – Новосибирск: Наука, 1976. – 336 с.
2. Адаменко М.Ф., Алёхина Н.М., Горбатенко В.П. и др. Региональный мониторинг. В 4-х ч. Ч.4. Природно-климатические изменения / под ред. М.В. Кабанова. – Томск: МГП «РАСКО», 2000. – 270 с.
3. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
4. Андроников В.Л., Базилевич Н.И., Будина Л.П. и др. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации / под ред. Л.Л. Шишова. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2001. – 400 с.
5. Аронов В.И. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ. – М.: Недра, 1990. – 301 с.
6. Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР. – М.: Миннегео СССР, 1983.
7. Афанасьева Т.В., Василенко В.И., Тершина Т.В., Шерemet Б.В. Почвы СССР. – М.: Мысль, 1979. – 380 с.
8. Базанов В.А., Савичев О.Г., Волостнов Д.В. и др. Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 72–75.
9. Базанов В.А., Савичев О.Г., Скугарев А.А., Харанжевская Ю.А. Применение метода фитоиндикации в гидрологических исследованиях заболоченных территорий Западной Сибири (на примере р. Ключ, Томская область) // Вестник Томского гос. ун-та. – 2009. – № 4 (8). – С. 84–96.
10. Березин А.Е., Базанов В.А., Волостнов Д.В., Шинкаренко В.П. Влияние старых шламовых амбаров на экологическую ситуацию вмещающих территорий // Охрана природы: сб. статей / под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – Вып. 2. – С. 21–43.
11. Березин А.Е., Базанов В.А., Волостнов Д.В., Шинкаренко В.П. Влияние старых шламовых амбаров на экологическую ситуацию вмещающих территорий // Охрана природы / под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – С. 21–43.
12. Березин А.Е., Базанов В.А., Савичев О.Г. Принципы разработки кадастра торфяных болот (на примере районов нефтедобычи Томской области) // Охрана природы. Вып. 3: сб. статей / под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – С. 13–26.
13. Берлин Ю.М., Верховская З.И., Егоров А.В. Нормальные алканы и изопреноидные углеводороды в донных осадках Карского моря // Океанология. – 1999. – № 2. – С. 228–232.

14. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 390 с.
15. Болота Западной Сибири. Их строение и гидрологический режим / под ред. К.Е. Иванова и С.М. Новикова. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 447 с.
16. Варшал Г.М., Кашеева И.Я., Велюканова Т.К. и др. Исследование состояния микроэлементов в поверхностных водах // Геохимия природных вод. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 205–215.
17. Вернадский В.И. Химические элементы, их классификация и формы нахождения в земной коре // Очерки геохимии. – Л.: Горгеонефтеиздат, 1934. – С. 23–50.
18. Вершинина Л.К., Крестовский О.И., Калюжный И.Л., Павлова К.К. Оценка потерь талых вод и прогнозы объема стока половодья. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 190 с.
19. Виссмен, У. мл., Харбаф Т.И., Кнэпп Д.У. Введение в гидрологию / перевод с англ. Е.Д. Гопченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 470 с.
20. Вода России. Речные бассейны / под ред. А.М. Черняева. – Екатеринбург: Изд-во «Аква-пресс», 2000. – 536 с.
21. Водные ресурсы СССР и их использование. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 302 с.
22. Воды России (состояние, использование, охрана). 1996–2000 гг. – Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. – 254 с.
23. Воскресенский С.С. Геоморфология Сибири. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 352 с.
24. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. – М.: Наука, 2007. – 279 с.
25. Генезис и свойства почв Томского приобья / под ред. М.Г. Танзыбаева. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1980. – 169 с.
26. Гидрогеология СССР. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина. – М.: Недра, 1970. – 368 с.
27. Гидрогеология СССР. Т. 17. Кемеровская область и Алтайский край. – М.: Недра, 1972. – 398 с.
28. Гидрологическая изученность. Т. 15, Алтай и Западная Сибирь, вып. 2, Средняя Обь. – М.: Гидрометецентр, 1967. – 250 с.
29. Гидрохимические показатели окружающей среды / под ред. Т.В. Гусевой. – М.: Эколайн, 2000. – 148 с.
30. Глобальная и региональная трансформация водного и химического стока в бассейне Оби под воздействием природных и антропогенных факторов (2003–2005 гг.). Отчёт по проекту № 167 СО РАН / под ред. Ю.И. Винокурова и С.Л. Шварцева. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2005. – 132 с.
31. ГОСТ 19179–73. Гидрология суши. Термины и определения. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1973. – 47 с.

32. ГОСТ 17.1.2.04–77. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1977. – 17 с.
33. ГОСТ 17-1.5.01–80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязнение. Дата введения 01.01.82.
34. ГОСТ 17.1.3.07–82. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1982. – 12 с.
35. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. Дата введения 01.01.1986.
36. ГОСТ 17.1.5.05–85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. Дата введения 1986-07-01.
37. ГОСТ Р 51592–2000. Вода. Общие требования к отбору проб. Дата введения 20001-07-01.
38. Гузняева М.Ю. Нефтепродукты и продукты органического синтеза в компонентах окружающей среды: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Томск, 2003. – 25 с.
39. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. – М.: Изд. центр ВЛАДОС, 1999. – 384 с.
40. Драйвер Дж. Геохимия природных вод / перевод с англ. Л.Н. Барабанова и Г.А. Соломина. – М.: Мир, 1985. – 440 с.
41. Дубровская Л. И., Земцов В. А. Изменение уровней реки Томи и грунтовых вод поймы в районе города Томска // Вопросы географии Сибири. – 1997. – Вып. 22. – С. 100–105.
42. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. В 2 т. Т. 2. – М.: Недра, 1990. – 427 с.
43. Дюкарев А.Г. Земельный фонд, его качественный состав и использование // Природные ресурсы Томской области / под ред. И.М. Гаджиева и А.А. Земцова. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 7–25.
44. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведения водоохраных мероприятий по территории деятельности Западно-Сибирского УГМС за 1996 год. В 2 ч. Ч. 2. – Новосибирск: ЗСУГМС, 1997. – 150 с.
45. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1983 г. Часть I. Реки и каналы. Том 1. Вып. 10. Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. – Новосибирск: ЗСУГМС, 1985.
46. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1985 г. Часть I. Реки и каналы. Том 1. Вып. 10. Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. – Новосибирск: ЗСУГМС, 1987.

47. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши в 1997 г. (Томская область) – Томск: Томский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1997.
48. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши в 2002 г. (Томская область) – Томск: Томский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2002.
49. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши в 2003 г. (Томская область) – Томск: Томский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2003.
50. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши в 2007 г. (Томская область) – Томск: Томский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2007.
51. Езупенок Е.Э. Содержание химических элементов в торфах и торфяных почвах южно-таежной подзоны Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2005. – 20 с.
52. Ермашова Н.А. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена Томской области в связи с решением вопросов водоснабжения и охраны: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Томск: Томск. политехн. ун-т, 1998. – 44 с.
53. Ермашова Н.А. Природный гидрогеохимический фон верхней гидродинамической зоны Среднего Приобья как основа оценки её экологического состояния // Обской вестник. – 1999. – № 3/4. – С. 106–112.
54. Ефремова Т.Т., Бажин Н.М., Гаджиев И.М. и др. Особенности метаногенеза на олиготрофных болотах Западной Сибири и оценка факторов среды в связи с корректной экстраполяцией потоков CH_4 на большие территории // Сибирский экологический журнал. – 1998. – № 6. – С. 563–570.
55. Земцов В.А. Оценка чувствительности стока р. Томь к изменениям климатических характеристик // География и природные ресурсы. – 1998. – № 8. – С. 176–183.
56. Земцов В.А. О многолетней изменчивости речного стока в Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. – 2003. – № 3 (IV). – С. 137–139.
57. Земцов В.А. Ресурсы поверхностного стока в бассейне Оби: основные закономерности и проблемы управления: автореф. дис. ... докт. географ. наук. – Томск: Томск. гос. ун-т, 2004. – 43 с.
58. Земцов В.А., Паромов В.В., Савичев О.Г. Изменения водного стока крупных рек юга Западной Сибири в XX столетии // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Матер. Всерос. научн. конф. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – С. 321–324.
59. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Крутовский А.О., Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы рек Сибири. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 182 с.

60. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.
61. Инишева Л.И., Архипов В.С., Маслов С.Г., Михантьева Л.С. Торфяные ресурсы Томской области и их использование. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – 88 с.
62. Инишева Л.И., Дубровская Л.И., Инишев Н.Г. Гидрологический режим верхового болота // Мелиорация и водное хозяйство. – 2008. – № 1. – с. 54–57.
63. Инишева Л.И., Инишев Н.Г. Элементы водного баланса и гидрохимическая характеристика олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири // Водные ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 410–417.
64. Каличкин В.К. Агроэкологические основы мелиораций кислых почв Западно-Сибирской равнины. – Новосибирск: РАСХН; Сиб. отдел. СибНИИЗХим, 1998. – 240 с.
65. Карта торфяных месторождений Западной Сибири масштаба 1:1000000: объяснительная записка / под. ред. Р.Г. Матухина. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 33 с.
66. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1993. – 383 с.
67. Конторович А.Э., Шварцев С.Л., Зуев В.А. и др. Органические микропримеси в пресных природных водах бассейнов Томь и Верхней Оби // Геохимия. – 2000. – № 5. – С. 533–544.
68. Крайнов С.Р., Шваров Ю.В., Гричук Д.В. и др. Методы гидрогеохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1988. – 254 с.
69. Крайнов С.Р., Швеи В.М. Гидрогеохимия. – М.: Недра, 1992. – 463 с.
70. Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. – М.: Изд-во МГУ, 1960. – 343 с.
71. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 200 с.
72. Летувнинкас А.И. Донные отложения водотоков: типоморфность загрязнителей и комплексность техногенных геохимических полей // Природокомплекс Томской области. Т. 1. Геология и экология. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – С. 213–223.
73. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 270 с.
74. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. – Тула: Изд-во «Гриф и К^о», 2001. – 584 с.

75. Лобченко Е.Е., Циркунов В.В., Кушенова Н.И. и др. Динамика качества поверхностных вод Советского Союза в 1981–1985 годах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 335 с.
76. Львов Ю.А. Болотные ресурсы // Природные ресурсы Томской области / под ред. И.М. Гаджиева и А.А. Земцова. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 67–83.
77. Льготин В.А., Макушин Ю.В., Савичев О.Г., Кириленко Т.Д. Особенности и факторы формирования гидрохимического состояния поверхностных водных объектов на территории Томской области // География и природные ресурсы. – 2005. – №1. – С.39–46.
78. Льготин В.А., Савичев О.Г., Нигороженко В.Я. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000–2005 гг. – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», «АГРАФ-ПРЕСС», 2006. – 88 с.
79. Льготин В.А., Савичев О.Г. Оценка допустимых сбросов загрязняющих веществ в болота Томской области // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007 – № 5. – С. 33–38.
80. Льготин В.А., Савичев О.Г., Макушин Ю.В. Многолетние изменения среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод верхней гидродинамической зоны в Томской области // Геоэкология. – 2010. – № 1. – С. 23–29.
81. Макушин Ю.В., Шинкаренко В.П., Савичев О.Г. Закономерности и особенности распределения химического состава подземных вод неоген-четвертичных отложений на территории Томской области // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. Труды научн. конф. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – С.89–91.
82. Малолетко А.М. Древние народы Сибири. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2002. – 286 с.
83. Малолетко А.М. Палеотопонимика. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1992. – 264 с.
84. Малолетко А.М. Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2008. – 288 с.
85. Маркова О.В., Плиткин Г.А., Андерсон А.Б., Хатькова Н.П. Водные ресурсы бассейна Оби, их естественные колебания и антропогенные изменения // Водные ресурсы тайги. – Иркутск: Изд-во ИГ СО АН СССР, 1984. – С. 5–24.
86. Махов Г.А., Бажин Н.М., Ефремова Т.Т. Эмиссия метана из болот междуречья рек Оби и Томь // Химия в интересах устойчивого развития. – 1994. – № 2. – С. 619–622.
87. Международное руководство по методам расчёта основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 247 с.

88. Мезенцев В.С. Гидрологические расчёты в мелиоративных целях. – Омск: Изд-во Омского сельхоз. ин-та, 1982. – 84 с.
89. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязнённых земель. – М.: Комитет РФ по земельным ресурсам и землеустройству, 1995. – 21 с.
90. Методические указания по расчету платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты. – М.: Гос. комитет РФ по охране окружающей среды, 1998. – 28 с.
91. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. – СПб.: «Крисмас+», 1999. – 232 с.
92. Наумов А.В., Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. К вопросу об эмиссии углекислого газа и метана из болотных почв южного Васюганья // Сибирский экологический журнал. – 1994. – № 3. – С. 269–274.
93. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 718 с.
94. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 17. Тюменская и Омская области. – СПб.: Гидрометеиздат, 1998. – 702 с.
95. Национальный атлас России. В 4-х томах. Т. 1. Общая характеристика территории. – М.: Роскартография, ФГУП «ГОСГИСЦЕНТР», 2005.
96. Нейштадт М.И. Болота Обь-Иртышского междуречья // Природные условия освоения междуречья Обь-Иртышья. – М.: ИГ АН СССР, 1972. – С. 322–346.
97. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.
98. Никитин С.П., Земцов В.А. Изменчивость полей гидрологических характеристик в Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1986. – 204 с.
99. Озёрский А.Ю. Микроэлементы в почвах городов западной части КАТЭКа // Основные проблемы охраны геологической среды. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – С. 103–105.
100. Озёрский А.Ю. Особенности микроэлементного состава донных отложений Красноярского водохранилища // География и природные ресурсы. – 2004. – № 4. – С. 79–86.
101. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. – М.: Наука, 1996. – 256 с.
102. Осипова Е.Ю. Геоэкология бассейна р. Томь и проблемы использования природных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Томск: Томск. гос. архитектурно-строительн. ун-т, 2000. – 20 с.

103. Основные гидрологические характеристики. Т.15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан, вып. 1. Верхняя и Средняя Обь. – Л.: Гидрометеопиздат, 1979. – 488 с.
104. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия / под ред. С.Л. Шварцева. – Новосибирск: Наука, 1982. – 286 с.
105. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика / под ред. И.С. Зекцера. – Новосибирск: Наука, 1983. – 241 с.
106. Павелко Е.С., Коновалов Г.С., Коренева В.И., Добровольская Н.И. Картирование химического состава поверхностных вод СССР // Гидрохимические материалы. – 1987. – Т. 97. – С. 13–19.
107. Парфёнова Г.К. Влияние урбанизации на сток растворенных веществ в бассейне р. Томь // Геоэкология. – 2003. – № 1. – С. 52–54.
108. Парфёнова Г.К. Многолетняя изменчивость ионно-солевого состава поверхностных вод в районах угледобычи (на примере рек Кемеровской области) // Геоэкология. – 2002. – № 4. – С. 326–332.
109. Парфёнова Г.К. Особенности формирования ионного стока рек в районах шахтных разработок Кузбасса // География и природные ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 39–43.
110. Парфёнова Г.К. Состояние качества воды рек Томь и Ушайки. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – 102 с.
111. Плевако Г.Л., Егоров Б.А., Жульмина Г.А. и др. Ведение государственного мониторинга состояния недр территории Западно-Сибирского региона (Томская, Новосибирская, Омская, Кемеровская области, Алтайский край, Республика Алтай) в 2002 году: Информационный бюллетень. Вып. 2 / под ред. В.А. Лыготина. – Томск: ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг», 2003. – 205 с.
112. Подземные воды мира. Ресурсы, использование, прогнозы / под ред. И.С. Зекцера. – М.: Наука, 2007. – 439 с.
113. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. – Новосибирск: «Наука», 1993. – 168 с.
114. Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С. 174–179.
115. Положение о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Утв. Постановлением Правительства РФ от 13.09.1996 г. № 1094.
116. Попков В.К., Воробьев Д.С., Лукьянцева Л.В. и др. Бассейн реки Васюган (средняя Обь) как модель пойменно-речной системы для изучения влияния нефтяного загрязнения на водные сообщества // Экологи-

- биогеохимические исследования в бассейне Оби / под ред В.В. Зуева. – Томск: Изд-во «РАСКО», 2002. – С. 220–243.
117. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.: Гидрометеиздат, 1963. – 395 с.
118. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под. ред. А.В. Рождественского и А.Г. Лобанова. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
119. Рассказов Н.М. Гидрогеохимия рудных районов юга Западной и Средней Сибири: автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук / Рассказов Николай Михайлович. – Томск : Томск. политехн. ун-т, 1993. – 45 с.
120. Рассказов Н.М., Удодов П.А., Назаров А.Д., Емельянова Т.Я. Болотные воды Томской области // Известия Томского политехнического института. – 1975. – Т. 297. – С. 102–117.
121. Рассказов Н.М., Туров Ю.П., Шварцев С.Л. Распределение органических компонентов в природных водах бассейна Верхней Оби по данным хроматомасс-спектрометрии // Основные проблемы охраны геологической среды: сб. статей. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – С.144–146.
122. Рассказов Н.М., Шварцев С.Л., Трифонова Н.А., Наливайко Н.Г. Нелетучие органические вещества и микроорганизмы в подземных водах района Крапивинского водохранилища на реке Томь (Кузбасс) // Геология и геофизика. – 1995. – № 4. – С. 30–36.
123. Рассказов Н.М., Савичев О.Г., Копылова Ю.Г., Романова Т.И. Региональные экогидрогеохимические особенности типовых ландшафтов (юг Западной Сибири) // Проблемы региональной гидрогеологии. Матер.конф. “Седьмые толстихинские чтения”, СПб: Изд-во Горн.ин-та, 1998. – С. 85–89.
124. Рассказов Н.М. Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-восточной части Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 4. – С. 55–58.
125. РД 52.24.309–92. Методические указания. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Роскомгидромета. – СПб.: Роскомгидромет, 1992. – 67 с.
126. РД 52.24.353–94. Рекомендации. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Дата введения 1995-10-01.
127. РД 52.24.609–99 . Методические указания. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Дата введения 2000-07-01.
128. РД 52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчётов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – М.: Росгидромет, 2001. – 68 с.

129. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15, Алтай и Западная Сибирь, вып. 2, Средняя Обь. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 408 с.
130. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / под ред. Е.В. Пиннекера, И.П. Васильева, Н.А. Ермашовой и др. – М.: Недра, 1991. – 262 с.
131. Риббе П.Х., Ридер Р.Дж., Голдсмит Дж.Р. Карбонаты: минералы и химия. – М.: Мир, 1987. – 496 с.
132. Рихванов Л.П., Нарзулаев С.Б., Язиков Е.Г. и др. Геохимия почв и здоровье детей Томска. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 1993. – 142 с.
133. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Грязнов С.А. и др. Предварительная оценка уровней накопления тяжелых металлов в почвах бассейна р. Обь // Природокомплекс Томской области. В 2-х т. – Т. 1. Геология и экология / Под ред. А.И. Гончаренко. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – С. 249–259.
134. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Грязнов С.А. и др. Предварительная оценка уровней накопления тяжелых металлов в почвах бассейна р. Обь // Природокомплекс Томской области. В 2 т. Т. 1. Геология и экология / под ред. А.И. Гончаренко. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – С. 249–259.
135. Рогов Г.М., Попов В.К. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 1985. – 192 с.
136. Рогов Г.М., Попов В.К., Осипова Е.Ю. Проблемы использования природных вод бассейна реки Томи для хозяйственно-питьевого водоснабжения. – Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2003. – 218 с.
137. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
138. Рудой А.Н. Гигантская рябь течения. – Томск: Изд-во Томск. гос. пед. ун-та, 2005. – 224 с.
139. Рузанова А.И., Воробьев Д.С. Трансформация донных сообществ в условиях нефтяного загрязнения // Экология пойм сибирских рек и Арктики: тр. 1 международн. совещ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – С. 71–78.
140. Савичев О.Г. Поступление антропогенных веществ в воды р. Томи // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – № 6. – С. 31–33.
141. Савичев О.Г. Пространственные и временные изменения химического состава речных бассейна Средней Оби // География и природные ресурсы. – 2000. – № 2. – С. 60–66.
142. Савичев О.Г. Математическая модель формирования содержания тяжелых металлов в речных водах (на примере р. Томи) // Инженерная экология. – 2002. – № 1. – С. 20–26.
143. Савичев О.Г., Наливайко Н.Г., Трифонова Н.А. Микробиологический состав речных вод бассейна Верхней и Средней Оби // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 2. – С. 173–180.

144. Савичев О.Г., Шварцев С.Л., Двуреченская С.Я. и др. Результаты геоэкологических исследований р. Томи в зимнюю межень // Эколого-геохимические исследования в бассейне Оби / под ред. В.В. Зуева, А.В. Куровского, С.Л. Шварцева. – Томск: Изд-во РАСКО, 2002. – С. 99–116.
145. Савичев О.Г., Нарожный Ю.К., Паромов В.В., Фахрутдинов Р.Ф. Химический и микробиологический состав водно-ледниковых объектов в бассейне р.Актру (Горный Алтай) // Материалы гляциологических исследований. – 2002. – Вып. 92. – С. 187–191.
146. Савичев О.Г., Колоколова О.В., Жуковская Е.А. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами // Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 108–119.
147. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, использование и охрана. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – 202 с.
148. Савичев О.Г., Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Шварцева Н.М. Гидрогеоэкологическая ситуация в бассейне реки Томи // География и природные ресурсы. – 2004. – Специальный выпуск. – С. 192–199.
149. Савичев О.Г. Влияние болот на гидрохимический сток в бассейне Средней Оби (в пределах Томской области) // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 3. – С. 47–50.
150. Савичев О.Г. Метод оценки допустимых антропогенных изменений химического состава поверхностных вод // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 4. – С. 51–55.
151. Савичев О.Г., Скугарев А.А. Распространение и гидрохимические особенности болотного процесса на территории Томской области // Гидрогеология, инженерная геология и гидрогеоэкология: Матер. научн. конф., посвящ. 75-летию кафедры ГИГЭ Томского политехн. ун-та / под ред. С.Л. Шварцева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – С. 174–182.
152. Савичев О.Г. Оценка влияния сбросов сточных вод на минерализацию и общее содержание органических веществ в водах Томи // Известия Томского политехнического университета, 2005, Т.308, №. 1, С. 44-47.
153. Савичев О.Г. Гидрохимический сток рек бассейна Средней Оби и его природно-антропогенная трансформация: дис. ... доктора географ. наук. – Томск: Томск. политехн. ун-т, 2005. – 391 с.
154. Савичев О.Г., Базанов В.А., Скугарев А.А. Оценка допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2006. – 82 с.
155. Савичев О.Г., Базанов В.А. Химический состав донных отложений реки Васюган и ее притоков // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 3. – С. 37-41.

156. Савичев О.Г. Математическое моделирование и прогноз русловых деформаций р. Томи в черте г. Томска (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 118–122.
157. Савичев О.Г. Сток влекомых наносов реки Томь (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 3. – С. 22–25.
158. Савичев О.Г. Оценка русловых деформаций в бассейнах рек Васюган и Парабель (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 82–87.
159. Савичев О.Г., Харанжевская Ю.А. Многолетние изменения гидроклиматических условий в бассейне реки Чая (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 82–87.
160. Савичев О.Г., Льготин В.А. Пространственные изменения химического состава донных отложений рек Томской области // География и природные ресурсы. – 2008. – № 3. – С. 46–51.
161. Савичев О.Г., Скугарев А.А. Оценка опасности затопления приречных территорий рек Оби и Томи в пределах Томской области // Геоинформатика. – 2008. – № 2. – С. 61–66.
162. Савичев О.Г. Химический состав болотных вод на территории Томской области (Западная Сибирь) и их взаимодействие с минеральными и органоминеральными соединениями // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 1. – С. 72–77.
163. Савичев О.Г., Кузеванов К.И., Хвощевская А.А., Янковский В.В. Экологическое нормирование: Методы расчета допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. Ч.1: учебное пособие. 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2009. – 106 с.
164. Савичев О.Г. Влияние взаимодействий в системе вода–порода на формирование состава речных вод бассейна Оби // География и природные ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 74–80.
165. Савичев О.Г. Гидрохимический сток в бассейне Средней Оби и условия его формирования // Вопросы географии Сибири: сб. статей. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2009. – С. 17–22.
166. Савичев О.Г. Подземная составляющая стока рек бассейна Средней Оби // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 37–39.
167. Савичев О.Г., Базанов В.А., Скугарев А.А., Харанжевская Ю.А., Шмаков А.В. Водный и гидрохимический режим восточной части Васюганского болота (Западная Сибирь, Россия) // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 1. – С. 119–124.
168. Савичев О.Г., Иванов А.О. Атмосферные выпадения в бассейне Средней Оби и их влияние на гидрохимический сток рек // Известия РАН. Серия географическая. – 2010. – № 1. – С. 63–70.

169. Санитарно-гигиенический очерк г. Кемерово. – Новосибирск : Краевой санэпидемнадзор, 1937. – 40 с.
170. СанПиН 2.1.5.980–00. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. – М.: Минздрав России, 2000 – 23 с.
171. СанПиН 2.1.4.1074–01. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Питьевая вода и водоснабжение населённых мест. – М.: Минздрав России, 2001 – 14 с.
172. Сарнаев С.И., Рихванов Л.П., Мерзляков А.Л. Оценка экологической обстановки в г. Северске по результатам геохимического исследования природных сред // Природокомплекс Томской области. В 2 т. Т. 1. Геология и экология. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – С. 224–231.
173. Свидание с природой / составитель и ред. Н.Н. Зеленин. – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1971. – 528 с.
174. Сводное заключение экспертной комиссии Государственной экологической экспертизы Министерства экологии и природных ресурсов по рассмотрению проекта строительства Крапивинского водохранилища на р. Томь. – Новосибирск: СО РАН, 1992. – 25 с.
175. Седых В.Н. Леса Западной Сибири и нефтегазовый комплекс. – М.: Экология, 1996. – Вып. 1. – 36 с.
176. Славнина Т.П., Пашнева Г.Е., Кахаткина М.И. и др. Почвы поймы Средней Оби, их мелиоративное состояние и агрохимическая характеристика. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1981. – 226 с.
177. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
178. Состояние геологической среды (недр) на территории Томской области в 2000 г. / под ред. В.А. Льготина. – Томск: ОГУП «Томскгеомониторинг», 2001. – Вып. 6. – 180 с.
179. Состояние геологической среды на территории Томской области в 2001 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2002. – Вып. 7. – 134 с.
180. Состояние геологической среды на территории Томской области в 2002 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2003. – Вып. 8. – 140 с.
181. Состояние геологической среды (недр) Сибирского федерального округа в 2005 г.: Информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина. – Вып. 2. – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», 2006 г. – 166 с.
182. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2007 г.: Информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина. – Вып. 4. – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», 2008 г. – 194 с.

183. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2008 г.: Информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина. – Вып. 5. – Томск: ОАО “Томскгеомониторинг”, 2009 г. – 166 с.
184. Состояние геологической среды на территории Западно-Сибирского региона в 2001 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина. – Томск : ТЦ Томскгеомониторинг, 2002. – Вып. 1. – 82 с.
185. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 1999 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2000. – Вып. 2. – 39 с.
186. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2001. – Вып. 3. – 86 с.
187. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2001 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2002. – Вып. 4. – 82 с.
188. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2002 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2003. – Вып. 5 – 84 с.
189. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2003 г.: информационный бюллетень / под ред. В.А. Льготина и Ю.В. Макушина. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2004. – 16 с.
190. СП 33-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 72 с.
191. Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 391 с.
192. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири: автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Новосибирск: Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, 2004. – 32 с.
193. Территориальная комплексная программа охраны окружающей среды Кемеровской области до 2005 года. Т. 1–3. – Кемерово : Администрация Кемеровской области, 1993. – 200 с.
194. Территориальная комплексная программа охраны окружающей среды Кемеровской области до 2005 года. Т. 4, 5. – Кемерово : Администрация Кемеровской области, 1993. – 179 с.

195. Территориальная программа рационального использования, восстановления и охраны водных объектов Томской области до 2010 года. – Томск: ТЦ «Томскгеомониторинг», 2003. – 24 с.
196. Тимофеева П.П., Боголюбова Л.И. Геохимия органического вещества голоценовых отложений в областях приморского торфонакопления. – М.: Наука, 1999. – 220 с.
197. Томская область в цифрах и фактах. – Томск: Томск. областн. управл. статистики, 1994. – 69 с.
198. Торфяные ресурсы СССР. – М.: Геолфонд СССР, 1982. – 352 с.
199. Трофимов С.С., Щербинин В.И., Реймхе В.В. и др. Основы использования и охраны почв Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1989. – 226 с.
200. Туров Ю.П., Пирогова И.Д., Гузняева М.Ю., Ермашова Н.А. Органические микропримеси в природных водах в районе г. Стрежевого // Водные ресурсы. – 1998. – № 4. – С. 455–461.
201. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 168 с.
202. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – 2-е изд. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
203. Шварцев С.Л., Савичев О.Г., Вертман Е.Г. и др. Эколого-геохимическое состояние речных вод Средней Оби // Водные ресурсы. – 1996. – № 6. – С. 723–731.
204. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Эколого-геохимическое состояние крупных притоков Средней Оби // Водные ресурсы. – 1997. – № 6. – С. 762–768.
205. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Савичев О.Г. Состав и формы миграции микрокомпонентов в подземных водах бассейна среднего течения р. Томи // Геология и геофизика. – 1997. – №12. – С. 1953–1959.
206. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Базовые пункты гидрогеохимических наблюдений – новая методологическая основа для решения водно-экологических проблем (на примере бассейна Верхней и Средней Оби) // Обской вестник. – 1999. – № 3–4. – С. 27–32.
207. Шварцев С.Л., Савичев О.Г., Хващевская А.А. и др. Комплексные эколого-геохимические исследования вод р. Оби // Экология пойм сибирских рек и Арктики. Тр. I Межрегион. совещ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – С. 110–115.
208. Шварцев С.Л., Колмаков Ю.С., Савичев О.Г. Базовые пункты гидрогеохимических наблюдений в бассейне Верхней Оби в 1998 году // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 2–5.
209. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Сидоренко Т.Н., Здвижков М.А. Геохимия природных вод района Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. Сб. статей. – Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С. 139–149.

210. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Современное эколого-геохимическое состояние Томи и ее притоков // Эколого-геохимические исследования в бассейне Оби / под ред. В.В. Зуева, А.В. Куровского, С.Л. Шварцева. – Томск: Изд-во РАСКО, 2002. – С. 87–99.
211. Шварцев С.Л., Домрочева Е.В., Савичев О.Г. Базовые пункты гидрогеохимических наблюдений в бассейне Верхней Оби в 1999 г. // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. Труды научн. конф. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – С. 289–294.
212. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Качество речных вод и проблемы управления водопользованием в бассейне реки Томь // Вычислительные технологии. – 2006. – Т.11. – Специальный выпуск – Ч. 2. – С. 67–78.
213. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Савичев О.Г. Ресурсы подземных вод Томской области // Рациональное использование природных ресурсов и комплексный экологический мониторинг окружающей среды. Материалы Международн. школы-семинара. Томска, 14-16.12.2006. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2006. – С. 72–76.
214. Эйрих А.К. Разработка метода оценки загрязненности рек тяжелыми металлами для системы экологического мониторинга: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Барнаул, 2003. – 20 с.
215. Экзогенные геологические процессы на территории Томской области в 2001 г.: Информационный бюллетень. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2002. Вып. 7. – 80 с.
216. Экзогенные геологические процессы на территории Томской области в 2003 г.: Информационный бюллетень. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2004. Вып. 9. – 75 с.
217. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / под ред. Г.В. Полякова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН; НИЦ ОИГГиМ, 1996. – 248 с.
218. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1995 году: обзор. – Томск : Госкомэкологии Томской области, 1996. – 178 с.
219. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1996 году: обзор. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 1997. – 202 с.
220. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1997 году: обзор. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 1998. – 258 с.
221. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1998 году: обзор. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 1999. – 231 с.

222. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1999 году: обзор. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 2000. – 250 с.
223. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 2001 году: обзор / Управление охраны окружающей среды Администрации Томской области; ОГУ «Облкомприрода». – Томск: Дельтаплан, 2002. – 138 с.
224. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 2002 году: обзор / Управление охраны окружающей среды Администрации Томской области; ОГУ «Облкомприрода». – Томск: Дельтаплан, 2003. – 156 с.
225. Экология Северного промышленного узла г. Томска. Проблемы и решения / под ред. А.М. Адама. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1994. – 260 с.
226. Andersen G.M. Thermodynamics of natural systems. – New York: Jhon Wiley&Sons.Inc., 1996. – 350 p.
227. Bleuten W., Lapshina E., Ivens W. et al. Ecosystem recovery and natural degradation of spilled crude oil in peat bog ecosystems of West-Siberia // International Peat Journal. – 1999. – V. 9. – Pp. 73–82.
228. L'gotin Victor A., Savichev Oleg G. Scale estimation and intensity of exogenous geological processes in Western Siberia with use of the remote data (by the example of Tomsk region, Russia) // AIP Conference Proceedings Volume 1009. GIS in geology and earth sciences: 4th International Conference "In Vista of New Approaches for the Geoinformatics". Queretaro (Mexico), 22–26 October 2007. ISBN: 978-0-7354-0528-8. Melville, New York, 2008. Pp. 212-220.
229. Shvartsev S.L., Rasskazov N.M., Savichev O.G. Geochemistry and pollution of ground waters of Tom river basin // Hydrogeology and land use management: proc. XXIX congress of international association of hydrogeologists. – Bratislava, 1999. – P. 503–508.

Приложение 1.

Морфометрические характеристики рек и их водосборов
[28, 103]

Река – пункт	Куда впадает (берег)	L_n , км	F , км ²	$I_{ср}$, ‰	$H_{в}$, м	f_o , %	f_b , %	f_l , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
р. Обь								
Устье	Обская губа	3650	2990000	–	–	–	–	1
г. Новосибирск	–//–	687	252000	–	–	–	–	–
с. Дубровино	–//–	774	258000	–	–	–	–	–
с. Кожевниково	–//–	890	263000	–	–	–	–	–
с. Победа	–//–	928	264000	–	–	–	–	–
с. Никольское	–//–	1016	268000	–	–	–	–	–
с. Молчаново	–//–	1093	343000	–	–	–	–	–
с. Колпашево	–//–	1228	486000	–	–	–	–	–
с. Каргасок	–//–	1470	641000	–	–	–	–	–
с. Прохоркино	–//–	1625	738000	–	–	–	–	–
с. Александровское, 1 км выше	–//–	1820	765000	–	–	–	–	–
г. Нижневартовск	–//–	1939	853000	–	–	–	–	–
Бассейн р. Томь								
Томь – устье	Обь (пр)	827	62000	–	–	–	–	–
Томь – с. Поломошное	–//–	652	51400	–	–	–	–	–
Томь – с. Ярское	–//–	705	54900	–	–	–	–	–
Томь – г. Томск, ю.ч.	–//–	752	57000	–	–	–	–	–
Томь – г. Томск, пристань	–//–	759	57800	–	–	–	–	–
Томь – с. Козюлино	–//–	814	61400	–	–	–	–	–
Басандайка – п. Басандайка	Томь (пр)	55	402	5,08	180	0	<5	75
Ушайка – п. Степановка	то же	52	713	2,65	180	0	0	80
Бассейн р. Чулым								
Чулым – устье	Обь (пр)	1799	134000	–	–	–	–	–
Чулым – с. Тегульдет	–//–	1201	55300	–	–	–	–	–
Чулым – с. Зырянское	–//–	1426	92500	–	–	–	–	–

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Чулым – с. Батурино	–//–	1663	131000	–	–	–	–	–
Кия – устье	Чулым (лв)	548	32200	–	–	–	–	–
Кия – г. Мариинск	–//–	292	9820	3,60	410	1	5	70
Кия – с. Окунеево	–//–	486	14900	2,10	320	1	5	70
Четь – с. Конторка	Кия (пр)	279	11500	0,60	200	1	5	70
Яя – пгт. Яя	то же Чу- лым (лв)	180	3460	0,60	0,60	1	5	80
Яя – с. Усманка	то же	297	10200	0,52	230	1	5	70
Чичка-Юл – п. Франца	Чулым (пр)то же	336	5210	0,26	160	1	5	94
Улу-Юл – п. Аргат- Юл	то Чулым (пр) же	341	7720	0,28	150	1	10	89
Бассейн р. Чая								
Чая – устье	Обь (лв)	194	27200	–	–	–	–	–
Чая – с. Подгорное	то же	58	25000	0,21	120	1	35	60
Бакчар – устье	Чая (пр)	348	7310	–	–	–	–	–
Бакчар – с. Полынянка	то же	144	2040	0,35	130	<1	24	75
Бакчар – с. Гореловка	–//–	314	6610	0,19	120	1	40	50
Ключ – с. Полынянка	Бакчар (лв)	7,3	44	1,85	110	0	15	80
Андарма – устье	Парбиг (пр)	232	3070	–	–	–	–	–
Андарма – с. Паныхево	то же	140	2330	0,31	130	1	35	60
Икса – устье	Чая (пр)	430	6130	–	–	–	–	–
Икса – с. Плотниково	то же	(168)	2560	0,20	130	1	49	50
Бассейн р. Кеть								
Кеть – устье	Обь (пр)	1621	94200	–	–	–	–	–
Кеть – с. Усть- Озерное	–//–	884	32300	0,30	170	1	9	90
Кеть – п. Максимкин Яр	–//–	1010	38400	0,27	160	1	10	80
Кеть – д. Родионовка	–//–	–	–	–	–	–	–	–
Кеть – с. Волково	–//–	–	–	–	–	–	–	–
Пайдугина – устье	Кеть (пр)	458	8790	–	–	–	–	–
Пайдугина – с. Березовка	то же	281	6500	0,29	130	1	30	65

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Бассейн р. Парабель								
Парабель – устье	Обь (лв)	308	25500	–	–	–	–	–
Парабель – с. Новиково	то же	33	17900	0,08	120	1	40	59
Кенга – п. Центральный	Парабель (пр)	371	7440	0,15	120	1	40	50
Чузик – п. Осипово	то же	309	7090	0,19	120	1	35	64
Бассейн р. Васюган								
Васюган – устье	Обь (лв)	1082	61800	–	–	–	–	–
Васюган – п. Майск	то же	222	3730	0,19	130	1	35	64
Васюган – п. Новый Васюган	–//–	506	19000	0,12	120	1	35	64
Васюган – с. Средний Васюган	–//–	812	31700	0,09	110	2	40	58
Васюган – с. Наунак	–//–	–	–	–	–	–	–	–
Нюролька – с. Мыльджино	Васюган (пр)	333	8040	0,22	100	1	19	80
Чижапка – п. Усть-Чурулька	то же	422	10200	0,20	110	1	24	75
Бассейн р. Тым								
Тым – устье	Обь (пр)	950	32300	–	–	–	–	–
Тым – с. Ванжиль-Кынак	то же	388	10100	0,18	140	6	10	80
Тым – с. Напас	–//–	678	24500	0,15	120	3	25	70
Сангилька – п. Киевский	Тым (пр)	295	4270	0,25	90	<1	20	75
Польта – устье	Тым (лв)	61	1930	–	–	–	–	–
Бассейн р. Шегарка								
Шегарка – устье	Обь (лв)	382	12000	–	–	–	–	–
Шегарка – с. Пономаревка	то же	46	1260	0,61	140	1	30	40
Шегарка – с. Бабарыкино	–//–	205	8190	0,30	130	1	25	45

Примечания: $L_{г.л.у}$ – расстояние от устья рассматриваемого водотока до устья главной реки; $L_{и}$ – длина реки от истока; F – площадь водосбора; $I_{ср}$ – средний уклон реки; $H_{в}$ – средняя высота водосбора; f_o – озерность водосбора; $f_{\bar{o}}$ – заболоченность водосбора; $f_{л}$ – лесистость водосбора

Оглавление

Введение	3
1. Исходные данные и методика исследования	5
1.1. Исходные данные	6
1.2. Методика полевых и лабораторных гидрохимических исследований	8
1.3. Методика обобщения и анализа гидрохимических и гидрологических данных	10
1.4. Методика изучения водного баланса	13
1.5. Методика оценки подземного стока	15
1.6. Методика термодинамических расчётов	17
2. Природные условия формирования водных ресурсов и их качества .	19
2.1. Общая характеристика района исследований	19
2.2. Климат и химический состав атмосферных осадков	20
2.3. Геологические и геоморфологические условия	31
2.4. Почвенно-растительный покров.....	32
2.5. Краткие выводы	35
3. Реки.....	36
3.1. Общие сведения о реках	36
3.2. Уровенный режим и оценка затапливаемости приречных территорий.....	42
3.3. Водный сток и водный режим	53
3.4. Русловые процессы и сток наносов.....	64
3.4.1. Общая характеристика	64
3.4.2. Оценка русловых деформаций и твёрдого стока р. Томь	71
3.5. Термический и ледовый режим	80
3.6. Гидрохимический режим и качество вод.....	88
3.6.1. Общая характеристика химического состава и качества речных вод	88
3.6.2. Многолетние изменения химического состава речных вод.....	113
3.6.3. Внутригодовые изменения химического состава речных вод..	122
3.7. Геохимия донных отложений	153
3.8. Микробиоценозы.....	159
3.9. Краткие выводы	161
4.1. Общие сведения о водоёмах	163
4.2. Химический состав озёрных вод	167
4.3. Химический состав вод прудов и водохранилищ	169
4.4. Краткие выводы	171
5.1. Общие сведения о болотах	174
5.2. Общая характеристика водных ресурсов и гидрологического	

режима болот.....	176
5.3. Гидрохимический режим	180
5.4. Краткие выводы	192
6. Подземные воды зоны активного водообмена	193
6.1. Общие сведения о подземных водах региона.....	193
6.2. Гидродинамический режим	195
6.2.1. Общая характеристика гидродинамического режима.....	195
6.2.2. Многолетние изменения уровней вод четвертичных и палеогеновых отложений вне зон явного антропогенного влияния ..	196
6.3. Ресурсы подземных вод и их многолетние изменения	203
6.4. Химический состав подземных вод	211
6.5. Краткие выводы	215
7. Использование водных ресурсов и негативное воздействие вод	216
7.1. Водопотребление.....	217
7.2. Водоотведение.....	218
7.3. Другие виды водопользования	220
7.4. Негативное воздействие вод	222
7.5. Краткие выводы	224
Заключение	225
Список литературы	226

Научное издание

САВИЧЕВ Олег Геннадьевич

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Многография

Компьютерная вёрстка О.Г. Савичев

Дизайн обложки А.С. Пыжик

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 27.04.2010. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л.14,42. Уч.-изд.л. 13,05.

Заказ 718-10. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru