

Савичев О.Г.

**РЕКИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ:
СОСТОЯНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА**

Томск - 2003

УДК 550.42:577.4

Савичев О. Г. Реки Томской области: состояние, охрана и использование. - Томск: Изд-во ТПУ, 2003.

Изложены результаты комплексных исследований рек Томской области. Показано, что основные проблемы их использования связаны не с дефицитом речных вод, а с несоответствием их качества установленным нормативам. В значительной степени это связано с влиянием сильной заболоченности водосборов. Установлено, что в последние 25-30 лет химический состав речных вод в целом не претерпел существенных изменений, а периодически наблюдаемые изменения минерализации, содержаний органических и биогенных веществ во многих случаях связаны с колебаниями водного стока.

Монография рассчитана на специалистов, работающих в области использования и охраны водных ресурсов, гидрологии, гидрогеологии, а также студентов соответствующих специальностей.

Табл. 67, рис. 36, библиогр. – 187 назв., прил. 1.

Рецензент:

Базанов В.А. –

Старший научный сотрудник НИИ биологии и биофизики при Томском государственном университете, кандидат биологических наук

© Томский политехнический университет, 2003

Введение

В последние десятилетия во многих регионах мира возникла напряженная водохозяйственная и экологическая ситуация вследствие нерационального использования и неудовлетворительной охраны водных ресурсов. Ее преодоление невозможно без решения целого ряда проблем, которые условно можно объединить в 4 группы: 1) научные; 2) управленческие; 3) инженерные; 4) проблемы культуры природопользования. Эти проблемы тесно взаимосвязаны и не отделимы друг от друга, но все 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.

Благодаря работам известных отечественных и зарубежных исследователей О.А.Алекина, О.Ф.Васильева, В.В. Гордеева, С.Р.Крайнова, А.М.Никанорова, С.Л.Шварцева, В.М.Швеца, М. Мейбека, К.Б. Бернера, А. Ласага и многих других в настоящее время сформированы общие представления о гидрохимических процессах в ноосфере. Вместе с тем, степень и характер антропогенного влияния на поверхностные воды в настоящее время изучены недостаточно для научного обоснования водохозяйственной деятельности на больших территориях и на долгосрочную перспективу. В современных российских условиях это создает предпосылки для возможного усиления негативных последствий хозяйственной деятельности на водные объекты в промышленно развитых регионах страны, в том числе в западно-сибирском регионе, что обуславливает необходимость проведения комплексных гидрологических и эколого-геохимических исследований состояния речных вод этой территории.

В данной работе приведены результаты подобных исследований применительно к Томской области, расположенной в границах бассейна Средней Оби. На этой территории насчитывается более 18000 рек. Значительная часть из них в той или иной мере испытывает антропогенное воздействие, формы проявления которого многообразны и далеко не всегда очевидны. В то же время, в ряде случаев это воздействие преувеличивается, в связи с чем автором была поставлена цель – собрать и обобщить достоверные данные о водном стоке рек Томской области и химическом составе их вод. Частично приведены и некоторые выводы относительно тенденций пространственно-временных изменений гидрологических и гидрохимических показателей и причин, их обусловивших. Но все же главное назначение данной работы – это подго-

товка информационной основы для дальнейшего выявления механизмов формирования водного и гидрохимического режимов рек в природно-техногенных условиях.

Поскольку наиболее крупные притоки Оби – рр. Томь и Чулым – протекают большей частью на территории Кемеровской области, Красноярского края и республики Хакасия, то частично рассматривается состояние этих рек, а также некоторых их притоков и за пределами Томской области. По тем же причинам приводятся сведения о состоянии самой р. Обь на участках ее верхнего и нижнего течения. В процессе исследований были использованы данные многолетних гидрометрических и гидрохимических наблюдений в бассейне р. Обь, проводимых Росгидрометом, Томском политехническом университете (ТПУ), Томском филиале Института геологии нефти и газа (ТФ ИГНГ) СО РАН и государственном предприятии Территориальный центр «Томскгеомониторинг» (ТЦ «Томскгеомониторинг»), в том числе материалы, полученные при непосредственном участии автора в течение 1993-2003 гг. в ходе производственной и научной деятельности в последних трех организациях. Помимо гидрохимических и гидрометрических материалов, широко использовались официальные водохозяйственные данные Главного управления природных ресурсов и охраны окружающей среды (ГУПР) по Томской области, ТЦ «Томскгеомониторинг», Госкомэкологии по Томской области, ОГУ Областной комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Томской области (ОГУ «Облкомприрода»).

Следует отметить, что исходные материалы, использованные 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, к.б.н. О.Г. Савичевой, к.б.н. В.А. Базанова, к.ф.-м.н. М.М. Немировича-Данченко, доцента В.А. Земцова, к.г.-м.н. В.А. Льготина, к.г.-м.н. Ю.В. Макушина, доцента Ю.Г. Копыловой, к.г.н. В.В. Паромова, С.Ю. Краснощекова, В.М. Марулевой, А.А. Хвацевской, О.В. Колоколовой и многих других. Автор выражает глубочайшую признательность всем названным лицам и, особенно, С.Л. Шварцеву, под научным руководством которого была получена значительная часть приведенных ниже результатов.

Работа выполнена при поддержке гранта Минпромнауки РФ № НШ-1566.2003.05 и интеграционного проекта СО РАН № 167.

1. Краткая экономико-географическая характеристика Томской области

Томская область расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской равнины на площади 316.9 тыс. км². 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. Расстояние между северной и южной границами – около 600 км, западной и восточной – 780 км. Рельеф Томской области равнинный. Крупнейшими орографическими элементами на ее территории являются Кетско-Тымская, Чулымская, Приаргинская, Восточно-Барабинская, Васюганская наклонные равнины и Обь-Тымская низменность. Максимальные высоты (250-260 м) приурочены к юго-востоку области (в пределах отрогов Кузнецкого Алатау), а минимальные (до 30 м) – к северной ее части [41, 119, 155].

Плоский рельеф и слабая дренированность большей части рассматриваемой территории в сочетании с избыточным атмосферным увлажнением (от 400 до 570 мм/год), достаточно суровым термическим режимом (средняя годовая температура воздуха от -0.6°C до -3.5°C) и рядом других факторов обусловили исключительно широкое распространение болот и заболоченных земель, занимающих не менее половины ее площади [41, 74]. В настоящее время процесс болотообразования продолжается, причем с наиболее высокой в западно-сибирском регионе интенсивностью: скорость годового вертикального прироста составляет 0.60-2.62 мм для Васюганского болота; 0.39-0.80 мм – для прочих западно-сибирских болот [110].

Перечисленные выше природные факторы создали условия для формирования густой речной сети (табл.1.1) и определили основные черты водного режима территории, характеризующегося хорошо выраженной широтной зональностью пространственного распределения стока и достаточно большой долей его подземной составляющей, высокой водностью и естественной зарегулированностью стока в течение года [118, 150]. Основные водотоки Томской области, в которых сосредоточены почти все ресурсы речных вод – Обь, Томь, Чулым, Кеть, Тым, Васюган, Парабель, Чая, Кия. Реки, как правило, извилисты, с малыми уклонами. Преобладающий тип руслового процесса в бассейнах рек Васюгана, Кети, Тыма, Парабели, Чаи, Чулыма – свободное меандрирование. Достаточно часто встречаются незавершенное меандрирование, ру-

словая и пойменная многорукавность, реже – прочие типы русловых процессов [118, 150].

Таблица 1.1

Количество и протяженность рек на территории Томской области¹

Градация водотоков	Длина рек, км	Число единиц	%	Суммарная длина рек, км	%
Мельчайшие	<10	16480	91.0	37000	38.9
Самые мелкие	10-25	1006	5.6	15777	16.6
Малые	26-100	509	2.8	21137	22.4
Средние	101-500	97	0.58	20021	21.0
Большие	>500	8	0.02	1065	1.1
Всего	-	18100	100	95000	100

¹ – данные ГУИР по Томской области, приведены по [150]

Административно Томская область состоит из 16 районов, 137 сельских администраций (округов), 601 населенного пункта, в том числе – 6 городов (гг. Томск, Северск, Асино, Колпашево, Стрежевой, Кедровый). Численность населения на 01.01.2001 г. составила – 1064.8 тыс. человек, из них 483.1 тыс. человек проживало в г. Томск. Специфика хозяйственного комплекса во многом определяется наличием богатых природных ресурсов. 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). В структуре промышленности лидирующее положение занимают предприятия топливной и химической промышленности, цветной металлургии, машиностроения. Кроме перечисленных, достаточно успешно действуют предприятия легкой и пищевой промышленности. Сельское хозяйство развито преимущественно в южных районах, причем сельскохозяйственные угодья составляют всего 4.4 % от всей территории области (из них 56 % – пашни) [155, 180, 181].

В целом, Томская область представляет собой средний по социально-экономическим показателям российский регион с четко выраженным доминирующим центром и слабо развитой периферией, что определяет специфические черты хозяйственного комплекса (неравномерность пространственного распределения, значительная роль ресурсодобывающих отраслей, наличие экологически опасных производств и т.д.) и его воздействия на водные объекты рассматриваемой территории [155].

2. Водный сток и водный режим

История гидрологических исследований в бассейне р. Обь, согласно [10, 41], насчитывает несколько столетий, из которых последние 110-120 лет представляют собой период использования более или менее современных подходов, основанных на систематическом изучении водного режима рек на гидрологических постах и станциях в сочетании с обобщениями результатов инженерно-гидрологических изысканий и гидрографических исследований данной территории. Первые посты на рр. Обь (гг. Барнаул, Камень-на-Оби, Новосибирск и Сургут, сс. Кругликово и Молчаново), Томь (г. Новокузнецк, сс. Крапивино и Поломошное) и Чулым (г. Ачинск, сс. Тегульдет и Зырянское) были открыты в 1893 г., но наиболее интенсивное развитие сети гидрологических наблюдений пришлось на 1930-е гг. в рамках деятельности Госгидрометслужбы СССР, с использованием единых методик и систематической публикацией полученных материалов [10, 57].

Обобщением и анализом этих данных по бассейну р. Обь в разное время занимались М.И. Львович, Б.Д. Зайков, П.С. Кузин, В.И. Бабкин, Г.А. Плиткин, А.А. Земцов, Я.И. Марусенко, В.С. Мезенцев, А.М. Комлев, Д.А. Бураков, С.П. Никитин, О.Ф. Васильев, Л.К. Малик, В.А. Земцов, В.М. Савкин, Н.В. Белоненко, В.В. Паромов и многие другие исследователи, результаты работы которых изложены в многочисленных статьях и монографиях. При этом следует отметить, что большая часть крупных гидрологических обобщений была сделано в 1970-1980-е гг.

В частности, П.С. Кузиным совместно с другими авторами выполнено детальное гидрологическое районирование и описание территории бывшего СССР, включая и рассматриваемую территорию [70]; С.Г. Агарковым и соавторами проведен анализ стоковых рядов, накопленных к началу 1970-х гг [1]; Д.А. Бураковым подробно рассмотрены вопросы формирования водного стока весеннего половодья в равнинной, заболоченной части обского бассейна, что позволило указанному автору разработать эффективную математическую модель для расчета гидрографа рек [11]; А.М. Комлевым проведены подробнейшие исследования зимнего стока рек Западной Сибири [57]; С.П. Никитиным и В.А. Земцовым выявлены зависимости водного стока западно-сибирских рек от определяющих факторов и установлены причины пространственно-временной изменчивости гидрологических показателей в обском бас-

сейне [91]; наконец, в справочном издании Государственного водного кадастра «Водные ресурсы СССР и их использование» (1987) были приведены результаты обобщения материалов гидрологических наблюдений на территории СССР в целом и в частности обского бассейна, включая данные о водном балансе водосборов рр. Томь, Чулым и Кеть.

Из последних работ, опубликованных во второй половине 1990-х гг.- начале 2000-х гг., следует отметить коллективный труд специалистов РосНИИВХ и ИВЭП СО РАН [123], содержащий обобщенные сведения о состоянии и использовании российских рек, в том числе и р. Обь, монографию [139], в которой рассмотрены вопросы антропогенного воздействия на ресурсы речных вод западно-сибирского региона, работу коллектива авторов [100] по водным ресурсам Хакасии, включая территорию бассейна р. Чулым, а также монографию [103], где приведена подробная характеристика ресурсов речных вод сопредельных с рассматриваемой территорией площадей бассейна Верхней Оби.

С учетом полученных в Государственном гидрологическом институте (ГГИ), Московском государственном университете (МГУ), Западно-Сибирском региональном гидрометеорологическом институте, Институте водных и экологических проблем (ИВЭП) СО РАН, Томском государственном университете (ТГУ), ТПУ и других организациях результатов исследований водного стока и режима обского бассейна, в рамках данной работы был проведен анализ материалов Росгидромета о среднегодовых и среднемесячных расходах воды за период с 1930-40-х гг. до 2002 г. на предмет выявления тенденций многолетних изменений среднегодовых и среднемесячных расходов вод р. Обь и ряда ее крупных притоков. Этот анализ, частично проведенный совместно с В.А. Земцовым, В.В. Паромовым [49], С.Ю. Краснощековым и др. [138, 151], включал в себя проверку при уровне значимости 5 % рядов наблюдений: 1) на случайность по критерию Питмена; 2) на однородность по критериям Уилкоксона и Фишера. Расчетные уравнения и последовательность вычислений были приняты согласно [113, 121, 160]. Описание использованной методики приведено в [49].

2.1. Многолетние изменения среднегодовых расходов речных вод

К началу 2000-х гг. Росгидрометом был накоплен значительный объем гидрологической информации, однако ее использование без предварительного анализа временных изменений может привести к необъективным выводам и действиям в об-

ласти использования и охраны водных ресурсов. Первый этап такого анализа заключается в выявлении многолетних изменений годового водного стока, а полученные при этом материалы позволяют получить общее представление о гидрологических условиях на рассматриваемой территории.

В результате проверки на случайность гидрометрических рядов с начала наблюдений был выявлен статистически значимый линейный тренд годового стока р. Обь у г. Колпашево, р. Томь у г. Междуреченск, р. Яя у пгт. Яя, р. Тым у с. Напас, р. Шегарка у с. Бабарыкино (табл.2.1). Для последних двух рек (рр. Тым и Шегарка) этот тренд связан с заметным увеличением годового стока, а в остальных случаях – с его уменьшением [49, 50, 149, 150]. Последующая проверка рядов на однородность показала, что для указанных выше и ряда других рек обского бассейна характерно статистически значимое изменение среднегодовых расходов воды и их дисперсии, причем в большинстве случаев нарушение однородности произошло в конце 1960 – начале 1970 гг. (табл.2.2).

С 1970-х гг. по 2002 г. не было отмечено заметных изменений среднемноголетних значений и дисперсии среднегодовых расходов, а также не выявлены значимые тренды среднегодовых расходов воды для большинства изученных рек, в том числе и там, где они были обнаружены за весь период наблюдений (табл.2.1, 2.2). Все это позволяет охарактеризовать данный период времени как соответствующий условно стационарному режиму формирования годового водного стока. При этом отметим, что, помимо указанных выше нарушений однородности водного стока, В.А. Земцовым, вслед за авторами работы [1], по 48-летнему временному интервалу (до 1990 г.) выделены 11-12-летние циклы в колебаниях среднегодовых и среднемесячных расходов воды равнинных рек бассейна Средней Оби и циклы различной продолжительности (от 3-4 до 16 лет) – в водном стоке рек Алтае-Саянского региона [50].

Неоднородность рядов годового стока р. Томь у г. Томск и р. Обь у г. Колпашево, выявленная в результате статистического анализа, объясняется следующим. Гидрометрические наблюдения на р. Томь в г. Томск проводятся с 1918 г., однако до 1941 г. расходы воды, преимущественно, не измерялись, а рассчитывались по зависимостям от уровня воды. Причем в недостаточной мере учитывались подпорные явления, вследствие чего значения годовых и весенних расходов оказались завышенными [48].

Таблица 2.1

Автокорреляция между стоком смежных лет и значения критерия Питмена для рядов среднегодовых расходов воды¹ (исходные данные Росгидромета)

Река	Пункт	Период	$r(1)$	$\sigma_{r(1)}$	Параметры ²		τ_r	$\tau_{кр}$
					a	B		
Обь	г. Колпашево	1915-2002	0.39	0.09	-12.661	28724.17	-4.57	2.28
		1962-2002	0.10	0.16	-7.47	18339.92	-1.13	2.33
Обь	с. Прохоркино	1960-1996	0.29	0.15	-17.667	39986.94	-1.55	2.34
		1974-1996	0.07	0.21	5.962	7902.771	0.33	2.41
Томь	г. Междуреченск	1937-1996	0.14	0.13	-0.55	1244.25	-2.92	2.30
		1970-1996	0.32	0.18	-0.979	2090.845	-1.92	2.38
Томь	г. Новокузнецк	1895-1996	0.03	0.10	-0.04	730.60	-0.11	2.28
Томь	г. Томск	1918-2002	0.20	0.11	-1.58	3390.26	-1.83	2.29
		1942-2002	0.01	0.13	1.23	-1396.83	1.06	2.30
Порос	с. Зоркальцево	1974-2002	0.05	0.19	-0.002	4.975	-0.61	2.37
Чулым	с. Тегульдет	1932-2002	0.20	0.11	-0.33	946.60	-1.09	2.29
Чулым	с. Зырянское	1936-2002	0.27	0.11	0.63	-683.72	0.97	2.29
Чулым	с. Батурино	1938-2002	0.25	0.12	-0.16	1091.10	-0.16	2.30
Кия	г. Мариинск	1936-1999	0.05	0.13	-0.01	176.17	-0.07	2.30
		1947-1999	0.11	0.14	-0.221	585.048	-0.96	2.31
Кия	с. Окунево	1955-1999	0.09	0.15	0.16	-147.66	0.47	2.32
Яя	пгт. Яя	1935-1999	0.27	0.12	-0.17	374.92	-3.84	2.30
		1969-1999	-0.08	0.18	-0.062	152.131	-0.54	2.36
Кеть	с. Максим. Яр	1937-2002	0.36	0.11	0.28	-304.72	0.89	2.30
Кеть	с. Родионово	1955-2002	0.42	0.12	0.08	312.52	0.09	2.32
Тым	с. Напас	1937-2002	0.48	0.10	0.54	-868.80	2.31	2.30
		1964-2002	0.34	0.14	0.34	-465.41	0.61	2.34
Васюган	с. Ср.Васюган	1936-1995	0.29	0.12	-0.12	390.61	-0.35	2.30
Васюган	с. Наунак	1936-1995	0.31	0.12	-0.25	800.37	-0.46	2.30
Парабель	с. Новиково	1958-2002	0.32	0.14	0.35	-617.94	0.97	2.32
Чая	с. Подгорное	1953-2002	0.47	0.11	0.53	-963.38	1.60	2.31
Шегарка	с. Бабарыкино	1953-2002	0.39	0.12	0.27	-523.01	2.66	2.31
		1985-2002	0.43	0.20	0.105	-187.213	0.16	2.47

1 - $r(1)$ - коэффициент автокорреляции; $\sigma_{r(1)}$ - ошибка коэффициента автокорреляции; τ_r - значение критерия Питмена; $\tau_{кр}$ - критическое значение критерия Питмена; 2 - параметры уравнения

$Q_z = a \times \text{Год} + b$, где Q_z – среднегодовой расход воды; полужирным шрифтом выделены значения τ_r для створов, в которых обнаружен тренд

После 1941 г. стали проводиться регулярные измерения расходов воды, и их значения закономерно уменьшились. По этой причине при определении характерных параметров стока р. Томь необходимо рассматривать не весь период наблюдений с 1918 г., а только с 1941-1942 гг.[49]. Проверка же сокращенного ряда (с 1942 г. по 2002 г.) при уровне значимости 5 % не выявила ни нарушений однородности (по среднему и дисперсии), ни значимых трендов годового водного стока (табл.2.1, 2.2).

Таблица 2.2
Среднегодовые расходы воды (Q) и их стандартные отклонения (σ), полученные по выделенным однородным рядам при уровне значимости 5 %

Река	Пункт, период	Период	Q , м ³ /с	σ , м ³ /с	W^1	W_1	W_2	F^2	$F_{кр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обь	г. Колпашево	1915-1961	4269	693	1514	729	1198	1.87	1.67
		1962-2002	3537	509					
Обь	с. Прохоркино	1960-1996	5405	925	219	98	224	2.37	2.20
		1974-1996	4821	583					
Томь	г. Междуреченск	1932-1969	167	30	681	366	660	1.86	1.87
		1970-1996	150	22					
Томь	г. Новокузнецк	1895-1996	646	117	однородный период				
Томь	г. Томск	1918-1941	1156	228	957	531	933	1.92	1.71
		1942-2002	1031	161					
Порос	с. Зоркальцево	1974-2002	0.45	0.17	однородный период				
Чулым	с. Тегульдет	1932-2002	290	54	однородный период				
Чулым	с. Зырянское	1936-2002	556	103	однородный период				
Чулым	с. Батурино	1938-2002	783	151	однородный период				
Кия	г. Мариинск	1936-1946	142	50	208	181	402	3.17	2.02
		1947-1999	149	26					
Кия	с. Окунево	1955-1999	164	29	однородный период				
Яя	пгт. Яя	1935-1968	34	9	728	378	676	2.21	1.84
		1969-1999	29	6					
Кеть	с. Максим.Яр	1937-2002	244	49	однородный период				
Кеть	с. Родионовка	1955-2002	479	89	однородный период				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тым	с. Напас	1937-1963	182	33	351	376	677	1.44	1.86
		1964-2002	203	39					
Васюган	с. Средний Васюган	1936-1995	157	45	однородный период				
Васюган	с. Наунак	1936-1995	305	74	однородный период				
Парабель	с. Новиково	1958-2002	75	32	однородный период				
Чая	с. Подгорное	1953-2002	77	35	однородный период				
Шегарка	с. Бабарыкино	1953-1984	13.5	8.0	188	191	385	2.96	1.97
		1985-2002	22.1	14.1					

1 – фактические (W) и критические (W_1 и W_2) значения критерия Уилкоксона; 2 – фактические (F) и критические ($F_{кр}$) значения критерия Фишера; полужирным шрифтом выделены значения критериев, превышающие критические

В случае р. Обь объяснение нарушения однородности рядов наблюдений у г. Колпашево с 1915 г. по 2002 г. несколько иное. В конце 1950-х гг. на этой реке было введено в эксплуатацию Новосибирское водохранилище сезонного регулирования. Несмотря на то, что на участке от г. Новосибирск до г. Колпашево в р. Обь впадает ряд полноводных притоков, было выявлено уменьшение нормы стока на $700 \text{ м}^3/\text{с}$ [49]. В работе [23] упоминается о выявленной ее авторами систематической 12 %-ой погрешности определения расходов воды р. Обь у г. Колпашево до 1962 г., что примерно и соответствует $700 \text{ м}^3/\text{с}$, но при этом ничего не было сказано о природе этой погрешности и ее внутригодовом распределении. С учетом этого обстоятельства и, самое главное, регулирования стока р. Обь Новосибирским водохранилищем целесообразно, как и для р. Томь, рассматривать не весь ряд наблюдений с 1915 г. по 2002 г., а только его часть, соответствующую установившемуся режиму регулирования стока и единообразной методике наблюдений, то есть с 1962 г. В пределах этого периода значимые тренды годового стока и нарушения однородности рядов по среднему и дисперсии не выявлены.

Для объяснения наличия значимых трендов и нарушения однородности рядов среднегодовых расходов прочих рек в течение последних 60-70 лет был проведен анализ многолетних изменений среднемесячных расходов воды с целью выявления процессов формирования неоднородных по своему происхождению составляющих

годового стока и их изменения в многолетнем разрезе. Результаты этого анализа приведены ниже. В целом же, в последние 25-30 лет можно констатировать, во-первых, отсутствие заметных изменений среднемноголетних значений годового водного стока большинства изученных рек. Во-вторых, для многих притоков рр. Томь и Чулым, сток которых формируется в лесостепной зоне, горных и полугорных районах, характерно уменьшение дисперсии среднегодовых расходов воды за период 1970-2000 гг. по сравнению с предшествующими десятилетиями. В-третьих, наблюдается определенное увеличение годового водного стока некоторых рек, протекающих на сильно заболоченных территориях. Наиболее выражено это увеличение на северо-востоке рассматриваемой территории (р. Тым).

2.2. Многолетние изменения среднемесячных расходов воды

Проверка рядов среднемесячных расходов воды р. Оби и ряда ее притоков на однородность показала, что в последние десятилетия происходит изменение внутригодового распределения стока, характеризующееся изменением дисперсии межennaleго стока (и в летне-осенний, и в зимний периоды) и увеличением среднемесячных расходов воды ряда рек в зимнюю межень (приложение). Аналогичный вывод по р. Томь ранее был получен в работах [101, 126], по рекам Кузнецкого Алатау и Горной Шории (включая р. Томь) – в [102], а по рр. Тяжин и Яя – в [50].

Увеличение межennaleго водного стока наблюдается, прежде всего, на реках с нарушениями дисперсии годового стока, что позволяет связать между собой эти факты и сделать вывод о, как минимум, региональных масштабах процессов перестройки водного режима рассматриваемой территории. На одних реках, где доля межennaleго стока относительно невысокая и существует природная или искусственная зарегулированность стока, эти процессы пока не сказываются на величине нормы годового стока. На других реках они более значимы, что с учетом более стабильного во времени межennaleго стока и приводит к выравниванию стока за год, а следовательно, и к уменьшению дисперсии среднегодовых расходов воды.

При этом следует отметить, что увеличение межennaleго стока зафиксировано даже для притока р. Томь – малой реки Порос, водосбор которой расположен в пределах одного из крупнейших в России Томского подземного водозабора. Ее сток, особенно в межennaleгий период, по идее, должен уменьшаться вследствие отбора подземных вод (около 200 тыс. м³/сут). Однако было обнаружено лишь уменьшение уровней

воды в этой реке. Ее годовой водный сток в течение 27 лет не претерпел существенных изменений, а в изменении сентябрьских расходов воды было отмечено статистически значимое (при уровне значимости 5 %) увеличение в 1990-е гг. по сравнению с 1970-1980 гг. [138].

Наиболее важным (с точки зрения формирования водного стока) представляется увеличение зимнего меженного стока рр. Томь, Чулым, Кеть и других рек, достигающее максимума на северо-востоке рассматриваемой территории (р. Тым), где его рост настолько ощутим, что приводит к увеличению среднегодовых расходов воды (приложение). Можно констатировать возрастание в последние 2-3 десятилетия зимнего меженного стока рек. Для р. Обь выявлена иная тенденция – статистически значимое уменьшение среднемесячных расходов воды в мае и июле, что, предположительно, объясняется эффектом сезонного регулирования стока этой реки Новосибирским водохранилищем.

В целом, результаты статистического анализа свидетельствуют о неслучайных многолетних изменениях зимнего стока и нарушении однородности рядов меженных расходов воды, преимущественно, на границе 1960-1970-х гг. На основании этих фактов можно сделать вывод о том, что с 1930-1940-х гг. до настоящего времени наиболее стабилен сток весеннего половодья. Статистически постоянный летне-осенний сток, в значительной мере определяемый притоком подземных вод, наблюдается уже не за весь рассматриваемый период, а только в последние 20-30 лет.

Зимний сток, почти целиком состоящий из подземных вод, напротив, постепенно возрастает с 1970-1980-х по 2002 гг., причем для некоторых рек отмечена существенная корреляционная связь между среднемесячными значениями расходов воды и температуры приземных слоев воздуха. Учитывая, что в последние десятилетия в южной части Западной Сибири [103] отмечается хорошо выраженное увеличение температуры воздуха, можно сделать предположение о влиянии процессов потепления климата на водный режим. В частности, потепление климата представляется наиболее вероятной причиной смещения границ гидрологических сезонов (рис.2.1). Кроме того, В.В. Паромовым и соавторами (2001) было высказано предположение о возможном увеличении снеготазов в горных районах (достаточно слабо охваченных гидрометеонаблюдениями), где формируется значительная часть стока рр. Томь и Чулым.

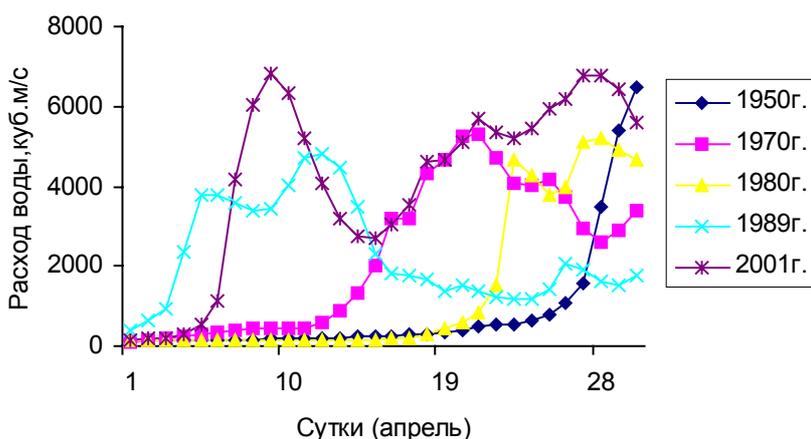


Рис.2.1. Изменение расходов воды р. Томь у г. Томска в апреле 1950, 1970, 1980, 1989, 2001 гг.

2.3. Норма годового водного стока рек и его подземной составляющей

Анализ результатов проверки рядов среднегодовых и среднемесячных расходов воды на однородность и случайность позволил выделить условно однородные временные интервалы для рек бассейна р. Обь и рассчитать норму их водного стока. Результаты определения среднемноголетних значений суммарных расходов воды приведены в табл.2.3.

Оценка подземной составляющей $Q_{\text{подз.}}$ водного стока рек была проведена за однородные периоды формирования годового стока (табл.2.3) путем расчленения среднемесячного гидрографа реки по уравнению (1), полученному в соответствии с изложенным в [21] алгоритмом:

$$Q_{\text{подз.}} = \begin{cases} Q_{\text{ср.мес.}}, & \text{если } n = 12 \text{ или } n < 4 \\ Q_{\text{март.}} + \frac{Q_{\text{декабрь}} - Q_{\text{март}}}{12 - 3} \times (n - 3), & \text{если } n < 12 \text{ и } n > 3 \end{cases} \quad (2.1)$$

где $Q_{\text{ср.мес.}}$ – среднемесячный расход воды реки; $Q_{\text{март}}$ и $Q_{\text{декабрь}}$ – среднемесячные расходы воды за март и декабрь соответственно; n – номер расчетного календарного месяца (1 – январь, 2 – февраль, 3 – март, 12 - декабрь). С учетом распространенных в гидрологической практике представлений, результаты вычислений по уравнению (1),

по сути, характеризуют наиболее устойчивую часть подземного питания из глубоко залегающих водоносных отложений [21, 64, 111].

Таблица 2.3

Основные реки бассейна Средней Оби и их гидрологические характеристики
(исходные данные Росгидромета)

№	Наименование реки, створ	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовой расход, м ³ /с	Коэффициент вариации	Годовой объем стока, км ³	Однородный период
1	р.Обь – г. Колпашево	486000	3537 ± 79	0.14	111.55	1962-2002
2	р.Обь – с. Прохоркино	738000	4821 ± 122	0.12	152.04	1974-1996
3	р.Томь–г.Междуреченск	5880	150 ± 4	0.15	4.75	1970-1996
4	р.Томь – г. Новокузнецк	29800	646 ± 12	0.18	20.38	1895-1996
5	р.Томь – г. Томск	57000	1031 ± 21	0.15	32.52	1942-2002
6	р.Томь – г. Томск	57800	1036 ± 21	0.15	32.67	1942-2002
7	р.Чулым – с. Тегульдет	55300	290 ± 6	0.18	9.15	1932-2002
8	р.Чулым – с. Зырянское	92500	556 ± 13	0.18	17.53	1936-2002
9	р.Чулым – с. Батурино	131000	783 ± 19	0.19	24.70	1938-2002
10	р.Васюган – с. Средний Васюган	31700	157 ± 6	0.29	4.97	1936-1996
11	Васюган – с. Наунак	58300	305 ± 10	0.24	9.62	1936-1996
12	р.Кеть–с.Максимкин Яр	38400	244 ± 6	0.20	7.70	1937-1996
13	р.Кеть – с.Родионовка	71500	479 ± 13	0.19	15.09	1955-2002
14	р.Тым – с. Напас	24500	203 ± 6	0.19	6.40	1964-2002
15	р.Парабель–с.Новиково	17900	75 ± 5	0.42	2.37	1968-1999
16	р.Чая – с. Подгорное	25000	77.3 ± 5	0.45	2.44	1953-2002
17	р.Шегарка –с.Бабарыкино	8190	22.1 ± 3.3	0.64	0.52	1953-2002
18	р.Кия – г. Мариинск	9820	149 ± 4	0.17	4.70	1947-1999
19	р.Кия – с. Окунеево	14900	164 ± 4	0.18	5.71	1955-1999
20	р.Яя – пгт. Яя	3460	29 ± 1	0.20	0.90	1969-1999
21	р.Порос–с.Зоркальцево	316	0.45 ± 0.03	0.37	0.01	1974-2002

При этом следует отметить, что выбор такого способа расчленения гидрографа объясняется следующим. Во-первых, Л.И. Дубровской и Н.А. Ермашовой [40] на

примере Обь-Томского междуречья показано, что разгрузка грунтовых вод в реки осуществляется круглогодично, а оценка подземного водного стока по минимальному меженному расходу речных вод (один из наиболее распространенных способов) является недостаточно объективной. Во-вторых, использование способов расчленения гидрографа, учитывающих характер связи поверхностных и подземных вод достаточно часто также не целесообразно, поскольку во время весеннего половодья на одном и том же участке может одновременно наблюдаться и подпор речными водами грунтового стока в низкой пойме, и приток грунтовых вод со стороны яра. В качестве примера можно привести створ р. Томь у г. Томска, на правом, высоком берегу которой происходит разгрузка грунтовых вод и верховодки, а на левом, низком берегу весной могут отмечаться обратные уклоны грунтовых вод [68, 69, 152, 153].

Таким образом, с учетом погрешности определения расходов речных вод и при отсутствии результатов детальных гидрогеологических исследований нет особых оснований (без риска допустить ошибки в ту или иную сторону) проводить расчленение гидрографа речного стока иным, чем по уравнению (1), способом. Полученные сведения о величине $Q_{\text{подз}}$ представлены в табл.2.4.

Таблица 2.4

Подземная составляющая среднемноголетнего водного стока рек бассейна Оби (в м³/с и % от суммарного среднемноголетнего расхода воды реки)

Наименование реки, створ	Оценка стока по уравнению (1)		Зимний сток рек [57]		Подземный сток [118, табл.71]	
	м ³ /с	%	м ³ /с	% ³	м ³ /с	%
1	2	3	4	5	6	7
Обь – г. Колпашево	1209	34.2	(1170)	28.1	–	–
Обь – с. Прохоркино	1779	36.9	–	–	–	–
Обь – устье ¹	–	–	–	–	4077	31.9
Томь – г.Междуреченск	22.4	14.9	35.8	21.4	33.6	20.1
Томь – г. Новокузнецк	98	15.2	153	23.5	–	–
Томь – г. Томск	186	18.0	265	24.5	161	14.9
Томь – устье ¹	–	–	–	–	165	15.0
Чулым – с. Тегульдет	69	23.8	–	–	–	–
Чулым – с. Зырянское	139	25.0	–	–	–	

1	2	3	4	5	6	7
Чулым – с. Батурино	222	28.3	321 ²	40.9	–	–
Чулым – устье ¹	–	–	–	–	212	26.9
Васюган – с. Средний Васюган	36	23.1	48	30.8	38.2	24.2
Васюган – с. Наунак	97	32.0	118	37.3	–	–
Кеть – с.Максимкин Яр	81	33.2	86.9	35.6	69.4	28.5
Кеть – с. Родионовка	194	40.6	196	44.0	–	–
Кеть – устье ¹	–	–	–	–	212	36.6
Тым – с. Напас	75	37.1	74.3	41.0	67.6	37.5
Парабель – с. Новиково	23	31.2	24.8	36.5	–	–
Чая – с. Подгорное	23	30.3	(27)	38.6	23.0	33.0
Шегарка –с.Бабарыкино	2.7	12.3	2.51	18.2	–	–
Кия – г. Мариинск	21	13.8	29.6	20.1	19.9	13.6
Кия – с. Окунеево	34	20.9	43.8	25.6	33.5	19.6
Яя – пгт. Яя	3.5	12.1	6.29	18.5	5.8	17
Порос – с. Зоркальцево	0.14	30.4	–	–	–	–

1 – [22]; 2 – в створе п. Коммунарка; 3 – доля от годового стока, приведенного в [118]

В процентном отношении от суммарного речного стока они (с учетом погрешности определения расходов воды не менее 5 % и отмеченных выше нарушений однородности гидрологических рядов) достаточно хорошо согласуются с данными [27, 57, 118, 119]. При этом следует отметить и определенные отличия. Согласно [118], для р. Томь и ряда других рек подземная составляющая их водного стока вниз по течению может как увеличиваться, так и уменьшаться, в то время как результаты выполненных нами расчетов свидетельствуют о повсеместном увеличении подземного питания рек от верховий к устью (табл.2.4). Кроме того, изменение модулей подземного стока на равнинной части рассматриваемой территории в большей степени, чем это показано на карте изолиний в [27], подчиняется широтной зональности.

2.4. Внутригодовое распределение водного стока рек

Рассматриваемая территория обского бассейна отличается весьма разнообразными природными условиями, предопределившими и различия в сезонном водном стоке. С учетом этого установившаяся в последние десятилетия картина внутригодового распределения речного стока не может быть охарактеризована вне схем гидрологического районирования, наибольшее распространение среди которых в отечественной гидрологии получили классификации Б.Д. Зайкова, М.И. Львовича и П.С. Кузина.

Согласно классификации Б.Д. Зайкова, реки равнинной части бассейна Средней Оби относятся к Западно-Сибирскому типу, характеризующемуся растянутым, сравнительно невысоким половодьем, низкой зимней меженью и повышенным стоком в летне-осенний период, а верховья р. Томь и Чулым – к Алтайскому типу, отличающемуся невысоким, обычно гребенчатого вида половодьем, повышенным осенним и низким зимним стоком. По М.И. Львовичу, равнинные реки обского бассейна отнесены к рекам с преимущественно снеговым питанием (50-80 %), водотоки горных и прилегающих к ним территорий – к рекам со смешанным питанием с преобладанием снегового [8].

В соответствии с классификацией П.С. Кузина (наиболее подробной из рассматриваемых), в пределах Томской области и прилегающих территорий выделяются следующие гидрологические районы [70]:

- 1) Иртышско-Енисейский район (рр. Кеть, Тым, Васюган, Парабель, Чая, Шегарка), охватывающий реки лесной зоны с весенне-летним половодьем, максимум которого приходится на начало июня, летними и осенними паводками, зимней меженью с низким водным стоком и ледоставом средней продолжительности;
- 2) Чумышский район (р. Яя, левобережные притоки р. Томь в ее среднем течении), 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, также как и реки Иртышско-Енисейского района, относятся к лесной зоне;
- 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, включая и 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.

Фактическое внутригодовое распределение водного стока рек рассматриваемой территории за выделенные однородные периоды соответствует приведенным выше схемам гидрологического районирования, составленным еще до 1960 г. Определенные отличия от этих схем из числа изученных водотоков характерны только для малых притоков р. Томь, например, р. Порос. В целом же, для рек бассейна Средней Оби можно констатировать вполне закономерное растягивание половодья и запаздывание его максимума по мере движения водных масс от верховий к устью (табл.2.5).

Таблица 2.5

Месячный водный сток рек в среднем за многолетний период
(исходные данные Росгидромета), м³/с

№ по табл. 2.3	Месяц календарного года											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1169	1120	1126	3332	10348	8717	4858	3300	2710	2702	1769	1293
2	1710	1599	1491	2455	12286	13592	7788	4689	3943	3793	2504	2002
3	19.8	18.8	19.9	178	623	358	124	112	106	141	70.3	29.6
4	86.4	72.5	77.5	1113	2910	1345	504	359	430	491	234	129
5	182	142	139	1993	4470	2075	732	542	642	751	463	241
7	68	52	45	142	1054	842	420	263	195	185	119	94
8	133	113	105	370	2088	1633	688	420	352	353	238	178

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	220	189	172	485	2794	2344	984	608	488	484	348	281
10	34	28	25	61	508	511	228	134	115	112	81	48
11	86	76	70	114	740	885	573	327	263	231	180	115
12	80	73	69	99	655	925	338	178	152	150	113	95
13	301	206	194	225	836	1373	823	369	320	319	358	422
14	73	65	61	74	484	685	275	190	169	158	113	90
15	22.2	19.9	19.1	47.2	288	217	76.0	55.0	43.8	44.3	39.9	27.2
16	23.3	21.4	21.4	63.7	358	182	65.5	47.1	39.2	41.3	37.9	27.4
17	3.6	3.2	3.3	45.7	122	32.5	16.1	11.6	7.6	8.6	7.1	4.3
18 ¹	18.4	15.5	16.9	226	762	308	105	69.9	95.3	102	53.8	24.0
19 ¹	35.5	27.3	27.0	205	722	440	128	88.6	88.0	90.9	75.2	49.2
20 ¹	4.01	2.55	3.25	107	193	27.6	15.7	9.51	10.2	14.6	10.7	4.68
21	0.14	0.14	0.14	1.80	1.54	0.46	0.22	0.20	0.21	0.24	0.16	0.13

1 – [98]

3. Эколого-геохимическое состояние речных вод в 1970-2000-е гг.

Изучением химического состава речных вод в бассейне Средней Оби в разное время занимались О.А. Алекин (1949), В.П. Казаринов и др. (1965), А.Э. Конторович и др. (1971), Г.С. Коновалов и др. (1966), А.А. Бондарев, И.Ю. Шульга (1983), А.В. Мальцева и др. (1984), В.М. Иваник, О.А. Клименко (1990), Е.Г. Нечаева (1990, 1994), Е.Е. Лобченко и др. (1991), Ю.Г. Покатилов (1993), В.В. Головина и др. (1996), В.П. Зверев и др. (1996), О.Ф. Васильев и др. (1997), Т.С. Папина, Е.И. Третьякова (1997), Ю.П. Туров и др. (1998, 1999), В.В. Гордеев и др. (2002), Л.Г. Коротова и др. (1998), Н.П. Солнцева (1998), Н.Л. Добежина, В.М. Калинин (2000), В.П. Парначев и др. (2003) и многие другие, использовавшие как материалы многолетних режимных наблюдений Росгидромета, так и данные собственных исследований.

С 1990 г. комплексные работы по изучению эколого-геохимического состояния рр. Обь, Томь и их притоков стали проводиться под руководством проф. С.Л. Шварцева в ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН, в результате чего был опубликован ряд работ [117, 130, 132, 162-165, 167-170 и т.д.].

Значительный объем гидрохимической информации, особенно по малым рекам, был получен в ТЦ «Томскгеомониторинг» при выполнении работ по ведению государственного мониторинга поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области, ответственным исполнителем которых в 2001-2003 гг. являлся автор [149-151], до этого в течение нескольких лет принимавший участие в составлении ежегодных обзоров Госкомэкологии о состоянии водных объектов [177-180].

Таким образом, анализ эколого-геохимического состояния речных вод на территории Томской области за период 1970-2000 гг. основывается на обширном и представительном фактическом материале, полученном в Росгидромете, ТЦ «Томскгеомониторинг», Госкомэкологии по Томской области, ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН и ряде других научных и производственных организаций с использованием современных методов исследований. Методика полевых, лабораторных и камеральных работ изложена в [127, 130, 163, 167].

3.1. Большие реки

3.1.1. Макрокомпоненты и pH

Река Обь. Воды р. Обь на участке от устья р. Томь до устья р. Иртыш характеризуются по классификации О.А. Алекина как пресные с малой и средней минерализацией (от 70 мг/л в период весеннего половодья до 430 мг/л в зимнюю межень). Суммарное содержание главных ионов ($\Sigma_{и}$) в водах Средней Оби уменьшается по мере движения водных масс с юга на север (рис.3.1). При этом оно несколько выше соответствующего показателя для больших рек мира (табл.3.1), протекающих в зоне тундры и северной тайги (Енисей, Печора и др.). В то же время, величина $\Sigma_{и}$ обских вод значительно меньше, чем сумма главных ионов в речных водах лесостепной и степной зон (Волга, Урал, Днепр, Дон и др.) [2, 3, 22, 118, 161].

По химическому составу воды р. Оби являются гидрокарбонатными кальциевыми, причем соотношение концентраций главных ионов в основном соответствует второму типу по классификации О.А. Алекина, что указывает на формирование макрокомпонентного состава речных вод преимущественно при взаимодействии с различными осадочными породами [3, 154]. Распределение содержаний Ca^{2+} и HCO_3^- по длине реки как в весовом, так и в эквивалентном выражении примерно то же, что и

распределение минерализации (то есть уменьшение с юга на север). Концентрации прочих макрокомпонентов (в мг/л) также уменьшаются на участке от г. Колпашево до с. Александровское. Однако их доля в процентном отношении либо практически не меняется, либо возрастает.

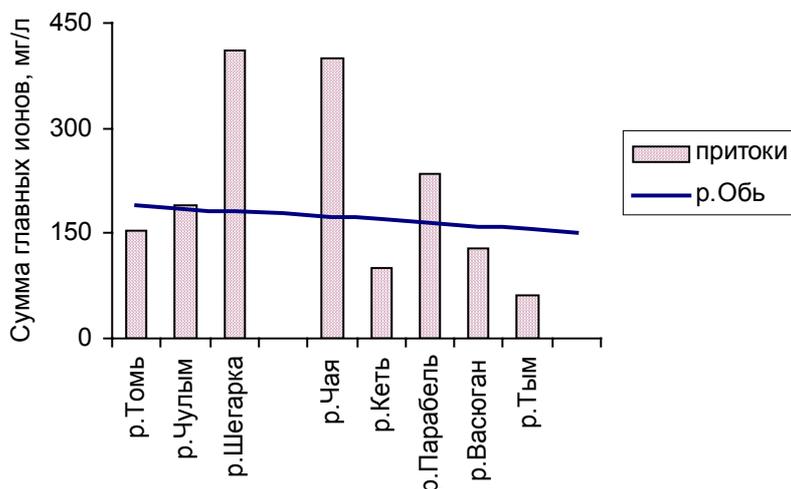


Рис.3.1. Изменение среднемноголетних значений $\Sigma_{и}$ вод Средней Оби и ее притоков

Таблица 3.1

Средние концентрации макрокомпонентов, значения суммы главных ионов и pH рр. Обь, Томь и Чулым за период 1970-2002 гг. (исходные данные Росгидромета, ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН), мг/л

Река – створ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	$\Sigma_{и}$	pH	N ¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
р. Обь – выше г. Колпашево	30.8	5.6	8.2	115.6	15.1	4.0	179.3	7.30	111
р. Обь – с. Александровское	25.9	5.0	7.3	95.6	13.9	3.0	150.7	7.11	59
р. Томь – г. Междуреченск	14.4	2.9	3.4	51.2	8.8	3.7	84.4	7.49	25
р. Томь – выше г. Новокузнецк	23.5	4.8	11.7	99.0	19.1	3.2	161.3	7.72	56
р. Томь – пгт. Крапивинский	24.3	6.8	17.6	118.3	11.0	4.6	182.6	7.44	13
р. Томь – ниже г. Кемерово	22.3	6.9	9.3	89.7	17.9	4.9	151	7.49	11
р. Томь – выше г. Томск	23.9	5.2	8.1	85.2	16.3	7.1	145.8	7.44	150
р. Томь – с. Козюлино	23.8	4.8	11.2	91.9	15.4	6.6	153.7	7.51	34
р. Чулым – с. Тегульдет	31.7	11.7	7.5	128.7	14.3	2.4	196.3	7.22	20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
р. Чулым – с. Батурино	31.7	5.9	9.0	127.4	13.0	2.4	189.4	7.22	64
Средняя Обь ²	28.7	5.6	7.7	109.0	13.8	3.5	168.3	7.28	279
Обь–г. Салехард [22]	17.4	3.6	5.5	72.9	4.1	3.9	107.4	-	-
Реки мира [183]	14.6	4.1	8.6	58.4	11.2	7.8	104.7		
Реки мира [185]	14.7	3.65	8.6	53	11.5	8.25	99.7		
Реки мира [95]	12.3	2.9	4.9	39.9	11.4	5.5	76.9		
ПДК _р ³	180 ⁴	40 ⁴	Na 120 K 50 ⁴	–	100	300	1000	6.5-	
ПДК _х ³	–	–	Na 200	–	500	350	1000	8.5	

1 – здесь и далее N – количество наблюдений; 2 – среднеарифметическое на участке от с.Киреевск до г. Стрежевой; 3 – ПДК_р и ПДК_х – предельно допустимые концентрации вещества в водных объектах рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого назначения соответственно [93, 107]; 4 – ПДК для всех растворимых форм

По величине рН воды относятся в среднем к нейтральным (табл.3.1), в летне-осенний период – к нейтральным и слабощелочным. При этом отмечается уменьшение значений рН по мере движения водных масс вниз по течению, хотя в межень может наблюдаться и обратная картина [163].

Формы миграции. Основной формой миграции макрокомпонентов (кроме K^+ , находящегося в основном во взвеси [72]) в пресных поверхностных водах, включая и воды р. Обь, является раствор [29, 53, 59]. В растворенном состоянии, согласно [72], преобладают незакомплексованные ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Причем для макрокомпонентов характерно последовательное уменьшение способности к комплексообразованию: для анионов в ряду $CO_3^{2-} \gg SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$; для катионов – $Mg^{2+} > Ca^{2+} \gg Na^+$ [67].

Для оценки форм миграции макрокомпонентов в р. Обь и ее притоках в растворенном состоянии были проведены термодинамические расчеты по методике, изложенной в работе [137], на основе среднесуточных данных о химическом составе речных вод (табл.3.1). Концентрация CO_3^{2-} определялась расчетным путем согласно [3]. Полученные результаты подтвердили выводы ряда авторов о преобладании в растворе незакомплексованных (главных) ионов, процентное содержание которых увеличивается по мере уменьшения рН (табл.3.2). Доля комплексов $CaHCO_3^+$ и $MgHCO_3^+$

составляет 3.4-4% и 2.5-3% от валового содержания кальция и магния, соответственно. Вклад прочих комплексов этих элементов не превышает 1%.

Таблица 3.2

Преобладающие формы миграции макрокомпонентов в водах средних рек бассейна Средней Оби за период 1970-2002 гг., % от валового содержания

Река – створ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
р. Обь – выше г. Колпашево	95.19	96.12	99.81	>99.9	97.97	95.26	>99.9
р. Обь – с. Александровское	95.82	96.64	99.84	>99.9	98.23	95.79	>99.9
р. Томь – г. Междуреченск	97.50	97.95	99.90	>99.9	98.92	97.30	>99.9
р. Томь – выше г. Новокузнецк	95.51	95.96	99.81	>99.9	98.12	96.09	>99.9
р. Томь – выше г. Томск	96.08	96.71	99.84	>99.9	98.32	95.95	>99.9
р. Чулым – с. Тегульдет	94.91	95.94	99.80	>99.9	97.60	94.26	>99.9
р. Чулым – с. Батурино	94.94	95.98	99.81	>99.9	97.93	95.22	>99.9

Соответствие нормативам качества. В целом, содержания макрокомпонентов и минерализация вод р. Обь удовлетворяют российским нормативам качества. Не только за 1970-2002 гг., но и за весь период гидрохимических наблюдений на участке от с. Киреевск до г. Стрежевой не зафиксировано ни одного достоверного случая превышения ПДК_р или ПДК_х даже по содержанию хлоридов и сульфатов, являющихся характерными компонентами сточных вод. Этого нельзя сказать о величине рН, примерно в 30-32 % случаев выходящей за установленные границы интервала 6.5-8.5 [149]. Причем нарушения нормативов носят хорошо выраженный сезонный характер: рН менее 6.5 наблюдаются в весенний период, когда в водном стоке возрастает доля талых вод, и/или в результате увеличения притока кислых и слабокислых болотных вод; рН более 8.5 обычно приурочены к летней межени (отмечаются в южной части области).

Река Томь. Воды этой реки, как и воды р. Обь, пресные мало- и среднеминерализованные, гидрокарбонатные кальциевые, преимущественно нейтральные или слабощелочные (табл.3.1). В то же время, в отличие от Оби, для р. Томь в течение последних трех десятилетий было характерно не последовательное уменьшение минерализации и концентраций главных ионов по мере движения водных масс вниз по течению, а значительное увеличение содержаний растворенных солей на участке среднего течения (по сравнению с верховьями реки) и последующее их снижение в нижнем течении (рис.3.2).

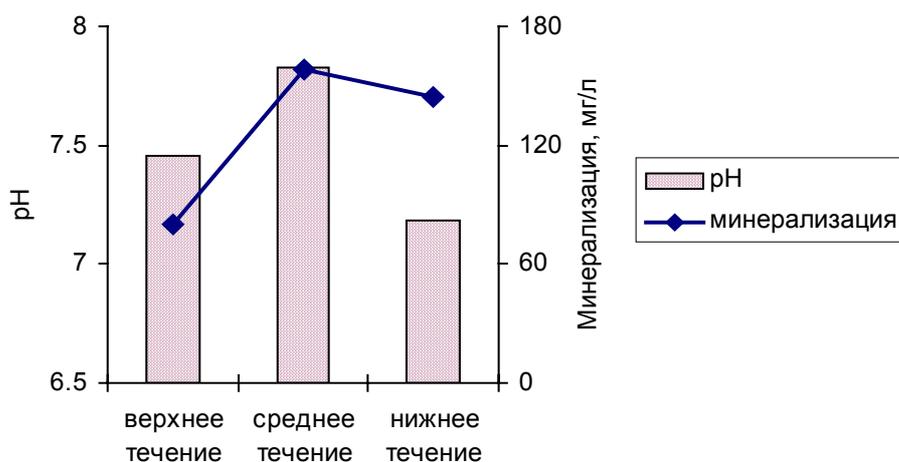


Рис.3.2. Среднемноголетние значения pH и минерализации вод р. Томь [117]

От верховий к устью заметно меняется и соотношение главных ионов. Так, от г. Междуреченск до пгт. Крапивинский в многолетнем разрезе происходит увеличение доли ионов Na^+ и HCO_3^- при уменьшении вклада ионов Ca^{2+} . В створе г. Томск наблюдается уже противоположная картина – доля ионов Na^+ и HCO_3^- уменьшается, а ионов Ca^{2+} , SO_4^{2-} и Cl^- увеличивается. В целом же, содержание главных ионов в р. Томь ниже, чем в р. Обь, а значения pH сопоставимы с соответствующим показателем для обских вод на участке от устья р. Томь до г. Колпашево.

Формы миграции. Преобладающей формой миграции макрокомпонентов в водах р. Томь, как и в р. Обь, является растворенное состояние в виде незакомплексованных ионов (табл.3.2). Изменение доли незакомплексованных ионов в р. Томь в целом обратно пропорционально изменению их валовых содержаний, в результате чего доли Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ достигают максимальных значений в верхнем течении р. Томь, а минимальных – на участке ее среднего течения, в пределах которого они наиболее близки к соответствующим показателям для р. Обь.

Соответствие нормативам качества. Максимальные значения минерализации вод р. Томь превышают 600 мг/л, что заметно отличается от нормы (табл.3.1). Тем не менее, достоверные случаи превышения ПДК по минерализации или содержанию отдельных главных ионов не зафиксированы. Вероятность обнаружения pH вод р. Томь на территории Томской области за пределами 6.5-8.5 составляет 46 % [150].

Наибольшие значения рН отмечаются в летний период, причем достаточно часто они приурочены к участку, расположенному ниже по течению от г. Новокузнецк. Так, в июле 1994 г. в 30 км ниже этого города зафиксирована величина рН 9.6. Несколько меньшее значение было обнаружено в это же время в устье притока р. Томь – р. Кондома (рН 9.0), а также в самой Томи в июле 1997 г. в 35 км выше г. Томск (рН 9.2) [127].

Река Чулым. Воды р. Чулым на участке от с. Тегульдет до устья содержат несколько большее количество растворенных солей, чем рр. Томь и Обь. Средний уровень суммарного содержания главных ионов в водах р. Чулым остается достаточно стабильным на всем участке нижнего течения. Так, в створе с. Тегульдет среднеголетнее значение суммы главных ионов ($\Sigma_{и}$) составляет 196.3 ± 16.5 мг/л, у с. Зырянское - 197.3 ± 14.8 мг/л, у с. Батурино - 189.4 ± 11.9 мг/л. По химическому составу речные воды гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные или слабощелочные [9, 109], причем в нижнем течении происходит некоторое увеличение в макрокомпонентном составе доли ионов Ca^{2+} , Na^+ и HCO_3^- при снижении вклада ионов Mg^{2+} .

Формы миграции. В отличие от р. Томь, для р. Чулым, имеющей на участке от с. Тегульдет до с. Батурино более высокую минерализацию вод, в среднем характерно уменьшение доли незакомплексованных ионов кальция, магния, гидрокарбонатов и сульфатов по сравнению с рр. Обь и Томь, компенсируемое увеличением доли комплексов CaHCO_3^+ , MgHCO_3^+ , CaSO_4^{2-} и MgSO_4^{2-} .

Соответствие нормативам качества. Как и в случае рр. Обь и Томь, нарушение допустимых нормативов отмечается не по содержанию макрокомпонентов и минерализации, а по величине рН. Причем эти нарушения связаны не с высокими, а, напротив, низкими значениями рН (менее 6.5), изредка отмечаемыми в период весеннего половодья.

3.1.2. Микроэлементы

Река Обь. В целях упорядочения и систематизации сведений при изучении содержаний микроэлементов в природных водах целесообразно применять геохимические классификации. Для этого, как и в одной из предыдущих работ [162], использовалась геохимическая классификация элементов, разработанная В.И. Вернадским. В соответствии с данной классификацией выделяются циклические, рассеянные, редкоземельные и радиоактивные элементы [18].

Циклические элементы. Содержания этих элементов в речных водах бассейна Средней Оби изучены лучше других групп микрокомпонентов. Результаты обобщения материалов, полученных в различных научных и производственных организациях, представлены в табл.3.3 и 3.4. Предварительный анализ этих данных показал, что все элементы по степени изменения содержаний вдоль русла р. Обь могут быть разделены на две группы: 1) сильноизменяющиеся с коэффициентами вариации больше 0.5 и 2) малоизменяющиеся с коэффициентом вариации меньше 0.5. Первоначально к первой группе были отнесены Hg, Ti, Mn, Sb, Zn, Ag, Bi, Ba, а ко второй – Co, Ni, Pb, Cu, Hf [162-164]. Однако в результате дальнейших исследований, проведенных в 1997-2001 гг., было установлено, что содержания практически всех изученных микроэлементов подвержены очень значительным колебаниям (табл.3.3).

Не только максимальные, но и средние содержания многих элементов, например, Cr, Mn, Zn, Sr, Hg, Pb (относительно данных [184]), V, превышают средние концентрации для рек мира, по крайней мере, в 1.5-2 раза. Примерно равны средние (для р. Обь и рек мира) содержания Ba, Co и Mo, а концентрации Ti, Ag, Sb, Mo, Al в р. Обь меньше, чем для прочих крупных водотоков (табл. 3.3). При этом необходимо отметить, что по сравнению с реками промышленно развитых регионов мира содержания цинка и ряда других компонентов в р. Обь существенно ниже. Так, согласно [92], в 1986-1988 гг. в водах р. Эльба отмечены следующие среднегодовые концентрации (в мкг/л): Zn 50; Cu 12; Cd 0.3; Cr 7; Hg 0.3; Ni 10, а по данным работы [82], в водах р. Рейн содержится в среднем (мкг/л): Cu 12; As 7; Cr 23; Cd 1.5.

Изменения средних концентраций циклических микроэлементов по длине реки практически не выходят за границы стандартной погрешности определения соответствующих норм содержания в целом для Средней Оби, хотя нельзя не отметить определенную тенденцию увеличения средних содержаний Al, Cr и Cu на участке от г. Колпашево до с. Александровское (табл.3.4). Согласно [94], в водах р. Обь ниже по течению от г. Стрежевой (в пределах Ханты-Мансийского автономного округа) среднегодовые концентрации Cu возрастают до 16-25 мкг/л, Zn – 10-30 мкг/л, Mn – от 20 мкг/л и более. Еще севернее, у г. Салехард, по данным, приведенным в [22], средний уровень содержания марганца и цинка превышает 20 мкг/л. В то же время, концентрации меди снижаются до 3 мкг/л, то есть до уровня, характерного для р. Обь у г. Колпашево (табл.3.4).

Таблица 3.3

Средние (A) и максимальные (Max) за 1990-2002 гг. концентрации микроэлементов в водах Средней Оби, погрешности определения средних (δ_A), коэффициенты вариации (Cv), количество опробований (N) (исходные данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, Росгидромета), мкг/л

Категория	Элемент	A $\pm\delta_A$	Cv	Max	N	Среднее для рек мира		ПДК _x	ПДК _p
						1	2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Циклические	Ti	1.3 \pm 0.3	0.93	5.4	17	3.0	–	100	60 ³
	Cr	2.2 \pm 0.2	0.86	10.0	140	1.0	1.0	Cr ⁶⁺ 5 Cr ³⁺ 500	Cr ⁶⁺ 20 Cr ³⁺ 70
	Mn	28.7 \pm 3.7	1.15	120.0	78	10.0	8	100	Mn ²⁺ 10
	Co	0.17 \pm 0.04	1.74	1.3	61	0.3	0.1	100	10 ³
	Ni	1.9 \pm 0.4	1.71	18.0	59	2.5	0.5	100	10 ³
	Cu	3.7 \pm 0.4	1.04	17.0	106	7.0	1.5	1000	1 ³
	Zn	32.0 \pm 12.0	2.33	435.0	40	20.0	0.6	1000	10 ³
	Sr	196 \pm 19	0.60	680.0	40	50	–	7000	400 ³
	Mo	0.38 \pm 0.07	0.79	0.95	21	1.0	–	250	1 ³
	Ag	0.03 \pm 0.01	2.02	0.27	56	0.2	–	50	–
	Cd	0.11 \pm 0.03	1.56	0.7	37	0.2	0.01	1	5 ³
	Sb	0.19 \pm 0.04	1.49	1.30	40	1.0	–	50	–
	Ba	28.3 \pm 4.0	0.87	133.1	40	20	–	100	740 ³
	Hf	0.09 \pm 0.02	1.13	0.37	40	–	–	–	–
	Hg	0.11 \pm 0.03	1.69	1.06	40	0.08	0.005	0.5	0.01 ^{3,4}
	Pb	1.2 \pm 0.2	1.24	8.0	49	1.0	0.03	30	6 ³
	Al	18.9 \pm 4.6	3.40	550.0	72	160.0	–	500	40 ³
F ⁻	76 \pm 4	0.68	390	168	100 ³	–	1500	до 750	
V	1.5 \pm 0.5	2.21	16.0	42	1.0	–	100	1 ³	
Bi	0.05 \pm 0.01	1.27	0.194	19	–	–	–	–	
Радиоактивные	Th	0.09 \pm 0.02	1.11	0.41	40	0.1	–	100	–
	U	0.36 \pm 0.06	1.11	1.6	40	0.5	–	–	–

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рассе- янные	Li	6.1±0.3	0.31	12.0	40	2.5	–	30	80 ³
	Sc	0.61±0.07	0.76	2.4	40	0.001	–	–	–
	Rb	1.32±0.41	1.94	10.6	40	2.0	–	–	100 ³
	Cs	0.06±0.02	1.67	0.36	40	0.03	–	–	1000 ³
Редко- земель- ные	La	0.33±0.04	0.74	0.99	40	0.2	–	–	–
	Ce	0.78±0.07	0.55	2.24	40	0.06	–	–	–
	Sm	0.14±0.02	0.76	0.45	40	0.03	–	–	–
	Eu	0.01±0.003	2.55	0.09	40	0.007	–	–	–
	Tb	0.01±0.005	2.89	0.15	40	0.008	–	–	–
	Yb	0.02±0.01	3.06	0.17	40	0.05	–	–	–
	Lu	0.06±0.02	1.54	0.31	40	0.008	–	–	–

1 - [108]; 2 – [32, 184]; 3 – ПДК для всех растворимых форм; 4 – предполагается отсутствие в речных водах

Таблица 3.4

Средние концентрации микроэлементов в водах рр. Оби, Томь и Чулым за период 1990-2002 гг.¹ (исходные данные Росгидромета, ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН), мкг/л

Река – створ	Al	Mn	Cu	Zn	Pb	Hg	Cr	F ⁻
1	2	3	4	5	6	7	8	9
р. Обь – выше г. Колпашево	4.8(12)	11.4(11)	3.0(39)	–	2.4(11)	–	2.0(38)	83(44)
р. Обь – с. Александровское	6.3(12)	10.5(12)	3.4(47)	–	–	–	2.4(40)	74(48)
р. Томь – г. Междуреченск	23.7(33)	9.3(55)	2.8(38)	–	9.8(13)	–	–	40(14)
р. Томь – выше г. Новокузнецк	22.6(67)	8.8(70)	3.1(39)	–	8.6(17)	–	5.3(29)	350(13)
р. Томь – пгт. Крапивинский	34.1(33)	7.2(45)	3.8(36)	–	6.1(14)	–	3.6(7)	–
р. Томь – ниже г. Кемерово	–	–	1.0(53)	2.1(43)	5.4(14)	–	1.0(43)	125(72)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
р. Томь – выше г.Томск	44.3(68)	12.5(89)	3.2(64)	17.7(34)	1.1(89)	0.09(24)	2.7(57)	200(25)
р. Томь – с. Козюлино	25.8(40)	6.2(64)	2.6(28)	6.6(6)	1.9(60)	0.02(2)	1.8(25)	160(11)
р. Чулым – с. Тегульдет	–	–	3.0(28)	–	–	–	2.1(20)	–
р. Чулым – с. Батурино	–	–	2.3(17)	–	–	–	1.7(21)	–
Обь – г. Новосибирск [22]	–	–	8(238)	30(86)	–	–	–	–
Обь – г. Салехард [22]	–	35	4(39)	26	–	–	–	75

1 – здесь и далее в скобках указано количество определений

В соответствии с эмпирическим правилом Оддо-Гаркинса элементы, имеющие четную атомную массу, преобладают над нечетными, образуя при этом триады элементов. Согласно А.М.Никанорову и А.В.Жулидову [90], отклонения от этого правила могут быть связаны с антропогенным воздействием на природную систему. Поэтому представляет определенный интерес сравнение концентраций четных и нечетных элементов, проведенное для бассейна Средней Оби впервые в [162] и уточненное в рамках данной работы.

Сопоставление соотношений элементов, приведенных в [90], и полученных нами результатов свидетельствует о нарушении правила для концентраций Co-Ni-Cu и Yb-Lu-Hf в речных водах (табл.3.5).

Таблица 3.5
Соотношения средних концентраций микроэлементов в речных водах бассейна Средней Оби (концентрации в мкг/л)

Триада	Номер	Средняя Обь	Устья притоков р. Обь в [162]
Mn-Fe-Co	25-26-27	28.7-382-0.17	43.1-2117-0.5
Co-Ni-Cu	27-28-29	0.17-1.9-3.7	0.5-1.2-1.7
Cs-Ba-La	55-56-57	0.06-28.3-0.33	0.04-34.3-0.35
Ca-Sc-Ti	20-21-22	28700-0.25-1.3	44667-0.14-3.6
Fe-Co-Ni	26-27-28	382-0.17-1.9	2117-0.5-1.2
Yb-Lu-Hf	70-71-72	0.02-0.06-0.09	0.023-0.07-0.2

О более высоких содержаниях Cu в речных водах бассейна Оби по сравнению с Ni свидетельствуют также материалы других авторов [4, 88 и др.]. Так, по данным

Е.Г. Нечаевой среднее содержание Cu в р. Обь на участке с. Александровское – г. Салехард и ряде ее притоков составляет 4.7 мкг/л, а Ni - 2.4 мкг/л. В то же время, соотношения Mn-Fe-Co, Fe-Co-Ni, Mg-Al-Si соответствуют правилу Оддо-Гаркинса. Согласно [4], средние концентрации меди в водах Новосибирского водохранилища составляют 2-14 мкг/л, а концентрации никеля – 1.2-5 мкг/л.

Рассеянные элементы. Из рассеянных элементов нами изучены содержания Li, Sc, Rb, Cs (табл.3.3). По их распределению в водах Оби выделяется участок, расположенный ниже по течению от г. Колпашево до г. Стрежевой. В пределах этого участка отмечены наиболее высокие концентрации Sc. Особенно отличаются точки у сел Нарым и Лукашкин Яр и выше устья р. Тым, где в 1991 г. зафиксированы наиболее высокие содержания в первой из них Li, Sc, Rb, Cs, во второй и в третьей - Sc, Rb и Cs [163, 164]. В 1999 г. картина изменения концентраций Li и Sc была похожей на пространственное распределение этих элементов в 1991 г., однако уровень содержания скандия был значительно выше (рис.3.3).

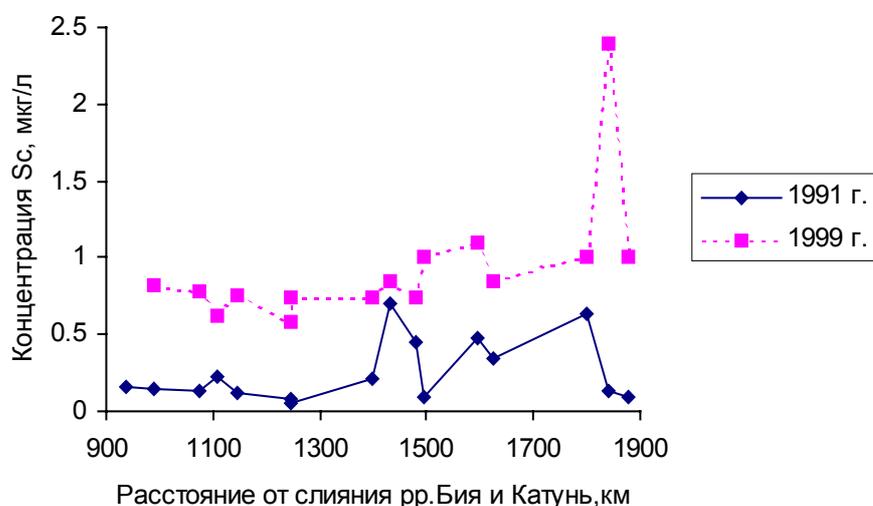


Рис.3.3. Изменение концентраций Sc в р. Обь в 1991 и 1999 гг.

Концентрации Rb и Cs в 1999 г. по сравнению с 1991 г. были, напротив, меньше, причем ниже по течению от устья р. Чая и у с. Александровское отмечено их резкое увеличение (содержание Cs у с. Александровское и г. Нижневартовск 0.09 мкг/л, в остальных пунктах – меньше 0.01 мкг/л; содержание Rb ниже устья р. Чая – 3.2 мкг/л,

у с. Александровское – 4.7 мкг/л, в прочих пунктах – меньше 1 мкг/л) [168]. В целом, наиболее существенная изменчивость содержаний в р. Оби наблюдается для Rb (табл.3.3). Менее подвержены колебаниям содержания Li, распределенные не только в р. Оби, но и в притоках, практически равномерно [164]. Сравнение со средними данными по рекам мира показало, что в р. Обь содержания рассеянных элементов, за исключением рубидия, являются более высокими. Особенно велика разница для Sc – в сотни раз, что на современном этапе изученности этого элемента в водах, вероятно, допустимо.

Редкоземельные элементы. Редкоземельные элементы в водах р. Обь содержатся в среднем в количестве сотых и десятых долей мкг/л (табл.3.3). В то же время, были обнаружены значительные колебания концентраций этих элементов [162, 163]. Особенно велики они для Eu, Tb, Yb и Lu. Как и в случае с циклическими и рассеянными элементами, по данным 1991 и 1999 гг. выделяется уже отмеченная выше аномалия на участке р. Обь ниже по течению г. Колпашево (рис.3.4).

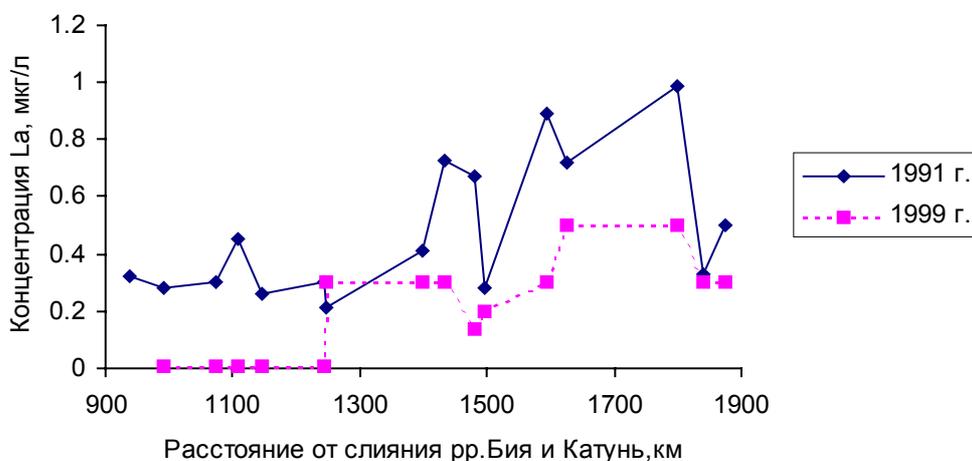


Рис.3.4. Изменение концентраций La в р. Обь в 1991 и 1999 гг.

Сравнение со средними концентрациями редкоземельных элементов для рек мира показало, что обские воды содержат значительно большее количество этих элементов [163]. Вероятнее всего, что это связано с проявлением природной аномалии, поскольку повышенные концентрации были отмечены и в 1991 г., и в 1999 г. при том, что в сточных водах предприятий региона подобные вещества отсутствуют [150].

Радиоактивные элементы. Из радиоактивных элементов (по классификации В.В. Вернадского) были изучены содержания U и Th (табл.3.3). По имеющимся данным, их содержания в водах Средней Оби, как и концентрации большинства других микроэлементов, изменяются достаточно сильно (коэффициент вариации концентраций обоих элементов составляет 1.11). Учитывая наличие потенциального источника радиоактивных элементов – сточных вод Сибирского химического комбината (СХК), поступающих в р. Томь, особый интерес представляет сопоставление содержаний Th и U в водах рр. Обь и Томь и анализ их изменений в р. Обь по мере удаления от устья р. Томь.

Средние содержания тория в рр. Обь и Томь, согласно данным, полученным в 1991 г., были приблизительно на одном уровне, но наиболее высокие значения зафиксированы в водах р. Обь - у с. Нарым (0.41 мкг/л) и с. Лукашкин Яр (0.3 мкг/л). При этом максимальные концентрации Th в водах р. Томь составили 0.25 мкг/л (в районе г. Северск). В 1999 г. наибольшее содержание тория (0.11 мкг/л) также отмечено в р. Обь в створе 25 км ниже с. Каргасок (в р. Томь примерно в это же время концентрации Th не превышали 0.008 мкг/л).

Несколько иная картина наблюдается в распределении содержаний урана, максимумы которого были зафиксированы: в 1991 г. в р. Томь на участке сброса стоков СХК (1.11 мкг/л), а в 1999 г. – в р. Обь в 15 км ниже устья р. Томь (1.1 мкг/л), у сс. Кривошеино и Могочино. При этом следует отметить, что в 1999 г. изменение концентраций U по длине р. Обь можно интерпретировать как постепенное уменьшение по мере удаления водных масс от устья р. Томь. В 1991 г., в отличие от 1999 г., какое-либо влияние р. Томь на уровень содержания урана в р. Обь практически не прослеживалось.

Формы миграции. Взвешенная и растворенная формы миграции микроэлементов в р. Оби в разное время исследовались А.Э. Конторовичем, Г.С. Коноваловым, Т.В. Ланбиной, Б.А. Воротниковым, О.Ф. Васильевым, В.М. Савкиным, С.Я. Двуреченской и другими, показавшими, что такие элементы, как Ва и Си, находятся в речных водах большей частью в растворе, а Mn, Be, Co, Al, Pb – в виде взвесей [16, 25, 26, 58, 59, 71].

Для Zn, V и других элементов разными авторами отмечаются различные соотношения между растворенной и взвешенной формами, что объясняется большей зависимостью миграции этих элементов от меняющихся в течение года и по длине реки

физико-химических показателей – рН, содержаний взвешенных и органических веществ, в том числе фульвокислот, образующих с металлами водорастворимые соединения, и гуминовых кислот – наиболее высокомолекулярной и наименее растворимой части гумусовых кислот, характеризующейся как комплексообразующий сорбент [12, 13, 14, 17, 72]. В целом же, согласно [9, 58, 71], отмечается существенное увеличение роли взвешенной формы миграции многих микроэлементов в период весеннего половодья, когда заметно возрастает твердый сток.

По данным Б.С. Смолякова и соавторов (2000), в растворенном состоянии основными формами миграции в Новосибирском водохранилище при рН=8-9 для меди и свинца являются нейтральные комплексы CuOH_2^0 и $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2^0$, а при рН=6-7 – комплексы с органическими лигандами и незакомплексованные ионы. Для кадмия же практически во всем диапазоне возможных рН характерно преобладание Cd^{2+} и комплексов с органическими лигандами. Согласно А.Г. Кочаряну (1999), в таежной зоне основными формами миграции в речных и грунтовых водах являются: для кадмия – комплексы с фульво- (ФК) и гуминовыми (ГК) кислотами, Cd^{2+} ; для алюминия – AlOH_0^0 и AlФК ; для кобальта – Co^{2+} ; CoФК , CoГК ; для цинка – Zn^{2+} ; ZnФК , ZnГК ; для меди и свинца – незакомплексованные ионы, соединения с ГК, ФК, карбонатами и гидрокарбонатами, гидроксиды. Несколько иная картина характерна для лесостепной зоны, где уменьшается доля комплексов с ФК и увеличивается – с сульфатами и хлоридами [67]. Сходные данные о формах миграции меди, цинка, кобальта, алюминия и кадмия приведены в работе [56].

Проведенные нами термодинамические расчеты на основе среднесноголетних данных о химическом составе вод р. Обь в целом подтвердили применимость указанных выше выводов для рассматриваемого участка среднего течения р. Обь (табл.3.6) и показали, что по преобладающим формам миграции алюминия, меди и цинка обские воды занимают промежуточное место между водами таежной и лесостепной зон, тяготея при этом к последним.

Соответствие нормативам качества. Согласно [150], для р. Оби в пределах Томской области характерно повышенное относительно ПДК_р содержание таких элементов, как Cu, Mn (вероятность превышения более 30 %), Zn и Al (вероятность превышения 10-30 %). Нарушение российских нормативов для объектов рыбохозяйственного назначения также может наблюдаться по содержанию Hg, Mo, V, Sr, Ni.

Таблица 3.6

Преобладающие (≥ 0.01 %) растворенные формы миграции микроэлементов и железа в р. Обь и ее притоках, % от валового содержания катиона

Компонент	р. Обь		р. Томь			Р. Чулым	
	выше г. Колпаше- во	с.Алексан- дровское	г.Между реченск	выше г.Новокуз- нецк	выше г.Томск	с.Тегуль- дет	с.Батури- но
$AlOH^{2+}$	0.03	0.09	0.01	<0.01	0.02	0.06	0.05
$AlOH_2^+$	2.51	4.41	1.33	0.6	1.6	3.22	3.21
$AlOH_3^0$	59.61	67.73	50.14	37.29	52.51	63.16	63.23
$AlOH_4^-$	37.8	27.64	48.49	62.07	45.8	33.49	33.44
AlF^{2+}	0.01	0.04	<0.01	<0.01	0.01	0.02	0.02
AlF_2^+	0.02	0.07	<0.01	0.01	0.04	0.03	0.03
AlF_3^0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
Zn^{2+}	74.23	80.09	57.2	35.04	62.5	77.96	77.09
$ZnOH^+$	1.36	0.96	1.71	1.7	1.6	1.17	1.17
$ZnOH_2^0$	18.73	8.54	36.91	61.72	30.49	13.3	13.3
ZnF^+	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$ZnSO_4^0$	1.16	1.19	0.6	0.71	1.09	1.09	1.01
$Zn\Phi K^0$	4.50	9.20	3.57	0.80	4.30	6.46	7.41
Cu^{2+}	1.45	0.77	1.38	2.63	1.29	1.08	0.93
$CuOH^+$	1.14	0.4	1.9	3.08	1.31	0.67	0.58
$CuSO_4^0$	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01
$CuCO_3^0$	<0.01	<0.01	<0.01	26.09	<0.01	<0.01	<0.01
$Cu\Phi K^0$	97.38	98.81	96.7	65.88	97.33	98.23	98.47
Fe^{2+}	26.32	35.18	18.07	11.94	20.4	30.35	30.15
$FeOH^+$	73.14	63.72	81.6	87.87	79.12	68.91	69.05
$FeSO_4^0$	0.2	0.26	0.09	0.12	0.18	0.21	0.2
$Fe\Phi K^0$	0.33	0.83	0.23	0.06	0.29	0.52	0.59
$FeOH_3^0$	98.79	96.61	99.25	99.82	99.02	97.98	97.69
$Fe\Phi KOH_2^-$	1.2	3.38	0.74	0.17	0.97	2.01	2.3

Река Томь. Содержания микроэлементов в р. Томь, по сравнению с р. Обь и прочими ее притоками, изучены наиболее полно как по количеству исследуемых элементов, так и по количеству отобранных проб. В значительной степени этому способ-

ствовали работы в рамках экологической экспертизы проекта Крапивинского гидроузла на р. Томь и создания проекта целевой программы «Коренное улучшение водохозяйственной и экологической обстановки в бассейне реки Томь», когда большое внимание было уделено проблеме загрязнения вод р. Томь и проектируемого водохранилища ртутью и другими тяжелыми металлами [15, 141].

Циклические элементы. Концентрации циклических элементов в водах р. Томь изменяются в достаточно широком диапазоне (табл.3.7). Для этой реки характерны более высокие, чем в Оби, средние содержания Ag, Mo и Cd и более низкие – Mn, Co, Ni, Zn, Sr, Sb, Ba, Hf, Cu, Hg. Концентрации Ti, Cr, Pb в среднем примерно равны (рис.3.5). Примечательно, что уровень содержания большинства циклических элементов в р. Томь выше г. Междуреченск (то есть на участке с наименьшей антропогенной нагрузкой) существенно не отличается от соответствующих показателей для среднего и нижнего течения реки. Более того, средние концентрации Cu, Pb и Cr в створе выше г. Междуреченск заметно выше содержаний этих элементов у пгт. Крапивинский, ниже г. Кемерово и у г. Томск.

Таблица 3.7

Средние и максимальные за 1070-2002 гг. концентрации микроэлементов в водах р. Томь на участке от г. Междуреченск до устья, коэффициенты вариации, количество опробований (исходные данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, Росгидромета), мкг/л

Категория	Элемент	$A \pm \delta_A$	C_v	Max	N	Средняя Обь	ПДК _р
1	2	3	4	5	6	7	8
Циклические	Ti	1.3±0.3	1.96	15.7	97	1.3±0.3	60 ¹
	Cr	2.4±0.1	1.46	66.0	609	2.2±0.2	Cr ⁶⁺ 20 Cr ³⁺ 70
	Mn	9.8±0.8	2.39	330.0	950	28.7±3.7	Mn ²⁺ 10
	Co	0.04±0.01	6.76	4.0	557	0.17±0.04	10 ¹
	Ni	1.2±0.1	2.54	30.0	657	1.9±0.4	10 ¹
	Cu	3.0±0.2	1.70	100.0	1125	3.7±0.4	1 ¹
	Zn	8.4±1.2	2.76	310.0	356	32.0±12.0	10 ¹
	Sr	89.6±28.9	1.80	780.0	31	196±19	400 ¹
	Mo	1.3±0.1	2.17	26.0	532	0.38±0.07	1 ¹
	Ag	0.18±0.08	9.67	28.0	479	0.03±0.01	–
Cd	0.65±0.22	6.95	80.0	397	0.11±0.03	5 ¹	

1	2	3	4	5	6	7	8
	Sb	0.05±0.02	2.45	0.6	31	0.19±0.04	–
	Ba	9.8±3.0	2.11	100.0	47	28.3±4.0	740 ¹
	Hf	0.05±0.02	1.79	0.31	31	0.09±0.02	–
	Hg	0.06±0.02	3.92	3.94	197	0.11±0.03	0.01 ¹
	Pb	1.6±0.1	2.59	42.0	930	1.2±0.2	6 ¹
	Al	27.8±2.7	2.54	1002.0	685	18.9±4.6	40 ¹
	F	134±13	1480	1370	243	76±4	до 750
	As	1.3±0.5	2.54	20.0	43	–	50 ¹
	V	0.8±0.08	2.45	17.0	568	1.5±0.5	1 ¹
	Bi	0.03±0.02	16.21	10.0	496	0.05±0.01	–
Радиоак- тивные	Th	0.02±0.01	2.53	0.25	31	0.09±0.02	–
	U	0.09±0.04	2.61	1.11	31	0.36±0.06	–
Рассеян- ные	Li	5.8±0.7	0.92	26.0	62	6.1±0.3	80 ¹
	Sc	0.06±0.02	1.81	0.46	31	0.61±0.07	–
	Rb	0.35±0.25	4.00	7.2	31	1.32±0.41	100 ¹
	Cs	0.07±0.02	0.97	0.16	12	0.06±0.02	1000 ¹
Редкозе- мельные	La	0.11±0.05	2.74	1.56	31	0.33±0.04	–
	Ce	0.25±0.07	1.59	1.56	31	0.78±0.07	–
	Sm	0.23±0.06	0.92	0.79	12	0.14±0.02	–
	Eu	0.006±0.004	4.34	0.13	31	0.01±0.003	–
	Tb	0.01±0.01	3.26	0.18	31	0.01±0.005	–
	Yb	<0.01	–	–	31	0.02±0.01	–
	Lu	0.02±0.01	2.77	0.25	31	0.06±0.02	–

1 – ПДК для всех растворимых форм

Максимальные из обнаруженных в водах р. Томь концентрации ряда металлов и средние содержания F⁻ приурочены к створам г. Новокузнецк. Данный факт закономерно связан с поступлением в р. Томь этих элементов как по сосредоточенным выпускам, так и из распределенных по территории источников загрязнения. В частности, нами ранее рассматривалась ситуация катастрофического загрязнения окружающей среды отходами деятельности алюминиевого комбината, когда в поверхностных

и подземных водах одного из районов г. Новокузнецк (Форштадт) были зафиксированы минерализация до 6.8 г/л и более, а содержания фторидов – до 350 мг/л [76, 189, 187]. В то же время, последовательного увеличения концентраций циклических микроэлементов от верховий к устью р. Томь в целом не наблюдается [134, 147, 172].

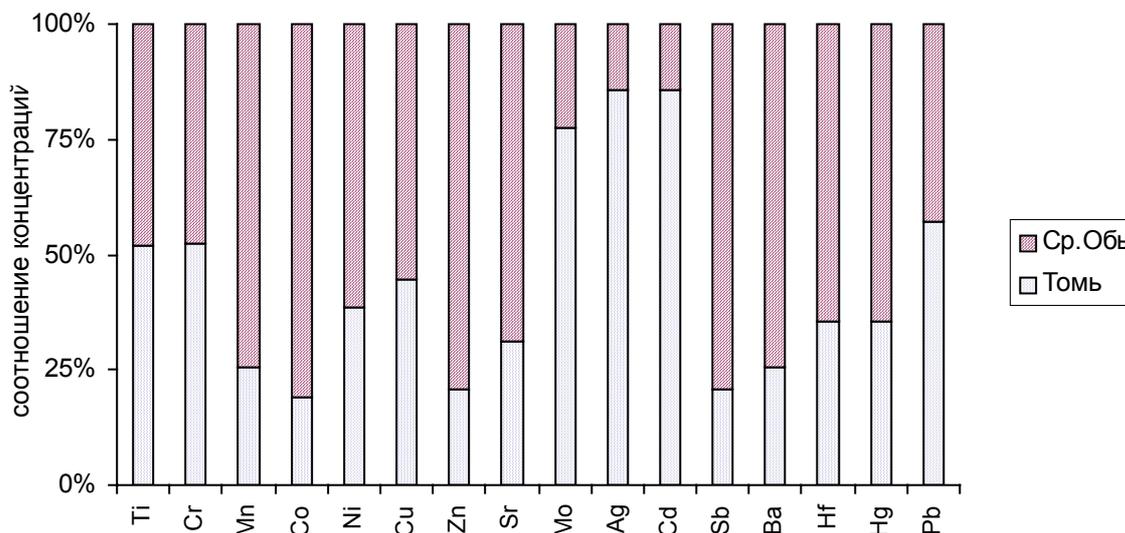


Рис.3.5. Соотношение среднееголетних концентраций циклических элементов в водах рр. Томь и Обь, за 100 % взята сумма концентраций

Другой важный вывод, вытекающий из анализа результатов исследований ТФ ИГНГ СО РАН, ТПУ, ИВЭП СО РАН, заключается в том, что увеличение концентраций циклических микроэлементов в водах р. Томь (как, впрочем, и других рек рассматриваемой территории) в ряде случаев связано не с наличием антропогенных источников загрязнения, а с поступлением в речную сеть талых вод с пониженными значениями рН и с поверхностным стоком с водосборных территорий, содержащим значительное количество органических кислот. Косвенным подтверждением этого вывода служат результаты статистического анализа гидрохимических материалов, в процессе которого были получены уравнения связи между концентрациями Cu, Zn, с одной стороны, и содержанием фульвокислот (ФК), величиной ионной силы раствора и рН, с другой, позволяющие с удовлетворительной точностью определять содержание указанных металлов в водах р. Томь у г. Томск [136].

Сопоставление концентраций циклических элементов в водах р. Томь позволило выявить существенное отклонение от правила Оддо-Гаркинса для ряда кобальт-никель-медь (табл.3.8), что характерно и для р. Обь, и для прочих ее притоков [162]. Это отклонение связано с повсеместным содержанием меди в речных водах обского бассейна в количестве более 1-2 мкг/л, что совпадает с данными других авторов [99].

Рассеянные элементы. Из изученных рассеянных элементов сопоставимые с р. Обь содержания в р. Томь отмечены для лития и цезия (рис.3.6). Средние концентрации рубидия и скандия в водах р. Томь, по сравнению с главной рекой, существенно ниже [164], несмотря на явно большую антропогенную нагрузку, включая и сброс специфических веществ, редко встречающихся в поверхностных водных объектах.

Редкоземельные элементы. Средний уровень содержания в р. Томь редкоземельных элементов в целом оказался ниже, чем в р. Обь (рис.3.6). На первый взгляд, это плохо согласуется с наличием техногенных источников поступления этих микроэлементов в речные воды, поскольку на берегах р. Обь в пределах Томской области, где проводился отбор проб на редкоземельные элементы, отсутствуют промышленные предприятия, использующие в своем технологическом цикле подобные вещества. При этом следует отметить, что в сентябре 1991 г. в водах р. Томь были обнаружены более высокие, чем в Оби, концентрации некоторых редкоземельных элементов. Но даже в указанном случае ниже по течению от устья Томи их содержания в водах р. Обь не увеличились, а уменьшились по сравнению со створом выше Томи (табл.3.9).

Таблица 3.8

Соотношения средних концентраций микроэлементов в водах рр. Томь

Триада	Номер	Концентрации, мкг/л
Mn-Fe-Co	25-26-27	9.8-253-0.04
Co-Ni-Cu	27-28-29	0.04-1.2-4.0
Cs-Ba-La	55-56-57	0.07-9.8-0.11
Ca-Sc-Ti	20-21-22	23314-0.06-1.3
Fe-Co-Ni	26-27-28	253-0.04-1.2
Yb-Lu-Hf	70-71-72	<0.01-0.02-0.05

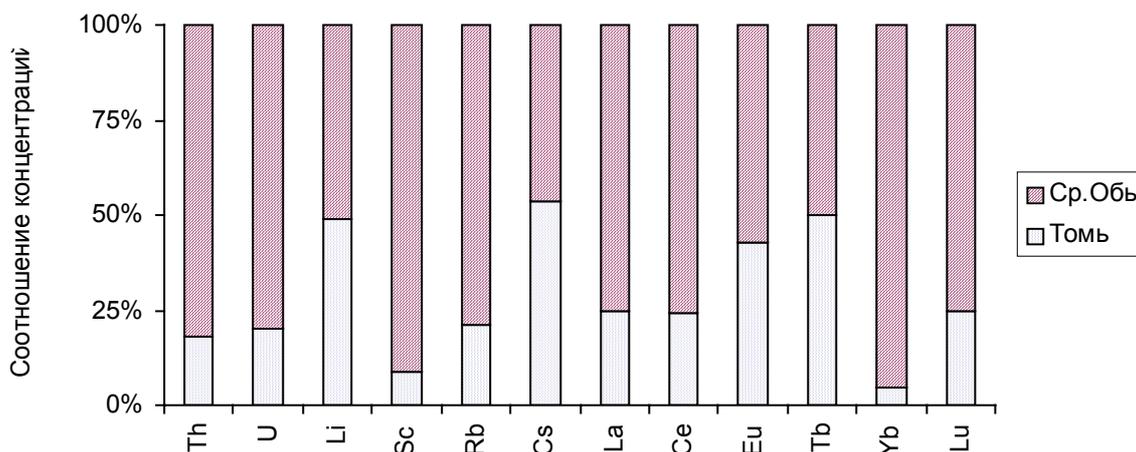


Рис.3.6. Соотношение среднемноголетних концентраций радиоактивных, рассеянных и редкоземельных элементов в водах рр. Томь и Обь (в среднем течении), за 100 % взята сумма концентраций

Таблица 3.9

Концентрации рассеянных, редкоземельных и радиоактивных элементов в водах рр. Томь и Обь в сентябре 1991 г. [163, 164], мкг/л

Элемент	р. Обь, выше устья р. Томь	р. Томь, устье	р. Обь, ниже устья р. Томь
Li	6.0	8.0	6.0
Sc	0.16	0.21	0.15
Cs	0.15	0.12	<0.01
La	0.32	0.47	0.28
Ce	0.57	1.56	0.54
Sm	0.16	0.17	0.13
Eu	<0.01	<0.01	<0.01
Tb	<0.01	<0.01	<0.01
Yb	<0.01	<0.01	<0.01
Th	0.11	0.12	0.11
U	0.47	0.57	0.36

Радиоактивные элементы. Достаточно большие различия не только между средними, но и максимальными содержаниями отмечаются для Th и U (рис.3.6, табл.3.7), что, как и в случае редкоземельных и рассеянных микроэлементов, плохо согласуется с наличием потенциального источника загрязнения р. Томь – производственных вод Сибирского химического комбината и отсутствием таковых в среднем те-

чении р. Обь. В целом, проведенные в 1991 и 1999 гг. исследования не позволили выявить влияние притока вод р. Томь на уровень содержания радиоактивных элементов в водах р. Обь (табл.3.9).

Формы миграции. Наиболее подробные исследования взвешенной и растворенной миграции микроэлементов в водах р. Томь были выполнены в начале 1990-х гг. в рамках проведения экологической экспертизы Крапивинского гидроузла коллективом специалистов ИВЭП СО РАН, ТПУ, ЧИПР СО РАН, ОИГГиМ СО РАН. Результаты этих исследований частично изложены в работе [165], где основной акцент был сделан на изучение форм миграции микроэлементов в подземных водах среднего течения р. Томь.

Анализ полученных материалов о формах миграции некоторых циклических элементов в водах р. Томь и ее притоков в августе и марте 1991 г., представленных в табл.3.10, позволяет сделать вывод о миграции значительной части меди в р. Томь в виде раствора и преобладании взвешенной формы нахождения Zn, Cd, Pb и Hg, что хорошо согласуется с данными о соотношении взвешенной и растворенной форм миграции микроэлементов в водах р. Обь и других водотоках.

Таблица 3.10

Формы миграции некоторых циклических микроэлементов на участке среднего течения Томь¹ (исходные данные ТПУ и ОИГГиМ СО РАН), мкг/л и % от валового содержания

Элемент	р. Томь (среднее течение)				притоки Томь			
	раствор		взвесь		раствор		Взвесь	
	мкг/л	%	мкг/л	%	мкг/л	%	мкг/л	%
Zn	9.3	27.2	24.9	72.8	9.3	18.8	40.2	81.2
Cu	3.2	53.3	2.8	46.7	2.7	30.0	6.3	70.0
Cd	0.4	40.0	0.6	60.0	0.6	66.7	0.3	33.3
Pb	0.4	22.2	1.4	77.8	0.7	53.8	0.6	46.2
Hg	0.01	33.3	0.02	66.7	0.01	33.3	0.02	66.7
N	8		8		12		12	

* - методика исследований изложена в [165]

Соответствие нормативам качества. Для р. Томь в целом характерно то же соотношение фактически наблюдаемых и предельно допустимых концентраций микроэлементов, что и для р. Обь, за тем примечанием, что нарушения ПДК_p по содержанию Mn, Cu и ряда других металлов в р. Обь отмечается несколько чаще, чем в

р. Томь [150]. В то же время, наиболее высокие концентрации таких элементов как Cd и Li, достаточно часто приурочены к р. Томь.

Река Чулым. Наиболее подробные исследования микроэлементного состава р. Чулым были приурочены в основном к среднему течению реки, соответствующему району КАТЭК [9, 109]. В целом же (с учетом данных о микроэлементном составе реки в нижнем течении), изученность содержаний микроэлементов в водах р. Чулым несколько хуже, чем изученность рр. Обь и Томь.

Циклические элементы. По имеющимся данным, уровень содержания Cr, V и фторидов в водах р. Чулым примерно такой же, что и в р. Обь; содержания Mn, Mo и Al выше, а Cu, Zn, Cd, Pb, Ni ниже, чем в главной реке (табл. 3.11). Таким образом, концентрации большинства изученных циклических элементов в водах р. Чулым меньше или равны соответствующим показателям для Средней Оби.

Таблица 3.11

Средние и максимальные за 1990-2002 гг. концентрации микроэлементов в водах р. Чулым на участке от с. Тегульдэт до устья, погрешности определения средних, коэффициенты вариации, количество опробований (исходные данные Росгидромета, ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, ТЦ «Томскгеомониторинг»), мкг/л

Элемент	A±δ _A	C _v	Max	N	Диапазон концентраций [9]		Средняя Обь
					верхнее течение	среднее течение	
Cr	1.9±0.2	0.83	5.0	49	–	–	2.2±0.2
Mn	37.3±12.4	1.59	200.0	23	4.0-8.0	6.0-10.0	28.7±3.7
Cu	2.5±0.2	0.53	4.0	68	1-3	1.4-5.0	3.7±0.4
Zn	2.3±0.2	0.51	6.0	23	–	–	32±12
Cd	0.01±0.001	4.69	0.13	23	–	–	0.11±0.03
Pb	0.70±0.1	0.50	1.5	23	–	–	1.2±0.2
Al	43.7±29.0	2.89	570.0	19	–	–	27.8±2.7
F ⁻	74±37	2.56	700	26	–	–	76±4
Ni	–	–	–	–	0.2-0.8	0.6-1.4	1.9±0.4
V	–	–	–	–	0.6-1.4	0.8-1.8	1.5±0.5
Mo	–	–	–	–	0.6-1.2	0.4-2.0	0.38±0.07

Рассеянные, редкоземельные и радиоактивные элементы. По содержанию рассеянных, редкоземельных и радиоактивных элементов в водах р. Чулым имеются только разовые данные (1-2 пробы), что не позволяет охарактеризовать средний уро-

вень содержания. Сопоставление же материалов, полученных в сентябре 1991 г., показало, что концентрации указанных микроэлементов в основном меньше или равны концентрациям соответствующих элементов в р. Обь. Более высокие концентрации в водах р. Чулым отмечены для лития и урана, причем увеличение содержаний в р. Обь ниже по течению от устья р. Чулым зафиксировано только для урана (табл.3.12).

Формы миграции. Согласно А.А. Бондареву и И.Ю. Шульге (1983), в меженный период преобладает миграция микроэлементов в растворенной форме, а во время весеннего половодья, когда увеличиваются содержания взвешенных веществ и твердый сток, возрастает доля взвешенной формы. В растворе, как показали термодинамические расчеты, микроэлементы находятся, преимущественно, в виде гидроокиси и соединений с органическими лигандами. Только для цинка достаточно велика доля миграции в виде незакомплексованного иона (табл.3.6).

Таблица 3.12

Концентрации рассеянных, редкоземельных и радиоактивных элементов в водах рр. Чулым и Обь в 1991 г. [163, 164], мкг/л

Элемент	р. Обь, выше устья р. Чулым	р. Чулым, устье	р. Обь, ниже устья р. Чулым
Li	8.0	10.0	8.0
Sc	0.22	0.06	0.12
Cs	0.10	<0.01	0.13
La	0.45	0.21	0.26
Ce	0.92	0.44	0.74
Sm	0.17	0.14	0.16
Eu	<0.01	<0.01	<0.01
Tb	0.02	<0.01	<0.01
Yb	<0.01	<0.01	<0.01
Th	0.16	0.08	0.07
U	0.51	0.67	0.67

Соответствие нормативам качества. Для р. Чулым характерны примерно те же соотношения фактических и предельно допустимых концентраций микроэлементов, что и для р. Томь. Основные разлиия связаны с тем, что в случае р. Чулым в ее нижнем течении не отмечено фактов превышения ПДК_р по содержанию цинка и меньше вероятность нарушения нормативов по содержанию меди [150].

3.1.3. Биогенные вещества

Река Обь. Биогенные элементы – кремний, фосфор, азот и железо – существенно отличаются друг от друга по уровню содержания в водах р. Обь. В наибольших количествах (до 7 мг/л и более) в речных водах содержатся железо, кремний и нитрат-ион, в наименьших – фосфат- и нитрит-ионы (табл. 3.13). Самые высокие средние концентрации $Fe_{\text{общ}}$ и Si наблюдаются на севере рассматриваемого участка р. Обь, что достаточно хорошо согласуется с пространственным распределением потенциальных источников поступления этих веществ в р. Обь – железо в большом количестве содержится в болотных и речных водах равнинной таежной части бассейна Средней Оби, а повышенные концентрации Si (в среднем 4.5-5 мг/л) приурочены к таежным притокам – рр. Парабель, Кеть и Тым.

Средние концентрации фосфатов на участке от с. Киреевск до с. Александровское варьируют без выраженных тенденций, а в изменении неорганических соединений азота прослеживается тенденция к уменьшению с юга на север концентраций NO_3^- и увеличению NH_4^+ и NO_2^- (табл.3.13), что свидетельствует об ухудшении условий минерализации органического вещества. На этом фоне проявляется влияние и антропогенных факторов, обуславливающее увеличение содержаний ионов аммония и нитрит-ионов ниже по течению от крупных населенных пунктов. Так, средняя концентрация NH_4^+ в р. Обь 3 км выше г. Колпашево составляет 0.175 мг/л, а в 12 км ниже от этого города – 0.197 мг/л. Кроме того, на границе участков Верхней и Средней Оби прослеживается воздействие сбросов сточных вод г. Новосибирск. Как показал анализ данных Росгидромета, в створе 9 км ниже г. Новосибирск уровень содержания ионов NH_4^+ в р. Обь в 1990-е гг. составлял 0.88 мг/л. Это существенно выше, чем у с. Дубровино, г. Колпашево или с. Александровское (0.618, 0.175-0.197 и 0.361 мг/л соответственно). Аналогичный вывод для участка р. Обь от г. Новосибирск до с. Дубровино ранее был получен Т.В. Семеновой и соавторами [142].

В целом, по сравнению с незагрязненными реками мира в р. Обь содержится большее количество железа и примерно равное количество неорганических фосфатов, нитрат-ионов и кремния (табл. 3.13). Если же сравнить состав р. Обь и рек индустриально развитых районов мира, то содержание фосфатов и соединений азота в последних будет существенно выше, чем в р. Обь. Так, согласно [186], среднегодовые концентрации нитратов в р. Сена за период с 1971 по 1991 гг. изменялись в диапазоне

около 9-21 мг/л, а концентрации ортофосфатов – в диапазоне 0.3-4 мг/л. Для Средней Оби подобные значения либо являются экстремально высокими и очень редкими, либо вообще никогда не встречаются.

Таблица 3.13

Средние концентрации биогенных веществ в речных водах бассейна Средней Оби в 1990-2002 гг. (исходные данные Росгидромета, ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН), мг/л

Река – створ	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	P(PO ₄ ³⁻)	Si	Fe общ.
р.Обь–выше г. Колпашево	1.413(120)	0.023(120)	0.175(120)	0.021(109)	3.09(86)	0.113(81)
р. Обь – с. Александровское	1.083(113)	0.042(113)	0.361(113)	0.027(107)	3.56(55)	0.316(90)
р. Томь – г. Междуреченск	3.965(85)	0.031(85)	0.210(85)	0.007(9)	3.19(22)	0.135(49)
р.Томь–выше г.Новокузнецк	2.553(83)	0.043(85)	0.345(85)	0.011(35)	3.54(53)	0.196(49)
р. Томь – пгт. Крапивинский	2.075(64)	0.057(64)	0.360(64)	0.015(40)	3.68(12)	0.185(54)
р. Томь – ниже г. Кемерово	3.913(58)	0.035(299)	0.468(299)	0.019(43)	4.46(10)	0.075(52)
р.Томь – выше г. Томск	1.202(209)	0.058(694)	0.724(706)	0.041(82)	3.36(113)	0.287 (123)
р. Томь – с. Козюлино	1.470(119)	0.149(119)	0.642(71)	0.086(63)	3.13(30)	0.272 (105)
р. Чулым – верхнее течение ¹	0.15-1.5	0.01-0.06	0.6-3.4	–	–	0.06-0.12
р. Чулым – среднее течение ¹						0.13-0.50
р. Чулым – с. Тегульдет	0.481	0.043(72)	0.468(72)	0.053(66)	4.30(20)	0.368(72)
Р. Чулым – с. Батурино	0.619(52)	0.034(52)	0.514(52)	0.038(47)	4.88(50)	0.366(52)
р.Обь – г. Новосибирск [22]	–	0.060	0.97	–	–	–
р.Обь – г. Салехард [22]	–	0.080	0.88	0.039	4.01	1.10
Реки мира [95]	сумма неорганических соединений 0.3 мгN/л			0.010 ²	6.10	0.410
Реки мира [183]	1.0	–	–	0.02	4.0	0.7
ПДК _р	40	0.08	0.5	0.05-0.2 ³	–	0.1 ⁴
ПДК _х	45	3.3	–	3.5	10	0.3

1 – [9]; 2 – согласно [95], концентрация неорганических форм фосфора составляет 0.01 мгP/л, а суммарная концентрация – 0.02 мгP/л; 3 – фосфаты Na, K, Ca одно-, двух- и трехзамещенные по анализу на P: 0.05 мг/л для олиготрофных водоемов, 0.15 мг/л для мезотрофных, 0.2 мг/л для эвтрофных; фосфористые кислоты: мета- – H₃PO₂, орто- – H₃PO₃, пиро- – H₄P₂O₅ 0.01 мг/л; 4 – ПДК для всех растворимых форм

Формы миграции. В соответствии с [59, 72 и др.], основными формами миграции железа в речных водах, включая и р. Обь, являются взвешенная и коллоидная

формы, а в растворенном состоянии – комплексы преимущественно трехвалентного железа с органическими лигандами. В то же время, результаты термодинамических расчетов указывают на доминирование в растворе неорганических соединений, что, по мнению П.Н. Линника и Б.Н. Набиванца (1986), связано с образованием в реальных водных системах смешанных комплексов Fe с органическими и неорганическими лигандами, наличием неучитываемых в расчетах органических лигандов, образующих с Fe прочные соединения, различиями между фактическими и экспериментально определенными значениями констант устойчивости комплексов Fe с фульвокислотами и рядом других причин.

Анализ данных Росгидромета, ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН показал, что доля трехвалентного железа в суммарном содержании этого элемента в Средней Оби (в растворе) составляет в среднем 79 %. Результаты термодинамических расчетов, проведенных с помощью программного комплекса Solution+, совпали с расчетными данными других авторов: основная часть растворенного трехвалентного железа (95-97 %) находится в виде комплекса FeOH_3^0 , а двухвалентного – в виде незакомплексованного иона (20-26 %) и FeOH^- (70-75 %). Доля фульватных комплексов по расчетам не превышает 2-5 %, что по упомянутым выше причинам противоречит многочисленным наблюдениям и экспериментам.

Для изучения форм миграции прочих биогенных веществ (Si, соединения азота и фосфора) в водах Средней Оби проводились термодинамические расчеты. По полученным данным, кремний находится преимущественно в виде H_4SiO_4^0 (более 90 %), нитрат-ионы и ионы аммония – в виде незакомплексованных ионов (более 95 %), фосфор неорганических соединений – HPO_4^{2-} (60-62 %) и H_2PO_4^- (около 40 %), что хорошо согласуется с широко распространенными представлениями о формах миграции биогенных веществ [3, 154].

Соответствие нормативам качества. Содержания железа, NH_4^+ и NO_3^- являются показателями, по которым качество воды р. Обь с вероятностью от 20 до 60 % не соответствует установленным нормативам рыбохозяйственного водопользования [150]. Превышения ПДК_р по содержанию фосфатов достаточно редки, а превышения ПДК_х по содержанию кремния не зафиксированы вовсе, хотя максимальные концентрации (9.5 мг/л) этого элемента почти достигают нормативной величины 10 мг/л.

Река Томь. Концентрации нитрит- и, особенно, нитрат-ионов в водах р. Томь в среднем выше, чем в р. Обь (рис.3.7). Уровень содержания ионов аммония, кремния и фосфатов в рр. Обь и Томь примерно одинаков, и только средние концентрации железа в р. Томь в целом несколько ниже, чем в главной реке. При этом необходимо отметить, что наиболее высокая для р. Томь средняя концентрация нитрат-ионов приурочена к створу водпоста Росгидромета у г. Междуреченск (табл.3.13) – там, где влияние антропогенных факторов минимально. Содержания прочих биогенных веществ постепенно увеличиваются по мере движения речных вод вниз по течению.

В нижнем течении, в створах г. Томска и устье, средние концентрации фосфатов, железа, азота нитритного и аммонийного уже примерно равны или превышают соответствующих показателей р. Обь в створах г. Колпашево и с. Александровское. Однако сопоставление разовых концентраций биогенных веществ в водах двух рек свидетельствует о том, что приток биогенных веществ с водами р. Томь не приводит к существенному увеличению их концентраций в обских водах (табл.3.14).

В целом, распределение средних содержаний биогенных веществ по длине р. Томь является вполне закономерным и отражает природно-антропогенные условия формирования химического состава речных вод, а именно – поступление большого количества коммунально-бытовых и производственных сточных вод гг. Новокузнецк и Кемерово, содержащих минеральные соединения азота и фосфора, а также органические вещества, продуктом разложения которых являются ионы NH_4^+ и NO_3^- [125]. Благодаря процессам нитрификации, содержания последних двух веществ по мере удаления водных масс от городов уменьшаются, а концентрации нитратов, напротив, несколько увеличиваются, заметно превышая при этом средние содержания NO_3^- в большинстве крупных притоков р. Томь и других рек региона (табл.3.13). В качестве наглядного примера, подтверждающего данный вывод, можно привести график распределения содержаний соединений азота в водах р. Томь в марте 2001 г. (рис. 3.8).

Уровень содержания железа и кремния в водах р. Томь, по сравнению с соединениями азота и фосфора, в меньшей степени определяется действием антропогенных факторов, о чем свидетельствует достаточно слабая связь концентраций Fe и Si с наличием антропогенных источников загрязнения. Так, в пределах Томской области почти весь кремний, содержащийся в сточных водах (около 300-350 т/год [149, 150]), поступает в р. Томь в 28 км от устья этой реки. Однако даже ниже этого водовыпуска, в 13 км от устья, среднее содержание кремния не только не увеличивается относи-

тельно створа в 0.3 км выше г. Томск (73 км от устья), но в среднем даже незначительно уменьшается (табл.3.13). Аналогичная ситуация наблюдается и для железа, средний уровень содержания которого в р. Томь на участке г. Томск – с. Козюлино остается постоянным независимо от ежегодного поступления более 40 т этого вещества со сточными водами гг. Томск и Северск.

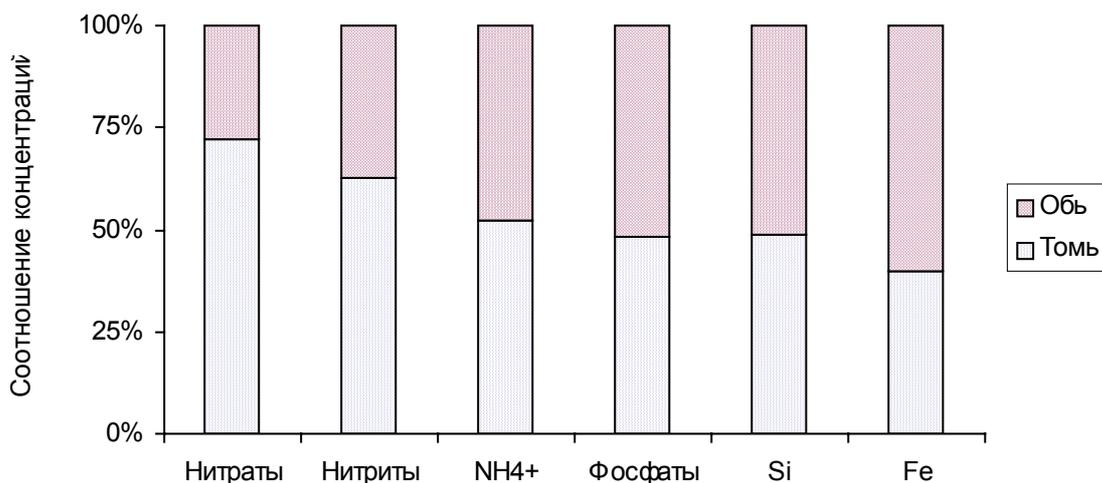


Рис.3.7. Соотношение средних концентраций биогенных веществ в рр. Обь и Томь

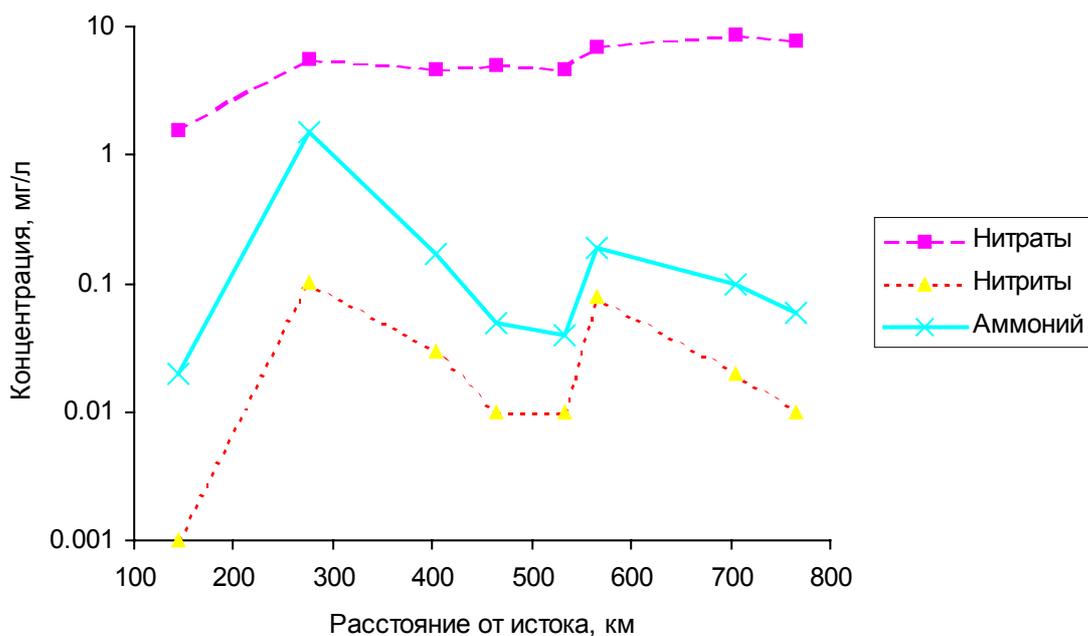


Рис.3.8. Изменение содержаний соединений азота в водах р. Томь в марте 2001 г. [134]

Таблица 3.14

Концентрации биогенных веществ в водах рр. Обь и Томь в сентябре 1991 г. и июле 1999 г. [163, 164, 168], мг/л

Река – створ	Si		Fe _{общ.}		NH ₄ ⁺	
	1991 г.	1999 г.	1991 г.	1999 г.	1991 г.	1999 г.
р. Обь - выше устья р. Томь	2.2.	–	2.0	–	0.1	–
р. Томь – Чернильщикова протока	1.4	–	0.8	–	0.1	–
р. Томь - с. Орловка	–	3.5	–	0.73	–	<0.1
р. Томь – устье	1.3	–	6.0	–	0.7	<0.1
р. Обь - ниже устья р. Томь	2.2	4.2	1.5	0.79	<0.1	0.15

Формы миграции. Для р. Томь в целом характерны те же формы миграции биогенных веществ, что и для р. Обь. Основное отличие связано с уменьшением в водах р. Томь доли комплексов железа с фульвокислотами (табл.3.6), что обусловлено более низкими концентрациями последних. Кроме того, в р. Томь несколько уменьшается, в сравнении с р. Обь, доля незакомплексованных ионов Fe²⁺ и увеличивается доля ионов FeOH⁺.

Соответствие нормативам качества. Для р. Томь характерна примерно та же, что и для р. Обь, ситуация с систематическим превышением рыбохозяйственных нормативов по содержанию Fe, NO₂⁻ и NH₄⁺ и отсутствием или достаточно редкими случаями нарушений ПДК_р и ПДК_х по содержанию фосфатов, кремния и нитратов. При этом следует отметить, что проблема нитратного загрязнения, характерная для многих регионов мира, для р. Томь не актуальна даже в створах г. Кемерово – крупного центра химической промышленности. Из этого следует, что нарушение нормативов качества чаще всего наблюдается в тех случаях, когда антропогенное влияние накладывается на повышенный по природным причинам уровень содержания веществ в речных водах.

Река Чулым. В водах р. Чулым содержится большее, чем в р. Обь, количество нитрит-ионов, меньшее – фосфатов и примерно одинаковое – кремния, железа, ионов аммония и нитратов (рис.3.9). В верхнем и среднем течении отмечаются в целом более высокие, по сравнению с участком с. Тегульдэт-с. Батурино, содержания ионов аммония. Концентрации железа, напротив, выше на участке нижнего течения (табл. 3.13).

Влияние Чулыма на уровень содержания биогенных веществ в водах р. Обь по имеющимся данным сказывается на ограниченном участке или практически незаметно. Так, в ходе эколого-геохимических исследований, проведенных в ТПУ и ОИГГиМ СО РАН в сентябре 1991 г. [163, 164], отмечено либо незначительное уменьшение, либо отсутствие каких-либо изменений концентраций биогенных веществ в водах р. Обь в створах выше и ниже по течению от устья р. Чулым (табл. 3.15).

Таблица 3.15
Концентрации биогенных веществ в водах рр. Обь и Чулым в сентябре 1991 г.
[163, 164]

Река-створ	Si	Fe _{общ.}	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
р. Обь—выше устья р.Чулым	1.8	1.0	0.1	2.5	0.19
р. Чулым—устье	3.5	2.2	0.1	1.6	0.19
р. Обь—ниже устья р.Чулым	1.8	0.5	<0.1	2.2	0.18

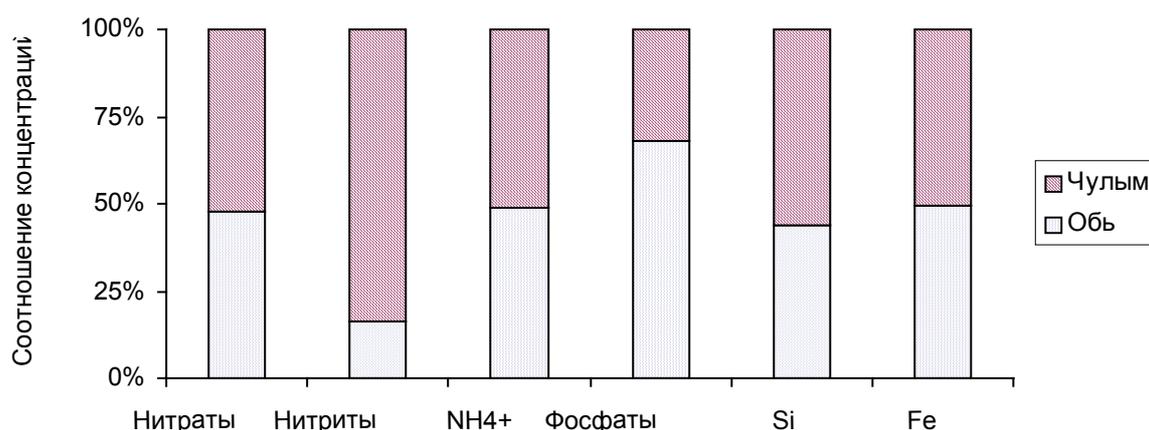


Рис.3.9. Соотношение средних концентраций биогенных веществ в водах рр. Обь и Чулым

Формы миграции. Формы миграции соединений железа, азота и фосфора в водах р. Чулым на участке от с. Тегульдет до устья примерно соответствуют средним значениям, полученным для р. Обь в створах г. Колпашево и с. Александровское (табл.3.6), что позволяет распространить выводы о формах миграции биогенных веществ в р. Обь на участок нижнего течения Чулым.

Соответствие нормативам качества. Среди биогенных веществ наиболее часто отмечается превышение ПДК_р по содержанию железа, азота нитритного и аммонийного, то есть по тем же показателям, что для рр. Обь и Томь.

3.1.4. Органические вещества

Река Обь. Качественный и количественный состав органических веществ (ОВ) в водах р. Обь отличается исключительным разнообразием – от фульво- и гуминовых (ГК) кислот в количестве несколько десятков мг/л до следовых концентраций эфиров карбоновых кислот, аминокислот, пестицидов и других микропримесей [60, 65, 157, 163]. По сравнению со средними данными по рекам мира, в южной части среднего течения р. Обь, соответствующей лесостепной и южнотаежной зонам, содержится меньшее количество растворенных органических веществ (по $C_{орг}$). В северной части рассматриваемого участка Оби средние концентрации $C_{орг}$ заметно увеличиваются и уже превышают среднемировые значения (табл.3.16), причем по мере движения водных масс с юга на север одновременно с увеличением общего содержания ОВ происходит изменение соотношений $C_{орг}$ в растворенной и взвешенной формах, связанное с постепенным увеличением последней [12].

Основную часть ОВ в водах р. Обь составляют ФК и ГК (рис.3.10), содержащиеся в больших количествах в болотных и связанных с ними речных водах. Согласно [22, 36, 37, 44, 51, 73, 148-151, 177-180 и др.], для р. Обь также характерны повышенные концентрации нефтепродуктов, представляющие собой, согласно [39], неполярные и малополярные углеводороды, растворимые в гексане и сорбирующиеся на оксиде алюминия. Содержания в р. Обь этих веществ, под определение которых попадают практически все виды углеводородного топлива, составляют в среднем 0.3-0.8 мг/л (табл.3.16). Данный факт, на первый взгляд, достаточно хорошо согласуется с наличием многочисленных антропогенных источников поступления нефтепродуктов в водные объекты (нефтяные скважины, нефтепроводы, склады нефтепродуктов, нефтеналивные суда) и подтверждается данными об их повышенных концентрациях в р. Обь в районе г. Новосибирск и ниже по течению от устьев рр. Васюган и Парабель, в бассейнах которых ведется нефтегазодобыча [36, 151].

Идентификация органических веществ, проведенная методом хромато-масс-спектрометрии в аккредитованной лаборатории ИХН СО РАН, показала, что в обских водах в количестве нескольких мкг/л – нескольких десятков мкг/л присутствуют парафиновые углеводороды, нафтены, ароматические углеводороды, фталаты, хлор- и фосфорорганические соединения, карбоновые кислоты и ряд других соединений. При этом необходимо отметить, что среднее по 12 пробам значение суммы содержаний нормальных и изопарафинов, нафтенов, ароматических углеводородов составляет

всего лишь 25.3 мкг/л, а максимум – 55.8 мкг/л (у с. Киреевск в августе 1992 г.) при ПДК_р по содержанию нефтепродуктов 50 мкг/л.

Таблица 3.16

Средние значения ХПК, БПК₅, концентрации органических веществ в водах рр. Обь, Томь и Чулым за период 1970-2002 гг. (исходные данные Росгидромета), мг/л

Река – створ	ХПК	БПК ₅	Нефте-продукты	Смолистые вещества	Фенолы	СПАВ
р.Обь– выше г. Колпашево	10.67(170)	1.30(123)	0.390(169)	0.102(108)	0.008(113)	0.009(71)
р. Обь – с. Александровское	18.95(113)	3.96(110)	0.508(115)	0.086(104)	0.023(112)	0.023(83)
р.Томь–г. Междуреченск	7.42(195)	2.19(194)	0.481(182)	0.083(58)	0.003(194)	0.010(45)
р. Томь– выше г.Новокузнецк	10.39(83)	2.31(81)	0.312(79)	0.075(57)	0.005(81)	0.007(69)
р. Томь – пгт. Крапивинский	10.33(63)	2.48(58)	0.469(57)	0.10(6)	0.008(64)	0.007(40)
р. Томь – ниже г. Кемерово	13.95(306)	2.54(233)	0.313(265)	0.048(203)	0.005(356)	0.038(50)
р.Томь – выше г. Томск	11.44(824)	2.07(671)	0.373(682)	0.036(397)	0.004(731)	0.012 (248)
р. Томь – с. Козюлино	14.44(112)	2.23(154)	0.357(118)	0.029(46)	0.005(117)	0.006(48)
р. Чулым – с. Тегульдет	16.74(72)	2.59(72)	0.466(72)	0.071(64)	0.003(72)	0.011(66)
р. Чулым – с. Батурино	18.93(52)	2.49(43)	0.309(52)	0.039(46)	0.002(52)	0.013(47)
р.Обь– г. Новосибирск [22]	–	3.5(183)	0.84(288)	–	0.007(270)	0.09(279)
р.Обь– г. Салехард [22]	–	3.2(44)	0.35(46)	–	0.001(46)	0.06(46)
ПДК _р	–	2.1	0.05 ¹	–	0.001 ²	0.2
ПДК _х	15	2.1	0.3	–	0.001 (0.250) ³	0.5

1 – нефть и нефтепродукты в растворенном и эмульгированном состоянии, определяемая методом гравиметрии, газовой хроматографии, хроматомасс-спектрометрии, инфракрасной спектрометрии; 2 – ПДК для фенола C₆H₆O, определяемая методом газовой хроматографии, хроматомасс-спектрометрии, высокоэффективной жидкостной хроматографии; 3 – при отсутствии хлорирования в процессе водоподготовки

Кроме того, существует точка зрения относительно генезиса углеводородов, в соответствии с которой предполагается, что углеводороды с четным количеством атомов углерода имеют техногенное происхождение, а с нечетным количеством – синтезируются растениями, причем относительно низкомолекулярные углеводороды (C₁₅:C₂₁) синтезирует водная растительность, а более высокомолекулярные (C₂₅:C₃₅) – наземная растительность [7, 31]. Превышение концентраций пристана над фитаном,

согласно [7], «указывает на некоторое участие в составе ОВ гидробионтов зоогенного характера». Для р. Обь, как показали исследования, проведенные в ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН и ИХН СО РАН (определение выполнено в ИХН СО РАН), преобладают *n*-алканы и изопреноидные углеводороды с нечетным количеством атомов углерода. Так, в июле 1997 г. была зафиксирована сумма концентраций парафинов C₁₅:C₂₁ (с нечетным количеством атомов углерода) 0.05 мкг/л, при этом содержания парафинов C₂₅:C₃₅ были меньше предела обнаружения (табл.3.17). С учетом этих данных можно предположить, что при определении нефтепродуктов методом ИК-спектрометрии в пробах воды фиксируются содержания углеводородов не только техногенного, но и природного происхождения.

Помимо углеводородов, следует особо отметить фталаты и хлорорганические соединения, также играющие важную роль в формировании эколого-геохимического состояния природных вод. Фталаты, представляющие собой сложные эфиры фталевой кислоты, широко используются в качестве пластификаторов при производстве поливинилхлорида (ПВХ), причем одно из главных мест на рынке пластифицирующих материалов занимает дибутилфталат. Поступление фталатов в окружающую среду происходит как в процессе их производства и переработки, так и в результате использования и вывода из употребления разнообразных изделий из пластмасс [66]. Среднее содержание фталатов в водах р. Обь составляет 35.75 мкг/л, максимальное – 122.47 мкг/л, причем максимум обнаружен выше по течению от устья р. Томь в пределах зоны активного отдыха жителей г. Томск и Томского района.

К хлорорганическим соединениям относят полихлорированные диоксины, дибензофураны, бифенилы, хлорорганические пестициды. Все эти вещества, попадающие в водные объекты в результате сброса сточных вод предприятий, поступления ливневых вод населенных пунктов и стока с сельскохозяйственных угодий, отличаются исключительно высокой способностью к миграции в окружающей среде и токсичностью действия на живые организмы [28, 31, 80].

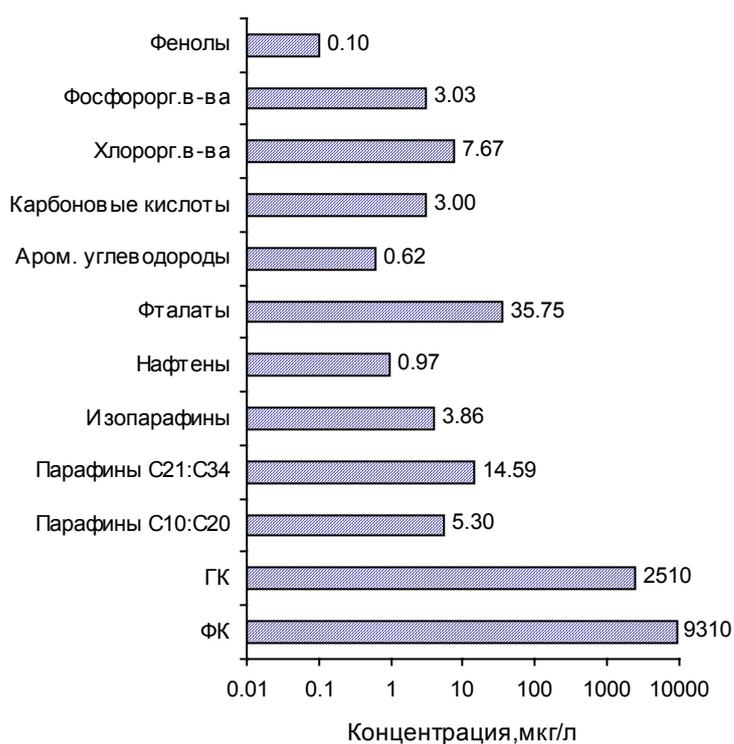


Рис.3.10. Средние концентрации некоторых органических веществ в водах Средней Оби (обобщение данных исследований ИХН СО РАН, ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН по проекту № 5.1.290 ФЦП «Интеграция» и [5, 157, 163]; 5-13 проб, хлорорганические соединения – 2 пробы)

Таблица 3.17
Концентрации *n*-алканов, фитана и пристана в водах рр. Обь и Томь в 1997 г., мкг/л (данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, ИХН СО РАН)

Компонент	р. Обь – с. Кривошеино, 28.07.97 г.	р. Томь – с. Курлек, 22.07.97 г.
1	2	3
<i>n</i> -алканы с числом атомов углерода		
C ₁₅	0.121	0.127
C ₁₇	<0.001	<0.001
C ₁₉	0.05	<0.001
C ₂₁	<0.001	<0.001
C ₂₃	0.029	0.152
C ₂₅	0.06	0.073

1	2	3
C ₂₇	0.071	0.080
C ₂₉	0.05	<0.001
C ₃₁	0.037	<0.001
C ₃₃	<0.001	<0.001
Сумма (нечетное число атомов С)	0.418	0.432
C ₁₆	<0.001	0.098
C ₁₈	0.068	0.102
C ₂₀	<0.001	<0.001
C ₂₂	0.042	<0.001
C ₂₄	0.034	0.080
C ₂₆	0.045	0.127
C ₂₈	0.039	<0.001
C ₃₀	0.034	<0.001
C ₃₂	0.029	0.109
C ₃₄	<0.001	<0.001
Сумма (четное число атомов С)	0.291	0.516
Изопарафины		
Пристан (C ₁₉)	0.832	3.629
Фитан (C ₂₀)	0.034	0.051

В процессе выполнения исследований по проектам № 5.1.290 ФЦП «Интеграция» и «Пойма-99» в водах р. Обь было проведено два определения суммарного содержания хлорорганических соединений, в результате чего в июле 1999 г. в створе 15 км ниже устья р. Томь зафиксирована концентрация 15.334 мкг/л. В июле 1997 г. у с. Кривошеино их содержание было меньше предела обнаружения.

Эти данные в целом согласуются с данными Росгидромета за 1991-2002 гг. (табл.3.18) и приведенными в [65, 73] обобщенными сведениями о содержании в водах р. Обь хлорорганических пестицидов. В то же время необходимо отметить, что, согласно Л.Г. Коротовой и соавторам (1998), сумма средних концентраций α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, β -ГХЦГ, ДДТ, ДДЭ, дигидрогептахлора по всей р. Обь составляет около

0.1 мкг/л, а сумма максимальных концентраций этих же веществ – 8.976 мкг/л, то есть в 1.7 раза меньше содержания хлорорганических соединений, зафиксированного ниже устья р. Томь в 1999 г., что позволяет предположить наличие в речных водах, помимо изомеров гексахлорциклогексана, ДДТ и его метаболитов, других хлорсодержащих ОВ.

Таблица 3.18

Средние концентрации хлорорганических пестицидов в речных водах бассейна Средней Оби за период 1990-2002 гг. (данные Росгидромета), мг/л

Река – створ	α -ГХЦГ	β -ГХЦГ	γ -ГХЦГ	n, n'-ДДТ	n, n'-ДДЭ
р.Обь– выше г. Колпашево	0.001(51)	<0.001(36)	<0.001(51)	<0.001(51)	<0.001(51)
р. Обь – с. Александровское	0.002(53)	<0.001(45)	<0.001(53)	<0.001(53)	<0.001(53)
р. Томь– выше г.Новокузнецк	<0.001(13)	<0.001(13)	<0.001(13)	<0.001(13)	<0.001(13)
р. Томь – выше г. Кемерово	0.002(27)	0.0016(27)	0.001(27)	<0.001(27)	0.005(27)
р. Томь – ниже г. Кемерово	0.001(38)	0.037(15)	<0.001(38)	<0.001(23)	<0.001(38)
р. Томь – с. Поломошное	0.002(27)	<0.001(6)	0.002(27)	0.005(27)	0.006(27)
р.Томь – выше г. Томска	0.006(47)	–	0.003(47)	0.014(48)	0.002(47)
р. Томь – с. Козюлино	0.004(108)	–	0.003(108)	0.007(162)	0.002(108)
р. Чулым – с. Тегульдет	<0.001(16)	<0.001(16)	<0.001(16)	<0.001(16)	<0.001(16)
р. Чулым – с. Батурино	0.002(30)	<0.001(21)	0.001(27)	<0.001(27)	<0.001(27)
ПДК _р	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие
ПДК _х	0.020	0.020	0.020	0.1	0.1

Количество выполненных определений пока недостаточно для установления закономерностей распределения концентраций органических микропримесей в водах р. Обь. Тем не менее, уже сейчас можно сделать предварительный вывод о том, что более высокие содержания фталатов и фосфорорганических соединений приурочены к южной части рассматриваемой территории, где, очевидно, достаточно ощутимо влияние сточных вод г. Новосибирск. Кроме того, территория обского бассейна, ограниченная с севера створами на р. Обь у с. Молчаново – г. Колпашево, достаточно активно используется в целях сельского хозяйства, ведение которого сопряжено с использованием удобрений и пестицидов. Часть этих веществ должна неизбежно поступать в грунтовые и речные воды, формирующие сток р. Обь. Определенное количество

во хлорорганических соединений, не связанных с сельскохозяйственным производством, поступает в Обь с водами Васюган, Парабель и Кеть.

Соответствие нормативам качества. Содержания нефтепродуктов, фенолов, значения ХПК и БПК₅ являются показателями, по которым наиболее часто среди гидрхимических показателей (вероятность превышения более 30 %) отмечается нарушение российских нормативов рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого водопользования [148-151, 164]. Однако при этом следует отметить, что в российской практике нормирования качества природных вод по каким-то причинам на протяжении нескольких десятилетий проводят сравнение суммы летучих с паром фенолов (фенол, крезолы, ксиленоны, гваякол, тимол) с предельно допустимой концентрацией конкретного вещества – фенола, в результате чего многочисленные случаи так называемого «загрязнения» речных вод фенолами в действительности не имеют места. Подтверждением тому служат данные о содержании фенолов, полученные методом хромато-масс-спектрометрии [60, 157].

Река Томь. Согласно [117], общее содержание органических веществ в р. Томь по углероду составляет в среднем 3.1-4.5 мгС/л (ХПК 8.3-12.1 мгО₂/л), что меньше содержаний С_{орг} в Средней Оби (4-7 мгС/л). По данным [35, 60, 134], в водах этой реки периодически отмечается присутствие разнообразных органических микропримесей, включая высокотоксичные соединения антропогенного происхождения (табл.3.16-3.20). Как показали исследования, проведенные в 1996-2001 гг. коллективом специалистов из ИВЭП СО РАН, ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН и ряда других организаций, распределение по длине р. Томь концентраций выявленных органических микропримесей, величин БПК₅ и перманганатной окисляемости имеет некоторое сходство с распределением содержаний биогенных веществ и микроэлементов в плане приуроченности повышенных значений к участку ниже гг. Новокузнецк и Кемерово [134, 172]. Но есть и отличия, связанные с неоднократным обнаружением достаточно высоких концентраций ароматических и нефтяных углеводородов, формальдегида, фталатов в створе 20 км выше г. Междуреченска.

Другая особенность пространственного распределения органических веществ заключается в появлении некоторых из них на участке пгт. Крапивинский – г. Кемерово и отсутствии этих же веществ – в выше расположенных створах. Такая картина, например, характерна для гербицида пропазина, что свидетельствует о сельскохозяйственном загрязнении в среднем и нижнем течении р. Томь подземных вод,

участвующих в питании реки. Ниже по течению от пгт. Крапивино также появляются циклогексанон и анилин – характерные компоненты сточных вод химического производства [134].

Таблица 3.19

Концентрации органических микропримесей в водах р. Томь
(данные ИХН СО РАН, ТФ ИГНГ СО РАН, ТПУ), мкг/л

Компонент	Створ, дата отбора пробы воды							
	5км выше г.Междуреченск		г.Новоку знецк, ЗСМК	пгт.Кра пивин- ский	АО «Карбо- лит»	с.Кур- лек	г.Томск, Лагерн. Сад	с.Козю лино
	24.8.97	11.7.00	12.7.00	13.7.00	13.7.00	22.7.97	10.4.97	30.7.97
Парафины C ₁₀ :C ₂₀	0.513	0.723	1.533	4.524	7.421	0.327	1.245	0.542
Парафины C ₂₁ :C ₃₄	0.391	0.542	1.206	2.451	2.134	0.621	1.411	0.234
Изопарафины	0.176	0.762	2.371	0.747	1.273	<0.001	0.047	0.423
Нафтены	<0.001	<0.01	3.772	0.954	1.823	3.118	0.531	0.582
Пристан	0.051	–	–	–	–	3.629	0.094	1.473
Фитан	0.099	–	–	–	–	0.051	0.041	0.061
Фталаты	5.506	1.467	3.545	2.83	5.101	1.541	1.18	1.31
ПАУ	<0.001	0.113	0.348	1.385	3.382	<0.001	0.525	0.013
Карбоновые кислоты	<0.001	1.921	2.595	3.329	2.942	2.259	7.322	3.922
Хлорорганические соединения	<0.001	<0.001	0.166	0.083	3.418	8.167	0.283	73.76
Фосфорорганические соединения	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.044	<0.001	0.001	<0.001
Фенолы	<0.001	0.051	1.084	0.091	0.938	<0.001	<0.001	<0.001

Таблица 3.20

Средние и максимальные концентрации органических микропримесей в водах
р. Томь в марте 2001 г. (обобщение данных [134], 14 проб), мкг/л

Компонент	Средняя концентрация	Максимальная концентрация	ПДК _р
1	2	3	4
α-ГХЦГ	<0.001	0.001	отсутствие
γ-ГХЦГ	0.001	0.001	отсутствие
ДДЕ	<0.001	0.001	отсутствие
Пропазин	0.038	0.512	отсутствие

1	2	3	4
ПХБ	0.001	0.006	отсутствие
Нафталин	1.436	10.0	4
Фенантрен	9.692	22.0	–
Сумма ПАУ	30.821	91.7	–
Дибutilфталат	1.371	6.4	Ортофталевая кислота 3000
Диэтилгексилфталат	0.764	5.3	
Сумма фталатов	3.164	9.7	Фталаты Cu –5
Циклогексанон	40.064	200	0.5
Анилин	5.093	70.0	ПДК _x =100
Бенз(а) пирен	0.629	3.9	ПДК _x =0.005

По сравнению с р. Обь, для р. Томь характерны в среднем: 1) более низкие концентрации ФК, ГК, парафинов, изопарафинов, фталатов; 2) примерно равные содержания карбоновых кислот; 3) более высокие концентрации нафтенных, ароматических углеводородов, хлорорганических соединений и фенолов (рис.3.11; табл.3.16, 3.18). Следует также отметить, что для р. Томь соотношение относительно низкомолекулярных парафинов (C₁₀:C₂₀) к высокомолекулярным (C₂₁:C₃₄) существенно отличается от соответствующего показателя для р. Обь (рис.3.11).

Если в случае р. Обь (C₁₀:C₂₀)/(C₂₁:C₃₄)=0.36, то для р. Томь это соотношение в 7 из 8 отобранных проб воды было больше 1. Кроме того, в водах рассматриваемой реки сумма содержаний n-алканов с четным количеством атомов углерода преобладает над содержанием углеводородов с нечетным количеством атомов C (табл.3.17), что, согласно [7, 31], свидетельствует о поступлении в речную сеть значительной части парафинов в результате разрушения углеводородсодержащих природных и техногенных материалов. Меньшая часть парафинов имеет предположительно природное происхождение и связано с выносом с водосбора остатков наземной растительности, на что указывает значение суммы содержаний n-алканов C₂₅:C₃₃ в размере 0.153 мкг/л или 16 % от общего содержания n-алканов на момент измерения (табл.3.17). В целом аналогичные выводы были получены М.Ю. Гузневой [35] относительно соотношений ПАУ разного происхождения в донных отложениях р. Томь. Согласно этому автору, примерно 25-50 % ПАУ могло поступить в донные отложения в процессе вы-

ветривания горных пород (углей и сланцев), несколько процентов связано с разложением остатков наземной и водной растительности, а остальная часть предположительно образовалась в результате хозяйственного использования органического материала. Причем доля ПАУ последнего типа заметно увеличивается в устье р. Томь [35].

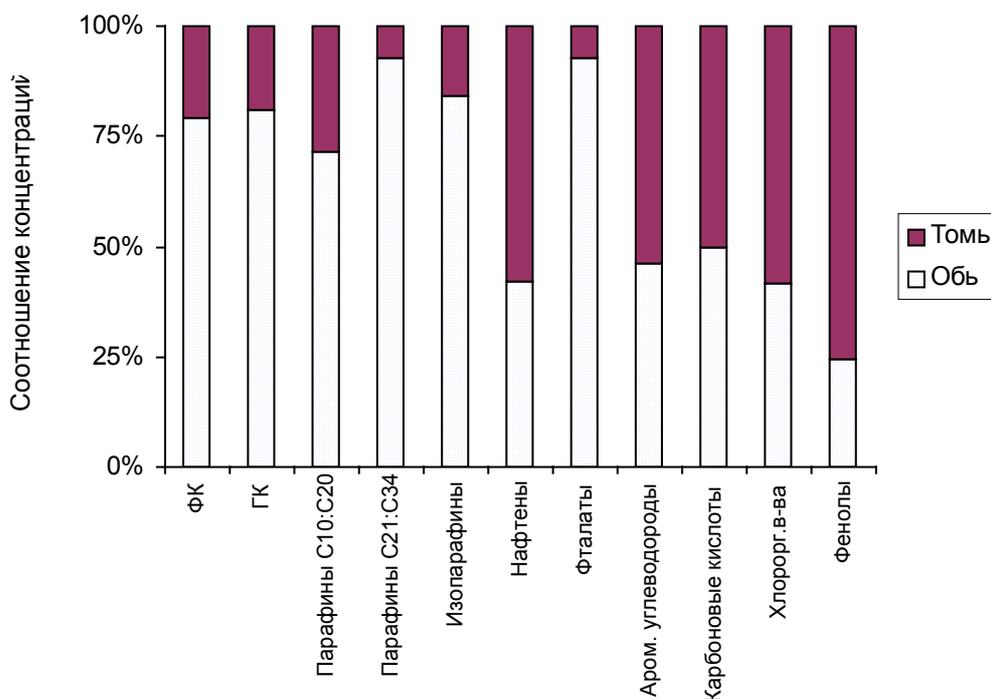


Рис.3.11. Соотношение средних концентраций органических микропримесей в водах рр. Обь и Томь (данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН и ИХН СО РАН)

Соответствие нормативам качества. По данным Росгидромета, даже средние концентрации нефтепродуктов, определенных методом ИК-спектрометрии, превышают установленные рыбохозяйственные нормативы не менее, чем в 50 % всех случаев. Кроме того, согласно [60, 99, 134], в р. Томь периодически отмечается присутствие токсичных органических микропримесей антропогенного происхождения, в первую очередь, хлорорганических соединений. В соответствии с [107], в водных объектах рыбохозяйственного назначения такие вещества, как, например, α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ или ДДЕ, вообще должны отсутствовать. Однако, несмотря на запрет их использования в сельском хозяйстве еще в 1970 г., в марте 2001 г. в водах р. Томь в количестве 0.001 мкг/л были обнаружены α -ГХЦГ и ДДЕ в 2 пробах из 14, γ -ГХЦГ в 9

пробах из 14 [134]. В более значительных количествах, по данным Росгидромета, эти вещества содержались в водах р. Томь в первой половине 1990-х гг. (табл.3.18).

В целом, можно констатировать хотя бы периодическое присутствие в водах р. Томь токсичных органических микропримесей практически на всем ее протяжении, включая и участок выше по течению от г. Междуреченск. Но все же, наиболее вероятно обнаружение различных токсичных органических соединений в водах р. Томь ниже по течению от г. Новокузнецк.

Река Чулым. Для р. Чулым в среднем характерно то же содержание органического углерода (по ХПК) и легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅), что и для р. Обь. В то же время, уровень содержания фенолов и СПАВ заметно выше в р. Обь, а нефтепродуктов, напротив, – в р. Чулым (рис.3.12). Характерной чертой распределения ОВ по длине реки в ее нижнем течении является тот факт, что концентрации нефтепродуктов и фенолов у с. Тегульдет, расположенного вблизи границы Томской области и Красноярского края, в целом выше, чем у с. Батурино в 143 км от устья реки (табл.3.16).

Как показали исследования, проведенные совместно ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН и ИХН СО РАН, содержащиеся в водах р. Чулым органические вещества представлены различными классами соединений, в том числе нормальными парафинами, изопарафинами, нафтенами, ароматическими углеводородами, фталатами, хлор- и фосфорорганическими соединениями и другими (табл.3.21). При этом следует отметить, что в пробе воды, отобранной в июле 1999 г. у г. Асино не было обнаружено каких-либо значительных отклонений по содержанию конкретных соединений по сравнению с рр. Обь и Томь, а соотношение нормальных парафинов ($C_{10}:C_{20}$)/($C_{21}:C_{34}$) было близко к соответствующему показателю для р. Обь.

Соответствие нормативам качества. Как и для р. Обь, для р. Чулым характерны повышенные содержания трудноокисляемых органических веществ по ХПК, даже средние значения которого превышают нормативы хозяйственно-питьевого водопользования (табл.3.16). То же самое относится и к концентрациям нефтепродуктам, определенным методом ИК-спектрометрии и многократно превышающим ПДК_р (0.05 мг/л). Средние содержания легкоокисляемых ОВ по БПК₅ меньше соответствующих нормативов, что, однако, не исключает возможность нарушения ПДК_р примерно в 44 % всех отобранных проб воды [150].

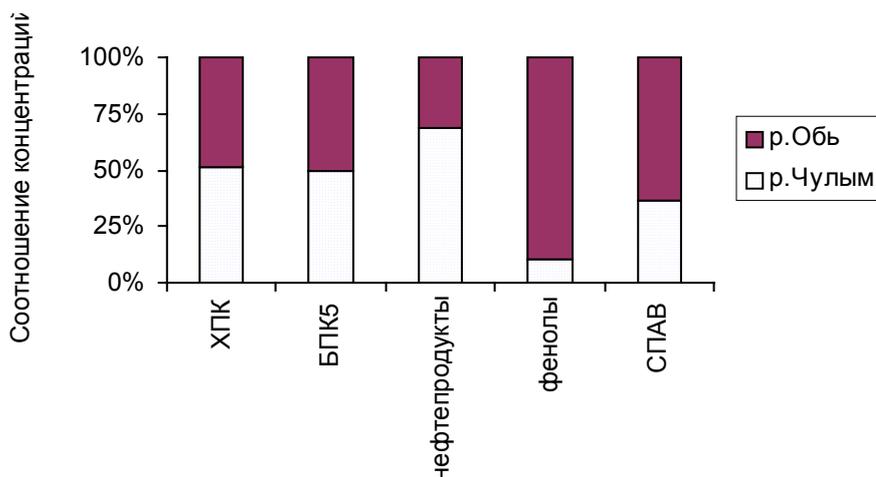


Рис.3.12. Соотношение средних концентраций органических веществ, значений ХПК и БПК₅ вод рр. Обь и Чулым

Таблица 3.21

Концентрации органических микропримесей в водах р. Чулым у г. Асино 21.07.1999 г. (данные ИХН СО РАН, ТФ ИГНГ СО РАН, ТПУ), мкг/л

Компонент	Концентрация
1	2
Парафины C ₁₀ :C ₂₀	1.150
Парафины C ₂₁ :C ₃₄	3.934
Изопарафины	1.329
Нафтены	1.506
Фталаты	4.306
Ароматические углеводороды	0.938
Карбоновые кислоты	1.699
Хлорорганические соединения	6.068
Фосфорорганические соединения	0.241
Фенолы	0.162
ФК	1290

3.1.5. Растворенные газы

Река Обь. Из растворенных в воде газов изучались, главным образом, содержания кислорода и углекислого газа, для которых отмечены противоположные тен-

денции изменения по длине реки – по мере движения водных масс с юга на север происходит определенное уменьшение средних содержаний O_2 и возрастание CO_2 (табл.3.22). Подобное распределение содержаний растворенных газов в водах р. Обь, отмеченное О.А. Алекиным и другими авторами еще в 1940-1950-е гг. [2, 3, 118], является вполне закономерным и отражает условия водообмена, обмена O_2 и CO_2 между поверхностными водами и атмосферным воздухом и поступления органического материала в водные объекты. Концентрации растворенного кислорода и углекислого газа в целом изменяются в достаточно широком диапазоне и могут существенно отличаться от приведенных в табл.3.22 средних значений. Так, насыщение воды кислородом в определенное время суток в летние месяцы увеличивается до 110-120 % (12-14 мг O_2 /л), а в период ледостава снижается до 20-30 % (3-4 мг O_2 /л). Концентрации CO_2 , напротив, возрастают в зимнюю межень до 60 мг/л и более, а в дневные часы летних месяцев не превышают 1 мг/л.

Таблица 3.22

Средние концентрации растворенных газов в водах рр. Обь, Томь и Чулым за период 1970-2002 гг. (исходные данные Росгидромета, ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН)

Река – створ	O_2 , мг/л	O_2 , %	CO_2 , мг/л	NH_3 , мг/л
р.Обь – выше г. Колпашево	10.5(125)	80.8(88)	13.5(65)	–
р. Обь – с. Александровское	10.3(110)	72.4(64)	23.5(60)	–
р.Томь – г. Междуреченск	11.4(200)	84.9(19)	1.8(7)	–
р. Томь– выше г.Новокузнецк	11.1(239)	85.9(61)	2.8(36)	–
р. Томь – пгт. Крапивино	10.5(64)	93.5(11)	9.1(7)	–
р. Томь – ниже г. Кемерово	9.2(1941)	84.8(171)	5.8(8)	0.008(213)
р.Томь– выше г. Томск	9.0(6514)	77.9(163)	2.8(49)	–
р. Томь – с. Козюлино	8.4(109)	69.6(22)	17.8(103)	–
р. Чулым – с. Тегульдет	9.9(72)	–	–	–
р. Чулым – с. Батурино	8.2(44)	68.2(22)	15.3(18)	–
ПДК _р	6 (I категория)	–	–	–
ПДК _х	4	–	–	2.4

Соответствие нормативам качества. Согласно [150], воды Средней Оби по содержанию растворенного кислорода не удовлетворяют требованиям к водным объектам рыбохозяйственного назначения с обеспеченностью 11 %, причем факты низкого содержания растворенного кислорода в обских водах ниже по течению от

г. Колпашево отмечались и до активного хозяйственного освоения этой территории во второй половине XX в. [2].

Река Томь. Кислородный режим р. Томь, согласно данным Росгидромета, в целом удовлетворительный - среднее содержание растворенного кислорода составляет 9-9.5 мг/л. По сравнению с р. Обь, в р. Томь на участке от истоков до г. Новокузнецк отмечаются более высокие содержания O_2 , а ниже г. Новокузнецк, особенно на участке от г. Томск до устья, более низкие (табл.3.22). Уровень содержания растворенного CO_2 в р. Томь от г. Междуреченск вплоть до г. Томск, напротив, заметно ниже, чем в р. Обь. И только в створе в 13 км от устья концентрации CO_2 в рр. Обь и Томь сопоставимы.

Кроме содержаний растворенных кислорода и CO_2 в водах р. Томь силами Росгидромета проводится определение аммиака. Анализ полученных при этом данных показал, что в средние концентрации NH_3 составляют единицы мкг/л (табл.3.22). Поступление аммиака в речные воды или формирование непосредственно в них этого вещества, очевидно, в значительной степени связано с влиянием антропогенных факторов. Об этом свидетельствует тот факт, что на участке рассматриваемой реки в черте г. Кемерово среднее содержание аммиака увеличивается на 3 мкг/л или 60 % (5 мкг/л в створе 12 км выше г. Кемерово и 8 мкг/л в 20.5 км ниже этого города).

Соответствие нормативам качества. Анализ данных режимных наблюдений Росгидромета показал, что для р. Томь существует достаточно большая вероятность (около 8%) нарушения российских нормативов по содержанию растворенного кислорода, причем не только в зимний, но и летний период [150].

Река Чулым. Уровень содержания растворенных кислорода и углекислого газа в водах р. Чулым заметно меняется по длине реки. В нижнем течении реки отмечается снижение средних концентраций растворенного кислорода до значений 8-9.4 мг O_2 /л (табл.3.22), что ниже соответствующих показателей для р. Обь. Средние концентрации CO_2 в нижнем течении р. Чулым и р. Обь на участке от с. Дубровино до г. Колпашево в целом сопоставимы.

Соответствие нормативам качества. Вероятность нарушения рыбохозяйственных нормативов по содержанию растворенного кислорода для р. Чулым (12-13 %) сравнима с вероятностью превышения ПДК_р для рр. Томь. Наиболее неблагоприятен по этому показателю зимний период, когда могут отмечаться концентрации O_2 до 5 мг/л и ниже.

3.1.6. Микроорганизмы

Река Обь. Как было показано В.В. Вернадским, а затем подтверждено другими исследователями, микроорганизмы играют исключительно важную роль в формировании эколого-геохимического состояния компонентов биосферы, включая и водные экосистемы [19, 20, 55, 114 и др.]. По этой причине количественный и групповой состав микроорганизмов являются одними из важнейших критериев состояния поверхностных водных объектов.

В результате исследований, выполненных в течение 1991-2002 гг. в ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН, в водах Средней Оби 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 др.) 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 [132, 163, 168].

Общая характеристика выявленных эколого-трофических групп микроорганизмов, присутствующих в водах р. Обь, представлена в табл.3.23. 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 2 раза (табл.3.23), причем соотношение концентраций сапрофитных и олиготрофных бактерий уменьшается по мере движения водных масс с юга на север [132].

Таблица 3.23

Средние содержания некоторых групп бактерий в водах рр. Обь, Томь
и их притоков (средних рек) [132]

Бактерии	Единица измерения	р. Обь	р. Томь	Притоки р. Томь	Равнинные притоки р. Обь
сапрофитные	кл/мл	12131	12532	7576	21227
олиготрофные	кл/мл	41891	37653	65096	33890
тионовые	балл	4	6	2	0
нитрифицирующие	балл	7	5	3	–
денитрифицирующие	балл	9	10	10	12
аммонифицирующие	кл/мл	8646	4451	–	–
сульфатвосстанавливающие	балл	<1	1	0	–
окисляющие:					
гексан	усл. ед.	204	241	169	–
гептан	усл. ед.	326	235	169	–
октан	усл. ед.	332	279	300	–
декан	усл. ед.	386	338	344	–
фенол	усл. ед.	229	245	309	–
толуол	усл. ед.	43	34	61	–
нафталин	усл. ед.	218	174	93	–
Количество определений		20	9-32	3-11	6

В р. Обь выше и ниже устья Томь, а также у сел Кривошеино, Молчаново, Могочино в сентябре 1991 г. было отмечено развитие тионовых бактерий [163]. 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 [132].

В целом, при продвижении на север наблюдается уменьшение численности бактерий, окисляющих азотсодержащие органические вещества. В изменении содер-

жаний других групп гетеротрофных бактерий подобная тенденция не обнаружена [132, 163]. 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/мл в большинстве створов до 9000-28000 кл/мл на участке ниже по течению от с. Каргасок [168]. 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.

Таким образом, содержание микроорганизмов чутко реагирует на изменение гидрологических и гидрохимических условий, характера и степени загрязнения реки, причем в ряде случаев химическое загрязнение вод может сопровождаться подавлением развития некоторых групп бактерий. Например, денитрифицирующие бактерии в сентябре 1991 г. были обнаружены в р. Обь повсеместно с высокой интенсивностью развития, но у сел Нарым и Александровское, где было отмечено резкое увеличение концентраций ряда веществ, их активность снизилась [163].

Соответствие нормативам качества. Согласно ГОСТ 17.1.3.07-82, воды Средней Оби по микробиологическим показателям в целом классифицируются как загрязненные, по ГОСТ 17.1.2.04-77 – альфамезосапробные (загрязненные). Поскольку содержания микроорганизмов в обских водах изменяются в достаточно широком диапазоне [132], то и категория сапробности, и класс качества также изменяются в широком диапазоне – от ксеносапробных (чистых) до полисапробных (грязных).

Река Томь. Содержания сапрофитных микроорганизмов, минерализующих отмерший органический материал, в водах р. Томь в среднем несколько выше, чем в р. Обь (табл. 3.23, 3.24), причем самые высокие их концентрации обнаружены не только в створах крупных городов – потенциальных источников микробиологического загрязнения водных объектов (62000 кл/мл у г. Томск), но и на участке реки выше по течению от г. Междуреченск (69000 кл/мл в 5 км выше города). Таким образом, бактериальное загрязнение реки эпизодически наблюдается на всем ее протяжении, что было отмечено в ходе Государственной экологической экспертизы Крапивинского гидроузла на р. Томь [141] и ряде других водохозяйственных документов. Следует отметить, что первое упоминание о повышенном содержании некоторых микроорганизмов в водах р. Томь относится к 1930-м гг. [140].

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 растворенных в воде ОВ двух рек. Среди прочих групп микроорганизмов, выявленных в водах р. Томь, следует отметить сульфатвосстанавливающие бактерии, способные восстанавливать сульфаты до сульфидов и существующие при недостатке кислорода. Подобные микроорганизмы в количестве 1 кл/мл были обнаружены нами в марте 1998 г. в 0.3 км выше г. Томск. Кроме того, в створах гг. Кемерово и Томска 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/мл, что хорошо согласуется с относительно равномерным распределением содержаний углеводов в речных водах. Большой неравномерностью характеризуется распределение хемоорганотрофных бактерий, окисляющих углеводороды и кислородсодержащие органические соединения. Так, в августе 1997 г. было зафиксировано достаточно заметное увеличение интенсивности развития фенолоксиляющих бактерий в водах р. Томь от г. Междуреченск до устья (рис.3.13), причем единственный случай отклонения от этой тенденции отмечен в створе ниже сброса нагретых вод из системы охлаждения ГРЭС в г. Мыски.

Соответствие нормативам качества. В соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77 и ГОСТ 17.1.3.07-82, воды р. Томь по микробиологическим показателям в среднем характеризуются как загрязненные, альфамезосапробные. Определенное ухудшение качества вод р. Томь по микробиологическим показателям закономерно отмечается в створах, расположенных в черте или ниже по течению от населенных пунктов и сбросов сточных вод жилищно-коммунальных предприятий. Например, в нижнем течении р. Томь причиной определенного повышения величины коли-индекса речных вод является сброс сточных вод ЗАО «НОПСВ» в 28 км от устья (рис.3.14).

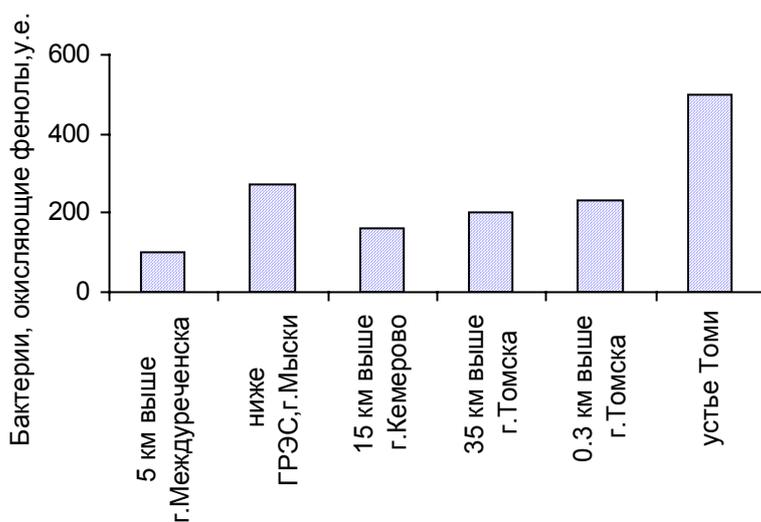


Рис.3.13. Изменение интенсивности развития фенолоксиляющих бактерий в водах р. Томь в августе 1997 г. [132]

Река Чулым. В водах р. Чулым содержатся те же группы микроорганизмов, что и в р. Обь. Малое количество проб не позволяет провести полноценное сопоставление микробиологического состава вод этих двух рек. Но все же, сравнивая пробы, отобранные в рр.Обь и Чулым примерно в один и тот же время периода времени, можно отметить, что, во-первых, содержания микроорганизмов в водах р. Чулыме не превышают соответствующие показатели для р. Обь (табл.3.24). Во-вторых, в результате смешения вод двух рек происходит не механическое их смешивание с результирующим средневзвешенным микробиологическим составом, а формирование существенно иного, чем в несмешанных водах, уровня содержаний микроорганизмов. Этот вывод подтверждается при сравнении микробиологических данных по рр. Обь и Чулым, полученных в сентябре 1991 г. [163, 164]. Верен он и для р. Томь.

Соответствие нормативам качества. Согласно ГОСТ 17.1.2.04-77 и ГОСТ 17.1.3.07-82, воды р. Чулым в сентябре 1991 г. и июле 1999 г., как и р. Обь, соответствовали альфамезосапробным, загрязненным.

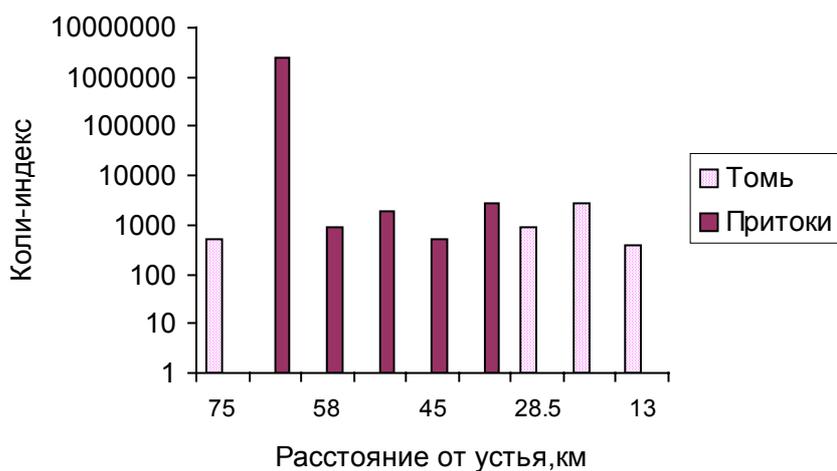


Рис.3.14. Изменение значений коли-индекса в водах р. Томь и ее притоков в конце июля 2002 г. (притоки р. Томь в порядке очередности: рр. Ушайка, Киргизка, Кисловка, Порос, Самуська) [151]

Таблица 3.24
Содержания некоторых групп бактерий в водах рр. Обь и Чулым в июле 1999 г. (данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН)

Бактерии	Единица измерения	р.Обь, ниже устья р.Чулым	р.Чулым, г.Асино	р.Обь, ниже устья р. Чулым
сапрофитные	кл/мл	71800	31600	10000
олиготрофные	кл/мл	346000	3420	30000
уробактерии	кл/мл	80000	700	0
аммонифицирующие	кл/мл	1340	4750	19200
целлюлозоразрушающие	балл	0	15	0
окисляющие гексан	усл. ед.	400	230	500
окисляющие толуол	усл. ед.	500	240	300

3.2. Средние реки

3.2.1. Макрокомпоненты и pH

Воды средних рек рассматриваемой части обского бассейна по классификации О.А. Алекина относятся к пресным с малой и средней минерализацией, гидрокарбонатным кальциевым, нейтральным [2, 118, 127, 164]. Содержания главных ионов варьируют в достаточно широком диапазоне, достигая максимумов в левобережной части бассейна Средней Оби на стыке лесостепной и южнотаежной зон, соответствующей бассейнам рр. Чая и Шегарка (табл.3.25). Наиболее низкие средние концентрации макрокомпонентов наблюдаются, с одной стороны, в бассейне р. Томь (в районе западных склонов Кузнецкого Алатау), с другой стороны – в правобережной таежной части бассейна Средней Оби в водосборах рр. Тым и Кеть [130].

Таблица 3.25
Средние значения суммы главных ионов и концентрации макрокомпонентов в речных водах бассейна Средней Оби за период 1970-2002 гг. (данные Росгидромета, ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН), мг/л

Река – створ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и	pH	N
р. Кия – г. Мариинск	22.3	3.9	4.1	80.6	11.0	1.7	123.6	7.16	54
р. Яя – пгт. Яя	38.4	8.8	21.9	174.9	17.5	5.4	266.9	7.21	11
р. Четь – с. Конторка	37.2	7.8	17.5	175.0	15.6	1.1	254.2	7.08	19
р. Кеть – с. Максимкин Яр	19.4	3.7	4.3	73.2	5.9	1.8	108.3	6.84	57
р. Кеть – с. Волково	14.8	4.0	6.4	58.7	13.2	2.9	100.0	7.09	42
р. Тым – с. Напас	9.8	2.5	3.5	39.0	5.9	1.4	62.1	6.48	57
р.Васюган–с.Средний Васюган	23.1	5.7	4.9	92.1	5.8	3.1	134.7	6.85	71
р. Парабель – с. Новиково	40.5	7.2	9.3	167.7	7.7	2.4	234.8	6.69	29
р. Чая – с. Подгорное	66.2	12.7	18.9	273.0	15.1	9.7	395.6	7.36	22
р. Икса – с. Плотниково	36.7	11.5	11.2	153.6	16.7	6.7	236.4	7.04	40
р. Бакчар – с. Горелый	52.3	12.4	19.1	229.1	12.0	5.6	330.5	7.20	33
р. Шегарка – с. Бабарыкино	63.5	15.2	24.3	269.5	23.8	15.4	411.7	7.64	42

Рассмотрение макрокомпонентного состава вод средних рек (как и содержаний прочих веществ), даже несмотря на возможное совпадение концентраций, 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 [45, 87, 106, 166,

175]. В связи с этим нами было проведено сопоставление данных о химическом составе вод двух групп рек – равнинных притоков р. Обь таежной зоны и рек бассейнов рр. Чулым и Томь, сток которых формируется в горных районах Кузнецкого Алатау, Горной Шории и прилегающих территориях, ограниченных с севера р. Чулым (в данной работе представлены данные только по равнинным притокам р. Обь).

Данное сопоставление включало в себя кластерный анализ с мерой близости в виде евклидова расстояния между среднеголетними (за 1970-2002 гг.) значениями суммы главных ионов и концентраций конкретных компонентов. По мере построения ветвей дендрограмм проводился анализ обобщенных значений используемых показателей на однородность по среднему (по критерию Стьюдента) и дисперсии (по критерию Фишера).

Полученные результаты свидетельствуют о примерно одинаковых значениях минерализации воды, а следовательно, и условиях ее формирования для следующих группы рек: 1) Васюган и Кеть; 2) Чая и Шегарка (рис.3.15); 3) Четь и Яя (для р. Кия выявлено сходство с р. Кондома). 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 (то есть для Ca^{2+} и HCO_3^-) 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 (рис.3.16). При этом необходимо отметить, что для равнинных притоков Средней Оби на фоне влияния водного фактора прослеживается хорошо выраженная взаимосвязь между минерализацией и макрокомпонентным составом речных вод, с одной стороны, и общей заболоченностью водосбором и долей участия в ней верховых и низинных болот, с другой (табл.3.26).

Макрокомпонентный состав рр. Васюган и Кеть формируется при модулях водного стока 6-7 л/(с×км²) в условиях высокой заболоченности водосборов, характеризующейся широким распространением верховых болот. Модули водного стока в бассейнах рр. Чая и Шегарка уменьшаются до 2-4 л/(с×км²), а при достаточно высо-

кой заболоченности водосборов увеличивается доля низинных болот. Одновременно с этим заметно увеличивается и содержание растворенных солей в водах р. Шегарка, Чая и ее притоков (табл.3.25).

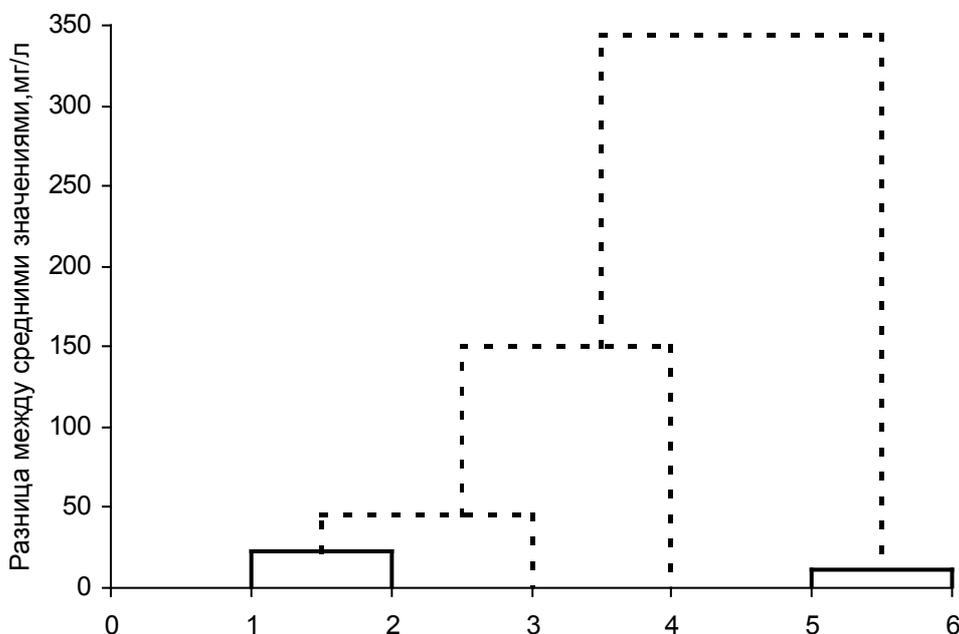


Рис.3.15. Дендрограмма средних за 1970-2002 гг. значений $\Sigma_{и}$ в водах равнинных притоков р. Обь таежной зоны (1 – р. Васюган – с. Средний Васюган; 2 – р. Кеть – с. Максимкин Яр; 3 – р. Тым – с. Напас; 4 – р. Парабель – с. Новиково; 5 – р. Чая – с. Подгорное; 6 – р. Шегарка – с. Бабарыкино); пунктиром обозначены связи между реками или группами рек, неоднородными по $\Sigma_{и}$ при уровне значимости 5 %

Таким образом, в зависимости от интенсивности водообмена (показателем которой служит модуль водного стока) и с учетом общей заболоченности водосборов и распространенности разных типов болот выделяются следующие группы рек с примерно одинаковыми содержаниями растворенных солей.

1. *Реки Чая и Шегарка.* Их водосборы расположены на территории Большого Васюганского болота, в зоне избыточного увлажнения весной и умеренного увлажнения – в летний период, характеризующейся наиболее низкими значениями модулей водного стока и высокой минерализацией подземных вод; подстилающие породы –

суглинки и глины [91, 119, 152, 153]. 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 (табл.3.25).

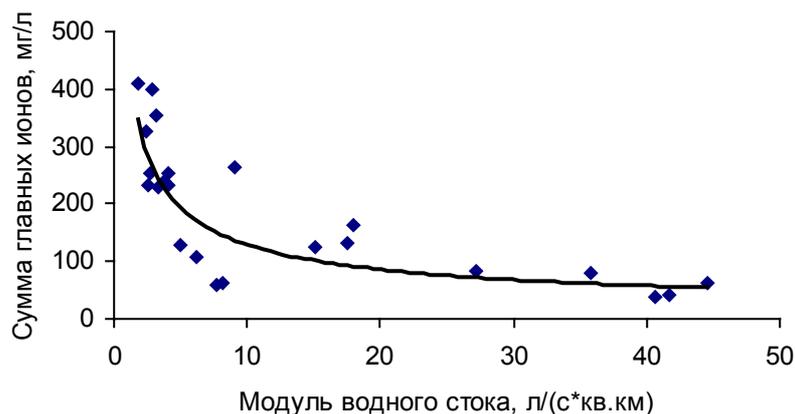


Рис.3.16. Зависимость средних значений $\Sigma_{и}$ от нормы модулей водного стока M_Q в бассейне Средней Оби с учетом притоков рр. Томь и Чулым ($\Sigma_{и}=488.76 \times M_Q^{-0.5792}$; $S/\sigma=0.69$)

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 их 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 (табл.3.25).

3. *Река Тым*. С учетом данных по р. Пайдугина, в водах которой содержится в среднем 58 мг/л растворенных солей, рр. Тым и Пайдугина образуют группу, характеризующуюся наиболее высокой (в пределах рассматриваемой территории) долей верховых болот в общей заболоченности водосборов (более 40 %), более высокими (на 2-3 л/(с*км²)), чем у рр. Кеть и Васюган, модулями водного стока; подстилающие породы – преимущественно пески [91, 119, 152, 153]. По минерализации и содержаниям макрокомпонентов рр. Тым и Пайдугина сходны с горными реками с макси-

мальной интенсивностью водообмена. Среднее значение суммы главных ионов в водах р. Тым более чем в 2 раза меньше суммы главных ионов в водах р. Обь и большинства ее равнинных притоков.

Таблица 3.26

Значимые коэффициенты корреляции¹ между среднемноголетними значениями $\Sigma_{и}$, ХПК, содержаниями Fe и характеристиками водосборного бассейна и водного стока рр. Кеть, Тым, Пайдугина, Андарма, Икса, Шегарка, Бакчар, Парбиг, Кенга, Чузик

Показатель	$\Sigma_{и}$	Fe	ХПК
Площадь водосбора $F_{бас.}$, км ²	-0.51	–	-0.73
Площадь болот $F_{бол.}$, км ²	-0.51	0.52	-0.70
Площадь верховых болот $f_{втз.}$, км ²	-0.63	0.64	-0.50
Площадь переходных болот $f_{птз.}$, км ²	–	–	–
Площадь низинных болот $f_{нтз.}$, км ²	0.51	–	–
Площадь смешанных болот $f_{стз.}$, км ²	–	–	–
Доля болот в площади водосбора $F_{бол.}$, %	–	–	0.82
Доля верховых болот в площади водосбора $f_{втз.}$, %	–	–	–
Доля переходных болот в площади водосбора $f_{птз.}$, %	–	–	–
Доля низинных болот в площади водосбора $f_{нтз.}$, %	–	–	0.70
Доля смешанных болот в площади водосбора $f_{стз.}$, %	–	–	–
Доля верховых болот в площади болот $f_{втз.}^*$, %	-0.68	0.65	–
Доля переходных болот в площади болот $f_{птз.}^*$, %	–	–	–
Доля низинных болот в площади болот $f_{нтз.}^*$, %	0.51	–	0.61
Доля смешанных болот в площади болот $f_{стз.}^*$, %	–	–	–
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

1 – при выполнении условия $r > 2 \times \frac{1-r^2}{\sqrt{N-1}}$, где r – корреляции, N – объем ряда; прочерк означает

несоответствие данному условию

4. Реки Кеть 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).

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 – по величине $\Sigma_{\text{и}}$ и рН, содержанию Cl^- и SO_4^{2-} . С учетом среднесуточных значений модулей водного стока ($3.1 \text{ л/с}_{\text{ХКМ}}^2$ для р. Чая, $4.2 \text{ л/с}_{\text{ХКМ}}^2$ для р. Парабель, $6.3 \text{ л/с}_{\text{ХКМ}}^2$ для р. Кеть у с. Максимкин Яр) и того обстоятельства, что значительная часть водосборов р. Парабель, Чая и Шегарка (большая, чем у р. Васюган) относятся к одному и тому же Васюганскому району торфонакопления [54], р. Парабель целесообразно не выделять в отдельную группу, а объединить с рр. Чая и Шегарка, несмотря на меньшие содержания макрокомпонентов.

Река Кия, не вошедшая ни в одну из указанных выше групп, обнаруживает сходные черты макрокомпонентного состава вод с притоками р. Томь – рр. Мрас-Су, Кондома, Тайдон и непосредственно с р. Томь в ее верхнем течении, что объясняется близостью природных условий формирования водного и гидрохимического режимов.

Формы миграции. Основные формы миграции макрокомпонентов в водах средних рек в целом те же, что и в водах рр. Обь, Томь и Чулым. Основное отличие заключается в том, что в водах рр. Шегарка, Чая, Парабель и их притоков (то есть там, где минерализация воды больше, чем в больших реках) закомплексованность главных ионов возрастает, а в маломинерализованных водах группы рек Тым-Кеть-Васюган и р. Кия – уменьшается (табл.3.27). Также следует отметить, что равнинные притоки Средней Оби по сравнению со средними реками – притоками рр. Томь и Чулым характеризуются определенным увеличением доли соединений кальция и магния с фульвокислотами и кальция с фосфатами.

Соответствие нормативам качества. Содержания главных ионов, включая SO_4^{2-} и Cl^- , даже в наиболее минерализованных водах рр. Чая и Шегарка не превышают установленных нормативных значений. В то же время, достаточно часто отмечаются случаи нарушения ПДК в водных объектах рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого назначения по величине рН: в период половодья – ниже 6.5, в летний период – выше 8.5. Низкие значения рН наиболее часто наблюдаются в период весеннего половодья на равнинных притоках Средней Оби с сильно заболоченными водосборами, а повышенные значения – в летний период в притоках рр. Томь и Чулым.

Таблица 3.27

Преобладающие формы миграции макрокомпонентов в водах средних рек бассейна Средней Оби за период 1970-2002 гг., % от валового содержания

Река – створ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
р. Кия – г. Мариинск	96.41	97.13	99.86	>99.9	98.49	96.31	>99.9
р. Яя – пгт. Яя	93.44	94.83	99.74	>99.9	97.51	94.21	>99.9
р. Четь – с. Конторка	93.49	94.91	99.75	>99.9	97.63	94.55	>99.9
Р. Кеть – с. Максимкин Яр	96.85	97.59	99.89	>99.9	98.65	96.63	>99.9
р. Кеть – с. Волково	97.01	97.55	99.88	>99.9	98.87	97.09	>99.9
р. Тым – с. Напас	98.03	98.45	>99.9	>99.9	99.24	97.96	>99.9
р. Васюган–с.Средний Васюган	96.23	97.16	99.87	>99.9	98.35	95.93	>99.9
Р. Парабель – с. Новиково	93.94	95.42	99.79	>99.9	97.50	94.37	>99.9
р. Чая – с. Подгорное	91.15	93.18	99.66	>99.9	96.27	92.13	>99.9
р. Икса – с. Плотниково	93.97	95.34	99.77	>99.9	97.43	93.96	>99.9
р. Бакчар – с. Горелый	92.23	94.07	99.71	>99.9	96.78	92.91	>99.9
Р. Шегарка – с. Бабарыкино	91.02	92.97	99.64	>99.9	96.27	92.05	>99.9

3.2.2. Микроэлементы

Циклические элементы. Изученность микроэлементного состава вод средних рек рассматриваемой территории в целом хуже, чем изученность рр. Обь и Томь. Наиболее полно представлены данные о содержании некоторых циклических элементов в бассейнах р. Томь. Сравнение средних и одиночных значений концентраций циклических элементов между собой и с соответствующими показателями для рр. Обь, Томь, Чулым позволило сделать следующие выводы:

- 1) наиболее высокие средние концентрации Al, Mn, Pb, F⁻ характерны для равнинных притоков р. Обь, а Cu и Cr – для притоков р. Томь (табл.3.28), хотя при этом нельзя не отметить значительную погрешность определения (20 % и более) средних значений микроэлементов в водах средних рек вследствие различий в объемах наблюдений на разных реках;
- 2) по сравнению с р. Обь, в водах ее равнинных притоков содержится большее количество алюминия, марганца, свинца и фторидов (рис.3.17);

- 3) средний уровень содержания Cr, Mn, Zn, Pb в водах средних рек – притоков р. Томь выше, чем в рр. Томь; уровень содержания Al, Hg, F⁻, напротив, выше в водах р. Томь (по сравнению с ее притоками);
- 4) в водах притоков р. Чулым по сравнению с рекой-приемником содержится большее количество Zn, Pb, F⁻ и меньшее – Cr, Cu, Pb; для р. Урюп (один из наиболее крупных притоков р. Чулым за пределами Томской области) также характерны более высокие, чем в Чулыме, концентрации Mn, Zn, Cd, Pb, Al, а концентрации Ni, V, Mo, Hg – меньше или примерно равны [30];

Таблица 3.28

Средние за 1991-2002 гг. концентрации микроэлементов в водах средних рек бассейна Средней Оби (данные Росгидромета, ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН), мкг/л

Элемент	Равнинные притоки Средней Оби	в т.ч. р. Шегарка и реки бассейна р. Чаи	Притоки р. Томь	Притоки р. Чулым
Al	169.1(28)	212.0(5)	21.6(91)	–
Mn	59.8(16)	12.0(6)	12.9(96)	–
Cu	3.8(202)	3.5(68)	4.9(287)	1.2(306)
Zn	20.4(20)	26.6(8)	13.6(14)	3.1(247)
Pb	1.9(17)	3.6(6)	2.4(86)	0.6(205)
Hg	0.005(5)	–	0.08(15) ¹	–
Cr	1.4(82)	1.6(41)	3.0(61)	0.7(255)
F ⁻	130(12)	270(4)	135(13)	108(235)

¹ – без учета экстремально высокой концентрации 3.43 мкг/л, обнаруженной в р. Кондома 12.07.2000 г. [172]

- 5) концентрации циклических микроэлементов в водах средних рек бассейна Оби изменяются в очень широком диапазоне, причем повышенные содержания могут наблюдаться не только вблизи крупных промышленных центров, но и в реках, в пределах водосборов которых наблюдается минимальная хозяйственная деятельность; в качестве примера, можно привести данные о содержаниях Al, Zn и Cr, наибольшие значения которых обнаружены в водах рр. Икса, Бакчар, Тым в створах, замыкающих практически безлюдные территории (табл.3.29).

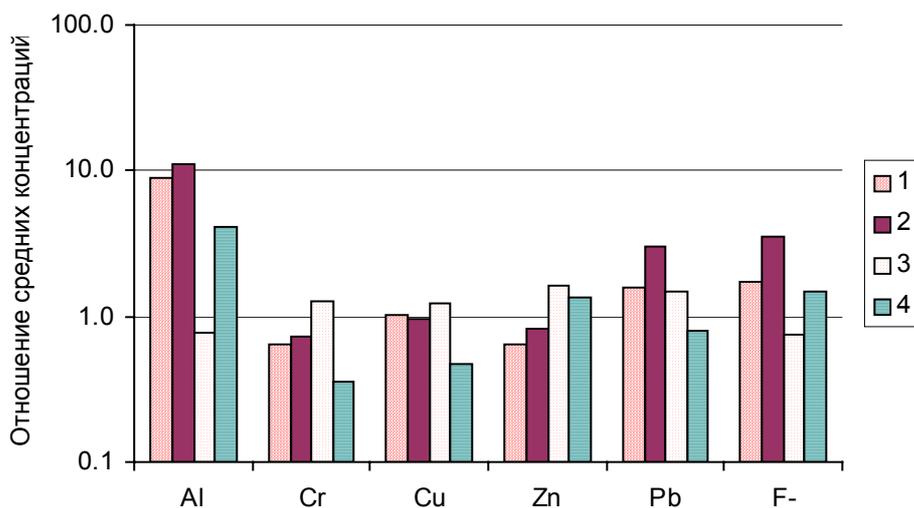


Рис.3.17. Отношения средних концентраций микроэлементов в водах средних и больших рек (1 – равнинные притоки Средней Оби в целом/р. Обь; 2 – в т.ч. р.Шегарка и реки бассейна р. Чайя/р. Обь; 3 – притоки р. Томь/р.Томь; 4 – притоки р. Чулым/р. Чулым)

Рассеянные, редкоземельные и радиоактивные элементы. Максимальные концентрации большинства рассеянных микроэлементов чаще всего характерны для р. Обь, а не для ее равнинных притоков [163, 164, 170]. В водах средних рек отмечены наиболее высокие содержания только Li и U, причем максимумы выявлены в р. Чайя и ее притоках (табл.3.29). Заболоченность водосбора этой реки, как указывалось выше, составляет 35 %, какие-либо крупные промышленные предприятия или горные разработки здесь отсутствуют.

Формы миграции. Для средних рек бассейна Средней Оби в целом характерны те же закономерности, что и для больших рек рассматриваемой территории, за тем исключением, что в водах равнинных притоков р. Обь заметно возрастает доля миграции микроэлементов в виде соединений с фульвокислотами (табл.3.30). Кроме того, в водах рр. Кеть, Тым и Васюган увеличивается доля незакомплексованных ионов алюминия. Максимальное ее значение, характерное для р. Тым, составляет 0.06 % от валового содержания этого элемента, что на 1-2 порядка превосходит долю незакомплексованного иона Al^{3+} в миграции алюминия в средних реках – притоках рр. Томь и Чулым.

Соответствие нормативам качества. Максимальные и даже средние концентрации Cu, Zn, Mn, Al в водах средних рек бассейна Средней Оби многократно превышают установленные нормативы рыбохозяйственного водопользования, причем

очень часто концентрации этих элементов больше ПДК_р отмечаются, как уже указывалось выше, в водах рек, в пределах водосборов которых хозяйственная деятельность минимальна.

Таблица 3.29

Концентрации микроэлементов в водах средних рек бассейна Средней Оби (данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН), мкг/л

Элемент	Река – створ, месяц и год отбора пробы воды							
	р. Чая – устье	р.Бакчар с.Поротниково	р.Икса, с.Плотниково	р. Кеть – устье	р. Кеть, п.Белый Яр	р. Тым – устье	р. Васюган – устье	р. Параньга – устье
	09.91	07.98	07.98	09.91	09.98	09.91	09.91	09.91
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Циклические элементы								
Cr	2.7	4.6	5.7	2.5	4.5	3.6	2.5	2.3
Mn	16.8	–	–	60.3	–	61.0	86.1	17.8
Co	0.4	<0.1	<0.1	0.4	0.31	0.7	0.3	0.5
Ni	0.84	–	–	2.6	–	0.9	1.2	1.8
Cu	1.2	7.0	5.3	0.9	<0.1	3.8	1.5	1.1
Zn	5.5	34.6	82.6	25.4	3.0	99	23.0	8.2
Sr	256	595	574	140	101	<10	83	180
Ag	0.84	0.91	0.36	0.17	0.35	0.26	0.12	0.78
Cd	0.18	<0.1	<0.1	0.15	<0.1	0.16	0.3	0.2
Sb	0.3	0.26	0.32	1.8	<0.1	1.3	0.3	0.7
Ba	43	89	52	21.7	15	42.9	26.1	41.9
Hf	0.26	–	–	0.16	<0.1	0.31	0.18	0.16
Hg	0.005	0.190	0.08	0.005	0.030	0.005	0.006	0.005
F	190	150	220	<100	123	<100	<100	<100
As	–	<0.2	5.07	–	0.43	–	–	–
Bi	0.06	–	–	0.07	0.009	0.32	0.04	0.66
Радиоактивные элементы								
Th	0.09	<0.06	0.1	0.08	<0.06	0.19	0.06	0.11
U	0.87	0.75	<0.1	0.41	<0.1	0.57	0.42	0.43
Рассеянные элементы								

Продолжение табл.3.29

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Li	14	10	8	6	4	3	10	10
Sc	0.12	0.09	0.18	0.08	0.01	0.35	0.08	0.13
Rb	<0.1	<0.1	8	<0.1	<0.1	5.36	<0.1	<0.1
Cs	0.13	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.1	0.13
Редкоземельные элементы								
La	0.28	0.31	0.127	0.23	<0.1	0.78	0.27	0.34
Ce	0.53	0.87	1.5	0.41	0.03	1.6	0.47	0.61
Sm	0.15	0.13	<0.1	0.12	<0.07	0.2	0.12	0.13
Eu	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.05	<0.1	<0.1
Tb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.05	<0.1	<0.1
Yb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.14	<0.1	<0.1
Lu	0.1	<0.1	<0.1	0.18	<0.1	0.14	<0.1	<0.1

Таблица 3.30

Преобладающие (>0.01 %) растворенные формы миграции микроэлементов и железа в средних реках бассейна Средней Оби, % от валового содержания катиона

Формула	Притоки Томь	Притоки Чулыма	рр. Васюган, Кеть, Тым	рр. Парабель, Шегарка, Чая и ее притоки
1	2	3	4	5
Al^{3+}	<0.01	<0.01	0.02	<0.01
$Al(OH)^{2+}$	0.12	0.08	0.54	0.19
$Al(OH)_2^+$	3.8	3.99	9.42	4.78
$Al(OH)_3^0$	58.4	65.92	67.82	60.08
$Al(OH)_4^-$	37.16	29.81	16.02	33.64
AlF^{2+}	0.13	0.05	1.31	0.3
AlF_2^+	0.34	0.12	4.37	0.9
AlF_3^0	0.03	0.01	0.44	0.09
$Al\Phi K^+$	<0.01	<0.01	0.05	0.01
Zn^{2+}	68.01	79.75	77.94	66.78
$Zn(OH)_2^0$	24.48	10.19	3.25	17.12
ZnF^+	0.01	0.01	0.01	0.01
$ZnSO_4^0$	0.61	1.16	0.68	0.83

1	2	3	4	5
$(ZnФК)^0$	5.62	7.86	17.59	14.25
Cu^{2+}	1.15	0.93	0.41	0.52
$Cu(OH)^+$	1.1	0.5	0.12	0.44
$CuSO_4^0$	0.01	0.01	<0.01	0.01
$CuФК^0$	97.73	98.55	99.46	99.02
Fe^{2+}	23.42	33.73	50.08	33.88
$Fe(OH)^+$	76.06	65.33	47.37	64.32
$FeSO_4^0$	0.10	0.24	0.20	0.20
$FeФК^0$	0.41	0.69	2.34	1.59
$Fe(OH)_3^0$	97.98	97.16	87.34	92.5
$FeФК(OH)_2^-$	2.01	2.83	12.65	7.49

Значительно реже, чем для указанных выше элементов, наблюдаются превышения нормативов по содержанию Hg, максимум которого (3.43 мкг/л), обнаруженный в Кемеровской области в одном из притоков р. Томь (р. Кондома), более чем в 1.5 раза превышал максимум для р. Томь и в 3 с лишним раза – для р. Обь.

3.2.3. Биогенные вещества

Уровень содержания биогенных веществ в водах средних рек заметно отличается от уровня их содержания в больших реках рассматриваемой территории (табл.3.31). Если для притоков рр. Томь и Чулым характерны меньшие, по сравнению с рр. Томь и Чулым (соответственно), средние содержания нитрит-ионов и ионов аммония, то в водах равнинных притоков Средней Оби концентрации этих и ряда других биогенных веществ заметно выше, чем в р. Обь и прочих ее крупных притоках (рис.3.18). При этом следует отметить, что в ряду притоки р. Томь – притоки р. Чулым – равнинные притоки Средней Оби наблюдается устойчивое увеличение содержаний фосфатов, кремния, нитритов, ионов аммония и уменьшение содержаний нитратов, что свидетельствует об ухудшении условий минерализации ОВ в речных водах заболоченных территорий.

Таблица 3.31

Средние концентрации биогенных веществ в речных водах бассейна Средней Оби за период 1970-2002 гг. (исходные данные Росгидромета, ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН), мг/л

Река – створ	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	P(PO ₄ ³⁻)	Si	Fe _{общ.}
р. Кия – г. Мариинск	1.508(58)	0.037(96)	0.321(96)	0.014(59)	3.55(36)	0.058(59)
р. Яя – пгт. Яя	3.145(57)	0.087(98)	0.408(98)	0.021(8)	3.13(11)	0.056(57)
р. Четь – с. Конторка	0.620(47)	0.019(66)	0.60(66)	0.038(26)	5.16(19)	0.277(66)
р. Кеть – с.Максимкин Яр	0.654(13)	0.028(13)	0.773(13)	0.103(13)	4.24(35)	0.591(13)
р. Кеть – с. Волково	0.499(65)	0.014(65)	0.631(65)	0.054(59)	4.91(42)	0.80(65)
р. Тым – с. Напас	0.723(15)	0.041(15)	0.83(15)	0.048(11)	5.34(34)	0.849(15)
р. Васюган – с. Средний Васюган	0.422(54)	0.043(27)	1.462(27)	0.072(58)	4.32(53)	0.705(77)
р. Парабель – с. Новиково	0.519(39)	0.014(39)	1.294(39)	0.063(37)	5.24(24)	0.348(39)
р. Чая – с. Подгорное	2.103(22)	0.049(22)	1.147(22)	0.096(6)	4.09(16)	0.521(22)
р. Икса – с. Плотниково	0.473(61)	0.063(61)	1.885(61)	0.076(56)	3.27(35)	0.564(61)
р. Бакчар – с. Горелый	1.681(31)	0.074(31)	1.552(31)	0.092(23)	4.55(24)	0.286(31)
р. Шегарка – с. Бабарыкино	0.990(40)	0.110(43)	1.043(43)	0.132(34)	4.43(35)	0.204(40)

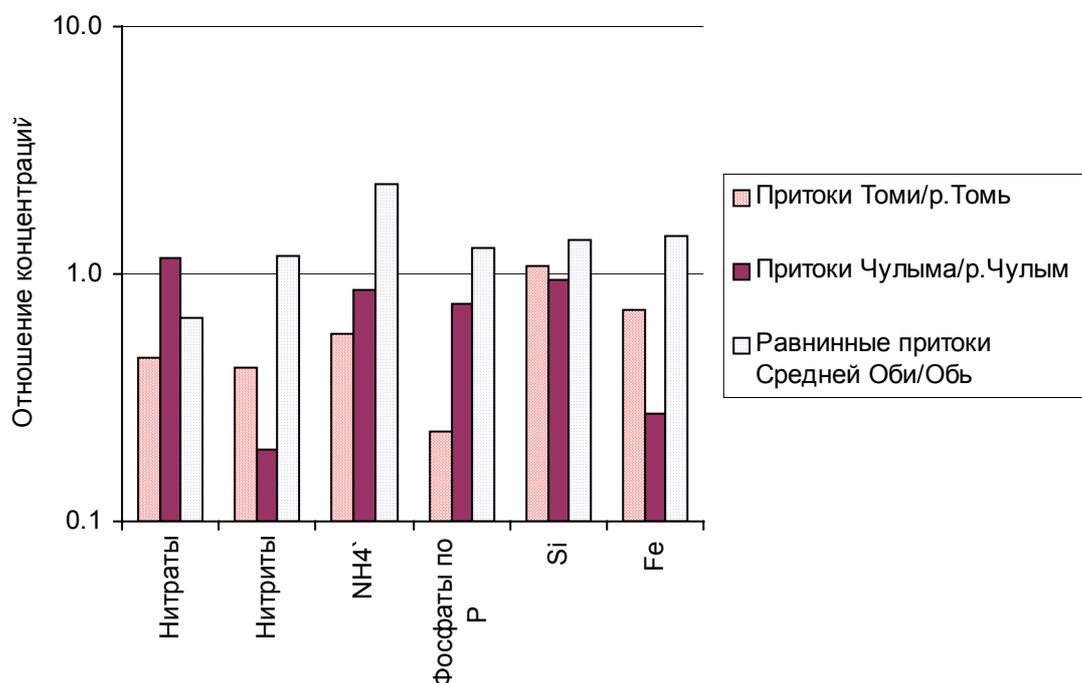


Рис.3.18. Отношения средних концентраций биогенных веществ в водах средних рек и соответствующих больших рек - водоприемников

Наиболее интенсивно процессы окисления ОВ протекают в бассейне р. Томь и несколько хуже – в бассейне р. Чулым. В водах рр. Чая, Парабель, Тым, Васюган, Кеть и их крупных притоков наблюдается преобладание преимущественно первых этапов нитрификации, когда ОВ частично разлагаются до образования ионов аммония и нитрит-ионов, однако далее, на этапе образования NO_3^- , эти процессы заметно замедляются. Помимо повышенных концентраций NH_4^+ и NO_2^- в водах равнинных притоков Средней Оби наблюдается наиболее высокий, по сравнению с большими и прочими средними реками рассматриваемой территории, уровень содержания фосфатов, кремния и железа (табл.3.31), причем между концентрациями Fe, с одной стороны, общей заболоченностью водосбора и долей верховых болот, с другой, выявлена статистически значимая корреляционная связь (табл.3.26). Этот факт объясняется тем, что в речных водах территорий с широким распространением верховых болот увеличивается содержание ФК, образующих с железом и рядом других металлов водорастворимые соединения, которые затем достаточно интенсивно выносятся из водосборов с поверхностным стоком. Косвенным подтверждением тому служат приведенные в [42] данные о снижении содержаний Fe, Al и некоторых других металлов в сухом веществе сфагновых торфов относительно соответствующих показателей торфов травяной группы.

Формы миграции. Соотношение двух- и трехвалентной форм Fe в водах средних рек примерно то же, что и для больших рек. Отличия связаны, с одной стороны, увеличением доли Fe^{3+} в речных водах с относительно пониженными валовыми содержаниями $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в бассейне рр. Томь и Чулым, а с другой стороны, с ее некоторым уменьшением в водах заболоченных территорий. В целом, для всей рассматриваемой территории концентрации трехвалентной формы связаны с общим содержанием железа зависимостью вида $[\text{Fe}^{3+}] = 0.527 \times [\text{Fe}_{\text{общ}}] + 0.06$, мг/л (критерий качества $S/\sigma = 0.58$).

Несмотря на отличия величины расчетных форм миграции железа от экспериментальных и измеренных значений, на основании данных табл.3.30 все же можно сделать вывод о существенном возрастании доли комплексов Fe и ФК, особенно в водах рр. Тым, Васюган, Парабель и Кеть. Вклад этих комплексов в валовое содержание растворенных форм железа в водах равнинных притоков Средней Оби, как минимум, в несколько раз больше, чем в изученных больших реках рассматриваемой территории. Соотношения форм миграции прочих биогенных элементов с поправкой на зави-

симось от величины рН в целом близки к соответствующим показателям для рр. Обь, Томь и Чулым.

Соответствие нормативам качества. Превышения нормативов рыбохозяйственного водопользования по содержанию NO_2^- , NH_4^+ и Fe в 2-3 раза и более отмечаются в бассейне р. Обь повсеместно, и средние реки в этом плане не являются исключением. Согласно ГОСТ 17.1.2.04-77, по содержанию нитритов, ионов аммония и фосфатов класс сапробности (и качество вод) изменяется от олигосапробного («чистых» вод) в притоках р. Томь, сток которых формируется в районах Кузнецкого Алатау, до мезо-, поли- и даже гиперсапробного (загрязненные и грязные воды) в равнинных притоках Средней Оби на территории Томской области. Максимальные содержания перечисленных веществ, как правило, отмечаются в водах рек, водосборы которых сильно заболочены. Определенное увеличение содержаний биогенных веществ в водах средних рек происходит в пределах крупных населенных пунктов.

В целом же, если влияние антропогенных факторов на содержание биогенных веществ и прослеживается, то оно мало влияет на общую ситуацию на рассматриваемой территории – максимальные и даже средние концентрации нитритов, ионов аммония и железа, превышающие ПДК_р, могут отмечаться и выше, и ниже по течению от населенных пунктов, и там, где населенные пункты вообще отсутствуют и не ведется какая-либо значительная хозяйственная деятельность. Подтверждением тому служат данные, приведенные в работах [150, 167, 170, 172].

3.2.4. Органические вещества

Содержание ОВ в водах средних рек обского бассейна достаточно сильно изменяется в зависимости от интенсивности водообмена (рис.3.19). При этом наблюдается практически удвоение содержаний $S_{\text{орг}}$ в ряду «притоки р. Томь – притоки р. Чулым – равнинные притоки Средней Оби» (табл.3.32). Кластер-анализ данных о величине ХПК показал, что в пространственном распределении содержаний трудноокисляемых ОВ выделяются однородные районы, соответствующие лево- и правобережной равнинным частям бассейна Средней Оби (рис.3.20).

В водах всех рассмотренных средних рек наблюдаются достаточно большие концентрации нефтепродуктов по данным, полученным Росгидрометом методом ИК-спектроскопии. Причем, что самое интересное, в речных водах малонаселенных территорий Кузнецкого Алатау в Кемеровской области средние содержания нефтепро-

дуктов равны или даже больше соответствующих показателей для рр. Парабель и Васюган, в водосборах которых ведется нефтегазодобыча.

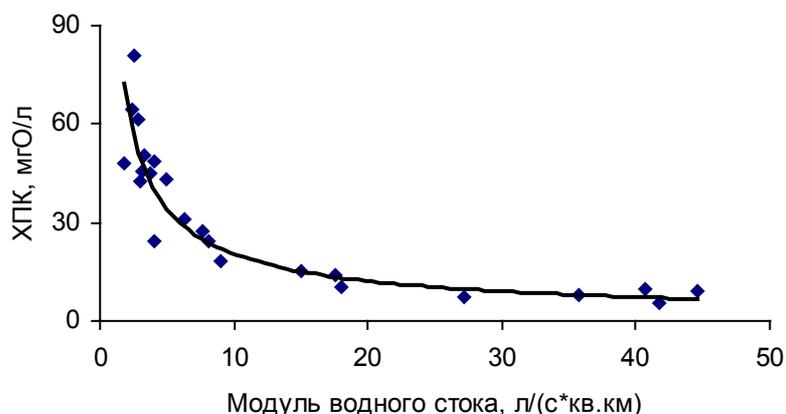


Рис.3.19. Зависимость средних значений ХПК от нормы модулей водного стока M_Q в бассейне Средней Оби с учетом притоков р. Томь и Чулым ($ХПК=111.99 \times M_Q^{-0.7407}$; $S/\sigma=0.92$)

Таблица 3.32
Средние значения ХПК, БПК₅, концентрации некоторых органических веществ в речных водах бассейна Средней Оби за период 1991-2002 гг. (исходные данные Росгидромета), мг/л

Река – створ	ХПК	БПК ₅	Нефте-пр-ты	Смол. вещества	Фенолы	СПАВ
р. Кия – г. Мариинск	14.47(96)	3.31(96)	0.351(96)	0.133(93)	0.008(96)	0.033(59)
р. Яя – пгт. Яя	18.03(98)	4.45(98)	0.428(98)	0.115(82)	0.013(98)	0.025(57)
р. Четь – с. Конторка	24.56(66)	3.29(65)	0.490(66)	0.140(25)	0.004(67)	0.005(26)
р. Кеть – с.Максимкин Яр	31.18(38)	1.93(6)	0.395(11)	–	0.029(13)	0.015(13)
р. Кеть – с. Волково	28.12(65)	1.28(63)	0.391(64)	0.046(59)	0.009(59)	0.011(58)
р. Тым – с. Напас	24.04(20)	1.57(30)	0.551(14)	0.179(10)	0.004(15)	0.004(15)
р.Васюган–с.Средний Васюган	43.36(79)	2.23(23)	0.544(33)	0.490(26)	0.016(27)	0.014(28)
р. Парабель – с. Новиково	48.76(43)	3.48(49)	0.535(34)	0.186(34)	0.007(39)	0.174(34)
р. Чая – с. Подгорное	42.85(22)	1.40(23)	0.437(21)	–	0.057(21)	0.014(15)
р. Икса – с. Плотниково	80.90(84)	2.91(61)	0.38(62)	0.088(33)	0.008(61)	0.018(33)
р. Бакчар – с. Горелый	64.67(34)	2.74(32)	0.367(29)	–	0.008(30)	0.010(14)
р. Шегарка – с. Бабарькино	48.14(40)	3.17(39)	0.325(39)	0.019(33)	0.002(40)	0.006(34)

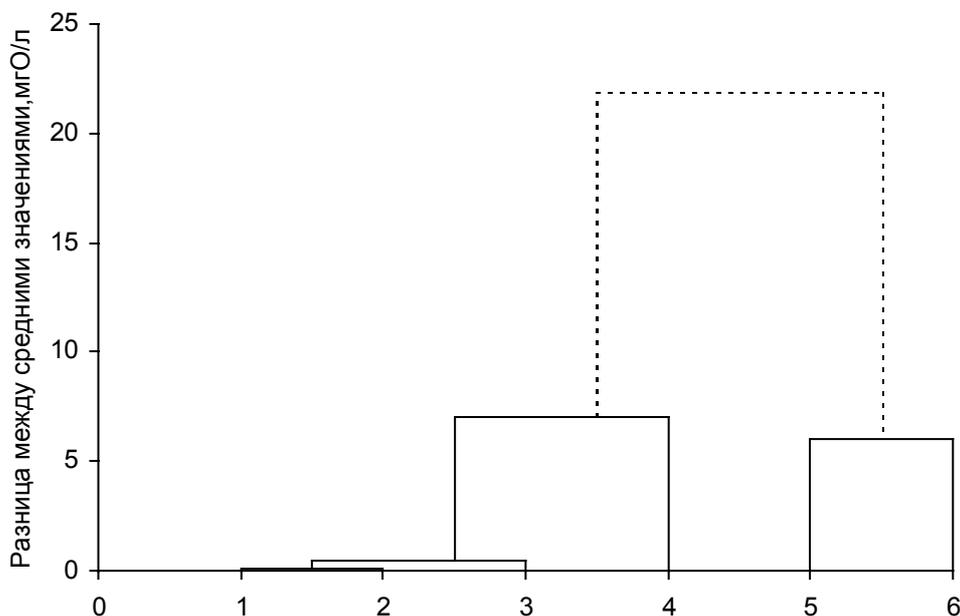


Рис.3.20. Дендрограмма средних за 1991-2002 гг. значений ХПК в водах равнинных притоков р. Обь таежной зоны (1 – р. Васюган – с. Средний Васюган; 2 – р. Чая – с. Подгорное; 3 – р. Шегарка – с. Бабарькино; 4 – р. Парабель – с. Новиково; 5 – р. Кеть – с. Максимкин Яр; 6 – р. Тым – с. Напас); пунктиром обозначены связи между реками или группами рек, неоднородными по ХПК при уровне значимости 5 %

Повышенное содержание углеводов в природных водах бассейна р. Томь, по мнению ряда исследователей, может быть связано с участками распространения угленосных пород [116, 120]. Какое-то количество углеводов и прочих органических соединений, возможно, поступает в притоки р. Томь из атмосферного воздуха, загрязненного выбросами автотранспорта, промышленных и сельскохозяйственных предприятий [125]. Но самое главное, согласно представлениям В.В. Докучаева, И.В. Тюрина, В.Р. Волобуева, М.М. Кононовой и других [38, 96], в условиях высокого атмосферного увлажнения и достаточно низких температур, характерных, в том числе, для горных и полугорных районов бассейнов рр. Томь и Чулым, происходит интенсивное вымывание ОВ из почвогрунтов и поступление их в водотоки, что, видимо, в значительной мере и определяет повышенное содержание углеводов в речных водах.

Источником поступления углеводородов в речные воды могут служить и болота, что подтверждается данными о составе ОВ торфов, приведенных в работах [43, 79, 86, 156] и сведениями о содержаниях органических соединений непосредственно в болотных водах [171]. Анализ последних позволяет сделать вывод о преобладании н-алканов с нечетным количеством атомов углерода, что указывает на их природное происхождение. В целом, можно предположить, что поступление углеводородов в реки с болотными водами является одним из важнейших факторов их повышенного содержания в речных водах таежной зоны обского бассейна, поскольку примерно одинаковые средние концентрации этих веществ (0.4-0.6 мг/л), определенные методом ИК-спектromетрии, встречаются и там, где ведется добыча нефти и газа, и там, где хозяйственная деятельность практически отсутствует [150].

Все это не означает отрицание влияния нефтедобывающего комплекса на состояние водных объектов. Оно, конечно же, проявляется, например, в виде существенного (более чем в 2 раза) увеличения среднего уровня содержаний смолистых веществ в р. Васюган по сравнению с другими средними реками рассматриваемой территории (табл.3.32), в периодическом резком увеличении концентраций углеводородов в речных водах в результате аварийных ситуаций на объектах нефтедобычи и нефтепроводах, в накоплении мало- и нерастворимых в воде компонентов нефтей в донных отложениях и придонных слоях, в снижении биоразнообразия водных экосистем [94, 112, 124, 146].

Помимо углеводородов в водах средних рек бассейна р. Обь обнаружен целый ряд других органических соединений, включая карбоновые кислоты, фталаты, хлорсодержащие вещества (табл.3.33, 3.34). 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/л при том, что большую часть водосбора этой реки занимают леса и болота. Возможно, что какая-то часть хлорорганических соединений, обнаруживаемых в речных водах, связана с проведением противоклещевых мероприятий.

Соответствие нормативам качества. Концентрации нефтяных углеводородов в водах изученных средних рек, определенные методом ИК-спектromетрии, в подавляющем большинстве случаев превышают предельно допустимые значения, установленные в России для водных объектов рыбохозяйственного значения. Кроме того, в

речных водах отмечены содержания высокотоксичных веществ, которые в них вообще должны отсутствовать. Так, в рр. Кия, Кеть и Васюган обнаружены хлорорганические пестициды в концентрациях 1 мкг/л и более (табл.3.33, 3.34).

Таблица 3.33

Концентрации органических микропримесей в водах р. Томь (данные ИХН СО РАН, ТФ ИГНГ СО РАН, ТПУ), мкг/л

Компонент	Створ, дата отбора пробы воды			
	р. Кеть – п. Белый Яр	р. Васюган – устье	р. Тым – устье	р. Вах – устье
	23.09.98	июль 1999 [Белицкая и др., 1999]		
Парафины C ₁₀ :C ₂₀	<0.001	12.08	1.48	0.61
Парафины C ₂₁ :C ₃₄	0.181	36.87	6.01	0.45
Изопарафины	<0.001	–	–	–
Нафтены	0.390	6.90	7.12	0.75
Фталаты	3.053	26.93	4.06	0.87
Ароматические углеводороды	0.113	<0.01	0.04	<0.01
Карбоновые кислоты	1.955	29.17	14.06	20.76
Хлорорганические соединения	0.114	–	–	–
Фосфорорганические соединения	<0.001	–	–	–
Фенолы	<0.001	0.11	0.02	0.003
Нефтепродукты (методом ИК-спектрометрии)	–	180	360	270

Таблица 3.34

Средние концентрации хлорорганических пестицидов в речных водах бассейна Средней Оби за период 1991-2002 гг. (данные Росгидромета), мг/л

Река – створ	α-ГХЦГ	β-ГХЦГ	γ-ГХЦГ	п, п'-ДДТ	п, п'-ДДЭ
р. Кия – выше г. Мариинск	0.001(27)	<0.001(41)	<0.001(41)	<0.001(41)	<0.001(41)
р. Кия – ниже г. Мариинск	0.003(26)	0.002(18)	<0.001(26)	<0.001(25)	0.001(25)
р. Кеть – с. Волково	0.001(49)	<0.001(39)	<0.001(49)	<0.001(50)	<0.001(50)
р.Васюган – с.Средний Васюган	0.004(20)	<0.001(13)	<0.001(17)	<0.001(20)	<0.001(20)

Воды равнинных притоков Средней Оби, сток которых формируется на заболоченных территориях, содержат большое количество трудноокисляемых ОВ, представленных в значительной мере ФК и ГК. Даже средние значения ХПК вод некото-

рых из этих рек в 5 раз и более превышают норматив (15 мгО/л) для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения. Достаточно высоки и значения перманганатной окисляемости (до 35 мгО/л в бассейне р. Чая), что позволяет в соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77 классифицировать речные воды от ксеносапробных (чистых) до альфамезосапробных (загрязненных) и даже полисапробных (грязных). Содержания легкоокисляемых ОВ по величине БПК₅ в среднем находятся ниже допустимого уровня, что не исключает, тем не менее, превышения ПДК по этому показателю с вероятностью 20-30 %.

3.2.5. Растворенные газы

Уровень содержания растворенных кислорода и СО₂ в водах средних рек рассматриваемой территории изменяется достаточно сильно. Наиболее высокие средние концентрации О₂ закономерно отмечаются в водах ряда притоков рр. Томь и Чулым (за пределами Томской области) вследствие значительной турбулентности водных потоков и благоприятных условий насыщения воды кислородом (табл.3.35). В водах равнинных притоков Средней Оби содержится большое количество ОВ, на окисление которых тратится значительное количество растворенного кислорода, вследствие чего в зимний период на некоторых реках могут наблюдаться заморные явления [2, 118]. При этом следует отметить, что высокие и низкие концентрации О₂ могут наблюдаться на всех реках в зависимости от времени года и суток.

Еще большая, чем для О₂, контрастность в пространственном распределений содержаний характерна для СО₂, максимумы которых намного превышают соответствующие показатели для рр. Обь, Томь и Чулым и отмечаются в водах средних рек заболоченных территорий (табл.3.35).

Соответствие нормативам качества. Наиболее неблагоприятная обстановка вследствие пониженных содержаний растворенного кислорода характерна для рек сильно заболоченных территорий – Тыма, Чаи и их притоков, воды которых, согласно ГОСТ 17.1.2.04-77, часто соответствуют мезосапробному классу (загрязненные воды), а в зимние месяцы – полисапробному классу (грязные воды). Причиной этому является большое количество ОВ в речных водах и замедленный водообмен, а не поступление загрязненных сточных вод, что в целом позволяет не применять к водам данных рек термины «загрязненные» или «грязные», а рассматривать их как несоответствующие установленным нормативам вследствие влияния природных факторов.

Таблица 3.35

Средние концентрации растворенных газов в водах средних рек обского бассейна за период 1970-2002 гг. (исходные данные Росгидромета), мг/л

Река – створ	O ₂ , мг/дм ³	O ₂ , %	CO ₂ , мг/л
р. Кия – г. Мариинск	11.1(96)	–	–
р. Яя – пгт. Яя	12.1(98)	–	–
р. Четь – с. Конторка	9.3(66)	91.9(10)	33.4(10)
р. Кеть – с. Максимкин Яр	11.0(13)	–	–
р. Кеть – с. Волково	9.0(65)	80.5(27)	31.6(31)
р. Тым – с. Напас	6.8(28)	62.2(19)	35.7(18)
р. Васюган – с. Средний Васюган	8.8(24)	62.4(7)	17.0(7)
р. Парабель – с. Новиково	11.7(51)	96.4(16)	30.8(17)
р. Чая – с. Подгорное	8.2(24)	65.5(6)	
р. Икса – с. Плотниково	8.5(61)	70.2(13)	32.1(14)
р. Бакчар – с. Горелый	8.6(40)	–	–
р. Шегарка – с. Бабарыкино	8.1(27)	64.4(18)	11.6(18)

3.2.6. Микроорганизмы

Анализ полученных в ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН данных [132, 163, 164] позволил ориентировочно оценить уровень содержания целого ряда групп микроорганизмов в речных водах обского бассейна (табл.3.23) и сделать вывод о том, что в водах средних рек – притоков р. Томь содержание сапрофитных бактерий меньше, чем в р. Томь, а содержание олиготрофов, напротив, больше. В равнинных притоках Средней Оби, по сравнению с самой Обью, наблюдается совершенно противоположная картина – отношение средних содержаний сапрофитов в водах притоков и р. Обь составляет 1.7, а отношение содержаний олиготрофов – 0.8.

Причиной такого распределения микроорганизмов в водах больших и средних рек является различие в содержании ОВ, максимумы которых характерны для равнинных притоков Средней Оби, а минимумы – для притоков р. Томь в ее верхнем и среднем течении. При этом нельзя не отметить, что интенсивность развития бактерий, окисляющих некоторые алканы и кислородсодержащие органические соединения, в водах притоков р. Томь может быть даже больше, чем в самой р. Томь. Учитывая, что антропогенное воздействие на некоторые из этих водотоков не сопоставимы с нагруз-

кой на р. Томь, можно предположить, что более высокая интенсивность развития углеводородоокисляющей микрофлоры связана не столько с наличием мощных источников загрязнения, сколько с повышенным выносом ОВ с поверхности водосборов.

Соответствие нормативам качества. Содержания сапрофитных бактерий в водах притоков р. Томь изменяются от 100 до 22130 кл/мл, что, согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 и ГОСТ 17.1.2.04-77, характерно для вод разного качества: от очень чистых (ксеносапробных) до загрязненных (альфамезосапробных) вод, в среднем же – умеренно загрязненным (бетамезосапробным) водам. В равнинных притоках Средней Оби уровень содержания сапрофитов значительно выше, чем в реках горных районов и прилегающих к ним территорий. В среднем он соответствует загрязненным (альфамезосапробным) водам, а в случае повышенных концентраций – вплоть до грязных (полисапробных) вод.

3.3. Малые реки

3.3.1. Макрокомпоненты и рН

По мнению А.М. Никанорова и ряда других авторов, малые реки наиболее подвержены антропогенным воздействиям [89]. Учитывая, что загрязнение атмосферного воздуха веществами техногенного происхождения и, следовательно, поступление их в водные объекты происходит или потенциально может происходить на территории всего обского бассейна, при анализе состояния малых рек целесообразно «перестраховаться», выделяя водотоки с повышенной антропогенной нагрузкой и все остальные, под которыми далее будут пониматься реки с незначительным влиянием хозяйственной деятельности.

Воды рек последней из двух указанных выше групп имеют макрокомпонентный состав и минерализацию, существенно отличающиеся друг от друга в зависимости от порядка водотоков и ландшафтной зоны, в которой они протекают, и от порядка реки. Наибольшее количество растворенных солей содержится в водах малых водотоков первых двух порядков лесной и лесостепной зон и рек лесостепной зоны [117]. Так, минерализация вод притоков рр. Ушайка и Басандайка более чем на 50-100 мг/л больше, чем непосредственно в рр. Ушайка и Басандайка (табл.3.36). При этом необходимо отметить, что среднее содержание макрокомпонентов в водах

р. Ушайка уменьшается от верховий к устью, несмотря на многократное возрастание объема принимаемых сточных вод на участке нижнего течения этой реки [78, 131].

Анализ данных по Томской области и прилегающим к ней территориям показал, что наименьшие содержания макрокомпонентов характерны, с одной стороны, для рек горных районов, а с другой стороны, для водотоков заболоченных территорий с преимущественным развитием верховых болот [46, 47, 61, 62, 100, 117, 144]. Достаточно высокие содержания макрокомпонентов могут отмечаться и в последнем случае, причем чаще всего это объясняется загрязнением рек подземными минерализованными водами, используемыми для поддержания пластового давления [146, 173]. Следует также отметить, что минерализация воды малых рек, протекающих в горных и полугорных районах, в отличие от указанных выше рр. Ушайка и Басандайка, в целом увеличивается по мере движения водных масс вниз по течению.

Таблица 3.36

Средние концентрации макрокомпонентов и значения рН в водах малых рек бассейна Средней Оби за 1970-2002 гг. (исходные данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, ТЦ «Томскгеомониторинг», Росгидромета), мг/л

Река – створ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Σ _и	рН	N
р. Тугояковка – низовье	83.0	14.4	12.4	344.0	5.1	2.8	461.7	7.6	13
Притоки р. Тугояковка	91.0	13.6	9.7	354.0	3.8	3.0	475.1	7.7	48
р. Басандайка	76.3	16.8	13.7	335.8	8.5	2.1	453.2	7.7	22
Притоки р. Басандайка	94.0	15.4	15.3	391.0	5.3	8.3	529.3	7.8	18
р. Ушайка – верховье	11.8	14.1	15.8	285.9	11.8	4.6	344.0	7.8	19
р. Ушайка – устье	56.3	9.8	21.2	211.5	20.7	15.1	334.6	7.7	26
Притоки р. Ушайка	100.0	16.0	18.1	417.0	7.8	9.6	568.5	7.8	11
р. Киргизка – устье	48.0	10.0	14.8	54.8	15.5	8.0	151.1	7.8	19
р. Кисловка – верховье	–	–	–	343.8	7.5	5.0	–	–	44
р. Кисловка – устье	55.8	11.5	22.1	295.0	8.2	2.7	395.3	7.8	14
р. Порос – устье	32.1	10.6	8.0	144.9	8.6	6.1	210.3	7.7	8
р. Самуська – устье	51.9	10.5	8.6	217.4	8.0	1.1	297.5	7.8	11
Верховья рр. Бакчар, Галка и Андарма	45.5	12.7	15.6	225.7	1.8	8.2	309.5	7.2	4
р. Махня – верховье	11.9	10.0	4.9	44.3	3.3	9.6	84.0	6.5	3
р. Вяловка – выше сбросов ЖКХ с. Парабель	29.4	9.7	1.4	81.3	0.3	2.6	124.7	6.77	3

Отличия между минерализацией вод рек разного порядка и разных ландшафтных зон, различные тенденции изменения минерализации воды малых рек от верховий к устьям объясняются тем, что подземные воды, составляющие основную часть стока малых рек в их верховьях, по мере движения водных масс, с одной стороны, трансформируются в сторону уменьшения содержания растворенных солей в результате разбавления и взаимодействия воды с растворенными газами, донными отложениями и органическими веществами [131, 182]. С другой стороны, от верховий к устьям в общем случае увеличиваются дренированность участков речных водосборов и приток подземных вод разного состава.

Данные процессы протекают во всех водотоках, но их итог – химический состав речных вод – для каждой конкретной малой реки имеет свои отличия, обусловленные интенсивностью водообмена в речной системе, долей подземного питания, химическим составом поверхностного стока и дренируемых рекой подземных вод, объемом и характером антропогенных воздействий, что и обуславливает разный уровень содержания главных ионов в малых реках не только разных речных систем, но и рядом расположенных притоков одной большой или средней реки.

Роль антропогенных факторов в формировании макрокомпонентного состава речных вод, согласно М.П. Максимовой [77], в наибольшей степени проявляется в увеличении концентраций SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ и K^+ . Этот вывод верен и для рассматриваемых малых рек. Например, концентрации хлорид-ионов в створах рек, замыкающих участки нефтедобычи, увеличиваются по сравнению с соответствующими показателями для верховий этих же рек в 2-3 раза и более (рис.3.21).

В то же время, нельзя не отметить, что только очень мощное антропогенное воздействие, такое как, например, отмеченный в соседней Кемеровской области вынос веществ из отвалов Новокузнецкого алюминиевого комбината (НКАЗ), способно резко изменить минерализацию и макрокомпонентный состав речных вод по сравнению с обычными для этой местности показателями [76, 169, 187]. Но даже в этом случае, согласно данным, полученным нами в августе 1999 г., на протяжении примерно 0.6 км сумма макрокомпонентов уменьшилась на 81 мг/л.

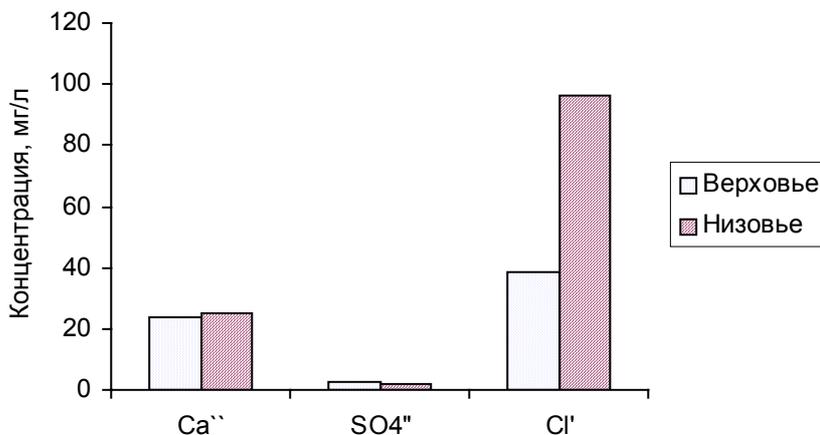


Рис.3.21. Средние (по 3 пробам) содержания макрокомпонентов в водах р. Махня (приток Васюгана) в створах выше и ниже объектов нефтедобычи (исходные данные ТЦ «Томскгеомониторинг»)

В целом, минерализация и концентрации главных ионов в водах малых водотоков лесной (с малой и незначительной заболоченностью) и лесостепной зон больше соответствующих показателей для средних и больших рек, в которые они впадают. Минерализация вод малых рек горных и полугорных районов и сильно заболоченных территорий, напротив, в той или иной степени меньше минерализации средних рек-приемников их вод. В последнем случае, несмотря на меньшую минерализацию, концентрации отдельных макрокомпонентов (SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+) в малых реках могут быть больше, чем в средних. Иногда это объясняется влиянием природных факторов. Например, повышенные концентрации сульфатов могут быть связаны с окислением сульфидов, содержащихся в горных породах водосбора. В других случаях относительно повышенные содержания этих ионов свидетельствуют о наличии какого-либо антропогенного источника загрязнения, включая перемещение на поверхность водосбора природных минерализованных вод или горных пород.

Ярким примером тому служат малые реки в бассейне р. Васюган, расположенные в пределах или рядом с участками нефтедобычи. Концентрации хлорид-иона в таких водотоках нередко превышают 50 мг/л, что при детальном рассмотрении карты водосборов, как правило, хорошо согласуется с наличием обширных участков совре-

менного или когда-то произошедшего аварийного разливов минерализованных подземных вод, используемых для поддержания пластового давления (в том числе, на рекультивированных участках), а также с массопереносом из шламовых амбаров [6, 146].

Формы миграции. По сравнению с большими и средними реками, для малых водотоков характерна в целом более высокая закомплексованность кальция, гидрокарбонат- и сульфат-ионов (табл.3.37), достигаемая, прежде всего, за счет увеличения доли комплексов CaHCO_3^0 вплоть до 8-11 % от валового содержания кальция. Наиболее низкие значения доли незакомплексованных ионов приурочены к рекам или их участкам с повышенной минерализацией воды.

Соответствие нормативам качества. В водах малых водотоков, как и более крупных рек, минерализация и содержания макрокомпонентов меньше установленных в России нормативов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного водопользования. Исключение составляют так называемые техногенные ручьи, сформировавшиеся в результате каких-либо аварий или выноса солей из мест хранения отходов производства [146].

Таблица 3.37

Преобладающие формы миграции макрокомпонентов в водах средних рек бассейна Средней Оби за период 1970-2002 гг., % от валового содержания

Река – створ	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
р. Ушайка – устье	92.62	93.81	99.70	>99.9	96.75	93.02	>99.9
Притоки р. Ушайка	88.38	90.51	99.55	>99.9	95.06	90.44	>99.9
р. Басандайка – низовье	89.93	91.80	99.62	>99.9	95.73	91.16	>99.9
Притоки р. Басандайка	88.96	91.00	99.58	>99.9	95.25	90.69	>99.9
р. Тугояковка – низовье	89.79	92.05	99.63	>99.9	95.60	91.06	>99.9
Притоки р. Тугояковка	89.81	91.80	99.62	>99.9	95.39	90.94	>99.9
р. Киргизка-устье	97.39	97.61	99.88	>99.9	96.84	92.80	>99.9
р. Порос – низовье	94.58	95.84	99.81	>99.9	97.65	94.28	>99.9
р. Кисловка – устье	90.75	92.34	99.65	>99.9	96.75	92.94	>99.9
р. Вяловка-выше сбросов ЖКХ с. Парабель	96.94	97.79	99.90	>99.9	97.80	94.57	>99.9

Достаточно часто наблюдаются нарушения нормативов по величине рН:
1) весной, особенно в воде рек заболоченных территорий, нередки значения рН менее

6.5; 2) в летний период в дневные часы – более 8.5 (за исключением рек с сильно заболоченными водосборами).

3.3.2. Микроэлементы

Циклические элементы. Концентрации циклических микроэлементов в водах малых рек обского бассейна изменяются в исключительно широком диапазоне, многократно превышающем диапазон колебания содержаний этих же микроэлементов в больших и средних реках. В сравнении с большими и средними водотоками в водах малых рек отмечены менее высокие концентрации в основном только для Al и Hg (табл.3.38, 3.39). Так, экстремально высокие содержания Hg были отмечены в р. Томь ниже г. Междуреченск (3.94 мкг/л) и р. Кондома (3.43 мкг/л) в июле 2000 г. [172], в то время как в водах малых рек бассейна р. Томь, согласно [63], максимальная концентрация ртути составила 2.51 мкг/л (обнаружена в 1988 г. в верховье р. Ушайка). В последующие 1990-е гг. наиболее высокая среди малых притоков Томи концентрация Hg (1.22 мкг/л) была отмечена в водах р. Тугояковка [172].

Таблица 3.38

Концентрации микроэлементов в водах канала осушительной системы на Васюганском болоте и р. Тугояковка (приток р. Томь; данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН), мкг/л

Категория	Элемент	Канал осушительной системы у с.Поротниково 15.07.98	р. Тугояковка – нижнее течение	
			23.03.98	21.05.98
1	2	3	4	5
Циклические	Cr	7.4	8.6	6.2
	Co	0.45	0.24	0.31
	Ni	–	–	–
	Cu	–	1.0	1.4
	Zn	–	2	14.3
	Sr	0.18	909	403
	Cd	–	0.16	0.2
	Sb	0.49	0.13	0.29
	Ba	42	110	63
Hf	<0.005	<0.005	<0.005	

Продолжение табл.3.38

1	2	3	4	5
	Hg	–	<0.01	0.06
	Pb	–	0.6	0.5
	Al	–	225	600
	F	85	260	240
	As	<0.1	<0.1	<0.1
	Br	–	–	–
Радиоактивные	Th	<0.01	<0.01	<0.01
	U	<0.1	0.59	0.24
Рассеянные	Li	–	14	8
	Sc	0.18	<0.01	0.18
	Rb	4	<1	<1
	Cs	<0.07	<0.07	<0.07
Редкоземель- ные	La	0.28	0.32	0.27
	Ce	0.53	<0.1	0.47
	Sm	0.11	0.34	0.07

Отличия между большими, средними и малыми реками по средним концентрациям циклических микроэлементов в целом не столь велики, как по максимальным значениям, но все же достаточно заметны (табл.3.39). Причем далеко не всегда повышенные концентрации микроэлементов в водах малых рек объясняются влиянием антропогенных факторов. Так, в правобережных притоках р. Томь – рр. Басандайка, Тугояковка и их притоках, водосборы которых испытывают незначительное или умеренное антропогенное влияние, концентрации F⁻ в среднем на 50-100 мкг/л выше, чем непосредственно в р. Томь [78, 108, 122]. В то же время, в водах рядом расположенных рр. Ушайка, Киргизка и Кисловка, принимающих значительное количество сточных вод, средние концентрации фторид-иона заметно ниже.

Это указывает на преобладание естественных факторов формирования содержания фторид-иона в водах притоков р. Томь в ее нижнем течении, а именно – поступление в водотоки с подземными пластово-трещинновыми водами палеозойских отложений [108]. При этом, конечно же, не исключается возможность обнаружения относительно высоких единичных концентраций F⁻ и в малых реках со значительной антропогенной нагрузкой. Например, в августе 2000 г. в р. Ушайка нами было обнару-

жено содержание фторид-иона 510 мкг/л, что более чем в 2 раза больше средних содержаний F⁻ для этой реки [172]. Что касается других циклических микроэлементов, то в водах малых рек с сильно заболоченными водосборами отмечены достаточно высокие концентрации Mn, в той или иной степени превышающие содержания этого элемента в водах больших и средних рек.

Таким образом, для пространственного распределения содержаний циклических микроэлементов в водах малых рек рассматриваемой территории характерно наличие локальных участков, в пределах которых увеличивается вероятность обнаружения повышенных средних концентраций. Это связано со специфическими природными условиями формирования химического состава природных вод в местах рудопроявлений, отличающимися, в частности, формированием характерных комплексов микроэлементов в подземных водах, поступающих затем в поверхностные водотоки в зависимости от степени дренированности территории и интенсивности водообмена [45, 158, 166]. Другой путь поступления циклических микроэлементов в малые реки связан с поверхностным смывом с водосборных территорий минеральных и органоминеральных веществ в период весеннего половодья и летне-осенних паводков.

Таблица 3.39

Средние концентрации микроэлементов в водах малых рек обского бассейна (исходные данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, ТЦ «Томскгеомониторинг», Росгидромета), мкг/л

Река – створ	Al	Mn	Cu	Zn	Pb	Cr	F ⁻
р. Тугояковка	280(13)	50.0(3)	1.3(13)	11(13)	0.4(13)	–	320(13)
Притоки р. Тугояковка	290(7)	–	1.1(16)	13(16)	0.6(16)	–	340(17)
р. Басандайка	5(21)	45.0(14)	1.2(12)	6.1(12)	0.6(12)	–	240(3)
Притоки р. Басандайка	140(18)	–	0.5(18)	18.0(18)	0.3(18)	–	260(18)
р. Ушайка – верховье	1.5(19)	127(15)	1.7(13)	6.7(13)	0.4(13)	2.3(3)	193(19)
р. Ушайка – устье	16.8(8)	137.3(9)	4.1(43)	6.1(9)	0.5(9)	2.3(59)	145(8)
Притоки р. Ушайка	60(11)	–	0.5(11)	35.0(11)	0.3(11)	–	240(11)
р. Киргизка – устье	26.6(13)	90.2(19)	2.3(19)	4.2(19)	0.8(19)	–	149(15)
р. Кисловка – устье	4.0(14)	227(12)	1.3(13)	10.0(11)	0.7(11)	–	160(12)
р. Порос – устье	22.0(6)	98.6(8)	2.4(8)	4.9(8)	1.7(8)	–	100(6)
р. Самуська – устье	2.0(8)	101.1(9)	2.9(9)	13.1(9)	0.6(9)	–	116(10)

В водах всех малых рек, принимающих сточные воды населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, периодически фиксируются повышенные концентрации ряда микроэлементов, однако заметное увеличение (более чем в 2-3 раза) среднего уровня их содержаний для таких водотоков может происходить только при достаточно мощном антропогенном воздействии. При этом необходимо отметить, что многие населенные пункты и, тем более, предприятия в Сибири располагаются в районах рудопроявлений, характеризующихся повышенными концентрациями комплексов химических элементов в подземных водах и малых водотоках. Антропогенное влияние на водные объекты на таких территориях сводится не столько к перемещению в природную среду нехарактерных для этой местности веществ, сколько к дополнительной активизации миграционных потоков, функционировавших здесь и до воздействия хозяйственной деятельности. Таким образом, повышенные уровни содержания циклических элементов достаточно часто обусловлены совместным действием антропогенных и природных факторов.

Рассеянные, редкоземельные и радиоактивные элементы. Как и в случае с циклическими микроэлементами, в пространственном распределении содержаний рассеянных, редкоземельных и радиоактивных элементов в водах малых рек прослеживаются участки, отличающиеся повышенными концентрациями некоторых элементов. С одной стороны, такие участки часто приурочены к промышленным зонам и населенным пунктам [182]. С другой стороны, достаточно высокие концентрации того же лития, превышающие 15 мкг/л, обнаружены в поверхностных и подземных водах водосборов правобережных притоках р. Томь – рр. Ушайка, Басандайка и Тугояковка [144, 172], то есть на территориях как с повышенной, так и пониженной антропогенной нагрузкой. При этом следует отметить, что в водах р. Тугояковка в зимний период 1998 г. нами была обнаружена более высокая, чем весной того же года, концентрация Li (табл.3.39). С учетом того, что большая часть водосбора р. Тугояковка мало используется человеком, тем более в зимний период, можно сделать вывод об естественных причинах поступления лития в водоток с подземными водами, относительно обогащенными литием. В целом же, пространственное распределение содержаний рассеянных, редкоземельных и радиоактивных элементов в малых водотоках носит достаточно мозаичный характер без выраженных зональных тенденций изменения по длине рек.

Формы миграции. На фоне общих с большими и средними реками закономерностей миграции микроэлементов малым водотокам присущи и некоторые отличия, проявляющиеся в увеличении в валовом содержании алюминия, цинка и меди (в растворе) доли: 1) гидроксокомплексов – в бассейне р. Томь; 2) соединений с ФК – в водах рек, протекающих на сильно заболоченных территориях (табл.3.40).

Таблица 3.40

Преобладающие (>0.01 %) растворенные формы миграции микроэлементов и железа в малых реках бассейна Средней Оби, % от валового содержания катиона

Показатель	р. Ушайка– устье	р. Киргиз ка – устье	р. Порос – низо- вье	р. Тугояков ка – низо- вье	р. Басандай ка – низо- вье	р. Вяловка –выше сбросов ЖКХ с.Парабель
1	2	3	4	5	6	7
Al^{3+}	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
$Al(OH)^{2+}$	0.00	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.49
$Al(OH)_2^+$	0.65	0.44	0.64	0.93	0.65	10.22
$Al(OH)_3^0$	37.85	32.98	38.26	43.04	37.68	71.47
$Al(OH)_4^-$	61.49	66.58	61.09	55.98	61.66	13.40
AlF^{2+}	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.87
AlF_2^+	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.01	3.14
AlF_3^0	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.35
$(AlФК)^+$	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04
Zn^{2+}	39.21	28.21	37.07	51.25	40.23	75.89
$Zn(OH)^+$	1.70	1.60	1.70	1.72	1.71	0.41
$Zn(OH)_2^0$	57.51	69.18	58.39	45.89	57.26	1.65
$Zn(OH)_3^-$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01
ZnF^+	0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.01	0.01
$ZnSO_4^0$	0.70	0.42	0.32	0.21	0.27	0.02
$ZnФК^0$	0.86	0.57	2.52	0.91	0.51	22.01
Cu^{2+}	2.31	3.17	1.29	3.61	2.55	0.31
$Cu(OH)^+$	4.13	7.43	2.43	5.01	4.47	0.07
$CuCO_3^0$	37.56	19.41	<0.01	21.20	57.20	<0.01
$Cu(CO_3)_2^{2-}$	0.27	0.05	<0.01	0.06	0.60	<0.01
$CuSO_4^0$	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	<0.01
$CuФК^0$	55.69	69.90	96.27	70.10	35.16	99.62

1	2	3	4	5	6	7
Fe^{2+}	13.21	10.41	12.60	16.43	13.49	53.36
$\text{Fe}(\text{OH})^+$	86.61	89.47	87.17	83.47	86.43	43.46
FeSO_4^0	0.12	0.08	0.05	0.03	0.05	0.01
$(\text{FeФК})^0$	0.06	0.04	0.18	0.06	0.03	3.18
$\text{Fe}(\text{OH})_3^0$	99.80	99.87	99.45	99.79	99.88	83.40
$\text{FeФК}(\text{OH})_2^-$	0.19	0.13	0.55	0.21	0.12	16.60

Соответствие нормативам качества. Практически повсеместно в водах малых рек обского бассейна концентрации Си превышают предельно допустимые значения для водных объектов рыбохозяйственного водопользования. Достаточно часто отмечается нарушение ПДК_р по содержанию Mn, Zn, Hg и Al, причем превышения нормативов по содержанию указанных микроэлементов зафиксированы в водах рек с совершенно разным уровнем антропогенной нагрузки. Содержания прочих микроэлементов, как правило, превышают нормативные значения значительно реже.

3.3.3. Биогенные вещества

Средний уровень содержания неорганических соединений азота и фосфора в малых реках, протекающих по территории и/или вблизи крупных населенных пунктов, существенно выше соответствующих показателей как для больших и средних рек, так и малых водотоков, сток которых формируется в естественных или незначительно нарушенных условиях лесостепной и лесной зон с низкой степенью заболоченности. Достаточно высокие концентрации соединений азота и фосфора отмечаются и в реках с сильно заболоченными водосборами или, по крайней мере, речными долинами. Однако в этом случае существенным отличием подобных рек от водотоков урбанизированных территорий является разное соотношение между содержаниями NO_3^- , NO_2^- и NH_4^+ . В водах незагрязненных малых рек – притоков рр. Чая Парабель Васюган и Кеть – концентрации NO_3^- обычно не превышают 3-5 мг/л, а в рр. Малая и Большая Киргизка, Ушайка средние содержания NO_3^- составляют от 6 до 13 мг/л (табл.3.41).

При этом и в загрязненных водотоках урбанизированных территорий, и в водах малых рек, сток которых формируется на безлюдных и сильно заболоченных терри-

ториях, могут наблюдаться концентрации ионов аммония до 2-4 мг/л, а нитрит-ионов – до 0.1-0.3 мг/л. Наиболее высокие концентрации Fe, достигающие 3 мг/л и более, отмечаются в водах малых рек с сильно заболоченными водосборами.

Таблица 3.41

Средние концентрации биогенных веществ в водах малых рек бассейна Средней Оби (исходные данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, ТЦ «Томскгеомониторинг», Росгидромета), мг/л

Река – створ	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	P(PO ₄ ³⁻)	Si	Fe _{общ.}
1	2	3	4	5	6	7
р. Тугояковка	1.209(7)	0.010(7)	0.305(7)	0.035(7)	6.14(10) ¹	0.420(10) ¹
Притоки р. Тугояковка	3.020(8)	0.059(4)	0.170(15)	0.143(3)	6.80(15)	0.510(17)
р. Басандайка	2.760(23)	0.045(23)	0.637(23)	0.060(22)	2.27(6)	0.636(23)
Притоки р. Басандайка	2.30(15)	0.010(16)	0.20(16)	–	5.70(17)	0.610(18)
р. Ушайка – верховье	6.595(19)	0.213(15)	0.649(21)	0.108(21)	2.26(15)	1.046(21)
р. Ушайка – устье	7.526(96)	0.269(131)	3.089(131)	0.215(72)	4.63(29)	0.346(76)
Притоки р. Ушайка	0.62(8)	0.010(9)	0.10(11)	–	6.17(11)	0.580(12)
р. Киргизка – устье	6.895(19)	0.198(19)	4.460(19)	0.046(16)	1.63(15)	0.824(19)
р. Кисловка – верховье	6.330(46)	0.053(46)	0.641(46)	0.660(46)	–	1.359(46)
р. Кисловка – устье	3.060(15)	0.048(15)	3.915(15)	0.022(14)	2.74(15)	0.691(15)
р. Порос – устье	2.658(9)	0.040(9)	0.493(9)	0.035(6)	1.34(8)	0.555(9)
р. Самуська – устье	2.443(11)	0.014(11)	0.615(11)	0.053(11)	3.85(7)	0.995(11)
р. Махня – верховье	3.115(3)	0.033(3)	2.409(3)	0.172(3)	–	2.973(3)
р. Вяловка – выше сбросов ЖКХ с. Парабель	4.132(3)	0.361(3)	1.631(3)	0.160(3)	5.0(3)	3.487(3)

Как показал анализ гидрохимических и водохозяйственных данных по Томской области, антропогенное влияние на уровень содержания общего железа в речных водах равнинной части рассматриваемой территории прослеживается только при сбросе большого количества этого элемента, например, с промывочными водами станций обезжелезивания подземных водозаборов [135, 151]. Хотя и в этом случае нет оснований утверждать, что влияние хозяйственной деятельности на концентрации Fe распространяется на более или менее значительные участки рек, в том числе и малых (рис.3.22).

Относительно повышенные содержания Si отмечаются в верховьях малых рек с разной заболоченностью водосборов, причем это, как правило, реки (или их участки) с незначительной антропогенной нагрузкой (табл.3.41). В устьевых участках малых рек концентрации кремния обычно снижаются до уровня, характерного для больших и средних рек-водоприемников.

Формы миграции. Для форм миграции железа в водах малых рек характерны в целом те же соотношения, что и для микроэлементов, то есть увеличение доли гидрохсокомплексов в бассейне р. Томь и соединений с ФК – в водах рек заболоченных территорий. Основной водорастворимой формой миграции кремния, как и во всех водных объектах рассматриваемой территории, является H_4SiO_4^0 , а неорганических соединений азота – NH_4^+ и NO_3^- .

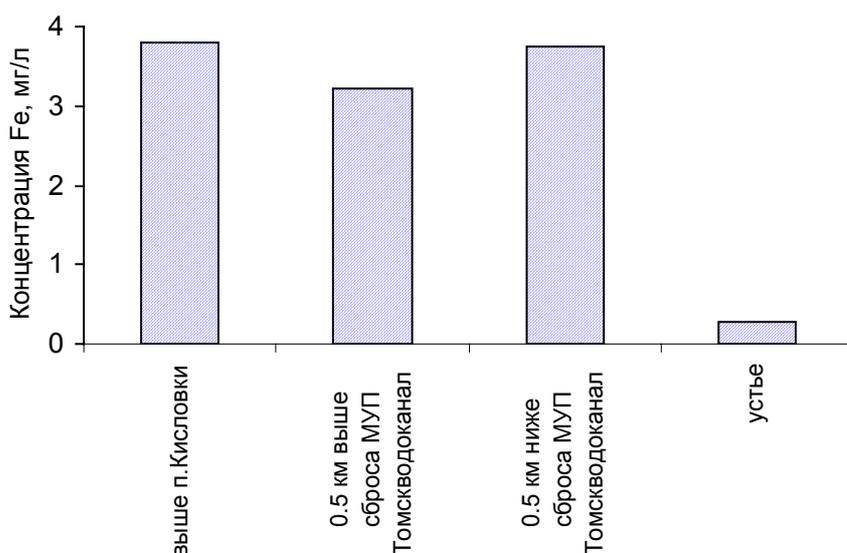


Рис.3.22. Концентрации $\text{Fe}_{\text{общ}}$ в водах системы р. Кисловка-протока (Томи) Бурундук в августе 2002 г. [151]

Анализ результатов термодинамических расчетов, проведенных на основе среднемноголетних данных о химическом составе некоторых малых рек, показал, что соотношение между формами миграции фосфатов для р. Вяловка – притока Парабели примерно такое же, как и для средних рек заболоченных территорий: H_2PO_4^- – 60-70 %; HPO_4^{2-} – 20-30 %. Близкое по значениям соотношение HPO_4^{2-} и H_2PO_4^- харак-

характерно также для р. Томь и ее притоков рр. Ушайка, Киргизка, Кисловка, Порос, Басандайка.

Соответствие нормативам качества. Содержания NO_2^- , NH_4^+ и Fe являются показателями, значения которых превышают установленные нормативы не только рыбохозяйственного, но и хозяйственно-питьевого водопользования не менее в 20-30 % всех проб, отобранных в поверхностных водных объектах [149, 150]. Для малых водотоков эта тенденция только усиливается, причем, как отмечалось выше, во многом это связано с природными условиями формирования состава вод. Тем не менее, согласно ГОСТ 17.1.2.04-77, воды и рек, протекающих в городах, и рек заболоченных малоосвоенных территорий, как правило, характеризуются как альфамезосапробные (загрязненные) или полисапробные (грязные).

3.3.4. Органические вещества

Уровень содержания ОВ в малых водотоках обского бассейна по величине ХПК в целом соответствует зональным закономерностям, характерным для средних рек. Но при этом он несколько выше, чем в средних реках, что хорошо согласуется с зависимостью величины химического потребления кислорода от интенсивности водообмена (рис.3.19). Кроме того, определенное увеличение ХПК, особенно максимальных значений этого показателя, наблюдается для рек, протекающих по территории населенных пунктов и промышленных узлов [117].

Наиболее высокие содержания ОВ характерны для малых водотоков в бассейнах рр. Васюган, Парабель, Чая, Кеть, где даже средние значения ХПК достигают 80 мгО/л и более (табл.3.42). В составе ОВ доминируют гуминовые вещества, в значительной степени представленные ГК и ФК. Так, в канале осушительной системы Васюганского болота у с. Поротниково, представляющем собой, по сути, малый водоток, в июле 1998 г. нами была зафиксирована концентрация ГК 116 мг/л.

Минимальные содержания ОВ (по величине ХПК) закономерно обнаруживаются в малых реках горных и полугорных территорий за пределами Томской области [117] с тем примечанием, что достаточно высокие концентрации нефтепродуктов, определенным методом ИК-спектрометрии, и летучих фенолов обнаруживаются повсеместно на рассматриваемой территории, включая и горные районы в бассейне р. Томь [172]. Максимальные средние содержания нефтепродуктов (0.36-0.57 мг/л) приурочены к малым рекам с наибольшей антропогенной нагрузкой.

Подробные исследования состава ОВ в малых водотоках с применением хроматомасс-спектрометрического метода проводились в ИХН СО РАН, ИГНГ СО РАН и ТПУ на примере р. Ушайка. Полученные при этом результаты свидетельствуют о присутствии в водах этой реки н-алканов, изопарафинов, нафтенов, ПАУ, хлор- и фосфорорганических соединений, карбоновых кислот и ряда других соединений, причем в пределах г. Томск отмечено увеличение средних концентраций парафинов, ПАУ, нафтенов в 7-30 раз [60, 116].

Соответствие нормативам качества. Повсеместное превышение нормативов по содержанию ряда ОВ является характерной чертой всех рек обского бассейна, особенно малых водотоков. Уже по средним значениям ХПК фиксируется нарушение ПДК_х для большинства этих рек с разной степенью антропогенной нагрузки на водосборы. Наиболее велико превышение нормативов для рек заболоченных территорий (табл.3.42). Значительное нефтяное загрязнение малых водотоков происходит в местах нефтедобычи вследствие аварийных разливов нефти [146].

Таблица 3.42

Средние значения ХПК, БПК₅, концентрации органических веществ в водах малых рек бассейна Средней Оби (исходные данные ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН, ТЦ «Томскгеомониторинг», Росгидромета), мг/л

Река – створ	ХПК	БПК ₅	Нефтепродукты	Смолистые	Фенолы	СПАВ
р. Басандайка – низовье	14.59(22)	1.22(23)	0.047(9)	–	0.001(22)	0.020(5)
р. Ушайка – верховье	19.95(19)	2.38(13)	0.063(7)	–	0.001(19)	–
р. Ушайка – устье	19.68(131)	5.8(131)	0.414(136)	0.147(122)	0.005(131)	0.023(68)
р. Киргизка – устье	16.11(19)	2.40(15)	0.030(13)	–	0.004(7)	–
р. Кисловка – верховье	21.76(40)	2.87(38)	0.050(3)	–	0.003(20)	–
р. Кисловка – устье	19.81(13)	1.63(11)	0.271(11)	–	0.002(13)	–
р. Порос – низовье	15.67(9)	3.11(7)	–	–	0.001(6)	–
р. Самуська – устье	14.75(11)	2.84(11)	–	–	0.001(9)	0.025(4)
р. Махня – верховья	87.68(3)	7.57(3)	0.053(3)	–	–	–
р. Вяловка – выше сбросов ЖКХ с. Парабель	104.33(3)	11.80(3)	0.027(3)	–	0.001(3)	–

3.3.5. Растворенные газы

Средние концентрации растворенного кислорода в водах изученных малых рек обычно изменяются от 5 до 11 мгО₂/л, а минимальные значения – вплоть до отсутствия. Необходимо отметить, что низкие концентрации О₂ в водах многих малых рек зимой являются скорее правилом, чем исключением. Наличие ледового покрова, затрудняющего газовый обмен с атмосферным воздухом, разложение ОВ с выделением СО₂ и потреблением О₂ в условиях замедленного водообмена в малых водотоках закономерно обуславливают уменьшение в зимний период концентраций растворенного кислорода и увеличение СО₂. В малых реках заболоченных и урбанизированных территорий Томской области концентрации растворенного кислорода менее 5 мгО₂/л достаточно часто могут наблюдаться и в летний период [46, 47, 151], что связано с замедленным водообменом и содержанием в водотоках большого количества ОВ, на окисление которых и тратится О₂.

Соответствие нормативам качества. Проблема низкого содержания растворенного кислорода в речных водах бассейна Средней Оби наиболее актуальна именно для малых водотоков. Причем нарушение нормативов может отмечаться для малых рек с разной степенью антропогенной нагрузки, вплоть до отсутствия хозяйственной деятельности в пределах водосбора.

3.3.6. Микроорганизмы

Наличие питательной среды практически повсеместно обуславливают повышенный уровень содержания микроорганизмов в малых реках, о чем свидетельствуют результаты микробиологических исследований ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН и ТЦ «Томскгеомониторинг». Значительные концентрации нефтеокисляющих, нитрифицирующих, денитрифицирующих бактерий и достаточно высокая интенсивность развития бактерий, окисляющих углеводороды и кислородсодержащие органические соединения, обнаружены в пробах воды, отобранных в ручьях на территории г. Томск, в рр. Ушайка, Кисловка, Самуська, Таловка, Тугояковка и даже в р. Актру и одноименном леднике, расположенном за пределами Томской области в Горном Алтае [84, 85, 132, 153], то есть в водных объектах с совершенно разным уровнем и характером антропогенных воздействий.

Причиной такого, на первый взгляд парадоксального распределения микрофлоры, с одной стороны, может служить повышенная токсичность воды малых рек

урбанизированных территорий, вследствие чего, например, содержание нефтеокисляющих бактерий в р. Ушайка в черте г. Томск, где в нее поступает более 8-10 млн. м³ стоков ежегодно, может оказаться меньше, чем в р. Тугояковка в 30 км от этого города (табл.3.43). С другой стороны, взаимодействие талых вод с горными породами способствует созданию благоприятных условий для развития микрофлоры и вблизи, и на значительном удалении от населенных пунктов [132].

Таблица 3.43

Средние содержания некоторых групп бактерий в водах малых притоков р. Томь (исходные данные ТПУ и ТФ ИГНГ СО РАН)

Бактерии	Единица измерения	р. Тугояковка – низовье	р. Ушайка – в черте г. Томска
сапрофитные	кл/мл	32150	7418
олиготрофные	кл/мл	19300	37584
тионовые	балл	3	72
нитрифицирующие	балл	3	–
денитрифицирующие	балл	3	–
аммонифицирующие	кл/мл	21117	2762
уробактерии	кл/мл	1733	2
нефтеокисляющие	кл/мл	4473	804
целлюлозоразрушающие	балл	10	112
окисляющие гексан	усл. ед.	0	112
окисляющие гептан	усл. ед.	90	160
окисляющие октан	усл. ед.	0	264
окисляющие декан	усл. ед.	–	500
окисляющие нонан	усл. ед.	–	320
окисляющие фенол	усл. ед.	200	384
окисляющие толуол	усл. ед.	0	364
окисляющие нафталин	усл. ед.	0	440
окисляющие бензол	усл. ед.	0	266
Количество проб		2-3	5

Тем не менее, влияние антропогенных факторов на микробиологическое состояние малых рек урбанизированных территорий достаточно хорошо выражено либо в виде пониженных концентраций определенных микроорганизмов, либо в виде повышенных содержаний. В последнем случае характерным показателем фекального

загрязнения является коли-индекс, значения которого для малых рек урбанизированных территорий в бассейне р. Томь нередко превышают 2.4 млн. ед./л [149, 151].

Соответствие нормативам качества. Согласно ГОСТ 17.1.2.04-77 и ГОСТ 17.1.3.07-82, воды большинства изученных малых рек соответствуют мезо- (загрязненным) и полисапробным (грязным). Наиболее высокие значения коли-индекса закономерно отмечаются в водотоках урбанизированных территорий. Так, в бассейне р. Томь в ее нижнем течении максимумы этого показателя, многократно превышающие установленные нормативы, приурочены к р. Ушайка, принимающей большое количество сточных вод [149, 150].

4. Пространственно-временные изменения химического состава речных вод

4.1. Временные изменения

Проблема объективного выявления временных изменений химического состава природных вод является ключевой при определении гидрохимического стока и его изменений, оценке антропогенного влияния на водные объекты и прогнозе их состояния, решении целого ряда практических водохозяйственных задач. В то же время, решение этой проблемы в значительной степени осложнено в связи с ограниченным количеством определений концентраций большинства веществ в течение года – в среднем по рассматриваемой территории 5-8 раз в год, а в ее северной части – иногда и еще меньше. В результате этого возникают затруднения следующего рода.

Во-первых, погрешность определения среднегодовых концентраций главных ионов и их суммы составляет 10-30 % от среднегодового значения. Для микроэлементов, биогенных и органических веществ этот показатель может превышать 40 %. В качестве примера можно привести данные ТЦГМС по рр. Томь и Чулым в 2002 г. и результаты вычисления среднегодовых значений и погрешностей их определения (табл.4.1). При этом следует отметить, что представленные в табл.4.1 данные по количеству определений и их распределению в течение года соответствуют наилучшему (р. Томь у г. Томска) и среднему (р. Чулым) уровням изученности в пределах бассейна Средней Оби.

Таблица 4.1.

Измеренные концентрации некоторых веществ в водах рр. Томь и Чулым (данные Росгидромета), средние арифметические (A), абсолютные (δ_A) и относительные (δ_A^*) погрешности их определения в 2002 г., мг/л

Река-створ	Дата отбора	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Fe _{общ.}	Cu	Pb
1	2	3	4	5	6	7	8
Томь-Томск	14.03.02	9.7	2.5	1.417	0.040	0.009	не обн.
то же	23.04.02	41.9	3.2	2.259	0.580	0.013	0.011
-//-	02.05.02	17.5	0.9	1.284	0.420	0.011	0.006
-//-	05.06.02	11.1	0.7	0.443	0.140	0.017	0.004
-//-	04.08.02	24.1	1.1	0.531	0.250	–	–
-//-	15.09.02	17.0	1.1	0.443	0.090	–	–
-//-	13.10.02	14.4	3.1	1.063	0.140	–	–
-//-	A (2000 г.)	19.4	1.8	1.063	0.237	0.0125	0.0053
-//-	δ_A	4.2	0.4	0.251	0.074	0.0017	0.0023
-//-	δ_A^* , %	21	23	24	31	14	44
Чулым-Батурино	26.03.02	10.8	2.5	1.506	0.260	–	–
то же	22.06.02	22.8	0.4	0.000	0.200	–	–
-//-	27.07.02	17.4	0.4	0.310	0.420	–	–
-//-	20.08.02	13.6	0.6	0.221	0.570	–	–
-//-	19.09.02	9.9	0.7	0.089	0.060	–	–
-//-	A (2000 г.)	14.9	0.9	0.4	0.3	–	–
-//-	δ_A	2.4	0.4	0.3	0.1	–	–
-//-	δ_A^* , %	16	43	65	29	–	–

Во-вторых, при сравнении среднегодовых или средних за n -летия значений концентраций некоторых веществ, полученных за периоды разной водности и/или в годы, отличающиеся по внутригодовому распределению водного стока, возрастает вероятность недостоверных или даже ошибочных суждений о тех или иных тенденциях изменения химического состава речных вод и причинах, их обусловивших. Наглядной иллюстрацией этому служит вывод, сделанный в работе Г.К. Парфеновой [105] относительно тенденций и факторов изменений минерализации и ионного стока р. Томь. Согласно автору этой статьи, «в нижнем течении у г. Томск наибольший ионный сток по отношению к исходному наблюдался в период 1982-1986 гг. – годы

максимального экономического роста предприятий». Следовательно, минерализация и ионный сток р. Томь определяются в значительной степени поступлением в речные воды солей техногенного происхождения.

Между тем, и выделенный период с повышенным ионным стоком, и, тем более, причины этого повышения являются весьма спорными. Прежде всего, отметим, что полученные Г.К. Парфеновой [105] значения средних за 5-летние интервалы сумм главных ионов определены по неодинаковому количеству проб и не всегда в совпадающие фазы водного режима, что существенно снижает достоверность результатов расчета. С учетом этого обстоятельства, рассмотрим хорошо известный факт наличия статистически значимых связей между минерализацией и расходом речных вод многих рек [3, 159]. Подобные зависимости, обычно имеющие вид $C = a \times Q^b$, где константа b имеет отрицательные значения, отмечены и для р. Томь [128, 129]. То есть, чем больше расход воды, тем меньше ее минерализация. Но ионный сток в годы с повышенной водностью может быть выше, чем в маловодные годы, даже если в последнем случае будет наблюдаться максимальная минерализация воды. Неучет данных обстоятельств и привел к тому, что в работе [105] был сделан вывод о возрастании, во-первых, минерализации речных вод (что еще нужно доказать), во-вторых – ионного стока в 1982-1986 гг. вследствие повышенного антропогенного загрязнения реки, а не увеличения в это время среднегодовых расходов воды – основной реальной причины роста ионного стока (табл.4.2).

Таблица 4.2

Данные о среднегодовых расходах воды (Q) р. Томь у г. Томск

1952-1956 гг.		1982-1986 гг.		1989-1993 гг.	
Год	Q, м ³ /с	Год	Q, м ³ /с	Год	Q, м ³ /с
1952	965	1982	855	1989	921
1953	955	1983	1140	1990	1059
1954	1160	1984	1192	1991	991
1955	854	1985	1180	1992	1041
1956	946	1986	979	1993	1150
Среднее	976	Среднее	1069	Среднее	1032
Средний ионный сток (G) согласно [105]					
Период	G, тыс.т/год	Период	G, тыс.т/год	Период	G, тыс.т/год
1952-1956 гг.	2548	1982-1986 гг.	4832	1989-1993 гг.	3220

В-третьих, отбор проб воды не всегда проводится в одинаковые фазы гидрологического года, вследствие чего среднегодовые и даже средние за несколько лет значения концентраций могут не отражать реальную картину изменения химического состава речных вод. В данном случае в качестве примера приведем совмещенные гидрографы р. Томь у г. Томск в 1970 и 1997 гг. (рис.4.1). Водный сток в эти годы примерно равный и составляет 1067 ± 83 и 1020 ± 78 м³/с соответственно. В то же время, согласно данным Росгидромета, минерализация воды в среднем за 1970 г. была равна 141 мг/л, а в 1997 г. – уже 234 мг/л. С одной стороны, можно было бы предположить усиление антропогенного загрязнения р. Томь в 1990-е гг., но с другой стороны – 9 проб из 10 в 1997 г. были отобраны в зимнюю или летне-осеннюю межень (90 %), в то время как в 1970 г. из 9 проб 3 (33 %) приходится на весеннее половодье (рис.4.1). Как следствие, в 1970 г. (по данным наблюдений) среднегодовое значение минерализации воды р. Томь у г. Томска была значительно ниже, чем примерно в такой же по водности 1997 г.

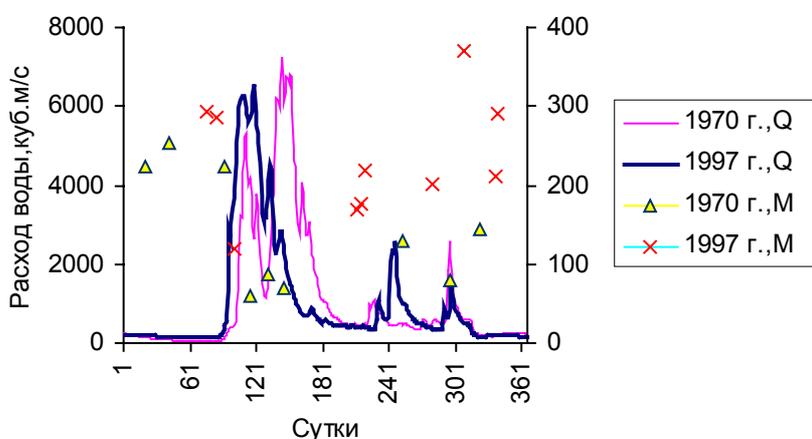


Рис.4.1. Изменение среднесуточных расходов воды (Q) и измеренных значений минерализации (M) р. Томь у г. Томска в 1970 и 1997 гг.

Таким образом, анализ временных изменений химического состава речных вод сопряжен с необходимостью очень тщательного сопоставления изменений содержания веществ и расходов воды в течение многолетнего периода и внутри года, что, на наш взгляд, определяет целесообразность вынесения суждений о тех или иных из-

менениях концентраций веществ только на основе результатов совместного изучения водного режима, динамики рядов среднегодовых или средних за n -летия значений и качественного анализа зависимостей между химическим составом и водностью реки.

4.1.1. Многолетние изменения

Анализ многолетних изменений химического состава речных вод бассейна Средней Оби в части сопоставления средних и максимальных годовых концентраций за смежные годы или 2-5-летний период систематически выполняется в системе Росгидромета и МПР России в рамках составления ежегодников качества вод Росгидромета и в обобщающих работах [22, 24, 73, 123], а также в процессе ведения государственного экологического мониторинга и государственного мониторинга состояния водных объектов на территориях субъектов РФ [149-151, 176-181]. Кроме того, В.П. Зверевым и др. [44] проведено изучение изменения массопотоков нефтепродуктов с речными водами России в целом и р. Обь в частности, а Г.К. Парфеновой и Е.Ю. Осиповой исследовались изменения качества речных вод и ионного стока р. Томь [97, 104, 105]. Материалы собственных исследований многолетних изменений химического состава речных вод в бассейне Средней Оби, выполненных в 1993-1998 гг. с учетом перечисленных выше работ (опубликованных к тому времени), были приведены в работе [130]. За прошедший после 2000 г. период, в процессе выполнения научных исследований и государственного мониторинга водных объектов на территории Томской области, автором был накоплен дополнительный материал и проведен анализ значительно большего, чем ранее, объема гидрохимической и гидрометрической информации, результаты которого и приводятся ниже.

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 антропогенных воздействий на состояние водного объекта [28, 83]. При этом особое внимание следует обратить на изменения химического состава р. Томь, водосбор которой, согласно [24, 73 и др.], испытывает максимальную в бассейне Верхней и Средней Оби 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 среднесуточными расхо-

дами воды, частично представленные в табл.4.3 и работе [128]. Во многих случаях наилучшая оценка качества аппроксимации достигается при использовании степенных зависимостей $\Sigma_{и}=a \times Q^{-b}$, но удовлетворительные результаты могут быть получены и для линейных уравнений вида $\Sigma_{и}=b-a \times Q$. Применение зависимостей обоих видов позволило построить ряды ежедневных значений $\Sigma_{и}$ и рассчитать по ним среднегодовые величины.

Проверка сгенерированных рядов рр. Обь и Томь на случайность и однородность, проведенная в соответствии с [113, 121], 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 $\Sigma_{и}$ не подтверждается при уровне значимости 5 % (табл.4.4). Следовательно, можно с большой уверенностью утверждать, что для этих рек в течение последних 30 лет наблюдается статистически постоянный уровень минерализации речных вод, зависящий, главным образом, от колебаний водного стока (рис.4.2, 4.3).

Таблица 4.3

Характеристика связи между суммой измеренных концентраций главных ионов $\Sigma_{и}$ и среднесуточными расходами воды Q р. Обь и ее притоков за однородный период¹

Река – створ	Коэффициент корреляции r	Ошибка определения r	Уравнение связи	Критерий качества S/σ
р. Обь – г. Колпашево	-0.69	0.07	$\Sigma_{и}=2092.298 \times Q^{-0.313}$	0.78
			$\Sigma_{и}=234.730-0.012 \times Q$	0.72
р. Томь – г. Томск	-0.62	0.08	$\Sigma_{и}=1090.102 \times Q^{-0.327}$	0.61
			$\Sigma_{и}=182.001-0.019 \times Q$	0.78
р. Чулым – г. Батурино	-0.79	0.05	$\Sigma_{и}=1921.757 \times Q^{-0.370}$	0.76
			$\Sigma_{и}=257.166-0.052 \times Q$	0.61
р. Кеть – с. Максимкин Яр	-0.80	0.05	$\Sigma_{и}=9155.703 \times Q^{-0.792}$	0.45
			$\Sigma_{и}=176.004-0.127 \times Q$	0.60
р. Бакчар – с. Горелый	-0.68	0.11	$\Sigma_{и}=1257.567 \times Q^{-0.507}$	0.47
			$\Sigma_{и}=452.866-2.56 \times Q$	0.73
р. Шегарка – с. Бабарыкино	-0.59	0.11	$\Sigma_{и}=671.537 \times Q^{-0.256}$	0.64
			$\Sigma_{и}=475.234-1.697 \times Q$	0.81

Подтверждением этому служат результаты сопоставления вычисленных и измеренных значений $\Sigma_{и}$ вод р. Томь у г. Томска в многоводные 1973 г., 2002 г. (рис.4.4) и маловодные 1974 г., 1989 г. (рис.4.5), свидетельствующие о том, что в годы с примерно одинаковым внутригодовым распределением водного стока (при соблюдении отбора проб воды в одинаковые фазы водного режима) 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.

Таблица 4.4

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

Показатель	р. Обь – г.Колпашево		р. Томь – г. Томск	
	$\Sigma_{и}=a \times Q^{-b}$	$\Sigma_{и}=b-a \times Q$	$\Sigma_{и}=a \times Q^{-b}$	$\Sigma_{и}=b-a \times Q$
Критерий Питмена π	1.612	1.843	-0.104	0.124
Критическое значение $\pi_{кр}$	2.002	2.002	2.002	2.002
Коэффициент автокорреляции $r(1)$	0.07	0.18	-0.06	-0.04
Ошибка определения $r(1)$	0.18	0.17	0.18	0.18
Критерий Уилкоксона W , граница интервалов – 1978г.	72(57-150)	64 (57-150)	107(60-157)	81(47-136)
W , 1982 г.	128(74-178)	112(72-175)	135(77-183)	99 (70-172)
W , 1986 г.	104(76-179)	87 (76-179)	110(82-190)	120(82-190)
W , 1990 г.	97 (66-165)	93 (66-165)	92 (74-178)	116(74-178)
W , 1994 г.	74 (45-131)	81 (45-131)	101(53-147)	101(53-147)
Критерий Фишера F , 1978г.	1.25 (2.40)	1.27 (2.40)	2.47 (3.15)	1.28(3.15)
F , 1982 г.	1.77 (2.34)	2.08 (2.34)	1.28 (2.56)	1.77 (2.31)
F , 1986 г.	1.95 (2.45)	2.67 (2.45)	1.29 (2.35)	1.51 (2.39)
F , 1990 г.	2.27 (2.79)	2.65 (2.79)	1.49 (2.31)	1.05 (2.66)
F , 1994 г.	2.78 (3.92)	3.29 (3.92)	1.90 (2.43)	1.38 (2.43)

¹ – в скобках указаны критические значения статистик Уилкоксона и Фишера

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. (табл.4.5). Однако принимая во внимание разное количество проб воды, отобранных в течение года

(рис.4.6), и в этом случае нет оснований для утверждений о значительных изменениях ХПК [130, 151], 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 прочих больших и средних рек бассейна Средней Оби носили, преимущественно, характер случайных колебаний (рис.4.7, 4.8).

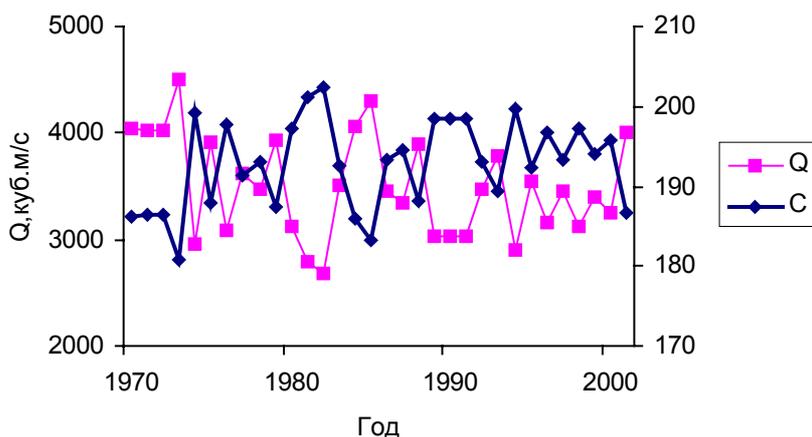


Рис.4.2. Многолетние изменения среднегодовых значений $\Sigma_{и}$ (C) и расходов воды р. Обь у г. Колпашево за 1970-2001 гг.

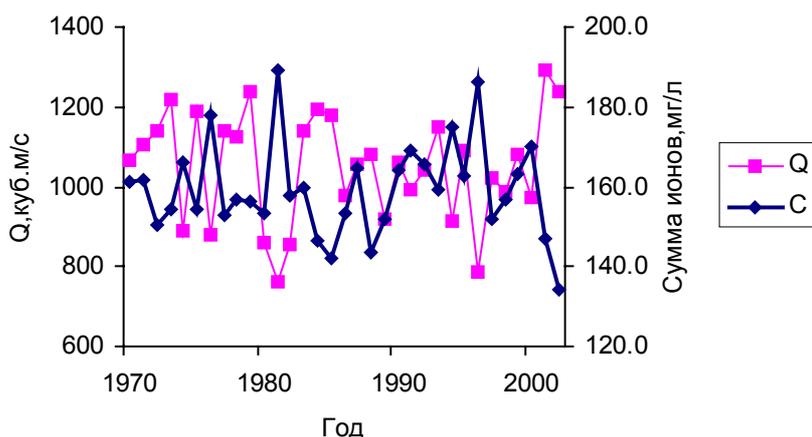


Рис.4.3. Многолетние изменения среднегодовых значений $\Sigma_{и}$ (C) и расходов воды р. Томь у г. Томск за 1970-2002 гг.

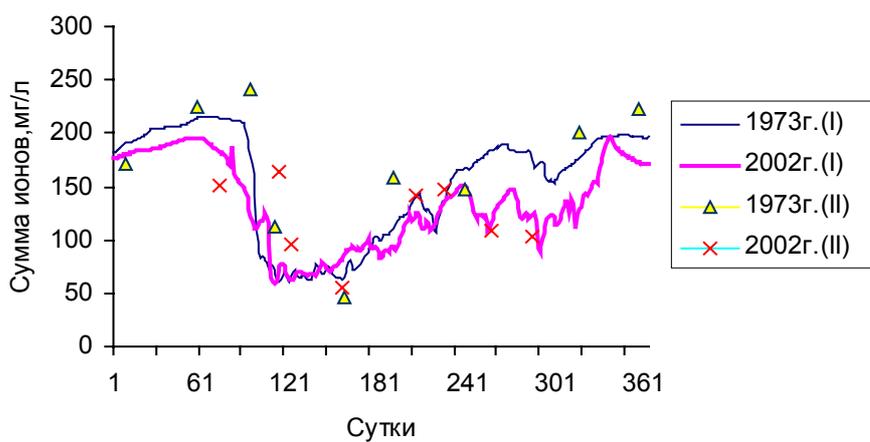


Рис.4.4. Внутригодовое распределение вычисленных (I) и измеренных значений (II) $\Sigma_{и}$ вод р. Томь у г. Томск в многоводные 1973 и 2002 гг. (среднегодовой расход воды 1219 и 1240 м³/с соответственно)

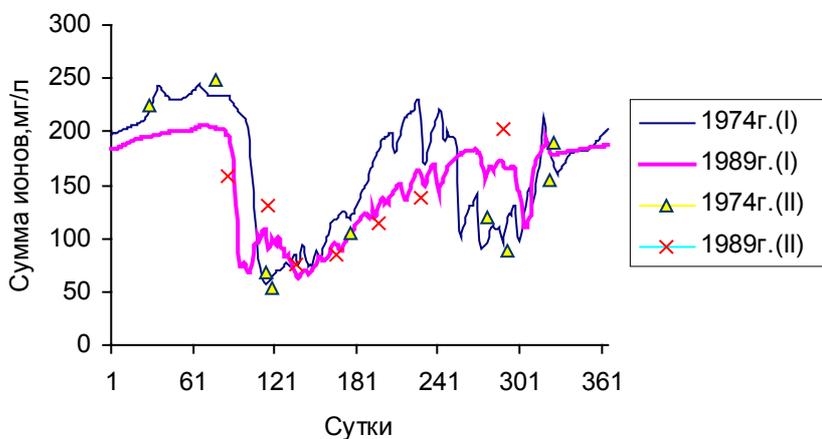


Рис.4.5. Внутригодовое распределение вычисленных (I) и измеренных значений (II) $\Sigma_{и}$ вод р. Томь у г. Томск в маловодные 1974 и 1989 гг. (среднегодовой расход воды 890 и 921 м³/с соответственно)

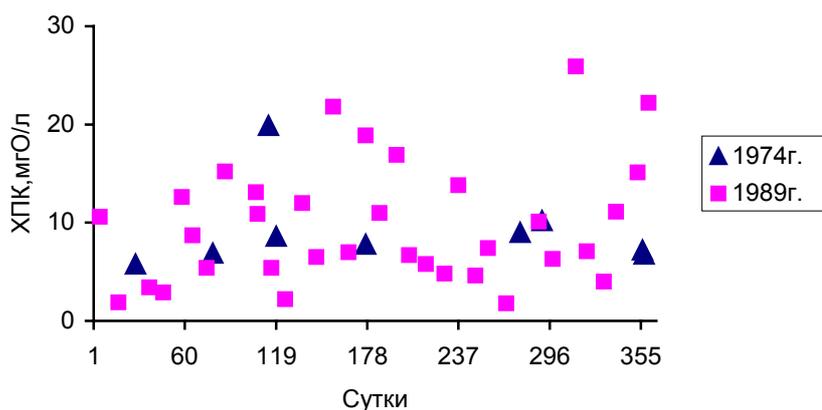


Рис.4.6. Внутригодовое распределение измеренных значений ХПК вод р. Томь у г. Томск в маловодные 1974 и 1989 гг.

Таблица 4.5
Среднегодовые расходы воды (Q , м³/с), значения ХПК, БПК₅, содержания нефтепродуктов, Fe, азота NO₂⁻ и NH₄⁺ (мг/л) в годы средней водности с обеспеченностью среднегодовых расходов 33-66 % (исходные данные Росгидромета)

Река – створ	Год	Q	ХПК	Нефте-продукты	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)	
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)

1	2	3	4	5	6	7	8
	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. Коммунарка)	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)

Также относительно стабильным в течение последних 30 лет был уровень содержания железа и нефтепродуктов, определенных методом ИК-спектрометрии [149-151]. 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 [150]. Однако, учитывая погрешности определения среднегодовых значений (более 10 %), даже в этих случаях нельзя с уверенностью говорить о хорошо выраженных тенденциях.

В целом же, анализ данных Росгидромета, ОГУП ТЦ «Томскгеомониторинг», ТПУ и других организаций позволяет сделать вывод об отсутствии значительных изменений в химическом составе речных вод бассейна Средней Оби в 1970-2000 гг., что не исключает возможность последовательного уменьшения или увеличения минерализации, значений ХПК, БПК₅, содержания соединений азота, фенолов и некоторых других веществ в течение нескольких лет. Более того, учитывая цикличность в колебаниях водного стока рассматриваемой территории, отмеченную в [1, 50], и статистически значимые связи между расходами воды и содержаниями ряда компонентов, следует ожидать и циклическое изменение, по крайней мере, величины $\Sigma_{\text{и}}$.

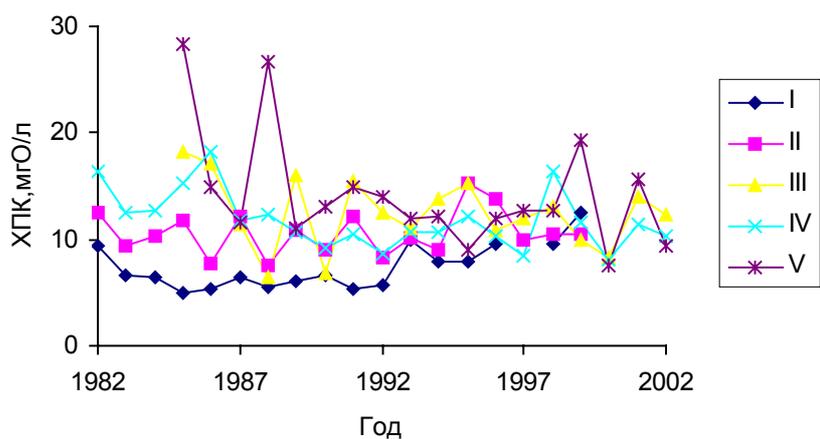


Рис.4.7. Изменение среднегодовых измеренных значений ХПК вод р. Томь (I – г. Междуреченск; II – ниже г. Новокузнецка; III – с. Поломошное; IV – выше г. Томска; V – с. Козюлино)

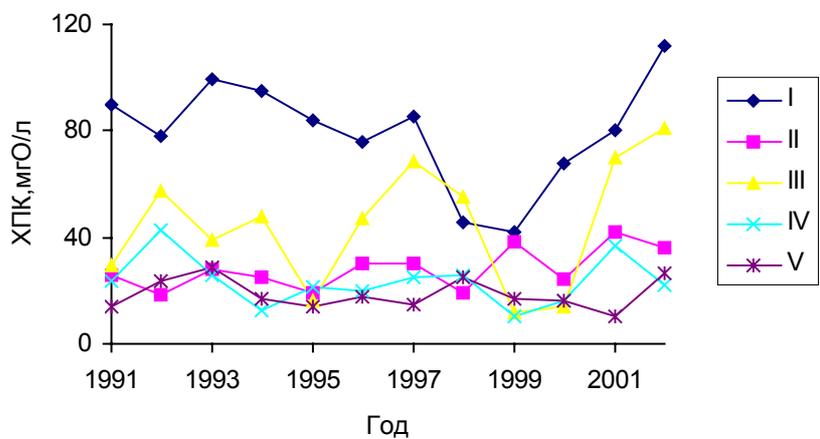


Рис.4.8. Изменение среднегодовых измеренных значений ХПК вод средних и больших рек бассейна р. Обь (I – р. Икса – с. Плотниково; II – р. Кеть – с. Волково; III – р. Парабель – с. Новиково; IV – р. Четь – с. Конторка; V – р. Чулым – с. Батурино)

4.1.2. 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 бассейна Средней Оби – чем больше расход воды, тем меньше концентрация указанных макрокомпонентов (табл.4.6). 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. Роль регулирования стока Новосибирским водохранилищем, судя по данным об уменьшении $\Sigma_{\text{и}}$ на участке от г. Колпашево до с. Александровское, не является определяющей.

Таблица 4.6
Внутригодовое изменение суммы главных ионов в речных водах бассейна Средней Оби в среднем за многолетний период, мг/л

Река – створ	Месяцы года		
	IV-VI	VII-XI	XII-III
р. Обь – выше г.Колпашево	166.3	167.3	291.0
р. Обь – с. Александровское	149.2	133.7	252.2
р. Томь – выше г.Томск	83.3	147.8	241.8
р. Чулым – с. Батурино	141.4	214.2	326.6
р. Кеть – с. Волково	82.1	111.4	206.7
р. Тым – с. Напас	41.0	75.7	138.0
р. Парабель – с. Новиково	170.4	243.3	423.8
р. Чая – с. Подгорное	321.1	448.1	543.8
р. Икса – с. Плотниково	175.3	260.3	451.6
р. Шегарка – с. Бабарыкино	301.6	466.9	623.3

Для внутригодовых изменений содержаний SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ в водах разных рек могут наблюдаться различные, иногда противоположные тенденции [148]. При этом меняется и вид связей между концентрациями указанных веществ и расходами воды. Аналогичная ситуация характерна для значений легкоокисляемых веществ по БПК₅, содержаний нефтепродуктов, нитрат-иона, фенолов и микроэлементов, наибольшие значения которых могут наблюдаться в разные периоды года (табл.4.7, рис.4.9), а внутригодовые изменения содержаний описываются в виде условных вероятностей в зависимости от водности реки. В частности, с помощью условных вероят-

ностей для меди выявлено увеличение концентраций с возрастанием расходов воды, а для хрома – напротив, уменьшение (табл.4.8).

Таблица 4.7

Внутригодовое изменение концентраций нефтепродуктов в речных вод бассейна Средней Оби в среднем за многолетний период, мг/л

Река – створ	Месяцы года		
	IV-VI	VII-XI	XII-III
р. Обь – выше г.Колпашево	0.393	0.363	0.259
р. Обь – с. Александровское	0.331	0.571	0.457
р. Томь – выше г.Томск	0.504	0.419	0.424
р. Чулым – с. Батурино	0.233	0.315	–
р. Кеть – с. Волково	0.231	0.405	–
р. Тым – с. Напас	0.280	0.615	–
р. Парабель – с. Новиково	0.815	0.450	0.520
р. Чая – с. Подгорное	0.410	0.790	0.100
р. Икса – с. Плотниково	0.310	0.390	0.385
р. Шегарка – с. Бабарыкино	0.224	0.630	0.200

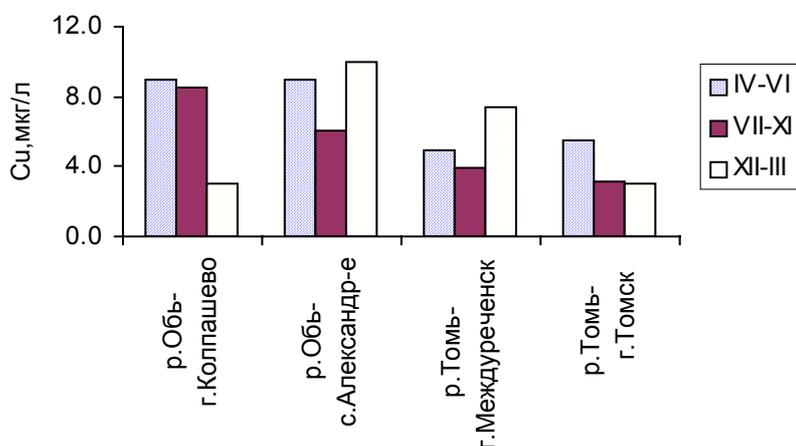


Рис.4.9. Внутригодовое изменение концентраций меди в среднем за многолетний период

Достаточно выраженный характер, помимо ионов кальция, магния, гидрокарбонатов и величины $\Sigma_{н}$, имеют тенденции внутригодового изменения значений рН, 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 (табл.4.9, 4.10), для NH_4^+ – к апрелю-июню, для кремния и NO_2^- – к зимней межени, для O_2 и pH – к летним месяцам [130].

Таблица 4.8

Концентрации меди и хрома в водах р. Томь у г. Томск при заданной обеспеченности расхода воды, мкг/л

Обеспеченность расхода воды, %	Cu			Cr		
	10 % ¹	50 %	90 %	10 %	50 %	90 %
25	32.5	2.5	<1	4.4	1.0	<1
50	12.1	1.5	<1	4.4	2.0	<1
75	11.8	2.5	<1	6.5	2.0	0.5
95	11.0	3.0	<1	7.0	2.0	1.0

1 – 10, 50, 90 % - условные обеспеченности обнаружения концентрации металла

Таблица 4.9

Внутригодовое изменение значений ХПК речных вод бассейна Средней Оби в среднем за многолетний период, мг/л

Река – створ	Месяцы года		
	IV-VI	VII-XI	XII-III
р. Обь – выше г. Колпашево	11.06	12.72	7.20
р. Обь – с. Александровское	18.51	23.20	13.89
р. Томь – выше г. Томск	11.76	10.41	12.27
р. Чулым – с. Батурино	20.37	14.84	9.00
р. Кеть – с. Волково	43.00	26.98	–
р. Тым – с. Напас	21.09	28.28	9.40
р. Парабель – с. Новиково	52.96	100.05	13.57
р. Чая – с. Подгорное	62.90	23.50	24.40
р. Икса – с. Плотниково	70.69	79.05	28.87
р. Шегарка – с. Бабарыкино	60.31	35.01	25.25

При этом следует отметить, что, во-первых, указанные тенденции имеют вероятностный, а не функциональный 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 (табл.4.9, рис.4.6).

Внутригодовое изменение концентраций железа в речных вод бассейна Средней Оби в среднем за многолетний период, мг/л

Река – створ	Месяцы года		
	IV-VI	VII-XI	XII-III
р. Обь – выше г.Колпашево	0.162	0.115	0.074
р. Обь – с. Александровское	0.352	0.476	0.250
р. Томь – выше г.Томск	0.323	0.126	0.114
р. Чулым – с. Батурино	0.277	0.339	0.324
р. Кеть – с. Волково	1.078	1.254	2.510
р. Тым – с. Напас	1.023	1.363	0.800
р. Парабель – с. Новиково	0.624	0.880	0.170
р. Чая – с. Подгорное	0.642	0.768	0.910
р. Икса – с. Плотниково	0.254	0.669	0.123
р. Шегарка – с. Бабарыкино	0.328	0.216	0.165

В целом, при снижении водности рек от весеннего половодья до зимней межени в большинстве случаев происходит увеличение в речных водах бассейна Средней Оби 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 ПДК, наблюдаются в течение всего года, включая и весенний сезон.

4.2. Пространственные изменения

При изучении пространственных изменений химического состава речных вод рассматриваемой территории целесообразно отдельно рассматривать большие, средние и малые реки, поскольку каждая из этих групп водотоков характеризуется разным соотношением зональных и азональных факторов, определяющих различия в эколого-геохимическом состоянии речных вод.

4.2.1. Большие реки

Для Средней Оби главной закономерностью пространственного изменения является уменьшение минерализации и увеличение величины ХПК по мере движения

водных масс вниз по течению (рис.4.10, табл.3.1, 3.16), причем наибольшее снижение содержаний главных ионов и рост концентраций ОВ наблюдается на участке от г. Колпашево до с. Александровское. Сопоставление данных о химическом составе и водном стоке р. Обь и ее притоков позволяет сделать вывод о том, что указанное выше распределение значений $\Sigma_{и}$ и ХПК по длине главной реки в значительной степени связано с влиянием полноводных правобережных притоков (Томь, Чулым, Кеть, Тым), а также левобережного Васюгана.

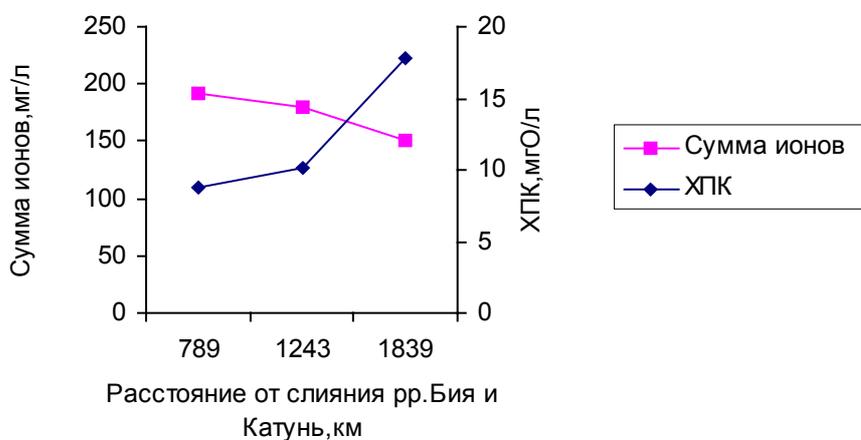


Рис.4.10. Изменение по длине р. Обь среднемноголетних значений суммы главных ионов и ХПК (от с. Дубровино до с. Александровское)

Водный сток этих рек составляет примерно 79 % от стока р. Обь в створе г. Колпашево, что с учетом меньшей, чем в Оби, минерализации и большего содержания ОВ определяет изменение химического состава обских вод (минерализация вод р. Чулым несколько больше, чем в р. Обь у г. Колпашево, но ниже, чем у г. Новосибирск и с. Дубровино). Минерализация вод рр. Шегарка, Чая и Парабель существенно выше, чем в р. Обь, однако суммарный расход воды этих притоков составляет всего лишь около 5 % от соответствующего показателя для р. Обь у г. Колпашево.

Кроме значений ХПК с юга на север в среднем отмечается рост содержаний железа, азота нитритного и аммонийного. Средние концентрации нитрат-иона, напротив, уменьшаются от с. Дубровино до с. Александровское, что закономерно связано с

ухудшением условий развития нитрифицирующей микрофлоры и более оптимальными условиями развития аммонифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов по мере понижения среднегодовой температуры воздуха, уменьшения концентраций растворенного кислорода и значений рН, увеличения увлажненности водосборов и притока большого количества ОВ. При этом следует отметить, что, согласно Т.П. Славниной [143], Л.И. Инишевой и Т.П. Славниной [52], для почв Западной Сибири преобладающей формой минерального азота является аммонийная. Это связано с тем, что различные группы присутствующих в почвах аммонифицирующих микроорганизмов в большей степени, чем нитрификаторы, приспособлены к гидротермическим условиям рассматриваемой территории. Таким образом, можно сделать вывод о тесной взаимосвязи гидробиохимических процессов, протекающих в почвогрунтах и непосредственно в водных объектах бассейна Средней Оби.

В пространственном изменении концентраций микроэлементов наиболее значимые тенденции связаны с определенным увеличением содержаний ряда редкоземельных и рассеянных элементов в водах р. Обь ниже устья р. Кеть [163, 168], не соотносящимся с каким-либо известным государственным органам управления водными ресурсами Томской области техногенным воздействием. Наиболее достоверной гипотезой, объясняющей это повышение, на наш взгляд, является, с одной стороны, дренирование Обью глубоко залегающих подземных водосных горизонтов с повышенным содержанием ряда микроэлементов, а с другой стороны, образование водорастворимых и коллоидных соединений некоторых из них с ОВ, средние концентрации которых практически удваиваются на участке от г. Колпашево до с. Александровское.

Для рр. Томь и Чулым однозначные изменения минерализации вод по длине реки, подобные изменениям для Средней Оби, не характерны. Вместо этого наблюдается увеличение содержаний макрокомпонентов от верховий к створам в среднем течении (в среднем от 80-100 мг/л до 160-180 мг/л в водах Томь и 190-210 мг/л в Чулыме), их уменьшение в переходной зоне участков среднего и нижнего течения (до 140-150 мг/л в Томь у гг. Юрга и Томск и 170 мг/л в Чулыме у с. Зырянское) и некоторое возрастание концентраций по мере приближения к устью (153 мг/л в устье Томь и 188 мг/л в 143 км от устья Чулыма).

В пространственном изменении значений ХПК, содержаний железа, азота аммонийного и нитритного прослеживается достаточно заметная тенденция к постепен-

ному увеличению от верховий к устью в сочетании с «всплеском» концентраций в створах населенных пунктов и последующим уменьшением на некотором удалении от них [134, 172]. Аналогичное распределение содержаний по длине р. Томь было отмечено и для микроорганизмов, окисляющих углеводороды и кислородсодержащие органические соединения [132], хотя концентрации нефтепродуктов и фенолов на всем протяжении этой реки варьируют с учетом погрешности определения примерно в одном диапазоне. Уровень содержания микроэлементов по длине рр. Томь и Чулым также изменяется случайным образом, в большей степени коррелируя с колебаниями рН и содержаниями ФК, чем с протяженностью реки.

3.2.2. Средние реки

В отличие от рр. Обь, Томь и Чулым, протекающих по горным и полугорным районам, лесостепной и таежной зонам, средние реки рассматриваемой территории в основном формируются в пределах одной природной зоны, характеризующейся определенным сочетанием климатических, гидрологических и гидрогеологических условий и преобладанием тех или иных типов ландшафта. Это в существенной степени сказывается на пространственных изменениях химического состава речных вод, тесно связанных с соответствующими изменениями водного стока, прироста фитомассы и условий разложения ОВ. Анализ построенных на основе данных табл.3.25 и 3.32 (с учетом преобладающих ландшафтов) схем изолиний значений $\Sigma_{и}$ и ХПК показал, что для равнинной части бассейна Средней Оби, охватывающей водосборы рр. Шегарка, Чая, Парабель, Васюган, Тым, Кеть и нижнее течение р. Чулым, прослеживается явно выраженная тенденция уменьшения суммарного содержания макрокомпонентов в водах средних рек с юго-запада на северо-восток. Максимумы отмечаются в бассейнах рр. Чая и Шегарка, граничащих с лесостепными участками Северо-Барабинской и Барабинско-Пихтовской наклонных равнин (по В.Т. Трофимову) и отличающихся слабой дренированностью при умеренном или повышенном увлажнении. Минимальные на территории Томской области суммарные содержания главных ионов приурочены к районам с повышенными значениями модулей водного стока в бассейне р. Тым (рис.4.11).

Для значений ХПК вод средних рек характерно несимметричное пространственное распределение с минимумами в южной части Томской области, максимумами в бассейне р. Чая и примерно постоянном уровне значений ХПК 20-30 мгО/л в право-

бережной равнинной части бассейна Средней Оби (рис.4.12). При этом следует отметить, что максимумы ХПК приурочены к участкам обского бассейна в пределах Васюганского болотного округа с интенсивным площадным торфонакоплением и развитием низинных, переходных и верховых болот разного размера [74, 75], которые, согласно Н.Н. Пологовой и Е.Д. Лапшиной [110], отличаются наиболее высоким в Западной Сибири вертикальным приростом торфяной залежи (0.60-2.62 мм для Васюганского болота и 0.39-0.80 мм – для прочих западно-сибирских болот).

В соответствии с ландшафтно-геохимическим районированием Е.Г. Нечаевой [87], эти участки расположены в южно-таежной провинции болотно-таежной области на границе с подтаежной провинцией лесостепной области, характеризующихся максимальными на рассматриваемой территории фитомассой (до 300 т/га) и ее ежегодным приростом (до 10 т/га), что в сочетании со слабой дренированностью, умеренным атмосферным увлажнением и достаточно суровым климатом создает необходимые условия для заболачивания водосборов и поступления в поверхностные воды большого количества органического материала, а следовательно, обуславливает очень высокие значения ХПК речных вод. Таким образом, можно еще раз констатировать тесные взаимосвязи между процессами формирования химического состава речных вод и процессами почво- и болотообразования.

Для пространственных изменений концентраций биогенных веществ в водах средних рек характерно увеличение содержаний железа, азота нитритного и аммонийного по мере роста заболоченности территории, причем для железа выявлена значимая прямая связь с площадью распространения верховых болот, что, предположительно, объясняется увеличением концентраций ФК в речном стоке с подобных территорий и образованием водорастворимых и коллоидных органических соединений с Fe, а также и некоторыми другими металлами. Необходимо отметить, что в бассейне р. Чая по данным Росгидромета кроме максимумов ХПК достаточно часто наблюдаются достаточно высокие концентрации фенолов (более 50 мкг/л). В то же время, средний уровень содержаний нефтепродуктов, определенных методом ИК-спектрометрии (также по данным Росгидромета), в пределах всей рассматриваемой территории примерно одинаков и составляет 0.3-0.7 мг/л, причем средние концентрации этих веществ более 0.45 мг/л характерны и для рек нефтегазодобывающих районов (рр. Васюган и Парабель), и для некоторых рек Кузнецкого Алатау, сток которых формируется на малонаселенных территориях.

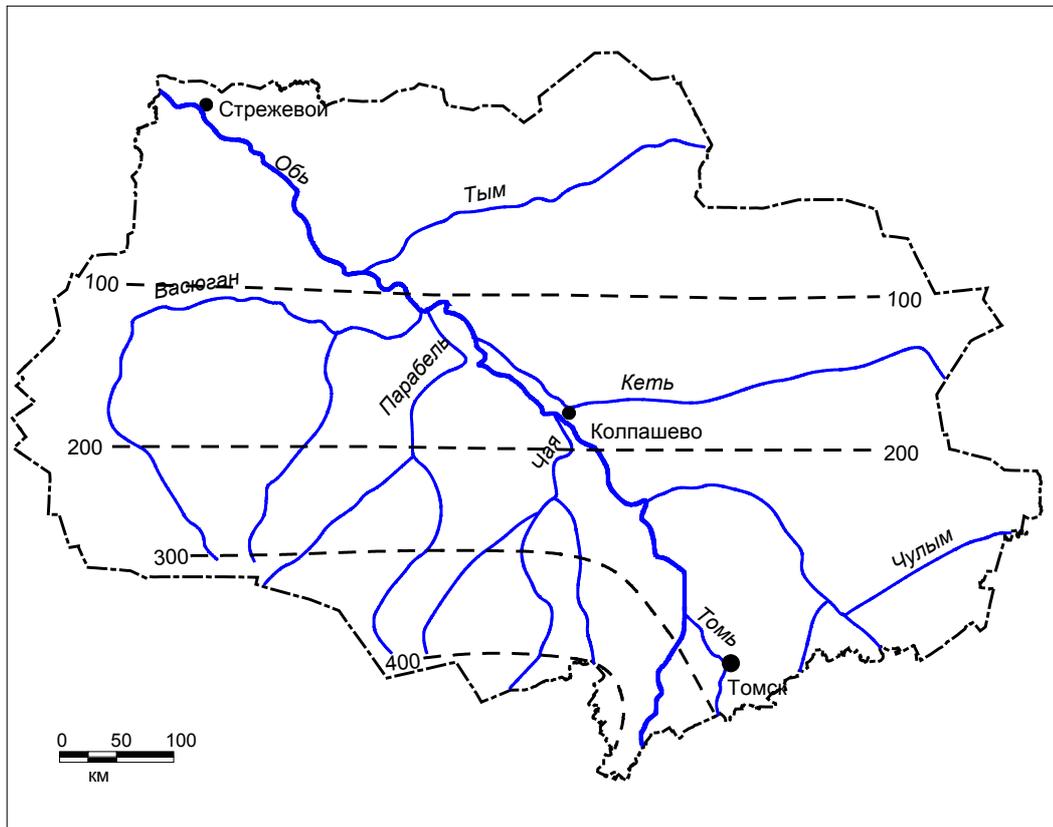


Рис.4.11. Схема изолиний значений $\Sigma_{ш}$ (мг/л) в водах средних рек бассейна Средней Оби

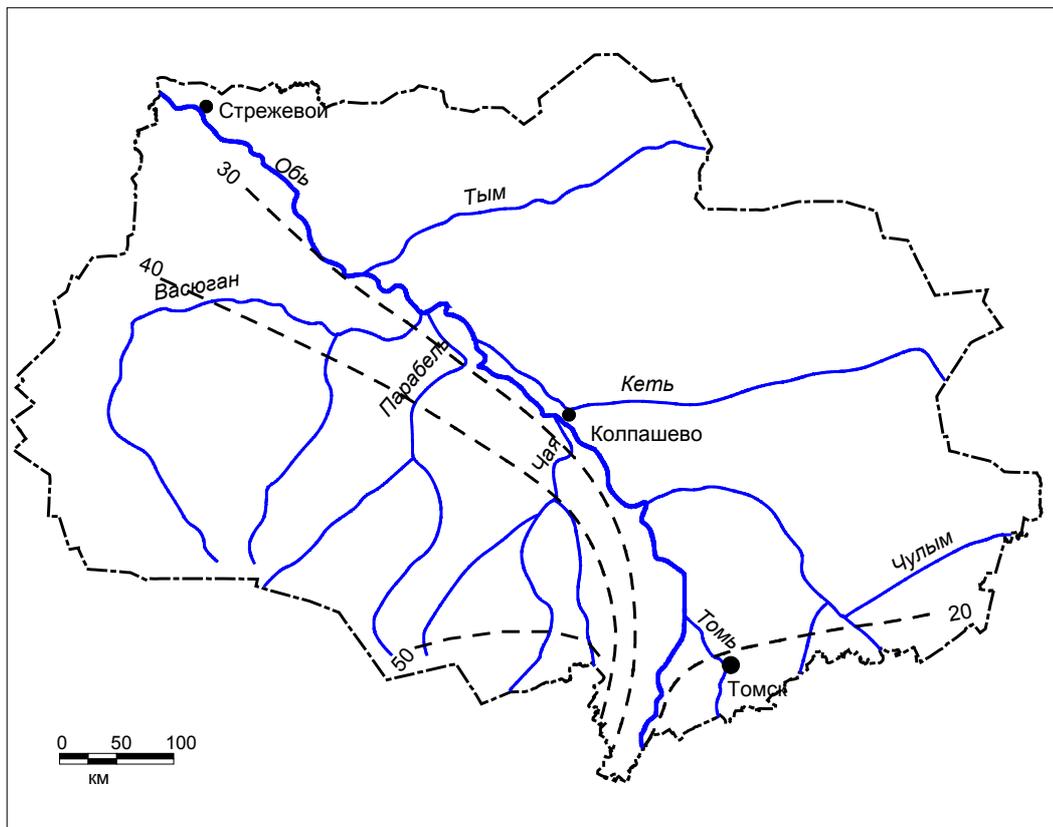


Рис.4.12. Схема изолиний значений ХПК (мгО/л) вод средних рек бассейна Средней Оби

4.3.3. Малые реки

Изменения химического состава вод малых водотоков в целом подчиняются тем же закономерностям, что и для средних рек, однако при этом достаточно часто характеризуются более широким диапазоном варьирования концентраций. Распределение по длине малых рек минерализации, ХПК и содержаний конкретных веществ в значительной мере определяется объемом и химическим составом подземных вод, дренируемых речной сетью, причем в ряде случаев может наблюдаться некоторое снижение содержаний Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- по длине рек [78, 131]. Заметное влияние на состав вод некоторых малых рек оказывает и сброс загрязненных стоков и/или сильноминерализованных подземных вод, используемых для поддержания пластового давления при нефтедобыче, в результате чего происходит существенное увеличение значений ХПК, концентраций Na^+ , Cl^- и других веществ в речных водах.

В целом же, можно отметить уменьшение минерализации вод малых рек по мере перехода от лесостепных к таежно-болотным и горным ландшафтам. Величина ХПК увеличивается с ростом заболоченности водосборов, причем значения более 50-70 мгО/л могут быть отмечены в водах малых рек практически на всей водосборной территории равнинных притоков Средней Оби, включая и правобережье. Вследствие более значительной, чем для средних рек, роли местных факторов, имеющих дискретный характер, для визуального представления особенностей пространственного распределения гидрохимических показателей малых рек целесообразно выполнять не проведение изолиний концентраций каких-либо веществ, а гидрохимическое районирование.

Имеющиеся данные наблюдений позволили построить схему гидрохимических районов для бассейна р. Томь, в соответствии с которой выделено 4 относительно однородных района, в том числе, район в нижнем течении Томи [117]. Для прочих участков рассматриваемой территории имеющиеся гидрохимические материалы не позволили провести подобную схематизацию геохимического состояния малых рек. Можно лишь отметить тот факт, что сумма главных ионов в водах малых рек сильно заболоченных территорий, как правило, меньше величины $\Sigma_{\text{и}}$, снятых со схемы (рис.4.11), а значения ХПК, напротив, больше, чем на рис.4.12.

5. Использование и охрана водных ресурсов

5.1. Использование водных ресурсов

Согласно данным ГУПР по Томской области, ТЦ «Томскгеомониторинг», ОГУ «Облкомприрода» [149-151, 155, 176-181], речные воды на территории Томской области используются для технического и сельскохозяйственного водоснабжения, отведения сточных вод, организации горячего водоснабжения, для нужд водного транспорта, а также в целях рыболовства и удовлетворения культурно-бытовых нужд. Кроме того, в речных поймах и на островах ведутся работы по добыче песчано-гравийного материала, накапливающегося в результате русловых процессов.

Всего в Томской области в 1996-2002 гг. функционировало более 450 организаций, в том или ином виде осуществляющих водопользование. Из них, в соответствии с существующими рекомендациями, по форме 2-ТП (водхоз) отчитывалось от 302 до 380 организаций (табл.5.1).

Таблица 5.1
Основные показатели водопользования в Томской области [149-151], млн. м³

Показатель	Отчетный год						
	1996 ¹	1997 ¹	1998 ¹	1999 ¹	2000	2001	2002
1	2	3	4	5	6	7	8
1.Количество отчитывающихся водопользователей по форме 2-ТП	380	370	370	358	351	322	302
2.Общее количество водопользователей (примерное)	490	490	490	490	489	489	460
3.Забор воды из водных объектов	181.5	168.2	162.5	724.4	654.4	665.1	633.0
в том числе поверхностных	49.2	46.1	44.6	588.1	520.4	525.5	491.3
в том числе подземных	132.3	122.1	117.9	136.3	134.0	139.6	141.7
4.Использование воды, всего	153.9	143.0	134.6	673.0	604.5	615.4	583.7
в том числе, на:							
4.1.хозяйственно-питьевые нужды,	83.8	75.8	68.1	75.6	78.1	77.2	73.6
4.2.производственные нужды	49.4	47.5	45.1	581.0	510.1	521.2	492.3
из них питьевого качества	17.7	15.2	12.5	14.5	12.6	12.9	13.3
4.3.орошение	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2
4.4.сельхозводоснабжение	9.4	7.2	6.1	6.4	6.0	4.9	4.4

1	2	3	4	5	6	7	8
5.Расходы в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения	301.2	370.8	358.8	1998.1	2450.8	2545.3	2430.9
6.Потери при транспортировке	26.8	26.8	27.7	42.0	40.5	39.9	41.0
7.Безвозвратное водопотребление	73.1	70.8	67.6	136.3	139.7	126.3	127.2
8. Водоотведение, всего	118.6	105.8	102.9	595.5	514.7	538.9	509.8
8.1. из них в поверхностные водные объекты	108.4	97.5	95.0	588.0	514.7	538.8	505.8
в том числе:							
8.1. загрязненных вод, всего	31.6	21.9	19.3	18.6	15.9	19.2	18.9
а) без очистки	17.8	9.2	6.5	6.6	4.2	6.7	6.4
б) недостаточно-очищенных	13.8	12.7	12.8	12.0	11.7	12.5	12.6
в) нормативно-чистых	0.5	0.5	0.5	495.8	425.9	445.7	413.7
г) нормативно-очищенных	76.3	75.1	75.2	73.6	72.9	74.0	73.2
8.2. водоотведение в подземные горизонты	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
9.Мощность очистных сооружений	102.0	101.7	102.6	103.0	105.7	104.8	105.1

1 – до 1999 г. не учитывались данные по Сибирскому химическому комбинату

5.1.1. Водопотребление

Основная часть общего потребления воды на территории Томской области осуществляется из поверхностных источников. При этом максимальная нагрузка, приходящаяся на р. Томь (табл.5.2), связана с техническим водоснабжением Сибирского химического комбината. Без учета СХК картина водопотребления в Томской области меняется радикально – доля забора поверхностных вод сокращается с 79-81 % до 19-24 %. Одновременно с этим сокращением резко возрастает и доля вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, которое производится на 90-92 % из подземных источников. Причем поверхностные воды (без учета г. Северск) используются только в Томском и Асиновском районах, главным образом – для горячего водоснабжения [153].

Используемая вода забирается из источников, расположенных целиком на территории области. Забор воды для перераспределения стока не производится.оборотное и повторно-последовательное водоснабжение 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 оборотного и повторно-последовательного водоснабжения приходится на Сибирский химический комбинат (более 70 % от всего объема по области). Использование воды предприятиями Томской области с учетом показателей, применяемых МПР России, в целом осуществляется достаточно эффективно [151, 155].

Таблица 5.2

Водопользование на территории Томской области по водосборам рек в 2002 г. (данные ГУПР по Томской области), млн.м³

Водосбор реки	Забор воды		Использовано воды		Водоотведение	
	всего	в т.ч. поверхностных	всего	в т.ч. поверхностных	всего	в т.ч. содержащих ЗВ
р. Томь	597.91	491.16	550.76	480.81	492.11	78.46
р. Чулым	3.55	0.00	3.26	0.00	1.49	1.49
р. Обь без рр. Томь и Чулым	31.53	0.12	29.69	0.12	12.15	12.12
Всего	632.99	491.28	583.71	480.93	505.75	92.07

5.1.2. Водоотведение

Водоотведение осуществляется преимущественно в р. Томь и ее притоки. В структуре сточных вод преобладают нормативно чистые и нормативно очищенные воды (табл. 5.1), 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 принимаемых сточных вод по Томской области несоизмеримо меньше [149-151].

Несмотря на относительно небольшой объем сбрасываемых недостаточно очищенных и неочищенных сточных вод, с ними в поверхностные водные объекты поступает значительное количество загрязняющих веществ, среди которых преобладают неорганические соли. В меньших, но все-таки, значительных количествах в ре-

ки, озера и болота сбрасываются взвешенные вещества и органические соединения (табл.5.3). Согласно данным ГУПР по Томской области, в структуре отдельно идентифицируемых веществ преобладают сульфаты, хлориды, магний, кальций, нитраты, азот аммонийный, железо, кремний и некоторые другие вещества [151].

Таблица 5.3

Некоторые загрязняющие вещества, поступившие в водные объекты на территории Томской области в 2001 и 2002 гг. [151], т/год

Вещество	В бассейне р. Чулым		В бассейне р. Томь		В бассейне р.Обь с учетом рр. Томь и Чулым	
	2001 г.	2002г.	2001 г.	2002 г.	2001 г.	2002 г.
1	2	3	4	5	6	7
Объем сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, млн.м ³	1.47	1.49	79.57	78.46	93.11	92.07
Взвешенные вещества	170	230	3900	3280	4820	4260
Минеральные соли по сухому остатку	700	740	48840	47830	54250	53640
Сульфаты	30	40	7060	7510	7310	7690
Хлориды	50	60	4380	4710	5020	5390
Кальций	0.00	0.00	4935.4	5220	4935.41	5220
Магний	0.00	0.00	1035.8	1189	1035.78	1189
Натрий	0.00	0.00	13.18	10	13.18	10
Нитраты	14.29	9.70	4061.2	3174.5	4423.28	3624.81
Нитриты	0.32	0.98	80.67	52.79	84.93	62.06
Азот аммонийный	29.43	25.29	352.86	351.62	537.72	505.93
Фосфор общий	2.72	1.16	144.85	167.07	165.54	187.74
Кремний	0.00	0.00	139.01	351.1	139.01	351.1
Железо	3.38	5.9	108.47	76.23	142.56	114.94
Фтор	0.00	0.00	164.19	101.17	164.20	101.41
Фторреагенты	–	0.00	–	21.88	–	21.88
Алюминий	0.01	0.00	0.49	2.48	0.50	2.48

1	2	3	4	5	6	7
Медь	0.00	0.00	0.01	0.40	0.01	0.40
Марганец	0.00	0.00	0.16	0.15	0.16	0.15
Цинк	0.00	0.00	3.72	0.46	3.72	0.46
Свинец	–	0.00	–	0.17	–	0.17
Ртуть	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Кадмий	–	0.00	–	0.00	–	0.00
Никель	–	0.00	–	0.11	–	0.11
Органические вещества по БПК _{полн.}	100	110	800	710	1780	1700
Органические вещества по ХПК	0.00	30	590	1220	1220	2410
Нефтепродукты	0.00	0.00	70	60	80	70
Фенолы	0.01	0.02	0.04	0.08	0.09	0.14
СПАВ	0.57	0.74	4.38	4.03	9.5	8.95
Углеводороды ароматические	–	0.00	–	0.00	–	0.00
Карбамид	–	0.00	–	398.07	–	398.07

5.1.3. Другие виды использования рек

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 АО «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 АО «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. До 1995 г. проводилась русловая добыча песчано-гравийной смеси (ПГС) в русле р. Томь в объеме до 4 млн.м³/год и более [176]. В настоящее время добыча ПГС осуществляется на островных и пойменных месторождениях [150]. Кроме того, в рус-

лах рек проводятся дноуглубительные работы для нужд водного транспорта, сопровождающиеся изъятием речных наносов.

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 [181].

Использование рек в Томской области в целях рекреации осуществляется преимущественно вблизи населенных пунктов. Места отдыха, чаще всего, специально не оборудованы, а речные воды не всегда отвечают санитарным нормативам по причине их биологического и химического загрязнения [149]. Достаточно специфический способ использования рек 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 запрещенного, а до 1950-1960-х гг. – в целях гидроэнергетики, причем плотина Иксинской ГЭС в районе с. Подгорное существует до сих пор.

5.1.4. Водохозяйственный баланс Томской области

На основе данных Росгидромета и ГУПР по Томской области автором совместно с С.Ю. Краснощековым был рассчитан водохозяйственный баланс (ВХБ) за 1999-2001 гг. в соответствии с методикой, изложенной в [81]. Базовое уравнение ВХБ имеет вид

$$V_1 = Q_1 + Q_2 \pm \Delta Q_2 + Q_3 - Q_4 + Q_5, \quad (5.1)$$

где V_1 – водохозяйственный баланс (ВХБ): избыток (+) или дефицит (-) ресурсов речных вод на территории Томской области; Q_1 – поступление в область речных вод по речной сети; Q_2 – сумма речного стока, формирующегося в Томской области в естественных условиях, с учетом изменений запасов воды в речной сети; ΔQ_2 – происшед-

шие или ожидаемые изменения в формирующемся на участке речном стоке под влиянием антропогенной деятельности на водосборной площади; Q_3 – привлекаемые подземные воды, гидравлически не связанные с речным стоком (согласно [81], приняты равными $0.5 \times Q_{4.2}$); Q_4 – суммарный отбор речных ($Q_{4.1}$) и подземных ($Q_{4.2}$) вод; Q_5 – поступление в речную сеть сточных вод.

Полученный отчетный водохозяйственный баланс за 1999-2002 гг., отражающий современное состояние использования поверхностных и подземных вод, приведен в табл.5.4. Его анализ позволяет сделать вывод о наличии очень значительных объемов воды на территории Томской области, которые не используются в настоящее время и вряд ли будут использоваться, по крайней мере, в ближайшие годы.

Таблица 5.4

Водохозяйственный баланс Томской области за 1999-2002 гг. [151], млн. м³

Элемент ВХБ	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	Среднее за 1999-2003 гг.
<i>Приходная часть</i>					
Сток, поступающий на участок	103438	87418	124599	120814	109067
Сток, формирующийся на участке	54343	53933	57528	36967	50693
Изменение местного стока под влиянием антропогенной деятельности (из отчетности по форме 2-ТП (водхоз))	35	40	26	25	32
Привлекаемые подземные воды, гидравлически не связанные с рекой (ориентировочно – половина годового отбора подземных вод)	73	70	73	71	72
Поступление сточных вод	588	515	539	510	538
Итого – водные ресурсы	158476	141981	182764	158387	160402
<i>Расходная часть</i>					
Суммарный отбор речных и подземных вод	724	654	665	633	669
<i>Избыток речных вод</i>	157743	141321	182093	157754	159728
<i>Возможный сток на следующий по течению реки участок</i>	157743	141321	182093	157754	159728

5.2. Вредное воздействие речных вод

Помимо «полезного использования» речных вод на территории Томской области наблюдается значительное по масштабам вредное воздействие вод на хозяйственные объекты, связанное с затоплением и подтоплением больших территорий (включая и населенные пункты) в период весеннего половодья, а также с неблагоприятным развитием русловых процессов на реках. Ниже приведена краткая характеристика этих воздействий по материалам ТЦ «Томскгеомониторинг» [151, 155].

5.2.1. Затопление и подтопление территорий

Анализ данных многолетних наблюдений Росгидрометслужбы показал, что с обеспеченностью примерно 50 % во время весеннего половодья следует ожидать выход речных вод на пониженные участки речных пойм в г. Томск, Томском, Кожевниковском и Шегарском районах – на глубину до 0.5 м; в Александровском, Каргасокском (левобережье р. Обь), Парабельском, Чаинском, Бакчарском, Кривошеинском, Тегульдетском, Первомайском районах – на глубину от 0.5 до 2 м; в Каргасокском (правобережье р. Обь), Колпашевском, Молчановском, Верхнекетском, Асиновском, Зырянском районах – на глубину свыше 2 м.

В экстремальных случаях (с вероятностью около 1 %) вероятно более сильное затопление речных пойм в Александровском, Каргасокском, Парабельском, Чаинском, Бакчарском, Первомайском районах – более чем на 6 м; в Шегарском районе – более чем на 1.5 м; в г. Томск в районах Черемошники, Исток и вдоль р. Ушайка – более чем на 0.5 м.

5.2.2. Разрушение берегов и хозяйственных объектов речными водами

На территории Томской области достаточно широко распространены процессы размыва речных берегов и ограждающих дамб [151, 174]. Обобщение данных наблюдений, проведенных в разное время в ТГУ, ТГРЭ, ТЦ «Томскгеомониторинг» показало, что скорости размыва в пределах населенных пунктов изменяются от 2.5-9.0 м/год (с. 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. Разрушению подвергаются защитные дамбы в г. Томск, г. Асино, с. Подгорное, с. Могочино.

5.3. Охрана вод

Охрана вод на территории Томской области осуществляется посредством нормирования и лицензирования водоотбора, водоотведения и сбросов загрязняющих веществ в водные объекты, оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, установления водоохраных зон и защитных полос, государственного контроля водохозяйственной деятельности на всех этапах от проектирования до эксплуатации производственных и жилых объектов, объектов инфраструктуры, очистки сточных вод [149-151, 176-181].

Уже на уровне составления и утверждения лицензии на водопользование и в процессе водохозяйственной экспертизы проектов строительства и реконструкции различных объектов устанавливается комплекс мероприятий по мониторингу состояния и защите водного объекта от неблагоприятных антропогенных воздействий, которые предприятие-водопользователь должно неукоснительно выполнять так же, как и выдерживать объемы водозабора и водоотведения в пределах установленных лимитов. Государственный контроль за соблюдением природоохранного законодательства осуществляет ГУПР по Томской области во взаимодействии с Администрацией Томской области [155, 181].

Результаты проверок очистных сооружений, оценки качества очищенных и неочищенных сточных вод и состояния водных объектов, принимающих стоки, публикуются в ежегодных информационных бюллетенях ТЦ «Томскгеомониторинг», обзорах ОГУ «Облкомприрода» и отчетах ГУПР по Томской области. Обобщение этих данных за 1990-2000-е гг. показало следующее.

Во-первых, по предварительным оценкам, не менее 3-5 % переносимых с водами рр. Обь и Томь соединений азота и легко окисляемых органических веществ по величине $BPK_{полн.}$ имеют антропогенное происхождение, а для нефтепродуктов этот показатель составляет уже не менее 20-40 % [125, 126, 135]. Как следствие, ниже по течению от населенных пунктов отмечается определенное увеличение значений некоторых гидрохимических показателей (рис.5.1). Во-вторых, ведущую роль в формировании содержания нефтепродуктов, пестицидов, соединений азота и ряда других веществ играют не сосредоточенные выпуски сточных вод, а поверхностный

смыв с территории населенных пунктов, промплощадок, дорог и поступление из загрязненного выбросами предприятий атмосферного воздуха (табл.5.5, 5.6).

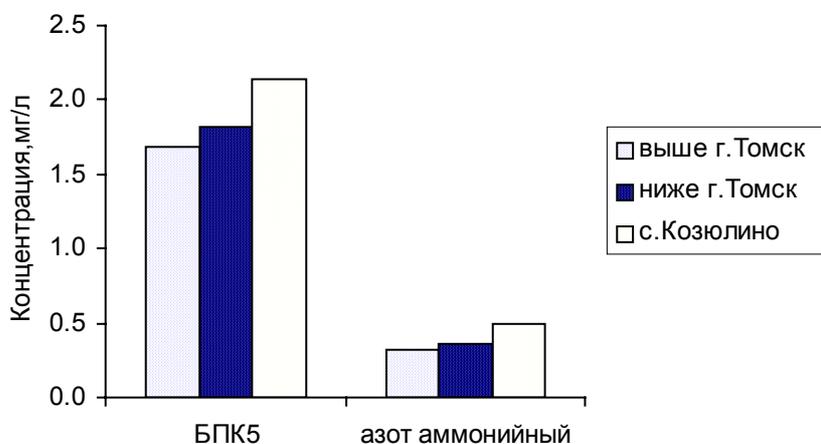


Рис.5.1. Изменение средних за 1991-2002 гг. значений БПК₅ и концентраций азота аммонийного в водах р. Томь

Таблица 5.5

Вынос некоторых веществ с тальми и дождевыми водами в водные объекты с территории населенных пунктов, дорог и промышленных зон в Томской области¹, т/год

Вид водного стока	Показатель	Год					
		1995	1996	1997	1998	1999	2000
дождевой	БПК ₅	4491	6065	4478	5007	3807	4607
то же	нефтепродукты	4618	6237	4605	5149	3915	4737
талый	БПК ₅	20435	17007	17144	17281	21121	19475
то же	нефтепродукты	3273	2724	2746	2768	3383	3120
поливомоечный	нефтепродукты	1177	1177	1177	1177	1177	1177
суммарный с территории населенных пунктов	БПК ₅	24926	23072	21622	22288	24928	24082
то же	нефтепродукты	9068	10138	8528	9094	8475	9034

¹ – методика расчетов приведена в [135]

Таблица 5.6.

Составляющие гидрохимического баланса территории Томской области, т/год

Показатель	Год	Разница между стоком и притоком вещества на территорию области	Сток с сели-тебн. терри-торий	Сброс по 2-тп (водхоз) ¹	Выброс в атмо-сферу по 2-тп (воздух)
1	2	3	4	5	6
БПК ₅	1995	772877	24926	2359 ²	–
	1996	662051	23072	1253	–
	1997	616639	21622	1008	–
	1998	319868	22288	1015	–
	1999	346313	24928	762	–
	2000	193251	24082	763	–
Нефте-продук-ты	1995	39854	9068	100	126731 ³
	1996	–	10138	60	25000
	1997	–	8528	40	24560
	1998	28054	9094	–	27790
	1999	22239	8475	–	43356
	2000	–	9034	30	–
Fe	1995	24022	–	67	–
	1996	–	–	162	–
	1997	–	–	73	–
	1998	45142	–	67	–
	1999	64232	–	87	–
	2000	–	–	82	–

1 – данные приведены без учета г. Северска; 2 – сброс по БПК_{полн} пересчитано на БПК₅ (70% от БПК_{полн}); 3 – выброс в атмосферный воздух углеводородов; методика расчетов приведена в [135]

В то же время, некоторые вещества поступают в водные объекты в основном вследствие воздействия природных факторов. Например, повышенный уровень содержания в речных водах железа, судя по данным табл.5.6, связан не со сбросом сточных вод, а с сильной заболоченностью водосборных территорий.

В начале 2000-х гг. на территории Томской области функционировали 52 выпуска сточных вод без очистки или нормативно чистых вод и 81 очистное сооружение, 49 из которых – с биологической очисткой, причем в большинстве случаев состояние очистных сооружений оценивается как неудовлетворительное [150, 151]. Од-

нако, несмотря на систематически отмечаемые нарушения, реальное влияние сосредоточенных и контролируемых в настоящее время водовыпусков (с учетом погрешности определения гидрохимических показателей) на качество вод р. Обь в целом незначительно (табл.5.7). Более ощутимо данный фактор влияет на содержания некоторых веществ в водах р. Томь и ряда малых рек (табл.5.8).

Таблица 5.7

Расстояния, в пределах которых достигается 90 % смешение сточных вод и вод притоков с водами р. Обь в период зимней межени [151]

Объект	Расстояние, среднее за 1999-2000 гг., км
Дом-интернат "Лесная дача"	0.3
р. Томь	109.8
р. Шегарка	13.6
Кривошеинское ПОЖКХ	0.3
р. Чулым	139.6
КФ "ТомскАвиа"	0.1
КМП "Водоканал" г. Колпашево	0.2
МП ЖКХ-2, Колпашевский район	2.0
р. Чая	71.9
р. Кеть	165.2
р. Парабель	69.9
Каргасокский рыбзавод	<0.1
ПОЖКХ с. Каргасок	0.2
р. Васюган	125.3
р. Тым	118.9
ПОЖКХ с. Александровское	0.1
МП "Стрежевойкоммунхоз"	0.7

Таким образом, среди антропогенных факторов, сказывающихся на качестве речных вод Томской области, организованный сброс сточных вод имеет важное, но не определяющее значение, поскольку достаточно большое количество загрязняющих веществ поступает в водные объекты в результате аварийных (не всегда учитываемых) ситуаций, загрязнения атмосферного воздуха, поверхностного стока с селитебных территорий и дорог и т.д. В связи с этим особое значение приобретает обустройство водоохраных зон (ВЗ). Однако решить проблему создания таких зон далеко не просто, так как большинство населенных пунктов Томской области расположено как

раз по берегам рек, а обустройство водоохраных зон часто сопряжено с ликвидацией и/или переносом хозяйственных объектов. Тем не менее, в настоящее время разработано более 60 проектов ВЗ на притоках рр. Обь, Томь, Чулым и Шегарка, вынесено в натуру около 800 км прибрежных полос, с территории ВЗ удалено несколько источников загрязнения, проводятся соответствующие работы в бассейне р. Васюган [150, 151, 155].

Таблица 5.8

Химический состав речных вод выше и ниже сосредоточенных выпусков сточных вод в 2002 г. [151], мг/л

Показатель	Выпуск предприятия – водный объект-водоприемник (месяц наблюдений)							
	ЗАО «НОПСВ» р. Томь, июль		Туганская ПТФ р.Б.Киргизка, июнь		Томскводоканал р.Кисловка, июль-агуст		ЖКХ Парабель р.Вяловка, июль-август	
	выше	ниже	выше	ниже	выше	ниже	выше	ниже
pH	8.7	8.7	7.9	7.9	8.05	8.10	6.77	7.03
Ca ²⁺	30.1	30.1	–	–	51.6	54.6	29.4	55.4
Mg ²⁺	6.1	6.1	–	–	8.8	9.4	9.7	8.9
Na ⁺ + K ⁺	7.9	7.9	–	–	8.4	5.9	1.4	5.8
HCO ₃ ⁻	91.5	91.5	237.9	244.0	204.4	204.4	81.3	207.4
Cl ⁻	2.2	2.2	3.5	3.5	2.4	4.4	2.6	5.0
SO ₄ ²⁻	6.1	8.6	1.5	1.5	11.6	11.4	0.3	0.3
азот NH ₄ ⁺	0.07	0.23	0.42	0.42	0.71	0.64	1.27	1.47
азот NO ₂ ⁻	<0.01	<0.01	0.16	0.16	0.015	0.018	0.110	0.137
азот NO ₃ ⁻	<0.01	<0.01	2.72	3.04	1.57	2.06	0.93	0.53
фосфаты	0.06	0.06	0.19	0.14	–	–	0.16	0.37
Fe _{общ.}	0.16	0.15	0.50	0.53	1.74	2.43	3.49	3.26
Cu	0.0007	0.0007	0.0011	0.0023	–	–	0.003	0.004
Zn	0.0012	0.0048	0.0032	0.0012	–	–	0.012	0.014
Pb	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004	–	–	0.001	0.001
Mn	0.030	0.060	0.076	0.075	–	–	0.390	0.390
фенолы	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
нефтепродукты	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.060	0.033	0.027	0.040
ХПК	7.04	7.90	21.25	18.70	63.68	65.03	104.33	93.33
БПК ₅	5.4	6.0	1.3	2.0	2.45	2.75	11.80	9.53

Заключение

В пределах Томской области сосредоточены очень значительные ресурсы речных вод, только малая часть которых используется человеком в настоящее время. По крайней мере, в ближайшие 10-15 лет (при условии отсутствия резких изменений политических и социально-экономических условий в России, подобных тем, что имели место в 1930-1960-х гг.) избыток неиспользуемого речного стока в целом по бассейну Средней Оби сохранится. В то же время, на отдельных его участках в водосборах рр. Томь и Чулым при определенных условиях возможны проблемы с критически низким меженным водным стоком. В частности, при увеличении водопотребления в Кузбассе вероятно снижение зимних расходов воды р. Томь у г. Томск, а это негативно скажется на качестве речных вод и состоянии водной экосистемы из-за ухудшения условий разбавления сбрасываемых в реку стоков.

В целом, наиболее серьезные ограничения по использованию речных вод на территории Томской области связаны не с их дефицитом, а с несоответствием качества вод российским нормативам по величине ХПК и БПК₅, содержанию микроорганизмов, нефтепродуктов (по методу ИК-спектрометрии), NO₂⁻, NH₄⁺, Fe, Mn, Cu, Zn, Mn и ряда других веществ. При этом необходимо отметить, что использование термина «загрязнение» для описания ситуации, связанных с повсеместным нарушением установленных ПДК, во многих случаях некорректно, поскольку повышенные (относительно ПДК) значения ХПК, концентрации фульво- и гуминовых кислот, железа, азота аммонийного и нитритного, марганца, меди и других веществ достаточно часто связаны с действием природных факторов.

Одним из них является интенсивность водообмена, со снижением которой увеличивается минерализация и величина ХПК речных вод, уменьшаются концентрации растворенного кислорода. Другой важнейший природный фактор – заболоченность речных водосборов, причем большое значение имеет соотношение болот низинного и верхового типов. В результате совместного влияния этих двух факторов наибольшие содержания трудноокисляемых органических веществ обычно приурочены к малым и средним рекам заболоченных территорий с преобладанием низинных болот. Сильная заболоченность водосборов предопределяет и повышенный уровень содержания биогенных веществ в речных вод, причем содержание Fe увеличивается по мере возрастания в общей заболоченности доли верховых болот. Данный факт объясняется обра-

зованием подвижных соединений железа с ФК, наибольшие концентрации которых чаще всего характерны именно для верховых болот. По той же причине в речных водах заболоченных территорий увеличивается содержание некоторых микроэлементов.

На этом фоне проявляется и антропогенное влияние на химический состав речных вод. Степень и характер воздействия хозяйственной деятельности человека на содержания тех или иных компонентов неодинаковы. В наименьшей степени оно сказывается на минерализации, содержаниях Ca^{2+} и HCO_3^- , в наибольшей – на уровне содержания некоторых органических и биогенных веществ, причем во многих случаях происходит, прежде всего, активизация уже существующих миграционных циклов веществ. Кроме того, в водные объекты в результате хозяйственной деятельности поступают некоторые химические элементы и соединения преимущественно или только техногенного происхождения. Эти вещества находятся в речных водах, как правило, в микроколичествах, но все же именно они представляют наибольшую опасность в процессе водопользования.

Как показал анализ обширной гидрохимической и гидробиологической информации, в 1970-2002 гг. периодически наблюдается увеличение или уменьшение в течение 1-2 или даже нескольких лет минерализации, значений ХПК и БПК₅, концентраций конкретных веществ. Однако говорить о наличии явно выраженных тенденций изменения в течение последних 25-30 лет химического состава речных вод было бы преждевременно, поскольку эти изменения, чаще всего, укладываются в диапазон погрешностей определения гидрохимических показателей и/или определяются колебаниями водного стока.

В целом, при оценке антропогенного влияния на водные объекты, различных гидрологических, гидрохимических и водохозяйственных прогнозах, нормировании антропогенных воздействий необходимо учитывать, что большие, средние и малые реки отличаются друг от друга химическим составом своих вод и условиями его формирования. В наибольшей степени от местных природных и антропогенных факторов зависит химический состав вод малых рек, причем в их верховьях гидрохимические показатели речных вод близки к соответствующим показателям подземных вод. По этой причине использование данных о химическом составе воды малых рек в их верхнем течении в качестве «фоновых» характеристик при определении антропогенных изменений качества вод этих рек в среднем и нижнем течении, а тем более вод средних и больших рек, нецелесообразно.

Химический состав вод средних рек на территории Томской области в основном подчиняется зональным природным закономерностям и определяется преимущественно природными факторами, в первую очередь – интенсивностью водообмена и заболоченностью водосборов. Минерализация вод этих рек уменьшается от 300-400 мг/л и более в бассейне рр. Шегарка и Чая до 100 мг/л и менее в водах рр. Тым и Пайдугина. Качество вод средних рек обычно несколько лучше, чем качество вод малых водотоков, протекающих в пределах их водосборов. Тем не менее, использование воды и малых, и средних рек для питьевого водоснабжения затруднено из-за высоких концентраций органических и биогенных веществ.

Химический состав вод больших рек в наименьшей степени зависит от локальных факторов и подчиняется только наиболее общим зональным закономерностям. При движении водных масс вниз по течению отмечается уменьшение минерализации и увеличение значений ХПК вод р. Обь по мере притока вод с заболоченных территорий Томской области. ХПК вод р. Томь также возрастает от верховий к устью, что объясняется и эффектом «накопления» сбросов сточных вод по длине реки, и увеличением ХПК вод притоков Томи в ее нижнем течении. Иная тенденция характерна для изменения минерализации вод р. Томь, максимумы которой обычно приурочены не к нижнему, а среднему течению данной реки, несмотря на увеличение суммарного объема сточных вод от г. Междуреченск до устья. Из этого можно сделать вывод о наличии достаточно мощного механизма саморегуляции химического состава речных вод, наибольшая эффективность которого характерна именно для больших водотоков.

Другой вывод, вытекающий из анализа пространственно-временных изменений химического состава речных вод, заключается в том, что наиболее оптимальный подход к охране рек заключается в широкомасштабном обустройстве водоохраных зон и ужесточении санкций за нарушение режима ведения хозяйственной деятельности в пределах этих зон в сочетании с повышением эффективности очистки сточных вод и снижением выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. При удовлетворительном выполнении этих мероприятий и разработке оптимальных по стоимости методов водоподготовки водные проблемы в Томской области, в отличие от большинства регионов мира, достаточно длительное время не будут являться ограничивающим фактором социально-экономического развития данной территории.

Литература

1. Агарков С.Г., Дробот Е.А., Дружинин И.П. и др. Природа многолетних колебаний речного стока. – Новосибирск: Наука, 1976. – 336 с.
2. Алекин О.А. Гидрохимия рек СССР. Бассейн р. Оби. – Тр. ГГИ, Вып. 15(69), 1949, С.82-97.
3. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
4. Андросова Н.В., Аношин Г.Н., Бадмаева Ж.О. и др. Комплексные исследования крупных водохранилищ Сибири // Матер. научн.конф. «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия».- Томск: изд-во НТЛ, 2002, С.304-308.
5. Белицкая Е.А., Гузняева М.Ю., Кадычагов П.Б. и др. Органические примеси в водах Средней Оби // Экология пойм сибирских рек и Арктики. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999, С.122-129.
6. 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, Вып.2. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001, С.21-43.
7. 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.
8. Богословский Б.Б. Основы гидрологии суши. – Минск: Изд-во Белорусского гос. ун-та, 1974. – 214 с.
9. Бондарев А.А., Шульга И.Ю. Гидрохимия водных объектов западной части КА-ТЭКА. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 46 с.
10. Брюханов В.А. Очерк истории гидрологических наблюдений и исследований в бассейне р. Оби // Обской вестник, 1996, № 1, С.84-92.
11. Бураков Д.А. Кривые добегания и расчет гидрографа весеннего половодья. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1978. – 129 с.
12. Варшал Г.М., Кашеева И.Я., Сироткина И.С. и др. Изучение органических веществ поверхностных вод и их взаимодействия с ионами металлов // Геохимия, 1979, № 4, С.598-607.
13. Варшал Г.М., Кашеева И.Я., Велюканова Т.К. и др. Исследование состояния микроэлементов в поверхностных водах. – В кн.: Геохимия природных вод. Тез. докладов междунаrodn. симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1985, С.205-215.

14. Варшал Г.М., Нестеров А.А., Хушвахтова С.Д. и др. Комплексообразование свинца (Pb) с гумусовыми кислотами и влияние этих процессов на подвижность свинца в водах и почвах // Прикладная геохимия. Вып.2. Экологическая геохимия. – М.: ИМГРЭ, 2001, С.459-473.
15. Васильев О.Ф., Атавин А.А., Мальгин М.А., Савкин В.М. Оценка водохозяйственной и экологической ситуации на Томь и ее водосборном бассейне // Обской вестник, 1997, № 1, С.21-26.
16. Васильев О.Ф., Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Попов В.А. Водохозяйственные и экологические проблемы Новосибирского водохранилища // Водные ресурсы, 1997, № 5, С.581-589.
17. Веницианов Е.В. Физико-химические процессы в поверхностных водах // Водные проблемы на рубеже веков. – М.: Наука, 1999, С.241-255 с.
18. Вернадский В.И. Химические элементы, их классификация и формы их нахождения в земной коре // в кн.: Очерки геохимии. - Л.: Горгеонефтеиздат, 1934, С.23-50.
19. Вернадский В.И. Живое вещество в химии моря. – В кн.: Биогеохимические очерки. – М.: Изд-во АН СССР, 1940, С.25-46.
20. Вернадский В.И. Химический состав живого вещества в связи с химией земной коры // в кн.: Биогеохимические очерки. – М.: Изд-во АН СССР, 1940, С.9-24.
21. Виссмен У. мл., Харбаф Т.И., Кнэпп Д.У. Введение в гидрологию. – Гидрометеоздат, 1979. – 470 с.
22. Водные ресурсы СССР и их использование. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 302 с.
23. Водные ресурсы тайги. – Иркутск: Изд-во Сиб. отделение АН СССР. – 184 с.
24. Воды России (состояние, использование, охрана). 1996-2000 гг. – Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. – 254 с.
25. Воротников Б.А., Кусковский В.С., Аношин Г.Н. Особенности химического состава природных вод Новосибирского водохранилища // Обской вестник, 1999, № 3-4, С.48-61.
26. Воротников Б.А., Кусковский В.С. Эколого-геохимическое состояние природных вод Новосибирского водохранилища // География и природные ресурсы, 2001, № 1, С.41-47.
27. Всеволожский В.А. Ресурсы подземных вод южной части Западно-Сибирской низменности. – М.: Наука, 1973. – 88 с.
28. Гидрохимические показатели окружающей среды. – М.: Эколайн, 2000. – 148 с.

29. Глаголева М.А. Формы миграции элементов в речных водах // К познанию диagenеза осадков. – М.: АН СССР, 1959, С.5-28.
30. Головина В.В., Еремина А.О., Головин Ю.Г. и др. Сезонная и пространственная динамика концентраций химических элементов в воде р. Урюпа // Водные ресурсы, 1996, № 5, С.548-555.
31. Гольдберг В.М., Путилина В.С. Органические загрязнители атмосферы и снежного покрова // Геоэкология, 1997, № 4, С.30-39.
32. Гордеев В.В., Власова И.Э. Растворенные тяжелые металлы в бассейне Иртыша-Оби: высок ли уровень их техногенного загрязнения? – В кн.: Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. – Томск: Изд-во «РАСКО», 2002, С.72-86.
33. ГОСТ 17.1.2.04-77. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.-М.:Государственный комитет СССР по стандартам, 1977. – 17 с.
34. ГОСТ 17.1.3.07-82. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. - М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982. – 12 с.
35. Гузньева М.Ю. Нефтепродукты и продукты органического синтеза в компонентах окружающей среды. Автореф. на соиск. учен. степени к.х.н. Томск: Институт химии нефти СО РАН, 2003. – 25 с.
36. Двуреченская С.Я., Савкин В.М., Смирнова А.И., Булычева Т.М. Пространственная и временная динамика гидрохимического режима Новосибирского водохранилища // География и природные ресурсы, 2001, № 2, С.49-54.
37. Добежина Н.Л., Калинин В.М. Источники и динамика нефтяного загрязнения речных вод бассейна Оби в пределах Ханты-Мансийского автономного округа // Водное хозяйство России, 2000, Т.1, № 1, С.8-23.
38. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. – М.: Изд. центр ВЛАДОС, 1999. – 384 с.
39. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. – СПб.: Из-во «Анатолия», 2000. – 250 с.
40. Дубровская Л.И., Ермашова Н.А. Об оценке грунтового стока малых рек Обь-Томского междуречья // Вестник Томск. гос. ун-та, 2003, № 3 (IV), Приложение, С.131-133.
41. Евсеева Н.С. География Томской области (природные условия и ресурсы). – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2001. – 223 с.

42. Езупенок Е.Э., Золотарева А.Н., Инишева Л.И. Зольный состав торфов олиготрофного болота // Матер. научн.-практ. конф. «Высокие технологии добычи, глубокой переработки и использования озерно-болотных отложений. – Томск: СибНИИ торфа СО РАСХН, центр ризографии, 2003, С.24-26.
43. 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.
44. Зверев В.П., Варванина О.Ю., Путилина В.С. Массопотоки нефтепродуктов в природных водах России // Геоэкология, 1996, № 2, С. 3-11.
45. Зверев В.П. Массопотоки подземной гидросферы. – М.: Наука, 1999. – 97 с.
46. Здвижков М.А., Шахова Т.Н. Эколого-геохимическое и гидрологическое состояние водных объектов бассейнов р. Васюган и р. Чая // Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды. Матер. Международн.конф. «Горно-геологическое образование в Сибири». Томск: Изд-во Томск.политехн.ун-та, 2001, С.33-37
47. Здвижков М.А., Шахова Т.Н., Сидоренко Т.Н., Смирнова Н.К. Эколого-геохимическое состояние водных объектов бассейнов р. Васюган и р. Чая // Обской вестник, 2001, № 1, С. 75-80.
48. Земцов В.А. Оценка чувствительности стока р. Томь к изменениям климатических характеристик // География и природные ресурсы. – 1998, № 8, С.176-183.
49. Земцов В.А., Паромов В.В., Савичев О.Г. Изменения водного стока крупных рек юга Западной Сибири в XX столетии // Матер. научн.конф. «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия».- Томск: изд-во НТЛ, 2002, С.321-324.
50. Земцов В.А. О многолетней изменчивости речного стока в Западной Сибири // Вестник Томск. гос. ун-та, 2003, № 3 (IV), Приложение, С.137-139.
51. Иваник В.М., Клименко О.А. Загрязнение поверхностных вод нефтепродуктами в Тюменской области и основные пути его предотвращения // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат, 1990, Т.СІХ, С. 46-55.
52. Инишева Л.И., Славнина Т.П. Биологическая активность почв Томской области. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1987. – 216 с.

53. Казаринов В.П., Конторович А.Э., Герасимова Л.М. Результаты изучения механической и химической денудации водосборов // Советская геология, 1965, № 9, С.63-73.
54. Карта торфяных месторождений Западной Сибири масштаба 1:1000000: Объяснительная записка / под ред. Р.Г. Матухина. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 33 с.
55. Кожевина Л.С. Микробные системы литосферы//Геозкология,1999, №4, С.304-309.
56. Колотов Б.А. Гидрогеохимия рудных месторождений. – М.: Недра, 1992. – 193 с.
57. Комлев А.М. Исследования и расчеты зимнего стока рек (на примере Западной Сибири). Труды ЗСРНИГМИ, 1973, вып.9. – 199 с.
58. Коновалов Г.С., Иванова А.А., Колесникова Т.Х. Микроэлементы в воде и во взвешенных веществах рек Азиатской территории СССР. – Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат, 1966, т.XLII, С.112-124.
59. Конторович А.Э., Берман Е.Л., Богородская Л.И. и др. Геохимия юрских и нижнемеловых отложений Западно-Сибирской низменности.– М.: Недра, 1971. –251 с.
60. 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.
61. Копылова Ю.Г., Зарубина Р.Ф., Ефимова А.Н. и др. Тяжелые металлы в водах юго-востока Западной Сибири // Основные проблемы охраны геологической среды. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995, С.119-122.
62. Копылова Ю.Г., Сметанина И.В., Марулева В.М. Экологическое состояние природных вод Коммунар-Балахчинской рудной зоны // Обской вестник, 1999, № 3-4, С.42-47.
63. Копылова Ю.Г., Зарубина Р.Ф., Сметанина И.В. и др. Распространенность ртути в водах юго-востока Западной Сибири // Матер. Международн. конф. «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства». – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2000, С.48-52.
64. Коронкевич Н.И. Структура водного баланса территории // Теория и методы управления ресурсами вод суши. – М.: Наука, 1982, С.53-68.
65. Коротова Л.Г., Шлычкова В.В., Никаноров А.М., Фадеев В.В. Содержание хлорорганических пестицидов в поверхностных водах России // Водные ресурсы, 1998, № 1, С.50-56.

66. Кортэ Ф., Бахадир М., Клайн В. и др. Экологическая химия: Пер. с нем. – М.: Мир, 1997. – 396 с.
67. Кочарян А.Г. Пути совершенствования нормативной базы качества воды источников водоснабжения РФ // Водные проблемы на рубеже веков. – М.: Наука, 1999, С.195-205.
68. Кузеванов К.И. Исследование техногенных изменений гидрогеологических условий г. Томска. Автореферат дис. на соиск. ученой степени канд. геол.-минерал. наук. – Томск: Томский политехн. ун-т, 1998. – 20 с.
69. Кузеванов К.И. Гидрогеологическая основа экологических исследований города Томска // Обской вестник, 1999, № 1-2, С.53-63.
70. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 200 с.
71. Ланбина Т.В., Подлипский Ю.И. Характеристика и баланс некоторых микроэлементов в воде и во взвешенных веществах Новосибирского водохранилища. – Тр. ЗапСибНИГМИ, 1985, вып. 77, С.42-53.
72. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 270 с.
73. Лобченко Е.Е., Циркунов В.В., Кушенова Н.И. и др. Динамика качества поверхностных вод Советского Союза в 1981-1985 годах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 335 с.
74. Львов Ю.А. Болотные ресурсы // Природные ресурсы Томской области. – Новосибирск: Наука, 1991, С.67-83.
75. Львов Ю.А., Базанов В.А., Березин А.Е. Географическое изучение процесса болотообразования на территории Томской области // Чтения памяти Ю.А. Львова. Сб. статей. – Томск: НТЛ, 1995, С.32-35.
76. Людвиг В.М. Техногенное загрязнение фтором в районе Форштадт города Новокузнецка // Обской вестник, 1999, № 3-4, С.117-120.
77. Максимова М.П. Антропогенные изменения ионного стока крупных рек Советского Союза // Водные ресурсы, 1991, № 5, С.65-69.
78. Макушин Ю.В., Савичев О.Г., Шинкаренко В.П., Кириленко Т.Д. Геохимическое состояние малых рек – притоков Томь // Материалы международн. конгресса «ЭКВАТЭК-2002», М., 2002, С.46.

79. 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.
80. Медовар А.М. Коэффициенты выноса пестицидов с водосборов // Метеорология и гидрология, 1987, № 9, С. 119-121.
81. Мелиорация и водное хозяйство. Т.5. Водное хозяйство. – М.: Агропромиздат, 1988. – 400 с.
82. Мур Дж. В., Раммамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. – М.: Мир, 1987. – 288 с.
83. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. – СПб.: «Крисмас+», 1999. – 232 с.
84. Наливайко Н.Г. Микрофлора подземных вод города Томска как критерий их экологического состояния. Автореферат дис. на соиск. ученой степени канд. геол.-минерал. наук. – Томск: Томский политехн. ун-т, 2000. – 21 с.
85. Наливайко Н.Г. Микробиологический состав родников города Томска // Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды. Матер. Международн.конф. «Горно-геологическое образование в Сибири». Томск: Изд-во Томск.политехн.ун-та, 2001, С.74-79.
86. 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.
87. Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимическое районирование Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы, 1990, № 4, С.77-83.
88. Нечаева Е.Г. Гидрохимическая обстановка в таежном Обь-Иртыше // География и природные ресурсы, 1994, № 1, С.110-117.
89. Никаноров А.М., Куцева П.П. Гидрохимические аспекты организации мониторинга на малых реках СССР//Экологические модели малых рек и водоемов. Тр. советско-датского симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1985, С.43-48.
90. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 312 с.
91. Никитин С.П., Земцов В.А. Изменчивость полей гидрологических характеристик в Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1986. – 204 с.
92. Новосельцев В.Н., Шумаков Б.Б. и др. Международный проект «Ока-Эльба» // Водоснабжение и санитарная техника, 1993, № 11/12, С.6-8.

93. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. – Спб.: НТЦ «АМЕКОС», 1993. – 233 с.
94. О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2000 году. Обзор. Ханты-Мансийск: НПЦ «Мониторинг», 2001. – 132 с.
95. Океанология. Химия океана. Т.1. Химия вод океана. – М.: Наука, 1979. – 518 с.
96. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. – М.: Наука, 1996. – 256 с.
97. Осипова Е.Ю. Геоэкология бассейна р. Томь и проблемы использования природных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Автореф. на соиск. учен. степени к.г.-м.н. – Томск: Томский гос. архитектурно-строительн. ун-т, 2000. – 20 с.
98. Основные гидрологические характеристики. Т.15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып.1. Верхняя и Средняя Обь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 488 с.
99. Папина Т.С., Третьякова Е.И. Гидрохимическое состояние и качество поверхностных вод бассейна Томь // Обской вестник, 1997, № 1, С.27-36.
100. Парначев В.П., Вишневецкий И.И., Макаренко Н.А. и др. Природные воды Ширинского района республики Хакасия. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2003. – 183 с.
101. Паромова В.Г., Паромов В.В. Статистический анализ расходов и уровней воды реки Томь в районе города Томска // Природокомплекс Томской области. Т.II. Биологические и водные ресурсы / под ред. П.И. Гончаренко. – Томск: Изд-во Томск.гос.ун-та, 1995, С.183-188.
102. Паромов В.В., Савельева Н.И., Василевская Л.Н. Процессы макроциркуляции и изменение речного стока в бассейнах Верхней и Средней Оби // Вестник Томск. гос. ун-та, 2001, №274, С.69-77.
103. Паромов В.В. Ресурсы речного стока бассейна Верхней Оби (современная оценка и тенденции изменения). – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2002. – 113 с.
104. Парфенова Г.К. Состояние качества воды рек Томь и Ушайки. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995. – 102 с.
105. Парфенова Г.К. Влияние урбанизации на сток растворенных веществ в бассейне р. Томь // Геоэкология, 2003, № 1, С.52-54.

106. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. Изд.2. – М.: «Высшая школа», 1975. – 342 с.
107. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.
108. Петрова О.Е., Копылова Ю.Г., Мартынова Т.Е. Геохимические условия травертинообразования (на примере бассейна р. Тугояковка) // Известия Томск. политехн. ун-та, 2002, Т.305, Вып.6, С.304-319.
109. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. – Новосибирск: ВО «Наука», 1993. – 168 с.
110. Пологова Н.Н., Лапшина Е.Д. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. Сб. статей. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002, С.174-179.
111. Поляков Б.В. Гидрологический анализ и расчеты. - Л.: Гидрометеиздат, 1946. – 480 с.
112. 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. – В кн.: Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. – Томск: Изд-во «РАСКО», 2002, С.220-243.
113. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
114. Посохов Е.В. Роль микроорганизмов в формировании химического состава природных вод // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат, 1987, Т.97, С. 82-95.
115. Рассказов Н.М., Туров Ю.П., Шварцев С.Л. Распределение органических компонентов в природных водах бассейна Верхней Оби по данным хромато-масс-спектрометрии // Основные проблемы охраны геологической среды. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995, С.144-146.
116. 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.
117. Рассказов Н.М., Савичев О.Г. Гидрогеохимические условия юго-востока Западной Сибири (на примере бассейна р.Томь) // Геоэкология, 1999, №4, с.314-320.
118. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.15. Вып.2. Алтай и Западная Сибирь. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 408 с.
119. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна. – М.: Недра, 1991. – 262 с.
120. Рогов Г.М., Попов В.К. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1985. – 192 с.
121. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
122. Романова Т., Хвощевская А.А., Акбашев Р., Чернобровкина И. Оценка экологического состояния вод в бассейне реки Тугояковка // Энергетика: экология, надежность, безопасность. Тр. IV Всероссийского студентческого научно-практического семинара. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2002, С.125-127.
123. Россия: речные бассейны / под ред. А.М. Черняева. – Екатеринбург: Изд-во «Аэрокосмоэкология», 1999. – 520 с.
124. Рузанова А.И., Воробьев Д.С. Трансформация донных сообществ в условиях нефтяного загрязнения // Экология пойм сибирских рек и Арктики. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999, С.71-78.
125. Савичев О.Г. Поступление антропогенных веществ в воды р. Томь // Мелиорация и водное хозяйство, 1998, №6, с.31-33.
126. Савичев О.Г. Экология реки Томь: антропогенное загрязнение и ресурсы вод // Инженерная экология, 1998, №4, с.25-34.
127. Савичев О.Г. Химический состав речных вод бассейна Верхней и Средней Оби // Вопросы географии Сибири. Вып.23. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1999, С.164-170.
128. Савичев О.Г. Прогноз качества речных вод (использование зависимостей между гидрохимическими и гидрологическими показателями на примере рек бассейна Оби) // Инженерная экология, 1999, № 2, С.46-53.
129. Савичев О.Г. Математическая модель формирования макрокомпонентного состава речных вод в условиях их антропогенного загрязнения // Матер. научн.конф.

- «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия».- Томск: изд-во НТЛ, 2000, С.436-440.
130. Савичев О.Г. Пространственные и временные изменения химического состава речных бассейна Средней Оби //География и природные ресурсы,2000,№2,С.60-66.
131. Савичев О.Г., Шинкаренко В.П., Кириленко Т.Д. и др. Эколого-геохимическое состояние вод р.Ушайки в летне-осенний период // Гидрогеология и инженерная геология. Геоэкология и мониторинг геологической среды. Мат-лы Международн.конф. «Горно-геологическое образование в Сибири». Томск: Изд-во Томск.политехн.ун-та, 2001, С.87-90.
132. 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.
133. Савичев О.Г., Нарожный Ю.К., Паромов В.В., Фахрутдинов Р.Ф. Химический и микробиологический состав водно-ледниковых объектов в бассейне р. Актру // Материалы гляциологических исследований, 2002, № 92, С. 187-191.
134. Савичев О.Г., Шварцев С.Л., Двуреченская С.Я. и др. Результаты геоэкологических исследований р. Томь в зимнюю межень. – В кн.: Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. – Томск: Изд-во «РАСКО», 2002, С.99-116.
135. Савичев О.Г. Антропогенное поступление железа и органических веществ в речные воды бассейна Средней Оби в пределах Томской области // Известия Томского политехнического университета, 2002, Т.305, Вып.6, С.405-414.
136. Савичев О.Г. Математическая модель формирования содержания тяжелых металлов в речных водах // Инженерная экология, 2002, № 1, С. 20-26.
137. 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.
138. Савичев О.Г., Колоколова О.В., Краснощеков С.Ю., Шварцева О.С. Водный режим реки Порос как индикатор природно-антропогенных процессов в Обь-Томском междуречье // Вестник Томск. гос. ун-та, 2003, № 3 (IV), Приложение, С.151-152.
139. Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 2000. – 152 с.
140. Санитарно-гигиенический очерк г. Кемерово. - Новосибирск, 1937.

141. 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.
142. Семенова Т.В., Татарина Н.И., Журба Н.В., Иренкова О.Г. О пространственных и временных колебаниях содержания некоторых загрязняющих веществ в р. Оби // Тр. Зап.-Сиб. регион. НИИ Госкомгидромета, 1988, № 84, С.3-8.
143. Славина Т.П. Азот в почвах элювиального ряда. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1978. – 391 с.
144. Сметанина И.В., Хващевская А.А., Лисина А.В., Черкашина С.В. Оценка состояния природных вод г. Томска и его окрестностей // Основные проблемы охраны геологической среды. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1995, С.151-154.
145. Смоляков Б.С., Белеванцев В.И., Жигула М.В., Рыжих А.П. Влияние распределения металлов-загрязнителей (Cu, Pb, Cd) по формам на их поведение в реальном водоеме // Матер. научн. конф. «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия». – Томск: изд-во НТЛ, 2002, С.257-261.
146. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
147. Сороковникова Л.М., Нецветаева О.Г., Ходжер Т.В. и др. Химический состав и качество воды р. Оби – В кн.: Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. – Томск: Изд-во «РАСКО», 2002, С.21-26.
148. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 1999 г.: Информационный бюллетень. Вып.2. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2000. – 39.
149. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000 г.: Информационный бюллетень. Вып.3. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2001. – 86.
150. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2001 г.: Информационный бюллетень. Вып.4. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2002. – 82.
151. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2002 г.: Информационный бюллетень. Вып.5. – Томск: ТЦ Томскгеомониторинг, 2003. – 84 с.

152. Состояние геологической среды на территории Томской области в 2000 г. Вып.6. – Томск: Территориальный центр «Томскгеомониторинг», 2001. – 180 с.
153. Состояние геологической среды на территории Томской области в 2001 г. Вып.7. – Томск: Территориальный центр «Томскгеомониторинг», 2002. – 134 с.
154. Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.
155. Территориальная программа рационального использования, восстановления и охраны водных объектов Томской области до 2010 года. – Томск: ТЦ «Томскгеомониторинг», 2002. – 117 с.
156. Тимофеева П.П., Боголюбова Л.И. Геохимия органического вещества голоценовых отложений в областях приморского торфонакопления. – М.: Наука, 1999. – 220 с.
157. 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.
158. Удодов П.А., Матусевич В.М., Григорьев Н.В. Гидрогеохимические поиски в условиях полузакрытых геологических структур Томь-Яйского междуречья. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1965. – 200 с.
159. Фадеев В.В., Тарасов М.П., Павелко В.Л. Зависимость минерализации и ионного состава воды рек от их водного режима. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.
160. Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 168 с.
161. Шахов И.С. Водные ресурсы и их рациональное использование. – Екатеринбург: Изд-во «Аква-Пресс», 2000. – 289 с.
162. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Микроэлементы в водах Средней Оби и ее крупных притоков // Обской вестник, 1996, № 2-3, С.39-47.
163. 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.
164. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Эколого-геохимическое состояние крупных притоков Средней Оби // Водные ресурсы, 1997, № 6, С.762-768.
165. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Савичев О.Г. Состав и формы миграции элементов в природных водах бассейна среднего течения р. Томь // Геология и геофизика, 1997, № 12, С.1955-1961.

166. Шварцев С.Л. Геохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
167. 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.
168. Шварцев С.Л., Савичев О.Г., Хващевская А.А. и др. Комплексные эколого-геохимические исследования вод р. Оби // Экология пойм сибирских рек и Арктики. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999, С.110-115.
169. Шварцев С.Л., Савичев О.Г., Людвиг В.М., Картавых О.В. О необычно высоких содержаниях фтора в подземных водах активного водообмена // Материалы конф. «Три века горно-геологической службы России». Т.1, Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2000, С.356-359.
170. Шварцев С.Л., Колмаков Ю.С., Савичев О.Г. Базовые пункты гидрогеохимических наблюдений в бассейне Верхней Оби в 1998 г. // Обской вестник, 2001, №1, С.2-5.
171. 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 ИОА СО РАН, 2002, С.139-149.
172. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Современное эколого-геохимическое состояние Томь и ее притоков – В кн.: Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. – Томск: Изд-во «РАСКО», 2002, С.87-98.
173. Шишов В.А., Шеметов В.Ю., Рябченко В.И., Парфенов В.П. Охрана окружающей среды в территориальном Западно-Сибирском комплексе. Обзор информации. Серия «Борьба с коррозией и защита окружающей среды. Вып.6.– М.: ВНИИО-ЭНГ, 1988. – 50 с.
174. Экзогенные геологические процессы на территории Томской области в 2001 г.: Информационный бюллетень. Вып.7. – Томск.: ТЦ «Томскгеомониторинг», 2002. – 76 с.
175. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / под ред. Г.В. Полякова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГиМ, 1996. – 248 с.
176. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1995 году. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 1996. – 178 с.

177. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1996 году. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 1997. – 202 с.
178. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1997 году. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 1998. – 258 с.
179. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1998 году. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 1999. – 231 с.
180. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 1999 году. – Томск: Госкомэкологии Томской области, 2000. – 250 с.
181. Экологический мониторинг. Состояние окружающей природной среды Томской области в 2001 году. Управление охраны окружающей среды и ОГУ «Облкомприрода» Администрации Томской области. – Томск: Дельтаплан, 2002. – 138 с.
182. Экология Северного промышленного узла г. Томска. Проблемы и решения / под ред. А.М. Адама. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1994. – 260 с.
183. Livingstone D.A. // *Geol. Surv. Prof. Papers*. 1963, № 440-G. p.64.
184. Martin J.-M., Gordeev V.V. River input to ocean systems: a reassessment. In: *Tagus estuary. Proc. UNESCO/IOC/CNA Workshop*. Paris, UNESCO, 1986, p.203-240.
185. Meybeck M. Concentration des aux fluviales en elements majeurs et apports en solution aux oceans. – *Rev. geol. phys.* 1979, vol.21, N 3, p.215-246.
186. *Schema directeur d'amenagement et de gestion des eaux du bassin Seine-Normandie. Annexes cartographiques.* – Comite de bassin Seine-Normandie. 1993. p.30.
187. Wang Yanxin, Ma Teng, Li Yongmin, Shvartsev S.L., Savichev O.G. and Cartavikh O.F. Fluoride in Shallow Groundwaters from Southern Siberia and Northwestern China // *Proceedings of the Int.Symposium on Hydrogeology and the Environment*. 17-21 October 2000. Wuhan, P.R. China. Beijing: China Environmental Science Press, Pp. 247-251.

Приложение

Среднемесячные расходы воды (Q) и их стандартные отклонения (σ), полученные по выделенным однородным рядам при уровне значимости 5 %

Река	Пункт, период	Месяц	Однородный период	Q , м ³ /с	σ , м ³ /с	W^1	W_1	W_2	F^2	$F_{кр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Обь	г. Колпашево 1962-1994 гг.	Январь	1962-1994	1187	211	однородный период				
		Февраль	1962-1994	1140	217	однородный период				
		Март	1962-1994	1124	163	однородный период				
		Апрель	1962-1994	3279	1212	однородный период				
		Май	1962-1977	11211	1659	203	82	190	1.03	2.35
			1978-1994	9744	1628					
		Июнь	1962-1994	8977	2744	однородный период				
		Июль	1962-1977	5284	2121	159	82	190	2.50	2.35
			1978-1994	4410	1335					
		Август	1962-1994	3306	933	однородный период				
		Сентябрь	1962-1994	2735	515	однородный период				
		Октябрь	1962-1994	2734	624	однородный период				
Ноябрь	1962-1994	1776	452	однородный период						
Декабрь	1962-1994	1302	186	однородный период						
Томь	г. Томск 1942-2001 гг.	Январь	1942-1980	172	47.8	209	257	500	2.04	2.00
			1981-2001	198	34.2					
		Февраль	1942-1969	132	25.9	223	246	485	1.94	1.88
			1970-2001	150	35.9					
		Март	1942-1969	127	42.9	214	266	513	2.05	1.90
			1970-2001	145	38.2					
		Апрель	1942-2001	2304	911	однородный период				
		Май	1942-2001	4355	989	однородный период				
		Июнь	1942-1969	2114	1159	432	317	577	1.92	1.86
			1970-2001	1983	832					
Июль	1942-1969	778	344	512	316	580	2.07	1.87		
	1970-2001	670	670							

Продолжение приложения

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		Август	1942-1969	511	186	361	246	485	2.02	1.87	
			1970-2001	564	258						
		Сентябрь	1942-2001	623	287	однородный период					
		Октябрь	1942-2001	811	300	однородный период					
		Ноябрь	1942-2001	500	246	однородный период					
		Декабрь	1942-1980	236	90	301	209	434	3.56	2.00	
1981-2001	240		49								
Чулым	с. Батурино 1938-1990 гг.	Январь	1938-1990	220	54.6	однородный период					
		Февраль	1938-1969	178	32.2	249	228	444	2.56	1.92	
			1970-1990	202	52.4						
		Март	1938-1969	162	25.9	219	228	444	1.78	1.93	
			1970-1990	183	37.1						
		Апрель	1938-1969	484	315	313	223	437	2.55	2.06	
			1970-1990	488	233						
		Май	1938-1990	2793	560	однородный период					
		Июнь	1938-1990	2330	979	однородный период					
		Июль	1938-1990	977	323	однородный период					
		Август	1938-1990	606	170	однородный период					
		Сентябрь	1938-1969	507	143	413	238	458	2.06	2.04	
			1970-1990	458	102						
		Октябрь	1938-1961	510	186	438	241	461	4.04	1.93	
1962-1990	446		105								
Ноябрь	1938-1990	344	116	однородный период							
Декабрь	1938-1990	277	64.7	однородный период							
Кеть	с.Максимкин Яр 1937-1990 гг.	Январь	1937-1960	72	12	232	238	458	4.75	1.98	
			1961-1990	85	27						
		Февраль	1937-1960	67	10	220	238	458	5.87	1.98	
			1961-1990	78	24						
		Март	1937-1960	63	9	194	238	458	6.41	1.98	
			1961-1990	74	22						

Продолжение приложения

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		Апрель	1937-1960	98	45	294	238	458	2.77	1.93	
			1961-1990	100	34						
		Май	1937-1990	645	176	однородный период					
		Июнь	1937-1990	907	348	однородный период					
		Июль	1937-1990	333	142	однородный период					
		Август	1937-1960	188	92	335	238	458	6.95	1.93	
			1961-1990	167	34						
		Сентябрь	1937-1960	150	72	295	238	458	3.34	1.99	
			1961-1990	153	53						
		Октябрь	1937-1990	150	59	однородный период					
		Ноябрь	1937-1990	113	36	однородный период					
		Декабрь	1937-1960	90	24	237	232	450	2.21	1.96	
1961-1990	99		35								
Тым	с. Напас	Январь	1964-1973	66	8	39	43	117	1.89	2.88	
			1974-1990	77	13						
		Февраль	1964-1973	60	6	38	40	113	1.31	2.77	
			1974-1990	68	10						
		Март	1964-1973	57	6	42	43	117	1.03	2.77	
			1974-1990	64	7						
		Апрель	1964-1990	76	16	однородный период					
		Май	1964-1990	486	173	однородный период					
		Июнь	1964-1990	681	246	однородный период					
		Июль	1964-1990	279	128	однородный период					
		Август	1964-1990	190	90	однородный период					
		Сентябрь	1964-1973	163	68	91	45	120	3.22	2.64	
			1974-1990	173	87						
Октябрь	1964-1990	157	65	однородный период							
Ноябрь	1964-1990	110	31	однородный период							
Декабрь	1964-1990	89	19	однородный период							
Васюган	с. Средний Васюган	Январь	1936-1956	29	6	191	236	457	4.23	2.03	
			1957-1990	38	12						

Продолжение приложения

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	1936-1990	Февраль	1936-1956	25	5	202	241	463	2.42	2.03	
			1957-1990	31	7						
		Март	1936-1956	24	6	218	236	454	2.24	1.93	
			1957-1990	27	5						
		Апрель	1936-1956	67	47	381	240	460	3.03	1.93	
			1957-1990	60	38						
		Май	1936-1990	519	128	однородный период					
		Июнь	1936-1956	518	172	344	251	477	2.17	1.94	
			1957-1990	525	243						
		Июль	1936-1990	233	158	однородный период					
		Август	1936-1990	137	103	однородный период					
		Сентябрь	1936-1990	118	81	однородный период					
		Октябрь	1936-1990	116	72	однородный период					
		Ноябрь	1936-1990	84	41	однородный период					
Декабрь	1936-1956	44	18	192	204	408	2.83	2.14			
	1957-1990	53	21								
Пара- бель	с. Новиково	Январь	1958-1990	22	5	однородный период					
		Февраль	1958-1990	20	4	однородный период					
		Март	1958-1990	19	3	однородный период					
		Апрель	1958-1973	49	34	115	82	190	5.93	2.43	
			1974-1990	46	24						
		Май	1958-1990	276	133	однородный период					
		Июнь	1958-1990	202	134	однородный период					
		Июль	1958-1990	74	56	однородный период					
		Август	1958-1990	60	47	однородный период					
		Сентябрь	1958-1990	46	30	однородный период					
		Октябрь	1958-1990	45	23	однородный период					
		Ноябрь	1958-1990	39	17	однородный период					
Декабрь	1958-1990	27	8	однородный период							
Чая	с. Подгорное	Январь	1953-1994	22	4	однородный период					
		Февраль	1953-1994	20	3	однородный период					

Продолжение приложения

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Март	1953-1994	20	3	однородный период				
		Апрель	1953-1973	69	56	232	135	285	5.84	2.18
			1974-1994	53	29					
		Май	1953-1994	330	186	однородный период				
		Июнь	1953-1973	154	100	207	135	285	3.21	2.12
			1974-1994	191	172					
		Июль	1953-1994	63	60	однородный период				
		Август	1953-1994	45	31	однородный период				
		Сентябрь	1953-1994	38	18	однородный период				
		Октябрь	1953-1994	41	19	однородный период				
		Ноябрь	1953-1994	37	18	однородный период				
		Декабрь	1953-1973	25	7	176	135	285	2.18	2.11
			1974-1994	28	10					

1 – значения критерия Уилкоксона; 2 – значения критерия Фишера

Содержание

Введение.....	3
1. Краткая экономико-географическая характеристика Томской области.....	5
2. Водный сток и водный режим	7
2.1. Многолетние изменения среднегодовых расходов речных вод.....	8
2.2. Многолетние изменения среднемесячных расходов воды.....	13
2.3. Норма годового водного стока рек и его подземной составляющей	15
2.4. Внутригодное распределение водного стока рек	19
3. Эколого-геохимическое состояние речных вод в 1970-2000-е гг.	21
3.1. Большие реки	22
3.1.1. Макрокомпоненты и рН	22
3.1.2. Микроэлементы	27
3.1.3. Биогенные вещества.....	45
3.1.4. Органические вещества	53
3.1.5. Растворенные газы	64
3.1.6. Микроорганизмы.....	67
3.2. Средние реки	73

3.2.1. Макрокомпоненты и рН	73
3.2.2. Микроэлементы	79
3.2.3. Биогенные вещества	84
3.2.4. Органические вещества	87
3.2.5. Растворенные газы	92
3.2.6. Микроорганизмы	93
3.3. Малые реки	94
3.3.1. Макрокомпоненты и рН	94
3.3.2. Микроэлементы	99
3.3.3. Биогенные вещества	104
3.3.4. Органические вещества	107
3.3.5. Растворенные газы	109
3.3.6. Микроорганизмы	109
4. Пространственно-временные изменения химического состава речных вод	111
4.1. Временные изменения	111
4.1.1. Многолетние изменения	115
4.1.2. Внутригодовые изменения химического состава речных вод	123
4.2. Пространственные изменения	126
4.2.1. Большие реки	126
4.2.2. Средние реки	129
4.2.3. Малые реки	132
5. Использование и охрана водных ресурсов	133
5.1. Использование водных ресурсов	133
5.1.1. Водопотребление	134
5.1.2. Водоотведение	135
5.1.3. Другие виды использования рек	137
5.1.4. Водохозяйственный баланс Томской области	138
5.2. Вредное воздействие речных вод	140
5.2.1. Затопление и подтопление территорий	140
5.2.2. Разрушение берегов и хозяйственных объектов речными водами	140
5.3. Охрана вод	141
Заключение	146
Литература	149
Приложение. Среднемесячные расходы воды (Q) и их стандартные отклонения (σ), полученные по выделенным однородным рядам при уровне значимости 5 %	164

Олег Геннадьевич Савичев

РЕКИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ: СОСТОЯНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА

Редакторы: Р.Д. Игнатова

Н.Я. Горбунова

Подписано к печати __.__.2003.

Формат 60×84/16 Бумага офсетная.

Печать RISO. Усл. печ.л. __.__.

Тираж 80 экз. Заказ № Цена С.З.

Издательство ТПУ, 634034, Томск, пр. Ленина, 30.