

На правах рукописи



Савичев Олег Геннадьевич

**Гидрохимический сток рек бассейна Средней Оби
и его природно-антропогенная трансформация**

Специальности:

25.00.36 – геоэкология

25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Автореферат

**диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук**

Барнаул – 2005

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Шварцев Степан Львович

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Ревякин Виктор Семенович

доктор географических наук, профессор
Белоненко Геннадий Васильевич

доктор географических наук, профессор
Кочуров Борис Иванович

Ведущая организация: Институт водных и экологических проблем
ДВО РАН (г. Хабаровск)

Защита состоится 24 октября 2005 г. в 10 час. на заседании диссертационного совета Д 003.008.01 в Институте водных и экологических проблем (ИВЭП) СО РАН по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1. Факс (385-2) 24-03-96.

E-mail: rotanova@iwep.asu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул)

Автореферат разослан « 1 » сентября 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 003.008.01
кандидат географических наук



И.Н. Ротанова

2006-4
19753

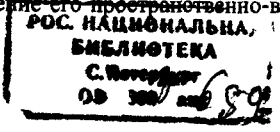
2176716

Общая характеристика работы

Актуальность. Гидрохимический сток служит важным показателем функционирования природно-территориальных комплексов, характеризующим перемещение и трансформацию веществ и энергии в водосборных бассейнах. В связи с этим знание величины гидрохимического стока, общих закономерностей его формирования и пространственно-временных изменений является необходимым условием выявления механизмов и масштабов взаимодействий между компонентами природной среды и объективной оценки геоэкологического состояния территорий. От того, насколько полными и точными будут эти знания, во многом зависит не только эффективность отдельных водоохраных мероприятий, но и направление природоохранной деятельности в целом.

Значительный вклад в решение проблемы определения гидрохимического стока, выявления условий его формирования под воздействием природных и антропогенных факторов внесли О.А. Алекин, Р.А. Бернер, Л.В. Бражникова, Е.В. Веницианов, В.И. Вернадский, Ю.И. Винокуров, В.В. Гордеев, Р.Г. Джамалов, В.П. Зверев, А.П. Лисицын, М. Мейбек, А.М. Никаноров, В.С. Савенко, А.М. Черняев, С.Л. Шварцев и другие. Тем не менее, эта проблема еще далека от решения, в том числе в средней части бассейна р. Обь. Недостаток достоверной информации о современном гидрохимическом стоке, его распределении по водосбору и природно-антропогенной трансформации в последние десятилетия негативно сказывается на всем процессе управления водными ресурсами данной территории, а следовательно, и социально-экономическом развитии региона, что определило цель, объект и методы рассматриваемых исследований.

Цель работы состоит в оценке гидрохимического стока рек бассейна Средней Оби, выявлении и анализе его природно-антропогенной трансформации. В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи: 1) оценка среднесуточного суммарного водного стока, его подземной составляющей и выявление их долгосрочных изменений; 2) оценка среднесуточного химического состава речных и подземных вод и выявление его пространственно-временных



изменений; 3) оценка нормы суммарного гидрохимического стока, его подземной составляющей и выявление их долгосрочных изменений; 4) анализ условий формирования гидрохимического стока и оценка его природно-антропогенной трансформации.

Объект и методы исследований. Объектом исследований является бассейн р. Обь на участке от устья р. Томь, включая водосбор последней, до устья р. Иртыш. Выбор объекта обусловлен напряженной геозкологической ситуацией на данной территории, отсутствием или дефицитом достоверных сведений о современном химическом составе речных вод, гидрохимическом стоке, условиях его формирования и закономерностях пространственно-временных изменений. Выполненное исследование базируется на бассейновом подходе и широком использовании географо-гидрологического, ландшафтно-геохимического, статистических методов и методов математического моделирования гидрохимических процессов.

Исходные материалы. Используются данные многолетних гидрометрических (с 1895-1936 гг. по 2003 г.), гидрогеологических (с 1965-1976 гг. по 2003 г.) и гидрохимических (с 1937-1950 гг. по 2005 г.) наблюдений в бассейне р. Обь, проводимых Росгидрометом, Томским политехническим университетом (ТПУ), Томским филиалом Института геологии нефти и газа (ТФ ИГНГ) СО РАН и государственным предприятием Территориальный центр «Томскгеомониторинг» (ТЦ «Томскгеомониторинг»), включая материалы, полученные в последних трех организациях в течение 1993-2005 гг. при непосредственном участии автора. Кроме того, учитывались опубликованные данные Института водных и экологических проблем (ИВЭП) СО РАН, Томского государственного университета (ТГУ) и ряда других организаций. Помимо гидрохимических и гидрометрических материалов широко использовались водохозяйственные данные территориальных подразделений Министерства природных ресурсов России и Администрации Томской области.

Личный вклад в решение в проблемы. Защищаемые положения разработаны и сформулированы лично автором в процессе работы в ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН и ТЦ «Томскгеомониторинг» в результате проведения научных исследований в бассейне р. Обь и государственного мониторинга поверхностных водных объек-

тов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области. Ряд результатов, имеющих в данной работе вспомогательный характер и касающихся получения гидрохимической информации, изучения проблем водопользования и колебаний водного стока, получен совместно с д.г.-м.н. С.Л. Шварцевым, д.г.-м.н. Н.М. Рассказовым, к.г.-м.н. В.А. Льготиним, к.г.-м.н. Ю.В. Макушиным, д.г.-н. В.А. Земцовым, к.г.-н. В.В. Паромовым, к.б.н. В.А. Базановым и некоторыми другими специалистами.

Защищаемые положения.

1. На основе данных количественной оценки суммарного и подземного гидрохимического стока в бассейне Средней Оби показано, что распределение по рассматриваемой территории гидрохимического стока и соотношения его поверхностной и подземной составляющих в целом подчиняется зональным закономерностям изменений интенсивности водообмена и условий взаимодействий в системе «вода – порода».

2. В результате совместного анализа многолетних изменений химического состава природных вод, водного стока и уровня режима грунтовых вод установлено, что с 1970-х гг. до начала 2000-х гг. норма суммарного годового гидрохимического стока в бассейне Средней Оби остается неизменной, а отклонения от нее связаны в основном с колебаниями водности; в то же время, происходит постепенное изменение внутригодового распределения гидрохимического стока за счет увеличения его подземной составляющей.

3. Большая часть гидрохимического стока в бассейне Средней Оби, представленная макрокомпонентами и трудноокисляемыми органическими веществами по величине ХПК, формируется в результате действия природных факторов; главной особенностью его природной трансформации является постепенное увеличение стока органических веществ вследствие прогрессирующего заболачивания водосборной территории.

4. Антропогенная трансформация гидрохимического стока в течение 1970-2000-х гг. в основном проявляется в поступлении в речную сеть высокотоксичных техногенных органических микропримесей, увеличении выноса углеводов,

легкоокисляемых органических веществ по БПК₅, неорганических соединений азота, микроорганизмов и связана, прежде всего, с загрязнением атмосферного воздуха и неорганизованным поступлением веществ с урбанизированных территорий.

5. Любое внешнее воздействие на химический состав речных вод в бассейне Средней Оби, включая сбросы стоков, является нелинейным, а резкое и относительно долгосрочное увеличение концентрации какого-либо вещества в воде возможно только при существенном одновременном увеличении концентраций большинства основных компонентов химического состава вод, что обычно возможно только на локальных участках и/или в течение непродолжительного интервала времени.

Научная новизна. Впервые на основе бассейнового подхода и комплексного анализа обширной гидрохимической, гидрометрической и гидрогеологической информации выполнено определение современного суммарного и подземного гидрохимического стока Средней Оби и ее притоков, выявлены закономерности его пространственно-временных изменений, получена цельная и объективная картина современного эколого-геохимического состояния природных вод на территории с площадью около 500 тыс. км². На основе предложенного автором комплекса взаимосвязанных методик количественно оценен вклад наиболее важных факторов в формирование гидрохимического стока на рассматриваемой территории, установлены и охарактеризованы основные тенденции и причины его природно-антропогенной трансформации в 1970-2000-е гг., в значительной мере связанные с протекающими на рассматриваемой территории болотными процессами, долгосрочными изменениями водного режима, неорганизованным антропогенным поступлением веществ с урбанизированных территорий и загрязнением атмосферного воздуха. В результате региональных обобщений гидрохимической и водохозяйственной информации и математического моделирования гидрохимических процессов впервые представлен механизм поддержания относительно стабильного химического состава речных вод и гидрохимического стока. Показано, что сброс сточных вод в Среднюю Обь и ее притоки по сосредоточенным выпускам оказывает заметное влияние на состояние водных объектов обычно на локальных участках и

существенно уступает по степени воздействия другим антропогенным и природным факторам. На примере рек региона впервые обоснованы зависимости между гидрохимическими показателями и интенсивностью водообмена, использование которых позволяет объективно оценить «фоновый» уровень содержания веществ в речных водах, сложившийся в конкретных природно-антропогенных условиях.

Практическое значение работы. Материалы исследований использовались при ведении государственного мониторинга состояния водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области (ТЦ «Томскгеомониторинг», контракты № 13 от 07.06.2002, № 4 от 11.02.2003, № 1/03 от 30.06.2003) и решении вопросов, связанных с оценкой существующего и допустимого антропогенного воздействия на водные объекты, прогнозом изменений состояния водных объектов в процессе выполнения научно-исследовательских работ по 24 проектам, в том числе по 17 темам, где автор являлся ответственным исполнителем. Среди последних необходимо отметить следующие темы: «Доработка федеральной целевой программы «Коренное улучшение водохозяйственной и экологической обстановки в бассейне р. Томи»» (ТФ ИГНГ СО РАН, № 31/96), «Анализ качества поверхностных и подземных вод в бассейне р. Томи. Оценка воздействия строительства Крапивинского гидроузла на подземные воды» (ТФ ИГНГ СО РАН, № 5-2000), «Разработка территориальной программы рационального использования, восстановления и охраны водных объектов Томской области до 2010 года» (ТЦ «Томскгеомониторинг», № 20 от 03.09.2002 г.). Кроме того, результаты работы использовались при разработке «Временных методических указаний по проведению расчетов фоновых концентраций веществ в болотных водах и предельно допустимых сбросов (ПДС) вредных веществ в болота со сточными водами» (введены в действие на территории Томской области приказом по ГУПРиООС № 0533/з от 23.07.2003 г.), а также в процессе ведения учебных занятий в ТПУ.

Апробация работы и публикации. Материалы по диссертационной теме докладывались и обсуждались на 19 международных и российских научных конференциях, проходивших в гг. Томске (1995–1998, 2000, 2001, 2003, 2004 гг.), Новосибирске (1995 г.), Красноярске (1997 г.), Москве (1998 г.), в том числе на рос-

сийской научной конференции “Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов” (г. Томск, 2000 г.), XXVII Пленуме Геоморфологической комиссии РАН (г. Томск, 2003 г.), международной научной конференции «Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии» (г. Томск, 2004 г.). По теме диссертации опубликовано 96 работ, включая одну монографию и два учебных пособия. Основные результаты приведены в 33 работах, в том числе в 20 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК России.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 470 наименований общим объемом 391 страница машинописного текста, содержит 67 рисунков, 100 таблиц и 3 приложения.

Благодарности. Автор выражает глубочайшую признательность, прежде всего, научному консультанту проф. С.Л. Шварцеву, а также проф. Н.М. Рассказову, к.г.-м.н. В.А. Лыготину, к.г.-м.н. Ю.В. Макушину, к.б.н. О.Г. Савичевой, к.б.н. В.А. Базанову, д.ф.-м.н. М.М. Немировичу-Данченко, д.г.н. В.А. Земцову, к.г.н. В.В. Паромову, С.Ю. Краснощекову, д-ру И.Н. Эзау, Л.В. Мешковой, Б.А. Егорову, Т.Д. Кириленко и всем сотрудникам кафедры ГИГЭ ТПУ и кафедры гидрологии ТГУ за помощь в проведении исследований, плодотворное обсуждение полученных результатов и конструктивную критику.

Содержание и основные положения работы

1. Изученность гидрохимического стока и условий его формирования

В процессе глобального круговорота воды происходит ее непрерывное взаимодействие с породами и перемещение огромного количества растворенных веществ. В результате осуществляется никогда не прекращающееся преобразование земной коры, а в соответствии с «принципом неразрывной связи живого и мертвого», обоснованным В.И. Вернадским, и эволюция биосферы [Вернадский, 1940; Шварцев, 1998; Зверев, 1999 и др.]. С учетом этого гидрохимический сток играет исключительно важную роль в функционировании биогеоценозов разного уровня и, в свою очередь, отражает наиболее существенные изменения в их структуре и

эколого-геохимическом состоянии водных объектов. Данное обстоятельство позволяет рассматривать проблему формирования и изменений гидрохимического стока как составную часть более общих проблем взаимодействия геосфер, естественных и антропогенных изменений природной среды и климата [Алекин, Бражникова, 1964; Перельман, 1975; Савенко, 1999 и др.].

Изучением этой проблемы в разное время занимались многие известные ученые, в том числе указанные выше авторы, а также Р.М. Гаррелс, И.К. Карпов, С.Р. Крайнов, А.С. Ласага, А. Лерман, Ф.Т. Макензи, А.М. Никаноров, Т. Пачес, А.И. Перельман, Е.В. Посохов, Ф.П. Саваренский, В.М. Швец, О.В. Чудаев и многие другие. Благодаря их работам были установлены масштабы денудации суши и величины массопотоков поверхностной и подземной гидросферы на уровне планеты, континентов, водосборных бассейнов океанов и морей. Достаточно много сделано и в плане изучения механизмов формирования химического состава природных вод верхней гидродинамической зоны. Тем не менее, многие вопросы, связанные с необходимостью изучения распределения гидрохимического стока внутри крупных речных бассейнов и его формирования в условиях антропогенного воздействия, до сих пор остаются нерешенными. Это существенно ограничивает возможность разработки надежных долгосрочных прогнозов изменения качества природных вод и выработки оптимальной региональной стратегии природопользования, что и обуславливает актуальность исследований гидрохимического стока и его природно-антропогенной трансформации. Причем следует подчеркнуть необходимость проведения подобных работ на основе бассейнового подхода, при котором водосборный бассейн рассматривается «в качестве основной единицы для расчетов балансов загрязняющих веществ, самоочищения природных сред, миграций токсичных элементов и т.п.» [Корытный, 2001]. Другое ключевое требование к проведению гидрологических и гидрохимических исследований, согласно Л.М. Корытному, заключается в необходимости учета наряду с балансом водных масс и растворенных в них веществ баланса форм организации природных вод. Применительно к задачам данной работы это определяет целесообразность анализа: 1) состояния не только речных, но и подземных вод верхней гидродинамиче-

ской зоны, формирующих подземную составляющую водного и гидрохимического стока; 2) особенностей химического состава вод больших, средних и малых рек.

Особое значение исследования гидрохимического стока и условий его формирования приобретают для участка бассейна Оби в ее среднем течении. Исследуемая территория расположена в юго-восточной и центральной частях Западно-Сибирской равнины и северной части Саяно-Алтайской горной страны на площади более 500 тыс. км², в пределах которой расположены Кемеровская и Томская области, Ханты-Мансийский автономный округ, часть республики Хакасия и Красноярского края и небольшие участки республики Алтай и Новосибирской области (в работе основное внимание уделяется территориям Томской и Кемеровской областям). Численность населения региона превышает 3 млн. человек, большую часть которых составляют городские жители. Специфика хозяйственного комплекса во многом определяется наличием богатых природных ресурсов. В пределах рассматриваемой территории выделяются горные районы (южная и юго-восточная части водосбора р. Томь, верхнее течение р. Чулым), лесостепная (среднее и нижнее течение р. Томь, среднее течение р. Чулым, часть водосбора р. Шегарка) и лесная зоны (прочие территории). Плоский рельеф и слабая дренированность равнинной части региона в сочетании с избыточным атмосферным увлажнением, достаточно суровым термическим режимом и рядом других факторов обусловили исключительно широкое распространение болот, а также создали условия для формирования густой речной сети и определили основные черты гидрологического режима территории, характеризующегося хорошо выраженной широтной зональностью распределения водного стока и достаточно большой долей его подземной составляющей. Наиболее многоводные реки региона – Обь, Томь и Чулым.

Рассматриваемая территория обского бассейна неоднократно являлась объектом исследований водного стока и химического состава поверхностных и подземных вод. В частности, благодаря работам М.Б. Букаты, В.А. Всеволожского, Е.М. Дуговой, Ю.Г. Копыловой, В.С. Кусковского, Ю.В. Макушина, Г.А. Плевако, Д.С. Покровского, В.К. Попова, Н.М. Рассказова, Г.М. Рогова, Ю.К. Смоленцева, П.А. Удодова и других, были получены данные о химическом составе и гидроди-

намическом режиме подземных вод региона, формах миграции в них химических элементов и условиях взаимодействий в системе «вода – порода», во многом определяющих химический состав вод. Исследованиями речного водного стока обского бассейна в разное время плодотворно занимались А.А. Атавин, Д.А. Бураков, Г.В. Белоненко, О.Ф. Васильев, В.П. Галахов, А.А. Земцов, В.А. Земцов, А.М. Комлев, С.П. Никитин, В.С. Мезенцев, Ю.К. Нарожный, В.В. Паромов, Г.А. Плиткин, В.М. Савкин, М.В. Тронов и другие. Результатом их работы стали данные о закономерностях пространственных изменений гидрологических характеристик, условиях и закономерностях формирования водного стока в бассейне Верхней и Средней Оби. Химический состав и качество речных вод региона неоднократно рассматривались в работах С.Я. Двуреченской, Е.Г. Нечаевой, Е.Ю. Осиповой, Т.С. Папиной, Г.К. Парфеновой, О.Г. Савичева и других, что позволило накопить значительный объем гидрохимической информации, оценить качество вод рек в естественном и зарегулированном состоянии по состоянию на 1970–1990-е гг., выявить тенденции пространственно-временных изменений химического состава речных вод в целом для обского бассейна и ряда его локальных участков, оценить роль некоторых антропогенных факторов в формировании качества вод р. Томь и Новосибирского водохранилища. Большой вклад в изучение взаимосвязей между компонентами окружающей среды в бассейне р. Обь, играющих ключевую роль в формировании водного стока и химического состава природных вод, внесли А.М. Адам, В.А. Базанов, Ю.И. Винокуров, А.Г. Дюкарев, Н.С. Евсеева, Л.И. Инишева, Б.Г. Иоганзен, Ю.А. Львов, В.А. Льготин, М.А. Мальгин, Е.Г. Нечаева, В.П. Парначев, А.В. Пузанов, В.С. Ревякин, Л.П. Рихванов, Н.А. Росляков и другие.

Наличие в пределах рассматриваемой территории крупнейших в России предприятий металлургической, угольной, химической, радиохимической и нефтегазовой промышленности позволило ряду авторов сделать вывод о значительной или даже ключевой роли антропогенных факторов в формировании гидрохимического стока и химического состава речных вод региона. Если подобные суждения действительно верны, то можно говорить, как минимум, о региональных масшта-

бах очень значительных антропогенных изменений природной среды рассматриваемой территории, в целом, и водных объектов, в частности. Учитывая научную и практическую значимость этого вопроса, целесообразно проведение его детальной проработки, которая позволила бы сделать достоверные количественные выводы о характере и механизме природно-антропогенной трансформации гидрохимического стока и химического состава природных вод в обском бассейне. Именно такая цель и была поставлена нами в процессе выполнения рассматриваемой работы.

2. Методика исследований

Исследования проводились автором в 1993–2005 гг. в следующей последовательности: 1) изучение водного стока и водного режима; 2) гидрохимический анализ, включая выявление пространственно-временных изменений химического состава речных и подземных вод; 3) определение суммарного и подземного гидрохимического стока, выявление долгосрочных изменений ионного стока; 4) анализ условий формирования гидрохимического стока и его природно-антропогенной трансформации. Выполнение каждого из указанных этапов включало проработку вопросов методического обеспечения решения поставленных в работе задач и основывалось на бассейновом подходе, в соответствии с которым рассматривались не отдельные реки, а 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 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 с применением нейтронно-активационного, хромато-масс-спектрометрического, инвер-

сионно-вольтамперометрического и ряда других методов, определение в полевых условиях концентраций быстроизменяющихся компонентов; 2) обобщение и статистический анализ гидрохимических и гидрологических материалов, включая проверку на однородность и случайность, кластерный анализ и так далее; при анализе гидрохимической информации всего было проанализировано около 8000 проб воды (не считая обобщенные сведения, опубликованные другими авторами); при этом основную часть использованного материала составили данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, ТЦ «Томскгеомониторинг» и Росгидромета; 3) термодинамические расчеты насыщения вод относительно ряда минералов и органоминеральных соединений; 4) разработку и апробацию математических моделей формирования химического состава речных вод и гидрохимического стока. В соответствии с перечисленными видами работ в главе изложены сведения об использованных методиках полевых и лабораторных исследований, статистического анализа, термодинамических расчетов и математического моделирования гидрохимических процессов.

3. Водный сток и водный режим

Гидрологические расчеты являются необходимым этапом количественной оценки гидрохимического стока, определяемого в каждый момент времени как произведение концентрации вещества на величину расхода воды. С учетом этого для достижения цели работы требуется рассмотрение природных вод на базе представлений о единстве форм их организации, уточнение или получение сведений о норме годового водного стока, его внутригодовом распределении и подземной составляющей, сложившихся в бассейне Средней Оби за статистически однородные периоды, а также выявление тенденций изменения водного стока. В соответствии с данными задачами в главе: 1) приведена краткая гидрологическая характеристика бассейна Средней Оби; 2) выполнен анализ долгосрочных изменений годового и месячного водного стока рек; 3) разработана методика расчета подземной составляющей водного стока рек и проведено определение подземной составляющей водного стока и изучены ее долгосрочные изменения.

Для получения общего представления о гидрологических условиях рассматриваемой территории совместно с В.А. Земцовым и В.В. Паромовым были рассмотрены ряды среднегодовых расходов и проведена их проверка на случайность. В результате был выявлен статистически значимый линейный тренд годового стока в ряде створов на рр. Обь, Томь, Яя, Тым, Шегарка. Для последних двух рек этот тренд связан с заметным увеличением годового стока, а в остальных случаях – с его уменьшением. Последующая проверка рядов на однородность показала, что для указанных выше и ряда других рек обского бассейна характерно значимое изменение среднегодовых расходов воды и их дисперсии (таблица 1), причем в большинстве случаев нарушение однородности произошло в конце 1960-х гг. – начале 1970-х гг. С 1970-х гг. по 2002 г. не было отмечено заметных изменений среднемноголетних значений и дисперсии среднегодовых расходов, что позволяет охарактеризовать данный период как соответствующий стационарному режиму формирования годового стока.

Для объяснения наличия значимых трендов и нарушения однородности рядов среднегодовых расходов прочих рек в течение последних 60...70 лет автором был проведен анализ многолетних изменений среднемесячных расходов воды, показавший, что в последние десятилетия происходит изменение внутригодового распределения стока, характеризующееся изменением дисперсии межлетнего стока и увеличением среднемесячных расходов воды ряда рек бассейна Средней Оби в зимнюю межень. Во многих случаях это увеличение наблюдается на реках с нарушениями дисперсии годового стока, что позволяет связать между собой эти факты и сделать вывод, как минимум, о региональных масштабах процессов перестройки водного режима рассматриваемой территории. Кроме исследований суммарного водного стока была проведено уточнение величин его подземной составляющей на основе расчленения гидрографов общего стока и анализа урванного режима подземных вод региона.

Таблица 1 – Среднегодовые и среднефевральские расходы воды (Q), стандартные отклонения (σ) и погрешности их определения (δ_Q , δ_σ), полученные по выделенным однородным рядам при $\alpha=5\%$, m^3/c

Река	Пункт	Год			Февраль		
		Период	$Q \pm \delta_Q$	$\sigma \pm \delta_\sigma$	Период	$Q \pm \delta_Q$	$\sigma \pm \delta_\sigma$
Обь	г.Колпашево	1915-1961	4269±101	693±71	1962-1994	1140±38	217±27
		1962-2002	3537±79	509±56			
Томь	г. Томск	1918-1941	1156±47	228±33	1942-1969	132±5	26±3
		1942-2002	1031±21	161±15	1970-2001	150±6	36±4
Чулым	с. Батурино	1938-2002	783±19	151±13	1938-1969	178±6	32±4
					1970-1990	202±11	52±8
Кеть	с.Максимкин Яр	1937-2002	244±6	49±4	1937-1960	67±2	10±1
					1961-1990	78±4	24±3
Тым	с. Напас	1937-1963	182±6	33±4	1964-1973	60±2	6±1
		1964-2002	203±6	39±4	1974-1990	68±2	10±2
Васюган	с. Средний Ва- сюган	1936-1995	157±6	45±4	1936-1956	25±1	5±1
					1957-1990	31±1	7±1
Пара- бель	с. Новиково	1958-2002	75±5	32±3	1958-1990	20±1	4±1

Материалы гидрогеологических наблюдений были подвергнуты проверке на случайность и однородность. В результате было выявлено нарушение однородности рядов среднегодовых уровней подземных вод в течение периода с середины 1970-х до начала 1990-х гг. для ряда режимных скважин на территории Томской области, причем в большинстве случаев обнаружено значимое увеличение средне-многолетних величин. Среднее увеличение уровней воды в рассмотренных скважинах в течение всего периода наблюдений составило 0,25 м при погрешности определения 0,09 м, а уменьшение стандартного отклонения – 0,04 м. Наиболее заметное увеличение среднемесячных уровней в основном приурочено к зимним месяцам и предполоводному периоду. Также был выполнен поиск зависимостей меж-

ду уровнями подземных вод и подземным стоком, с помощью которых шестью различными способами были получены ряды среднемесячных и среднегодовых значений подземной составляющей водного стока крупных рек рассматриваемой территории. Критерием качества вычислений служил показатель отклонения расчетных значений от наблюдаемых расходов воды рек в зимнюю межень. Наилучшее соответствие было достигнуто при использовании зависимости, полученной при упрощении уравнения установившейся фильтрации в безнапорном пласте.

Таблица 2 – Среднегодовые значения подземной составляющей за статистически однородные периоды, м³/с (% от годового водного стока)

Река	Пункт	Период	Способ расчета	
			IV	VI
р. Обь	г. Колпашево	1962-2002	1205 (34,1)	1209 (34,2)
р. Томь	г. Томск	1942-1963	178 (17,3)	–
		1964-2002	189 (18,3)	252 (24,4)
р. Чулым	с. Батурино	1938-1970	214 (27,3)	–
		1971-2002	231 (29,5)	281 (35,9)
р. Кеть	с. Максимкин Яр	1937-1961	76 (31,1)	–
		1962-1996	84 (34,4)	134 (54,9)
р. Тым	с. Напас	1964-1974	70 (34,5)	–
		1975-2002	78 (38,4)	111 (54,7)
р. Васюган	с. Средний Васюган	1936-1958	33 (21,0)	–
		1959-1996	38 (24,2)	90 (57,3)
р. Парабель	с. Новиково	1958-1971	22 (29,3)	–
		1972-2002	24 (32,0)	32 (42,7)

Сопоставление данных показало, что полученные этим способом (в работе обозначен номером VI) данные позволяют оценить полный подземный сток, а результаты интерполяции между расходами речных вод в марте и декабре (с декабря по март подземный сток принимается равным речному; в работе способ IV) – его наиболее устойчивую часть. Ряды среднегодовых величин подземного водного

стока, полученные способом (IV), были подвергнуты проверке на однородность и случайность, выявившей определенное увеличение подземного водного стока в бассейне Средней Оби в течение последних десятилетий (таблица 2). Таким образом, в результате проведенного гидрологического анализа было показано, что 1970–2000-е гг. соответствуют условно стационарному режиму формирования годового водного стока. Следовательно, этот временной интервал может быть использован как базовый при оценке современного гидрохимического стока бассейна Средней Оби. В то же время, в течение последних 25-35 лет происходит постепенное увеличение его подземной составляющей.

4. Химический и микробиологический состав речных и подземных вод

Без достоверных знаний о современном эколого-геохимическом состоянии водных объектов и понимания проблем их получения невозможна объективная оценка ни гидрохимического стока, ни его природно-антропогенной трансформации. В связи с этим следующим этапом исследований был анализ химического состава речных вод и подземных вод в течение 1970-2000-х гг., то есть примерно в условно однородный период формирования водного стока. Кроме того, были рассмотрены микробиологические данные, поскольку микроорганизмы одновременно являются и индикатором состояния природных вод, и одним из факторов, влияющих на формирование их химического состава. В главе приводится подробная характеристика химического и микробиологического состава речных и подземных вод рассматриваемой территории. Речные воды в среднем характеризуются как пресные с малой и средней минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные. Воды таяжной зоны содержат значительное количество органических веществ, NH_4^+ , Fe и ряда других веществ (таблица 3). Среди рек наиболее высокие содержания минеральных солей характерны для малых водотоков лесостепной зоны, а максимумы содержаний органических веществ – для малых водотоков лесной зоны с заболоченными водосборами. При этом химический состав вод в верховьях этих рек близок к составу местных грунтовых (в первом случае) или болотных вод

(во втором). В зимнюю межень сходство между речными и подземными водами наблюдается и в случае более крупных водотоков, что позволяет сделать вывод об определяющем участии подземных вод в формировании эколого-геохимического состояния рек в это время года (таблица 4).

Таблица 3 – Средние значения pH, суммы главных ионов $\Sigma_{и}$, ХПК, концентрации Cu, Fe и нефтепродуктов в водах бассейна р. Обь за период 1970-2002 гг., мг/дм³

Река – створ	pH	$\Sigma_{и}$	Cu	Fe	ХПК	Нефт-ты	КП ¹
р. Обь – выше г. Колпашево	7,30	179,3	0,0030	0,113	10,67	0,390	39-170
р. Обь – с. Александровское	7,11	150,7	0,0034	0,316	18,95	0,508	47-113
Равнинные средние притоки Оби	7,01	201,8	0,0038	0,541	45,78	0,436	202-538
Равнинные малые притоки Оби	6,86	186,4	–	3,23	96,01	0,040	6-10
р. Томь – г. Междуреченск	7,49	84,4	0,0028	0,135	7,42	0,481	25-85
р. Томь – пгт. Крапивинский	7,44	182,6	0,0038	0,185	10,33	0,469	13-64
р. Томь – выше г. Томск	7,44	145,8	0,0032	0,287	11,44	0,373	64-706
Средние притоки р. Томь	7,37	94,4	0,0049	0,180	9,39	0,415	253-322
Малые притоки р. Томь	7,67	421,4	0,0029	0,560	20,77	0,384	205-469
р. Чулым – с. Тегульдэт	7,22	196,3	0,0030	0,368	16,74	0,466	20-72
р. Чулым – с. Батурино	7,22	189,4	0,0023	0,366	18,93	0,309	17-64
Средние притоки р. Чулым	7,15	183,7	0,0012	0,107	18,53	0,436	101-306
Малые притоки р. Чулым	7,40	191,4	0,0043	0,440	15,78	0,412	23-51
Подземные воды ²	6,82	337,4	0,0049	0,689	–	–	–
ПДК _р ³		1000	0,001	0,1	–	0,05	–

Примечания 1 – КП – количество проб, 2 – [Шварцев, 1998], 3 – ПДК_р – предельно допустимые концентрации вещества в объектах рыбохозяйственного назначения, для pH 6,5-8,5, стандартные погрешности определения средних значений составляют для pH 0,36 2,38, $\Sigma_{и}$ 6,4. 142,0 мг/дм³, Cu 0,2 0,4 мкг/дм³, Fe 0,004 0,601 мг/дм³, ХПК 0,43 14,72 мг/дм³, нефт-в 0,02. 0,32 мг/дм³

Для всех изученных водотоков отмечена хорошо выраженная зависимость химического состава речных вод от интенсивности водообмена. Кроме того, для равнинных рек характерна связь значений $\Sigma_{и}$ и ХПК, концентраций Fe с общей заболоченностью водосборов и долей участия в ней верховых болот: чем больше

площадь распространения верховых болот – тем меньше величины $\Sigma_{и}$, ХПК и больше содержание железа (таблица 5).

Таблица 4 – Средние значения минерализации подземных вод (M_I) и речных (M_{II}) вод в зимнюю межень в бассейне Средней Оби, фактические (t) и критические значения ($t_{кр}$) критерия Стьюдента при $\alpha=5\%$

Подземный водоносный горизонт	Река	M_I	M_{II}	t	$t_{кр}$
Александровское Приобье ¹ , Q_{II-N_I}	Тым	160,0	138,0	1,73	2,30
Александровское Приобье ¹ , $P_{2-3}j_{II}$	Васюган	230,0	302,0	1,92	2,29
Бассейн Томи, четвертичные отложения ²	Томь	262,9	241,8	0,59	2,32

Примечания 1 – [Ермашова, 1998], 2 – [Shvartsev et al, 1999]

Таблица 5 – Значимые коэффициенты корреляции между среднееголетними значениями $\Sigma_{и}$, ХПК, содержаниями Fe в водах равнинных притоков Средней Оби, модулям водного стока и характеристиками заболоченности водосборов

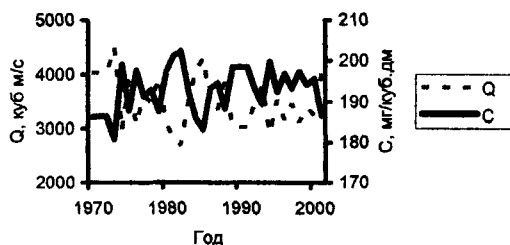
Показатель	$\Sigma_{и}$	ХПК	Fe
Площадь болот $F_{бол}$	-0,51	-0,70	0,52
Площадь верховых болот $f_{ств}$	-0,63	-0,50	0,64
Модуль водного стока M_Q	-0,92	-0,82	0,81

В целом, речные и грунтовые вод на большей части рассматриваемой территории достаточно часто не соответствуют установленным в России нормативам водопользования по величине ХПК, БПК₅, содержанию некоторых органических веществ и микроэлементов, Fe, соединений азота, микроорганизмов (таблица 3). Во многих случаях это связано с природными условиями. В то же время, в местах расположения населенных пунктов и хозяйственных объектов могут отмечаться и антропогенные отклонения содержаний ряда веществ от их обычных значений.

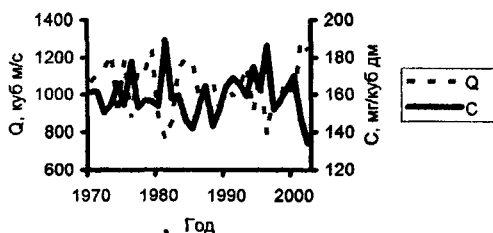
5. Временные изменения химического состава природных вод

Исследование временных изменений химического состава природных вод проводилось с учетом результатов изучения изменений водного стока и анализа

связей между гидрохимическими и гидрологическими характеристиками. Проведенные расчеты показали, что для однородного периода (по условиям формирования водного стока) гипотеза о неслучайных изменениях и нарушении однородности рядов среднегодовых величин $\Sigma_{\text{и}}$ не подтверждается. Следовательно, можно с большой уверенностью утверждать, что для больших и средних рек региона в течение последних 30 лет наблюдается статистически постоянный уровень минерализации речных вод, зависящий в основном от колебаний водности (рисунок 1).



а)



б)

Рисунок 1 – Многолетние изменения среднегодовых значений суммы главных ионов (С) и расходов воды (Q) р. Обь у г. Колпашево (а) и р. Томь у г. Томск (б)

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-и гг. Однако, принимая во внимание разное количество проб воды, отобранных в течение года, и в этом случае нет оснований для утверждений о значительных изменениях ХПК. Тем бо-

лее, что в 1980–2000-е гг. изменения среднегодовых измеренных значений этого показателя для р. Томь и ряда других рек преимущественно имели характер случайных колебаний (рисунок 2). Также относительно стабильным в течение последних 30 лет был уровень содержания Fe и нефтепродуктов. В изменении значений БПК₅, концентраций фенолов и 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, но с учетом погрешности определения среднегодовых значений (более 10 %), как и в случае с ХПК, нельзя с уверенностью говорить о хорошо выраженных тенденциях. В целом, анализ имеющихся данных позволяет сделать вывод об отсутствии значительных изменений в химическом составе речных вод региона в 1970-2000-е гг.

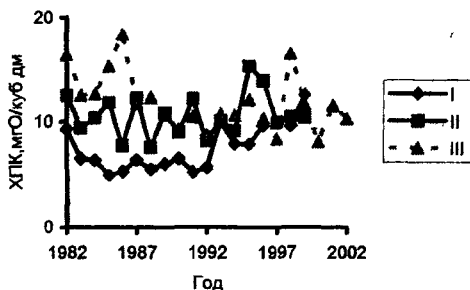


Рисунок 2 – Изменение среднегодовых измеренных значений ХПК вод р. Томь (I – г. Междуреченск; II – ниже г. Новокузнецк; III – выше г. Томск)

Сезонные изменения содержаний HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и величины $\Sigma_{\text{и}}$ в речных водах в основном соответствуют внутригодовому изменению водности рек бассейна Средней Оби – чем больше расход воды, тем меньше концентрация указанных веществ. Вследствие этого минимальные значения $\Sigma_{\text{и}}$, как правило, отмечаются в апреле-июне. Достаточно хорошо выражены тенденции внутригодового изменения значений pH, ХПК, концентраций Fe, Si, O_2 , NO_2^- , NH_4^+ , фосфатов: для ХПК, содержаний Fe и фосфатов максимумы чаще всего приурочены ко всему периоду открытого русла (исключение составляет р. Томь у г. Томск), для NH_4^+ – к апрелю-июню, для Si и NO_2^- – к зимней межени, для O_2 и pH – к летним месяцам. Для

внутригодовых изменений содержаний SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ в водах разных рек могут наблюдаться различные, иногда противоположные тенденции. Аналогичная ситуация характерна для значений БПК₅, содержаний нефтепродуктов, NO_3^- , фенолов и микроэлементов.

Помимо результатов исследования временных изменений состава речных вод, в главе приведены материалы анализа опубликованных сведений о подземных водах региона в разные годы, показавшего, что их химический состав в течение 1970-2000-х гг. с учетом погрешностей определения остается в целом стабильным и во многом зависит от внутригодового изменения метеофакторов и интенсивности водообмена, определяющих величину инфильтрационного питания и условий взаимодействий в системе «вода-порода». Вблизи населенных пунктов и производственных объектов, как правило, еще до 1970-1980х гг. сформировались локальные очаги загрязнения грунтовых вод, в пределах которых наблюдаются повышенные концентрации Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , нефтепродуктов. В то же время, на удалении от хозяйственных объектов химический состав подземных вод не претерпел существенных изменений.

6. Пространственные изменения химического состава природных вод

Для Средней Оби главной закономерностью пространственного изменения химического состава речных вод является уменьшение минерализации и увеличение величины ХПК по мере движения водных масс вниз по течению. Кроме значений ХПК, с юга на север отмечается рост средних содержаний Fe , NH_4^+ , NO_2^- . Средние концентрации NO_3^- , напротив, уменьшаются от с. Дубровино до с. Александровское. В значительной мере это связано с ухудшением условий развития нитрифицирующей микрофлоры и более оптимальными условиями развития аммонифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов. В пространственном изменении концентраций микроэлементов наиболее выраженные тенденции связаны с определенным увеличением содержаний ряда редкоземельных и рассеянных элементов в водах р. Обь ниже устья р. Кеть, не соотносящимся с каким-

либо достоверно известным техногенным воздействием. Для рр. Томь и Чулым однозначные изменения минерализации вод по длине реки, подобные изменениям на Средней Оби, отсутствуют. Вместо этого наблюдаются увеличение содержаний макрокомпонентов от верховий к створам в среднем течении, их уменьшение в переходной зоне участков среднего и нижнего течения и некоторое возрастание концентраций по мере приближения к устью (таблица 3). В пространственном изменении значений ХПК, содержаний Fe , NH_4^+ и NO_2^- прослеживается достаточно заметная тенденция к постепенному увеличению от верховий к устью в сочетании с возрастанием концентраций в створах населенных пунктов. Аналогичное распределение содержаний по длине р. Томь было отмечено и для некоторых групп микроорганизмов. Уровень содержания микроэлементов по длине рр. Томь и Чулым изменяется случайным образом, в значительной степени коррелируя с колебаниями рН и содержаниями фульвокислот.

В отличие от рр. Обь, Томь и Чулым, средние реки формируются в пределах одной природной зоны, что заметно сказывается на пространственных изменениях химического состава речных вод, тесно связанных с соответствующими изменениями водного стока, прироста фитомассы и условий разложения органики. Анализ построенных автором схем изолиний значений Σ_n и ХПК показал, что для равнинной части рассматриваемой территории прослеживается явно выраженная тенденция уменьшения суммарного содержания макрокомпонентов в водах средних рек с юго-запада на северо-восток с максимумами в бассейнах рр. Чая и Шегарка (рисунок 3). Минимальные суммарные содержания главных ионов приурочены к районам с повышенными значениями модулей водного стока в бассейне р. Тым и в западной и юго-западной частях Кузнецкого Алатау. Для ХПК вод средних рек характерно несимметричное пространственное распределение с минимумами в горных районах, максимумами в бассейне р. Чая и примерно постоянным уровнем значений $20 \dots 30 \text{ мгО/дм}^3$ в правобережной равнинной части бассейна Средней Оби. В целом, можно констатировать тесные взаимосвязи между процессами формирования химического состава речных вод и процессами почво- и болотообразования (таблица 5).

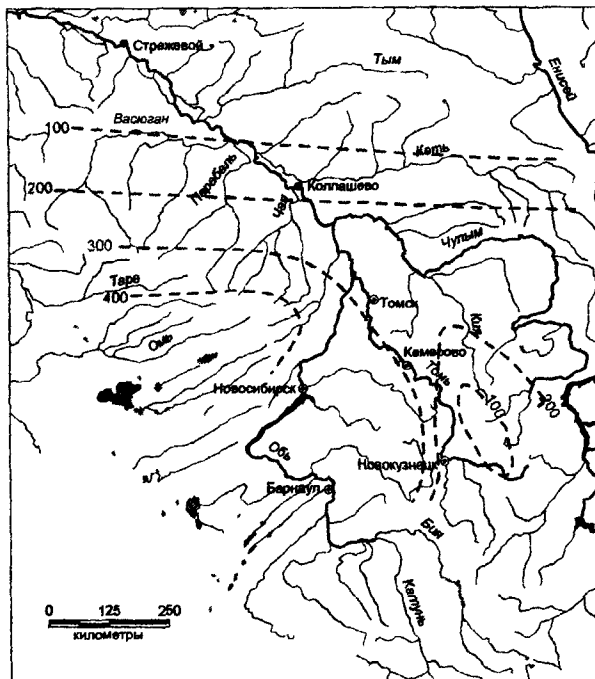


Рисунок 3 – Схема изолиний значений $\Sigma_{ц}$ в водах средних рек региона, мг/дм³

Изменения химического состава вод малых водотоков в основном подчиняются тем же закономерностям, что и для средних рек, однако при этом часто характеризуются более широким диапазоном колебаний концентраций. Распределение по длине малых рек минерализации и ХПК в значительной мере определяется объемом и химическим составом подземных вод, дренируемых речной сетью. Заметное влияние на состав вод некоторых малых рек оказывает и сброс загрязненных стоков. В случае незагрязненных подземных вод, согласно данным С.Л. Шварцева, Н.М. Рассказова, Ю.К. Смоленцева, Г.М. Рогова и других авторов, наименьшие значения $\Sigma_{ц}$ отмечаются в северо-восточной части бассейна Средней Оби, на западных и юго-западных склонах Кузнецкого Алатау, минимальные значения ХПК – в горных районах рр. Томь и Чулым; максимальные значения $\Sigma_{ц}$ и ХПК – в юго-западной части бассейна Средней Оби. В целом, изменение по терри-

тории химического состава подземных вод, как и речных, подчиняется зональным закономерностям. И так же, как в случае речных вод, на фоне природных изменений отмечено антропогенное загрязнение подземных вод в населенных пунктах и на прилегающих к ним площадям.

7. Гидрохимический сток и условия его формирования

7.1. Гидрохимический сток

На основе результатов обобщения и анализа данных о водном стоке и химическом составе природных вод были выполнены определение гидрохимического стока рассматриваемой территории и исследование закономерностей его временных изменений. Поскольку исходная информация об уровне содержания в природных водах различных веществ достаточно разнородна по объему и погрешностям определения, проводилось дифференцированное рассмотрение их стока с водосборной территории, а именно сток: главных ионов (поскольку главные ионы составляют основную часть минерализации воды, далее употребляется термин «ионный сток»), микроэлементов, биогенных веществ, органических соединений.

Ионный сток. Ионный сток рек бассейна Средней Оби определялся для каждого года суммированием значений за 12 месяцев, каждое из которых вычислялось как произведение месячного водного стока и среднемесячной суммы главных ионов Σ_n . Последняя величина рассчитывалась по линейной зависимости между срочными значениями Σ_n и расходами воды. Полученные в пределах однородных периодов формирования водного стока последовательности значений годового ионного стока Оби и ее притоков были подвергнуты проверке на случайность и однородность. Результаты этого анализа позволили сделать вывод об относительно устойчивом в течение 1970-2000-х гг. годовом ионном стоке большинства рек рассматриваемой территории и вместе с тем – об определенном увеличении зимнего ионного стока рр. Томь, Чулым, Тым, Васюгаган, Парабель и Чая (таблица 6). Достоверные нарушения однородности в пределах рассмотренных временных интервалов выявлены в случае р. Томь у г. Новокузнецк и р. Кеть у п. Максимкин Яр.

Таблица 6 – Среднегодовое значение суммарного и подземного ионного стока (G) Средней Оби и ее притоков и стандартные погрешности их определения (δ_G), тыс. т/год

Река	Пункт	Суммарный сток			Подземный сток (способ IV)		
		Период	G	δ_G	период	G	δ_G
Обь	г. Колпашево	1962-2002	17893,0	195,3	1962-2002	8392,7	112,2
	с. Прохоркино	1974-1996	23419,8	324,5	1974-1996	11724,0	283,2
Томь	г. Томск	1942-2002	4228,3	64,7	1942-1963	999,1	51,8
					1964-2002	1071,3	28,6
Чулым	с. Батурино	1938-2002	4017,4	55,2	1938-1970	1655,4	34,6
					1971-2002	1801,6	49,0
Кеть	с. Максимкин	1937-1958	758,3	16,2	1937-1961	429,5	11,8
	Яр	1959-1996	810,3	16,1	1962-1996	473,3	13,6
Тым	с. Напас	1964-2002	347,5	7,2	1937-1974	210,9	4,0
					1975-2002	231,6	4,9
Васюган	с. Средний Васюган	1936-1996	612,8	14,9	1936-1958	223,9	12,4
					1959-1996	265,6	10,3
Парабель	с. Новиково	1968-2002	468,2	23,8	1968-1971	259,0	21,2
					1972-2002	276,3	12,5

Для однородных периодов были вычислены среднегодовое значение суммарного ионного стока, составившие для Средней Оби 17...24 млн. т/год ($1...1,2 \text{ г}/(\text{с} \times \text{км}^2)$), а для ее основных притоков – от 0,3 до 4,2 млн. т/год ($0,4...2,4 \text{ г}/(\text{с} \times \text{км}^2)$). По результатам расчетов была построена схема изолиний модулей ионного стока, в соответствии с которой наибольшие значения этого показателя (более $2 \text{ г}/(\text{с} \times \text{км}^2)$), заметно превышающее приведенную в работе [Алекин, 1970] среднюю величину по бассейну р. Обь ($0,44 \text{ г}/(\text{с} \times \text{км}^2)$), отмечаются в верхнем и среднем течении р. Томь, что объясняется повышенной интенсивностью водообмена на этой территории и свидетельствует о значительном перераспределении гидрохимического стока внутри водосбора (рисунок 4). Наименьшие значения мо-

дулей ионного стока приурочены к сильно заболоченным северной и северо-восточной частям бассейна Средней Оби, где получили наибольшее распространение верховые и переходные болота.

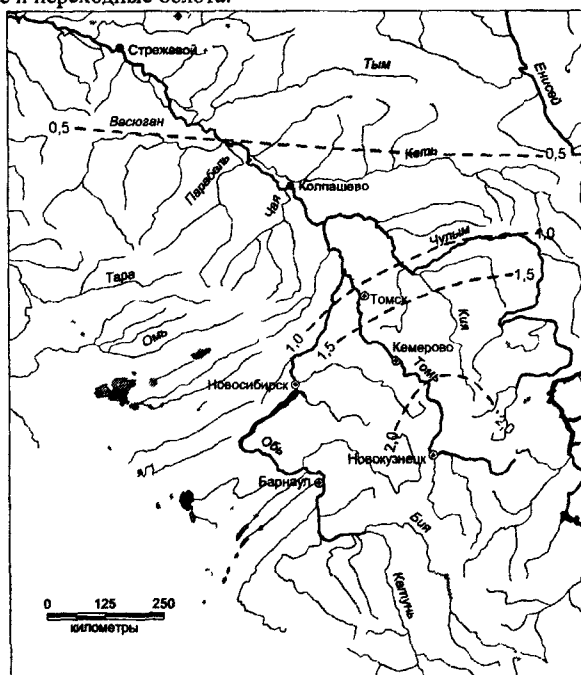


Рисунок 4 – Схема изолиний модулей среднегогодового ионного стока в бассейне Средней Оби, г/(с×км²)

Помимо анализа рядов годового и сезонного ионного стока, были изучены долгосрочные изменения подземного ионного стока. Результаты этого исследования свидетельствуют об определенном увеличении подземного ионного стока в 1960-1970-е гг. по сравнению с предыдущими годами (таблица 6). Особенно заметны эти изменения для некоторых равнинных притоков Средней Оби, протекающих на сильно заболоченных территориях. Норма подземного стока самой Оби в течение 1962-2002 гг. существенно не изменилась. В целом, подземная составляющая ионного стока варьирует в диапазоне от 20...35 % в водосборе р. Томь до 70...80 % в равнинной части обского бассейна, причем наблюдается ее рост по мере увеличе-

ния заболоченности водосборов и уменьшения модулей водного стока. Подземный сток самой Оби последовательно возрастает от 47. 58 % у г Колпашево до 50...67 % у с. Прохоркино.

Сток микроэлементов. Удовлетворительные зависимости между расходами воды и концентрациями микроэлементов в общем случае подобрать не удалось. По этой причине сезонный среднееголетний вынос микроэлементов с водами рек бассейна Средней Оби был определен как произведение среднесезонных значений концентраций веществ и расходов воды, годовой сток – как сумма сезонных значений, а его подземная составляющая – как произведение среднееголетнего подземного водного стока на среднееголетнюю концентрацию вещества за декабрь-март. Анализ полученных указанным способом данных показал, что для р. Обь среднееголетний сток Cu составляет 0,9...1,3 тыс. т/год, Al – 0,8...1,8 тыс. т/год, Pb – около 0,6 тыс. т/год. Подземная компонента обычно составляет менее 50 % годового стока микроэлементов, что указывает на значительное поступление этих веществ в речную сеть с поверхностным стоком с водосборной территории в период снеготаяния и дождевых паводков. При этом следует отметить, что уровень содержания, по крайней мере, некоторых микроэлементов определяется их связью с величиной pH и содержанием органических кислот, контролирующих процессы миграции микроэлементов в водной среде.

Сток биогенных веществ. Удовлетворительные зависимости от расходов воды в целом не были отмечены и для биогенных веществ, что определило использование того же, что и для микроэлементов, способа оценки их стока. По полученным данным, с речными водами бассейна Средней Оби ежегодно выносятся значительное по абсолютной величине количество соединений N, P, Fe и Si (модули гидрохимического стока Средней Оби: N 3...5 мг/(с×км²); P 0,2...0,5 мг/(с×км²); Fe 1...2,5 мг/(с×км²); Si 23...24 мг/(с×км²)). Однако в сравнении с главными ионами, сток биогенных веществ значительно меньше и обычно не превышает нескольких процентов от суммарного стока главных ионов, биогенных и органических веществ (таблица 7). Подземная составляющая годового стока биогенных веществ на рассматриваемой территории в целом возрастает по мере уве-

личения заболоченности водосборов и уменьшения модулей водного стока и составляет в среднем 20...50 %.

Таблица 7 – Среднегодовое количество стока главных ионов, $C_{орг}$, N, P, Fe

Река – пункт	Ед-ца изм.	Сток веществ					Сумма
		$\Sigma_{и}$	$C_{орг}$	N	P	Fe _{общ}	
Обь – г. Колпашево	тыс. т/год	17893,0	470,2	50,6	2,7	15,1	18431,6
	%	97,08	2,55	0,27	0,02	0,08	100
Обь – с. Александровское	тыс. т/год	23862,2	1177,7	118,8	12,6	61,6	25232,9
	%	94,57	4,67	0,47	0,05	0,24	100
Томь – г. Томск	тыс. т/год	4228,3	139,5	37,6	1,7	8,5	4415,5
	%	95,76	3,16	0,85	0,04	0,19	100
Чулым – с. Батурино	тыс. т/год	4017,4	163,0	11,0	0,7	7,4	4199,6
	%	95,66	3,88	0,26	0,02	0,18	100
Кеть – с. Волково	тыс. т/год	1541,5	178,7	–	–	20,2	1740,4
	%	88,57	10,27	–	–	1,16	100
Тым – с. Напас	тыс. т/год	347,5	53,8	–	–	7,2	408,5
	%	85,07	13,17	–	–	1,76	100
Васюган – с. Средний Васюган	тыс. т/год	612,8	76,3	–	0,4	3,6	693,0
	%	88,42	11,01	–	0,05	0,52	100
Парабель – с. Новиково	тыс. т/год	468,2	55,7	6,4	0,07	1,5	532,0
	%	88,02	10,47	1,21	0,01	0,29	100

Сток органических веществ. Сток органических веществ также определялся как сумма значений сезонного стока, рассчитанных умножением сезонных среднегодовых значений концентраций веществ и расходов воды. В случае р. Обь он составляет от 400...500 тыс. тС/год (около 30 мг/(с×км²)) в южной и центральной частях Томской области до 770 тыс. тС/год (49 мг/(с×км²)) и более в северной части рассматриваемой территории, а в случае основных ее притоков – от нескольких десятков до 178,7 тыс. тС/год (таблица 7). При этом наблюдается определенное увеличение доли органических веществ в суммарном гидрохимическом

стоке притоков Оби и подземной составляющей в общем стоке органических веществ, с одной стороны, по мере роста заболоченности водосборов и суммарного водного стока, а с другой стороны – при уменьшении модулей последнего. Большая часть органических веществ выносятся с поверхностным стоком, причем значительное количество нефтепродуктов и легкоокисляемых органических веществ поступает с ливневыми и тальными водами с урбанизированных территорий. Учитывая это обстоятельство и результаты анализа временных изменений среднегодовых значений БПК₅, ХПК и содержаний нефтепродуктов, можно предположить, что именно сток органических веществ, занимающий второе место по величине после стока главных ионов, испытал наиболее значительное изменение в бассейне Средней Оби за последние несколько десятилетий. В то же время, нельзя не отметить, что в условиях ежегодного прироста болот неизбежно должны происходить изменения и гидрохимического стока.

7.2. Условия формирования гидрохимического стока

В процессе исследования природно-антропогенной трансформации гидрохимического стока был разработан комплекс взаимосвязанных методик оценки условий формирования гидрохимического стока в бассейне Средней Оби и проанализированы наиболее важные из них.

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 Средней Оби 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 угле-

рода – 38 и 15 % соответственно. Таким образом, около половины ионного стока и две трети стока органических веществ Средней Оби формируется под влиянием природных и антропогенных факторов на ее водосборной территории, а остальная часть – на водосборе Верхней Оби.

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 в работе 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 в среднем выпадает в процентах от стока р. Обь у с. Александровское: $\Sigma_{\text{и}}$ – около 60 %; $C_{\text{орг}}$ – около 40 % (таблица 9). Если же допустить, что коэффициент поступления изученных веществ в речную сеть примерно равен коэффициенту стока атмосферных осадков K_X (по данным [Ресурсы поверхностных..., 1972] 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 (таблица 8). В целом, можно сделать вывод о том, что выпадение веществ из атмосферы играет весьма существенную роль в формировании гидрохимического стока Средней Оби.

Таблица 8 – Средние величины выпадения веществ из атмосферы на поверхность водосбора и реки бассейна Средней Оби, тыс. т/год

Показатель	Выпадение на водосбор	Поступление в реки
$\Sigma_{\text{и}}$	14012,1	4624,0
$C_{\text{орг}}$	493,5	162,9
N	366,8	121,1

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». При этом удельный вынос веществ в водный объект из почвы рассчитывался согласно [Методические указания по расчету платы за неорганизованный сброс..., 1998]. Необходимые сведения о химическом составе почв региона получены при обобщении опубликованных материалов ряда авторов. 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. 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 бассейне Средней Оби проявляется в уменьшении стока макрокомпонентов на 7 %, и увеличении стока органических веществ на 12 %, Fe – на 5 % (таблица 9).

Таблица 9 – Средние значения гидрохимического стока рр. Кеть, Пайдугина, Тым, Кенга, Чузик, Бакчар, Андарма, Икса, Парбиг, Шегарка в настоящее время и в предположении отсутствия болот на водосборных территориях, тыс. т/год

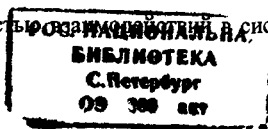
Вариант расчета стока	$\Sigma_{и}$	$C_{орг}$	Fe
по данным наблюдений	239,0	24,6	1,09
расчет в предположении отсутствия болот	442,7	6,9	0,40

Сброс сточных вод Реки обского бассейна достаточно интенсивно используются для отведения сточных вод. Вместе с ними в водные объекты поступает значительное количество различных веществ (таблица 10). 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 Σ_n и содержаний углерода органических соединений $C_{орг}$ 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. Анализ полученных результатов показал, что влияние сосредоточенных водовыпусков на состояние Средней Оби даже в зимний период обычно проявляется в пределах ближайших десятков, реже – нескольких сотен метров от водовыпусков. Более заметное воздействие сбросов на химический состав речных вод и гидрохимический сток установлено для р. Томь. При этом следует отметить, что сопоставление результатов вычислений с данными наблюдений позволило выявить заметные отличия между измеренными и расчетными величинами.

Таблица 10 – Сброс веществ в водные объекты бассейна Верхней и Средней Оби со сточными водами в среднем за 1995-1996 гг. [Ежегодник качества..., 1997], т/год

Показатель	Алтайский край	Новосибирская область	Кемеровская область	Томская область
минеральные вещества	57150	92030	405815	58048,2
медь	1,13	4,58	20,76	0,25
железо	18,89	99,33	253,36	104,97
азот минеральный	881,20	4229,11	13028,81	1485,54
БПК _{полн}	1120	4340	9560	2278
нефтепродукты	60	180	205	126

В случае с величиной Σ_n это расхождение можно интерпретировать как подтверждение вывода о наличии механизма регулирования минерализации речных вод, определяемого характером и интенсивностью сбросов сточных вод в систему



«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 (рисунок 5).

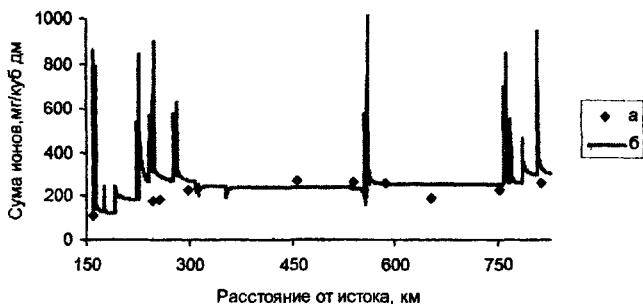


Рисунок 5 – Изменение измеренных (а) и расчетных (б) значений $\Sigma_{\text{и}}$ в водах р. Томь в максимально загрязненной струе в зимнюю межень

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.

Неорганизованное антропогенное поступление веществ в водные объекты. Масса веществ, поступающих в реки бассейна Средней Оби с территорий

населенных пунктов, дорог и производственных площадей, определялась согласно [Методические указания по расчету платы за неорганизованный сброс..., 1998]. Анализ результатов расчетов показал, что воздействие неорганизованного антропогенного поступления на гидрохимический сток в бассейне Средней Оби проявляется, прежде всего, в выносе большого количества органических веществ по БПК, нефтепродуктов, N и P. Вклад выноса с урбанизированных участков равнинной части рассматриваемой территорий 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 (только 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 соединений.

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. Обобщение имеющейся информации показало, что при наличии CO_2 в необходи-

мых количествах речные воды бассейна Средней Оби, как и подземные [Зверев, 1999; Шварцев, 1998], в среднем близки к равновесию с кальцитом. 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 "... уменьшает концентрацию соответствующих элементов в растворе и тем самым способствуют неравновесному состоянию воды..." [Шварцев, 1998]. Рост содержания Са и Mg в речных водах в результате растворения горных пород может также ограничиваться наличием гуминовых кислот, образующих со многими металлами малорастворимые соединения. Косвенным подтверждением этого вывода являются материалы исследований пойменных почв и наилок на территории России. Так, согласно Д.С. Орлову с соавторами [1996], в составе этих почв повсеместно преобладает фракция гуминовых кислот ГК-2, предположительно связанная с кальцием.

В целом, воды рек бассейна Средней Оби на всем их протяжении и в течение всего года способны взаимодействовать с донными отложениями. С учетом результатов расчетов насыщенности вод р. Томь и некоторых ее притоков относительно ряда минералов и отсутствия четко выраженных тенденций увеличения минерализации воды по мере нарастания антропогенной нагрузки можно сделать вывод о том, что рост концентраций растворенных неорганических веществ в водах рек-приемников стоков в определенной степени ограничивается относительно низкой растворимостью некоторых соединений макрокомпонентов. Поэтому увеличение минерализации и концентраций таких ионов, как Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , K^+ и ряда других веществ, в случае роста сбросов загрязненных сточных вод в ближайшие годы при неизменных гидроклиматических условиях в бассейне Средней Оби (в том числе, при прекращении роста подземной составляющей водного стока) 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 возможно увеличения только за счет смешения речных и сточных вод.

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 $G_{в-п}$ при этих взаимодействиях. Тогда искомое решение для рассматриваемой территории может быть получено в зависимости от интенсивности водообмена из пропорций: 1) в отсутствие болот величина $G_{в-п}$ 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); $G_{в-п}=1586,3 \times 5,32 / 6,28 = 1343,8$ тыс. т/год; 3) средневзвешенный модуль водного стока для водосборов рр. Томь и Чулым составляет 9,65 л/(с×км²); тогда $G_{в-п}=1586,3 \times 9,65 / 6,28 = 2437,5$ тыс.т/год, а для всей рассматриваемой территории $G_{в-п}=1343,8+2437,5=3781,3$ 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 %.

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 интенсивность практически всех процессов формирования химического состава и гидрохимического стока, подтверждением чему служат результаты корреляционного анализа гидрологических и гидрохимических показателей (таблица 5).

Соотношение потоков веществ в бассейне Средней Оби. Выполненные расчеты поступления веществ в водные объекты имеют весьма приближенный характер, но, тем не менее, позволяют получить общую картину и выделить наиболее важные источники и процессы (рисунок 6, 7).

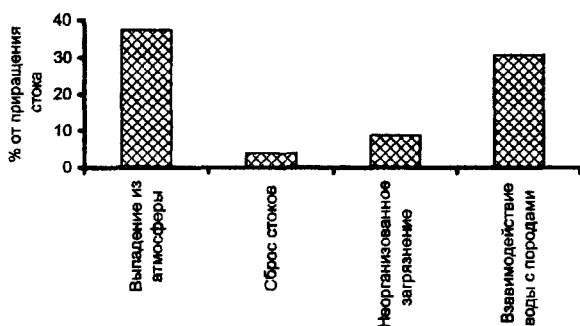


Рисунок 6 – Соотношение поступления главных ионов из различных источников к приращению выноса с водами Средней Оби (вынос из почв катионов – 7 % от приращения ионного стока; сумма – 87 %)

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.

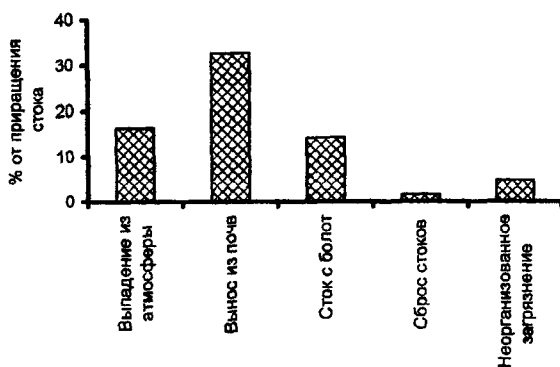


Рисунок 7 – Соотношение поступления $C_{орг}$ из различных источников к приращению выноса с водами Средней Оби (сумма – 70 %)

Следует отметить, что проведенные вычисления элементов гидрохимического баланса для основных групп гидрохимических показателей не позволили получить в сумме 100 %. В случае суммы 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 бассейна Средней Оби может составлять до 50 % (6201 тыс. т/год), а вклад болот в сток органических веществ по $C_{орг}$ – до 44 % (442 тыс. т/год).

Заключение

В результате комплексного анализа гидрохимической, гидрометрической, гидрогеологической и водохозяйственной информации установлены среднееголетние значения суммарного и подземного гидрохимического стока в бассейне Средней Оби, 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). Доста-

точно 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 ($1,0 \dots 1,2 \text{ г}/(\text{с} \times \text{км}^2)$ – для рр. Обь и Чулым, более $2 \text{ г}/(\text{с} \times \text{км}^2)$ для р. Томь и ее притоков, менее $1,0 \text{ г}/(\text{с} \times \text{км}^2)$ – для равнинных притоков р. Обь) обусловлено широтной зональностью водного стока и минерализации речных вод. Подземная составляющая стока различных веществ варьирует в достаточно широком диапазоне. Для ионного стока она изменяется от 20 % в горных районах до 60 % и более для равнинных притоков р. Обь с сильно заболоченными водосборами. Подземный ионный сток самой Оби последовательно возрастает от 47...58 % у г. Колпашево до 50...67 % у с. Прохоркино. Подземная компонента стока микроэлементов, многих биогенных и органических веществ обычно составляет менее 50 % от соответствующей годовой величины.

С 1970-х гг. до начала 2000-х гг. норма суммарного гидрохимического стока в бассейне Средней Оби остается статистически неизменной, а отклонения от нее связаны в основном с колебаниями водности. В то же время, отмечено постепенное изменение внутригодового распределения гидрохимического стока за счет увеличения его подземной составляющей, в свою очередь, связанного с ростом подземного водного стока. Поскольку указанные изменения часто приурочены к малонаселенным и слабо используемым в хозяйственном отношении территориям, можно предположить, что они непосредственно не связаны с антропогенным влиянием. Это обстоятельство и ряд других результатов позволяет сделать вывод о том, что, во-первых, большая часть гидрохимического стока в бассейне Средней Оби, представленная макрокомпонентами и трудноокисляемыми органическими веществами, формируется в результате действия природных факторов. Во-вторых, его природная трансформация в ближайшие годы будет связана с незначительным увеличением стока органических веществ вследствие прогрессирующего заболачивания водосбора и стока 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.

В целом, как показал анализ гидрохимических и микробиологических данных, достижение полного соответствия качества речных вод в бассейне Средней Оби российским нормативам водопользования невозможно вследствие региональных особенностей условий формирования химического состава вод и гидрохимического стока. В то же время, возможно существенное снижение концентраций и выноса с речными водами ряда веществ за счет создания водоохраных зон, ликвидации необустроенных мест хранения отходов и токсичных материалов, снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха и предотвращения загрязнения грунтовых вод. При условии удовлетворительного выполнения этих мероприятий и разработки оптимальных методов водоподготовки водные проблемы в бассейне Средней Оби, в отличие от большинства регионов мира, достаточно длительное время не будут являться ограничивающим фактором социально-экономического развития данной территории.

Список основных публикаций по теме диссертации

1. Савичев, О.Г. Эколого-геохимическое состояние речных вод Средней Оби / С.Л. Шварцев, О.Г. Савичев, Е.Г. Вертман [и др.] // Водные ресурсы. – 1996. – № 6. – С. 723–731.
2. Савичев, О.Г. Микроэлементы в водах Средней Оби и ее крупных притоков / С.Л. Шварцев, О.Г. Савичев // Обской вестник. – 1996. – № 2/3. – С. 39–47.
3. Савичев, О.Г. Эколого-геохимическое состояние крупных притоков Средней Оби / С.Л.Шварцев, О.Г.Савичев // Водные ресурсы. – 1997. – № 6. – С. 762–768.
4. Савичев, О.Г. Средняя Обь : качество речных вод и пути выхода из водно-экологического кризиса / С.Л. Шварцев, О.Г. Савичев // Обской вестник. – 1997. – № 1/2. – С. 25–37.
5. Савичев, О.Г. Состав и формы миграции элементов в природных водах бассейна среднего течения р. Томь / С.Л. Шварцев, Н.М. Рассказов, О.Г. Савичев // Геология и геофизика. – 1997. – № 12. – С. 1955–1961.
6. Савичев, О.Г. Поступление антропогенных веществ в воды р.Томь / О.Г. Савичев // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – № 6. – С.31–33.
7. Савичев, О.Г. Экология реки Томь : антропогенное загрязнение и ресурсы вод / О.Г. Савичев // Инженерная экология. – 1998. – № 4. – С. 25–34.
8. Савичев, О.Г. Базовые пункты гидрогеохимических наблюдений – новая методологическая основа для решения водно-экологических проблем (на примере бассейна верхней и средней Оби) / С.Л. Шварцев, О.Г. Савичев // Обской вестник. – 1999. – № 3. – С. 27–32.
9. Савичев, О.Г. Гидрогеохимические условия юго-востока Западной Сибири (на примере бассейна р. Томь) / Н.М. Рассказов, О.Г. Савичев // Геоэкология. – 1999. – № 4. – С. 314–320.
10. Савичев, О.Г. Прогноз качества речных вод (использование зависимостей между гидрохимическими и гидрологическими показателями на примере рек бассейна Оби) / О.Г. Савичев // Инженерная экология. – 1999. – № 2. – С. 46–53.


11. Savichev, O.G. Geochemistry and pollution of ground waters of Tom river basin / S.L. Shvartsev, N.M. Rasskazov, O.G. Savichev // Hydrogeology and land use management : proc. XXIX congress of international association of hydrogeologists. – Bratislava, 1999. – P. 503–508.
12. Савичев, О.Г. Пространственные и временные изменения химического состава речных бассейна Средней Оби / О.Г. Савичев // География и природные ресурсы. – 2000. – № 2. – С. 60–66.
13. Савичев, О.Г. Математическая модель формирования среднесуточного макрокомпонентного состава речных вод (на примере бассейна Средней Оби) / О.Г. Савичев // Инженерная экология. – 2000. – № 5. – С. 37–46.
14. Савичев, О.Г. Базовые пункты гидрогеохимических наблюдений в бассейне Верхней Оби в 1998 г. / С.Л. Шварцев, Ю.С. Колмаков, О.Г. Савичев // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 2–5.
15. Савичев, О.Г. Микробиологический состав речных вод бассейна Верхней и Средней Оби / О.Г. Савичев, Н.Г. Наливайко, Н.А. Трифонова // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 2. – С. 173–180.
16. Савичев, О.Г. Химический и микробиологический состав водно–ледниковых объектов в бассейне р. Актру / О.Г. Савичев, Ю.К. Нарожный, В.В. Паромов, Р.Ф. Фахрутдинов // Материалы гляциологических исследований. – 2002. – № 92. – С. 187–191.
17. Савичев, О.Г. Результаты геоэкологических исследований р. Томь в зимнюю межень / О.Г. Савичев, С.Л. Шварцев, С.Я. Двуреченская [и др.] // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби / под ред. В.В. Зуева [и др.]. – Томск : Изд-во «РАСКО», 2002. – С. 99–116.
18. Савичев О.Г. Современное эколого-геохимическое состояние Томь и ее притоков / С.Л. Шварцев, О.Г. Савичев // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби / под ред. В.В. Зуева [и др.]. – Томск : Изд-во «РАСКО», 2002. – С. 87–98.
19. Савичев, О.Г. Антропогенное поступление железа и органических веществ в речные воды бассейна Средней Оби в пределах Томской области / О.Г. Савичев

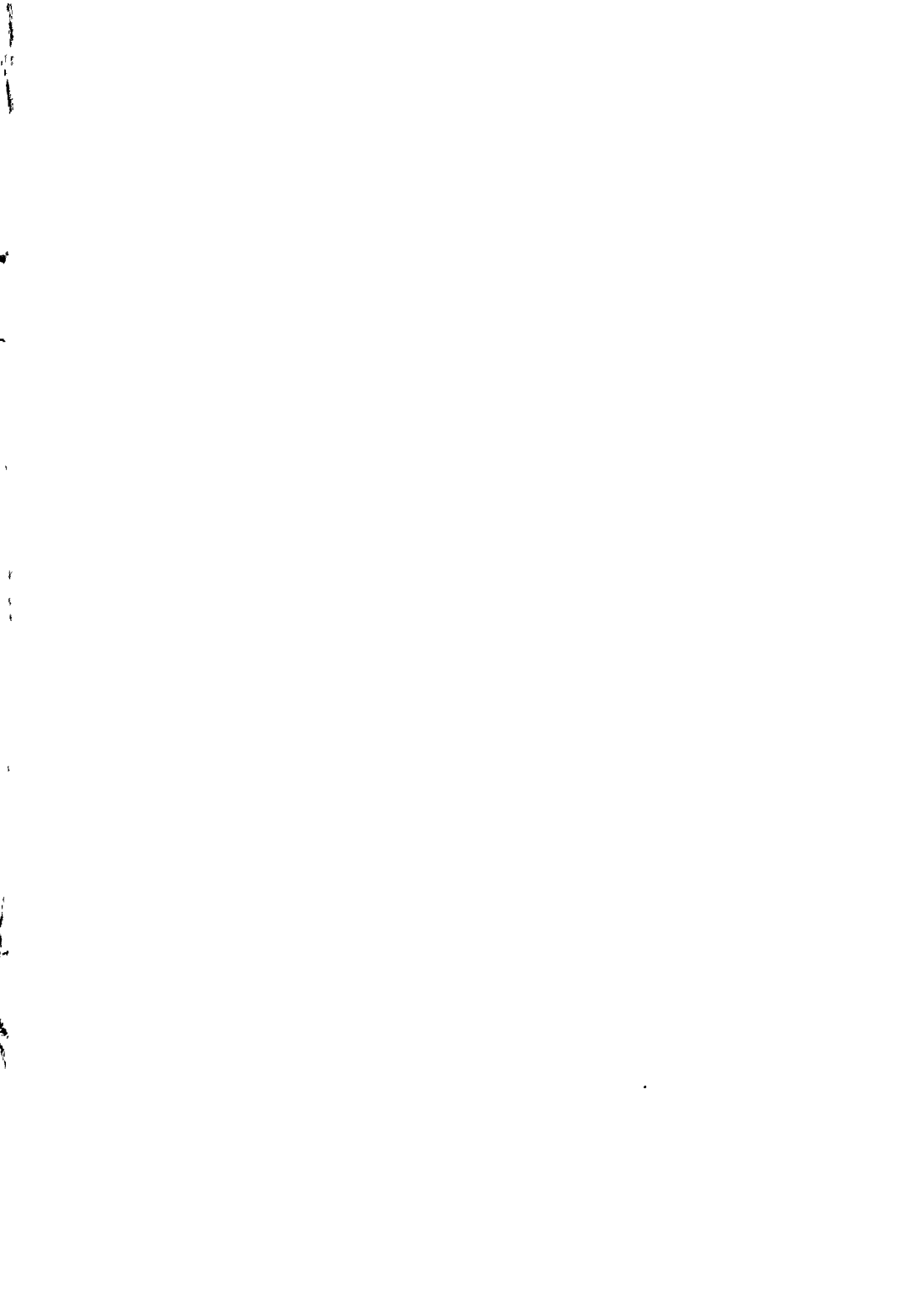
- // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305, вып. 6. – С. 405–414.
20. Савичев, О.Г. Природные условия развития болота Ишколь и хозяйственная деятельность / В.А. Базанов, В.А. Льготин, А.А. Скугарев, В.С. Архипов, О.Г. Савичев // Вестник Томского государственного университета. – 2002. – № 2. – С. 87–92.
21. Савичев, О.Г. Математическая модель формирования содержания тяжелых металлов в речных водах / О.Г. Савичев // Инженерная экология. – 2002. – № 1. – С. 20–26.
22. Савичев, О.Г. Реки Томской области : состояние, использование и охрана / О.Г. Савичев. – Томск : Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – 202 с.
23. Савичев, О.Г. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами / О.Г. Савичев, О.В. Колоколова, Е.А. Жуковская // Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 108–119.
24. Савичев, О.Г. Водный режим реки Порос как индикатор природно-антропогенных процессов в Обь-Томском междуречье / О.Г. Савичев, О.В. Колоколова, С.Ю. Краснощеков, О.С. Шварцева // Вестник Томского государственного университета. – 2003. – № 3 (IV). – С. 151–152.
25. Савичев, О.Г. Проблемы рационального использования, восстановления и охраны водных объектов Томской области / В.А. Льготин, Ю.В. Макушин, О.Г. Савичев // Вестник Томского государственного университета. – 2003. – № 3 (IV). – С. 140–142.
26. Савичев, О.Г. Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган / В.А. Базанов, О.Г. Савичев, Д.В. Волостнов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – № 2. – С. 72–75.
27. Савичев, О.Г. Многолетние изменения уровней подземных вод верхней гидродинамической зоны на территории Томской области / О.Г. Савичев, Ю.В. Макушин // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307, № 4. – С. 60–63.

28. Савичев, О.Г. Ионный сток Средней Оби и ее крупных притоков / О.Г. Савичев // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307, № 6. – С. 40–44.
29. Савичев, О.Г. Особенности и факторы формирования гидрохимического состояния поверхностных водных объектов на территории Томской области / В.А. Льготин, Ю.В. Макушин, О.Г. Савичев, Т.Д. Кириленко // География и природные ресурсы. – 2005. – № 1. – С. 39–46.
30. Савичев, О.Г. Оценка влияния сбросов сточных вод на минерализацию и общее содержание органических веществ в водах Томи / О.Г. Савичев // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 1. – С. 44–47.
31. Савичев, О.Г. Условия формирования ионного стока в бассейне Средней Оби / О.Г. Савичев // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 2. – С. 54–58.
32. Савичев, О.Г. Гидрогеоэкологическая ситуация в бассейне реки Томи / О.Г. Савичев, С.Л. Шварцев, Н.М. Рассказов, Н.М. Шварцева // География и природные ресурсы. – 2005. – Спец. вып. – С. 192–199.
33. Савичев, О.Г. Влияние болот на гидрохимический сток в бассейне Средней Оби (в пределах Томской области) / О.Г. Савичев // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 3. – С. 47–50.

Подписано к печати 06.07.05. Формат 60х84/16. Бумага "Классика".

Печать RISO. Печ.л. 2,0. Заказ 870. Тираж 120 экз.

ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТИП. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.



№ 16452

РНБ Русский фонд

2006-4
19753