

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Сибирское отделение
Институт водных и экологических проблем

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО
КОМПЛЕКСА БАСЕЙНА ОБИ И ИРТЫША**

Ответственные редакторы: д-р геогр. наук Ю.И. Винокуров,
д-р биол.наук А.В. Пузанов, канд. биол. наук Д.М. Безматерных

Новосибирск
Издательство Сибирского отделения
Российской академии наук
2012

УДК 556 (571.1/5)
ББК 26.22 (2Р5)
С56

Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / отв. ред. Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных; Рос. Академия наук, Сибирское отделение, Институт водных и экологических проблем СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 236 с. – ISBN 978-5-7692-1293-2.

В монографии рассмотрены природные условия бассейна рек Оби и Иртыша. Даны основные современные характеристики водных объектов бассейна (гидрологические, гидрохимические, гидробиологические), изучены факторы и интенсивность самоочищения водных объектов, водохозяйственная деятельность и антропогенная нагрузка. Выполнена комплексная оценка водно-ресурсного потенциала и экологического состояния вод в бассейне. Освещены проблемы управления водными ресурсами речного бассейна, даны рекомендации по совершенствованию управления его водохозяйственным комплексом. Приведены основные параметры информационно-моделирующих комплексов и систем поддержки принятия решений для задач интегрированного управления водными ресурсами Обь-Иртышского бассейна. Как модельный объект исследований охарактеризовано Новосибирское водохранилище.

Монография предназначена для экологов, гидрологов, гидрохимиков, гидробиологов, специалистов по водному хозяйству и охране водных ресурсов, преподавателей и студентов вузов.

Библ. 180 назв. + табл. +ил.

Утверждено к печати Ученым советом Институтом водных и экологических проблем СО РАН

Рецензенты: д-р геогр. наук, проф. В.С. Ревякин, д-р биол. наук,
проф. Ю.Б. Кирста, д-р с.-х. наук, доц. В.И. Заносова

Редакционная коллегия: А.А. Атавин, В.П. Галахов, А.Т. Зиновьев, В.В. Кириллов,
Б.А. Красноярова, О.В. Ловцкая, Т.С. Папина, Л.В. Пестова, И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева,
Ю.М. Цимбалей, Л.В. Яныгина

Авторы: Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных, А.А. Атавин, А.Т. Зиновьев,
В.В. Кириллов, Б.А. Красноярова, Т.С. Папина, И.Н. Ротанова, И.А. Архипов, Н.А. Балдаков,
С.Н. Балькин, Н.Н. Безуглова, Г.В. Белоненко, М.В. Болгов, В.Г. Ведухина, В.П. Галахов,
А.Б. Голубева, А.В. Готовцев, М.С. Губарев, С.Я. Двуреченская, А.В. Дьяченко, Н.И. Ермолаева,
О.Н. Жукова, Е.Ю. Зарубина, Г.С. Зинченко, Л.М. Киприянова, А.А. Коломейцев, О.В. Кондакова,
А.В. Котовщиков, К.Б. Кошелев, Е.Д. Кошелева, А.В. Кудишин, Н.Ю. Курепина, В.С. Кусковский,
О.В. Ловцкая, Л.А. Магаева, К.В. Марусин, Т.Э. Овчинникова, П.А. Попов, Н.Б. Попова,
В.Ф. Резников, Ю.В. Робертус, Т.А. Рождественская, И.Д. Рыбкина, В.М. Савкин, Г.С. Самойлова,
Т.Г. Серых, Н.В. Стоящева, Е.И. Третьякова, Е.А. Федорова, А.Ш. Хабидов, Ю.М. Цимбалей,
Л.В. Яныгина.

Фотография на обложке – Н.В. Лариковой

ISBN 978-5-7692-1293-2

©Коллектив авторов, 2012
© ИВЭП СО РАН, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. Водные ресурсы Обь-Иртышского бассейна	9
1.1. <i>Общая характеристика бассейна (Ю.И. Винокуров, Ю.М. Цимбалей, Г.С. Зинченко, Н.В. Стоящева)</i>	9
1.2. <i>Факторы формирования стока (Ю.М. Цимбалей, Н.В. Стоящева, Г.В. Белоненко, Н.Б. Попова, И.Н. Ротанова)</i>	12
1.3. <i>Ресурсы поверхностных вод (А.Т. Зиновьев, В.П. Галахов, Е.Д. Кошелева, К.В. Марусин, А.В. Дьяченко, А.А. Коломейцев, Н.А. Балдаков)</i>	14
1.4. <i>Ресурсы подземных вод (В.С. Кусковский, Л.А. Магаева, М.С. Губарев)</i>	23
1.5. <i>Оценка опасных и неблагоприятных гидрологических ситуаций (негативного воздействия вод), рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (А.Т. Зиновьев, А.Б. Голубева, К.Б. Кошелев)</i>	26
1.6. <i>Анализ изменения водности рек и прогноз динамики этого процесса под влиянием изменения климата (Г.С. Зинченко, Н.Н. Безуглова, Е.Д. Кошелева)</i>	30
2. Современное использование водных ресурсов	34
2.1. <i>Особенности водопользования в бассейне (И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева)</i>	34
2.2. <i>Воздействие сосредоточенных и рассредоточенных источников на состояние подземных и поверхностных вод (А.В. Пузанов, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин, И.А. Архипов, Ю.В. Робертус)</i>	38
2.3. <i>Внутрибассейновое и межбассейновое перераспределение водного стока (Ю.И. Винокуров, Н.В. Стоящева)</i>	42
2.4. <i>Трансграничный перенос загрязняющих веществ в бассейне Оби (Т.С. Папина, Е.И. Третьякова)</i>	49
2.5. <i>Оценка состояния водных экосистем по гидробиологическим и гидрохимическим показателям (В.В. Кириллов, Л.В. Яныгина,</i>	55

Д.М. Безматерных, Т.С. Папина, Е.И. Третьякова, Т.Г. Серых)

3. Комплексная оценка водно-ресурсного и водно-экологического потенциала	61
3.1. Методика оценки (Т.С. Папина, В.П. Галахов, Ю.М. Цимбалей, В.В. Кириллов, Л.В. Яныгина, Д.М. Безматерных, И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева, Н.Ю. Курепина)	61
3.2. Результаты оценки вод Обь-Иртышского бассейна (Т.С. Папина, Е.И. Третьякова, В.П. Галахов, И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева, В.В. Кириллов, Л.В. Яныгина, Д.М. Безматерных)	71
3.3. Целевые показатели водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов (Т.С. Папина, В.П. Галахов, Е.И. Третьякова, Т.Г. Серых, И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева)	82
4. Новосибирское водохранилище	93
4.1. Морфометрические и гидрологические характеристики (В.М. Савкин, А.Ш. Хабидов, О.В. Кондакова, К.В. Марусин, Е.А. Федорова)	93
4.2. Процессы переработки берегов (В.М. Савкин, А.Ш. Хабидов, К.В. Марусин, Е.А. Федорова)	95
4.3. Водоохранная зона (С.Ю. Самойлова)	102
4.4. Гидрохимические и гидробиологические исследования	108
4.4.1. Гидрохимические показатели (С.Я. Двуреченская)	108
4.4.2. Гидробиологические характеристики (В.В. Кириллов, Е.Ю. Зарубина, Н.И. Ермолаева, Л.М. Киприянова, А.В. Котовицкий, Л.В. Яныгина)	113
4.4.3. Ихтиофауна (П.А. Попов)	117
4.5. Система поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами (А.А. Атавин)	120
4.5.1. Математическое моделирование прохождения волны весеннего половодья по руслу Верхней Оби, Новосибирскому водохранилищу и его нижнему бьефу с учётом управляющих воздействий (А.А. Атавин, К.Б. Кошелев, А.В. Кудишин, К.В. Марусин)	120
4.5.2. Алгоритм выработки рекомендаций по рациональному использованию запасов воды водохранилища в зимний период (А.А. Атавин, А.В. Кудишин, Т.Э. Овчинникова)	125
4.5.3. Имитационная модель функционирования водохранилища (М.В. Болгов)	131

4.5.4. Планирование водоохранной деятельности в бассейне Верхней Оби (А.В. Готовцев, А.А. Атавин, Т.Э. Овчинникова)	133
5. Управление водными ресурсами речного бассейна	137
5.1. Водохозяйственный комплекс и проблемы водопользования (И.Д. Рыбкина, Н.В. Стояцева)	137
5.2. Рекомендации по обеспечению населения бассейна качественной питьевой водой (Б.А. Красноярова)	143
5.3. Институциональные аспекты устойчивого водопользования в трансграничном бассейне Иртыша (Б.А. Красноярова)	145
5.4. Рекомендации по совершенствованию системы мониторинга водных ресурсов (Д.М. Безматерных, В.В. Кириллов, Л.В. Яныгина, В.П. Галахов, Г.С. Зинченко, О.Н. Жукова)	146
5.5. Решение проблем водопользования программными методами (Б.А. Красноярова, В.Ф. Резников, И.Д. Рыбкина, Н.В. Стояцева)	152
6. Информационно-моделирующие комплексы и системы поддержки принятия решений для задач интегрированного управления водными ресурсами Обь-Иртышского бассейна	158
6.1. ГИС-проект для принятия решений при затоплении территории (А.Т. Зиновьев, К.Б. Кошелев)	165
6.2. ГИС-проект для расчёта течений в системах русел (А.В. Кудишин)	169
6.3. ГИС-проект для расчёта показателей качества воды в водных объектах (К.Б. Кошелев)	173
6.4. ГИС-проект «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна» (В.Г. Ведухина, О.В. Ловцкая)	177
Заключение	185
Список литературы	189
Приложение	201
Список сокращений	235

Введение

Бассейны рек Оби и Иртыша охватывают практически всю Западную Сибирь, а также часть территории Казахстана и Китая. Их водосборы выходят далеко за пределы Западно-Сибирской низменности: истоки Оби и Иртыша, их притоков находятся в горах Алтая и Саян, Урала, Казахского мелкосопочника, являясь основной зоной питания рек и подземных вод рассматриваемых территорий.

Обь-Иртышский бассейн – сложная природная система с широким спектром зональных особенностей на равнине и высотной поясностью в горах. Многофакторность формирования условий бассейна определяет специфику функционирования его гидросферы, оказывает влияние на состояние водно-ресурсного потенциала. В частности, значительная субмеридиональная протяженность бассейна и вызванные этим особенности природных условий обусловили наличие определенных экстремальных гидрологических ситуаций, к которым, в первую очередь, относятся наводнения и паводки, а также маловодья, создающие крайне неблагоприятные и чрезвычайные условия водопользования в регионах.

Многолетнее функционирование в бассейнах рек Оби и Иртыша крупнейших в России радиохимических, угледобывающих, металлургических, нефтехимических, нефте- и газодобывающих производств привело к радиоактивному, химическому и биологическому загрязнению вод и донных отложений рек, озер, болот и искусственных водоемов, подземных горизонтов. Проблемы качества воды в большей степени характерны для крупных промышленных центров, водоснабжение которых главным образом осуществляется за счет поверхностных водных источников.

Между тем изменения показателей качества воды отмечаются не только за счет антропогенных факторов, но и по природным причинам. Наблюдаемые в бассейне негативные природные процессы (изменения водного и ледотермического режимов, заболачивание и подтопление территорий, усиление эрозии берегов крупных водных объектов, трансформация и деградация сообществ водных организмов) происходят на фоне глобальных изменений окружающей среды и требуют пристального изучения.

В этих условиях наиболее актуальными и целесообразными представляются исследования современного состояния водных объектов, научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах рек Оби и Иртыша. Актуальность таких исследований подтверждается необходимостью разработки единой концептуальной модели устойчивого водопользования в регионах Обь-Иртышского бассейна, которая должна учитывать дифференциацию этих территорий в природно-экологическом и социально-экономическом разрезах, существенные изменения сложившихся диспропорций водохозяйственного комплекса и отвечать современным требованиям модернизации российского общества, заложенным в Водной стратегии России и Стратегиях развития Сибири и ее регионов на период до 2025 г.

Для выполнения этих исследований по заказу Верхне-Обского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов в Институте водных и экологических проблем СО РАН осуществлялся трехлетний проект «Исследование современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах рек Оби и Иртыша» (2008-2010 гг.), в рамках которого основные усилия были направлены на решение следующих задач: корректировка количественной и качественной оценки ресурсов поверхностных и подземных вод; комплексная оценка экологического состояния водных объектов Обь-Иртышской бассейновой системы, разработка информационно-моделирующих комплексов и систем поддержки принятия решений (СППР) для задач интегрированного управления водными ресурсами в бассейнах Оби и Иртыша; формирование концепции программы устойчивого водопользования; оценка опасных и неблагоприятных гидрологических явлений (негативного воздействия вод), рисков возникновения чрезвычайных ситуаций. Полученные материалы послужили основой для подготовки информационного обоснования при разработке проекта СКИОВО р. Обь.

В рамках проекта выполнялись такие основные виды работ, как:

- оценка современного состояния морфометрии водных объектов;
- продление многолетних стоковых рядов с восстановлением месячных величин стока;
- анализ гидрометеорологической изученности бассейна и сравнительная оценка полученных результатов с существующими требованиями к организации системы мониторинга;
- оценка состояния водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим показателям;
- оценка воздействия сосредоточенных и рассредоточенных источников загрязнения на состояние подземных и поверхностных вод;
- оценка и прогноз антропогенной нагрузки на водосборе;
- прогноз изменения водности рек в основных створах бассейна;
- определение зон затопления территории при половодьях и паводках различной обеспеченности;
- разработка структур баз данных по водным объектам бассейна в соответствии с форматами Государственного водного реестра и мониторинга водных объектов;
- оценка обеспеченности населения качественной питьевой водой;
- оценка влияния трансграничного переноса загрязнений на экологическое состояние водных объектов, факторов и интенсивности самоочищения, рисков водопользования и прогноз гидроэкологической безопасности с учетом международного аспекта;
- оценка условий и последствий внутриводосборного и межбассейнового перераспределения водного стока;

- разработка информационно-моделирующих комплексов для использования в СППР управления конкретными водными экосистемами в Обь-Иртышском бассейне;
- разработка рекомендации по совершенствованию системы мониторинга водных объектов.

Отдельной и сложной задачей проекта стало исследование процесса формирования количества и качества поверхностных и подземных вод и факторов, их определяющих: гидрологических, гидрохимических, гидробиологических, биогеохимических, ландшафтно-экологических. В связи с этим цель данного блока работ заключалась в получении новых данных о современном состоянии водных объектов и их водосборных территорий на основе полевых экспедиционных исследований.

Еще одной комплексной задачей проекта явилось обоснование выделения «фоновых» водохозяйственных участков бассейна, в пределах которых состояние водных объектов и качество воды в них может быть принято как региональный фон. Исследования выполнялись с целью разработки рекомендаций по определению целевых показателей качества вод с учетом природных особенностей водных объектов бассейна Оби и Иртыша и условий их целевого использования.

Важные научные результаты получены при выполнении математического моделирования репрезентативных водных объектов для прогнозирования качества воды, чрезвычайных гидрологических явлений на реках бассейна и других задач.

Изучение Новосибирского водохранилища как модельного объекта в этих работах позволило дать современную характеристику водохранилища, включая состояние его берегов, а также отдельных составляющих его экосистемы. Сделан прогноз переработки берегов водохранилища на ближайшее десятилетие, разработаны рекомендации по режиму использования водоохраной зоны. Подготовлена методическая и алгоритмическая основа решения ряда актуальных для эксплуатации водохранилища задач: расчета прохождения волны весеннего половодья по Новосибирскому водохранилищу и его нижнему бьефу с учетом управляющих воздействий; выработки рекомендаций по использованию водохранилища в период зимней межени, разработки имитационной модели функционирования водохранилища.

Все результаты исследований и разработок нашли отражение в предлагаемой коллективной монографии, посвященной 25-летию основания Института водных и экологических проблем СО РАН.

Авторы выражают искреннюю благодарность за предоставленные ценные данные, полезные обсуждения и замечания в ходе работы над проектом Н.З. Нечаю, В.И. Борисенко, В.Г. Селезеву, С.А. Ляховой, Г.А. Грязевой, В.С. Мальцеву, Г.П. Казазаевой, Т.С. Крылович и всему коллективу Верхне-Обского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов.

1. Водные ресурсы Обь-Иртышского бассейна

1.1. Общая характеристика бассейна

Большая часть территории Обь-Иртышского бассейна приурочена к Западно-Сибирской низменности, с запада ограниченной восточными склонами Уральских гор, юга – Казахским мелкосопочником, юго-востока – хребтами Алтая и Саян. Протяженность бассейна в пределах РФ в меридиональном направлении более 2400 км, в широтном – 2200 км.

Низменность сформировалась в пределах одноименной платформы, имеющей двухъярусное строение: складчатый доюрский фундамент и рыхлый мезозойско-кайнозойский чехол. По окраинам бассейна, в горах Урала, Алтая, Саян, Казахского мелкосопочника, фундамент выходит на поверхность, погружаясь к центру на 3–4 км, на севере – 4–5 км.

Поверхность бассейна имеет форму ступенчатого амфитеатра, открытого на север и постепенно понижающегося от горного обрамления (с высотами 500–900 м – на Урале и в Саянах, до 3000–4000 м и выше – на Алтае) к устью Оби (до 40–50 м и менее). Преобладающие высоты – около 100 м, примыкающие к обрамлению возвышенности и приподнятые наклонные равнины имеют отметки 150–200 м и выше (Приобское плато – до 350 м). Основные элементы рельефа – широкие плоские заболоченные междуречья и речные долины.

Территория относится преимущественно к умеренному поясу, и только побережье Северного Ледовитого океана – к арктическому и субарктическому поясам. Климат – континентальный. Средние температуры января составляют от –30 до –16 °С, июля – от +4 (арктический пояс) до +20–22 °С (степь и лесостепь). Количество осадков варьирует от 200 мм в тундровой и степной зонах до 600 мм – в тайге, 1000 мм и более – в горах Алтая и Саян. В истоках Оби – в горах Алтая – располагается крупный центр современного оледенения [Ревякин и др., 1979], играющий важную роль в формировании водного стока Оби.

За последние десятилетия (1978–2008 гг.) на рассматриваемой территории произошли изменения климата (рис. 1.1.1 и 1.1.2). Повсеместно наблюдается повышение температуры воздуха, при этом наиболее сильное потепление отмечается в весенние и зимние сезоны. Пространственные масштабы его темпов в Сибири характеризуются неоднородной субрегиональной структурой (от 0,2 до 0,9 °С/10 лет). На большей части территории, за исключением степной и сухостепной зон, отмечается увеличение количества осадков. Более половины территории Западно-Сибирской равнины занимают многолетнемерзлые породы, южная граница распространения которых проходит в пределах 61–62° с.ш. Отдельными очагами многолетнемерзлые породы встречаются в горных районах.

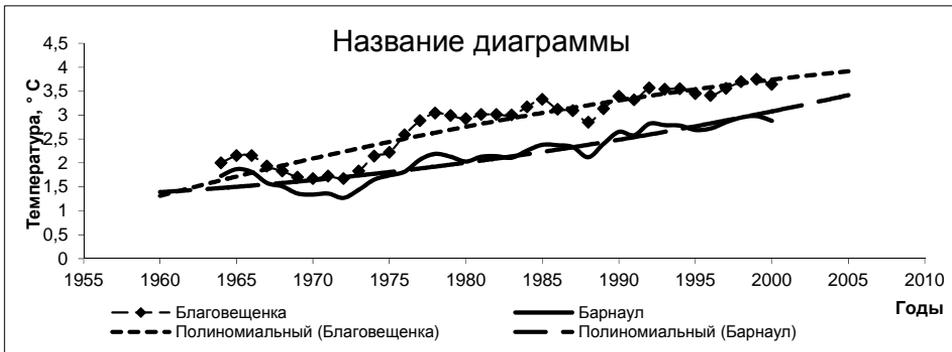


Рис. 1.1.1. Десятилетние скользящие и тренды среднегодовой температуры воздуха (станции Барнаул и Благовещенка)

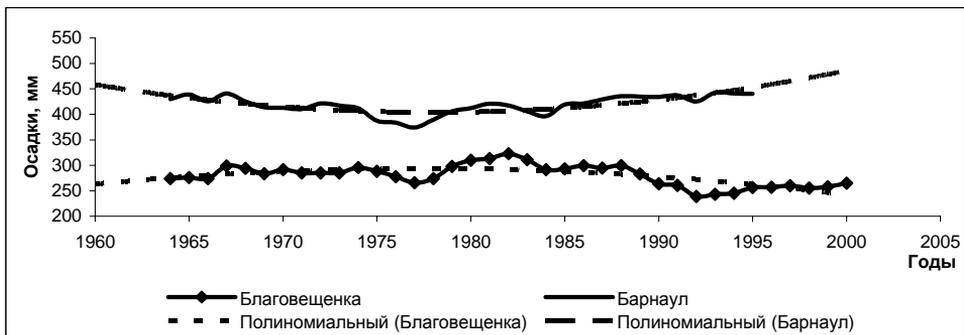


Рис. 1.1.2. Десятилетние скользящие и тренды годовых сумм осадков (станции Барнаул и Благовещенка)

Почвенно-растительный покров бассейна имеет ярко выраженную зональность распределения в соответствии с природно-климатическими зонами и высотной поясностью. Большая часть территории относится к лесной зоне, которая занята заболоченной тайгой из ели, пихты, кедра, сосны, лиственницы, мелколиственными осиново-березовыми лесами. На севере произрастает тундровая и лесотундровая растительность, в южной части распространены степи и лесостепи, по большей части распаханнные. Зональными почвами являются: в степи и лесостепи – каштановые, черноземы южные, обыкновенные, выщелоченные и оподзоленные; в подтайге – серые лесные и лугово-черноземные; в тайге – подзолы, дерново-подзолистые, глеево-подзолистые; в лесотундре и тундре – тундровые и тундровые мерзлотные. Характерная особенность территории – распространение болот (вследствие слабой дренируемости территории), сменяющихся к югу солонцами и солончаками.

Ландшафтно-картографические исследования в бассейне проводились в 1960-х гг. сотрудниками Московского [Самойлова, 1963], Томского [Булатов, 1966а-б], Тюменского и Алтайского университетов, Института географии СО РАН, Института водных и экологических проблем СО РАН, а также другими коллективами. Анализ морфологической структуры ландшафтов Обь-Иртышского бассейна (рис. 1.1.3, табл. 1.1.1) выполнен на основе схемы физико-географического районирования, разработанной в ИВЭП СО РАН [Винокуров, Цимбалей, 2006] и Ландшафтной карты СССР (м-б 1: 2 500 000), составленной ПГО Гидроспецгеология [Ландшафтная карта..., 1980; Гудилин и др., 1987].



Рис. 1.1.3. Физико-географическое районирование Обь-Иртышского бассейна (в границах РФ)

А. Западно-Сибирская равнинная страна. I. *Степная зональная область.* Провинции: 1 – Тобол-Убаганская, 2 – Южнопредтургайская, 4 – Теке-Кызылкакская, 5 – Южнобарабинская, 6 – Кулундинская, 7 – Южноприрательская, 8 – Предалтайская. II. *Лесостепная зональная область.* Провинции: 9 – Зауральская, 10 – Северопредтургайская, 11 – Ишимская, 12 – Западнобарабинская, 13 – Барабинская, 14 – Восточнобарабинская, 15 – Верхнеобская, 16 – Южноприаргинская. III. *Тайжная зональная область.* Провинции: 17 – Туринская, 18 – Ашлыкская, 19 – Северобарабинская, 20 – Верхнеомская, 21 – Выюновская, 22 – Тавдинско-Кондинская, 23 – Среднеиртышская, 24 – Тобольская, 25 – Васюганская, 26 – Обь-Тымская, 27 – Североприаргинская, 28 – Чулымская, 30 – Северососьвинская, 31 – Кондинская, 32 – Белогорская, 33 – Юганская, 34 – Сургутская, 35 – Вахская, 36 – Аганская, 37 – Кетско-Тымская, 38 – Нижнеобская, 39 – Полуйская, 40 – Надымская, 41 – Нулетовская, 44 – Верхнетазовская. IV. *Лесотундровая зональная область.* Провинции: 50 – Усть-Обская, 51 – Салехардская. V. *Тундровая зональная область.* Провинция: 58 – Щучинская. **Б. Алтай-Саянская горная страна.** VI. *Алтайская горная область.* Провинции: 73 – Северо-Западная Алтайская, 74 – Северо-Алтайская, 75 – Северо-Восточная Алтайская, 76 – Центрально-Алтайская, 77 – Восточная Алтайская, 78 – Юго-Восточная Алтайская. VII. *Салаиро-Кузнецко-Алатауская горная область.* Провинции: 79 – Предсалаирская, 80 – Салаирская, 81 – Кузнецкая межгорно-котловинная, 82 – Кузнецко-Алатауская, 83 – Назаровская. **В. Уральско-Новоземельская горная страна.** VIII. *Уральская горная область* (по [Прокаев, 1983]). Провинции: 84 – Восточная предгорно-среднегорная Южного Урала (лесостепная), 85 – Тагило-Пышминская Зауральского пенеблена (тайжная), 86 – Исетско-Северо-Сосьвинская восточных предгорий (тайжная), 87 – Низкогорная Среднего Урала (тайжная), 88 – Среднегорная Северного Урала (тайжная), 89 – Предгорно-Среднегорная Приполярного Урала (редколесно-лесотундровая), 90 – Предгорно-Среднегорная Полярного Урала (редколесно-лесотундровая), 91 – Предгорно-Среднегорная Заполярного Урала (тундровая).

1.2. Факторы формирования стока

Зональные и аazonальные факторы природной среды, заложенные в основе физико-географического районирования территории, определяют региональную дифференцированность условий формирования стока, затрагивая как климатически и орографически обусловленную (на уровне зональных и горных областей) приходную составляющую баланса водооборота, так и расходную – в части испарения (теплообеспеченность) и перераспределения между поверхностным и подземным стоком (рельеф, литология пород зоны аэрации и так далее).

Совокупность факторов, определяющих условия и процессы формирования поверхностных и подземных вод, представлена тремя группами: климатогенной (водно-тепловой баланс), ландшафтогенной (компоненты ландшафта, характеризующие подстилающую поверхность) и антропогенной (хозяйственная деятельность, влияющая на структуру водного баланса).

Объем стока обусловлен количеством поступивших осадков, расходом на испарение и особенностями подстилающей поверхности, регулируемыми перераспределением стока между поверхностной и подземной составляющими и скоростью стекания выпавшей влаги. Наиболее четко зональность водного баланса проявляется в характеристике его структуры ($E, U=f(W)$).

Связи трех элементов водного баланса (E – суммарное испарение, U – подземная составляющие речного стока и W – валовое увлажнение территории) стали основой для выделения типов водного баланса на территории Западно-Сибирской равнины и оценки источников водных ресурсов – речных, подземных, почвенной влаги в их взаимосвязи (табл. 1.2.1).

В результате проведенных исследований была определена зависимость (рис. 1.2.1) годовых значений подземной составляющей годового стока (базисный слой, Y_{min} , мм) к его суммарному годовому объему ($Y_{год}$, мм) в связи с изменениями размеров водосборной площади (F , тыс. км²).

Таблица 1.2.1

Типы водного баланса Западно-Сибирской равнины (по [Куприянова, 1967])

Тип	Осадки, (P) мм	Сток, мм			Испарение (E), мм	Валовое увлажнение территории (W), мм	Коэффициент питания рек подземными водами (Ки)
		полный (S + U)	поверхностный (S)	подземный (U)			
Тундровый	350	250	225	25	100	125	0,20
Северо-таежный	480	260	160	100	220	320	0,27
Таежный	500	200	130	70	300	370	0,17
Лесостепной	350	50	36	14	300	314	0,04
Степной	300	10	8	2	290	292	0,007

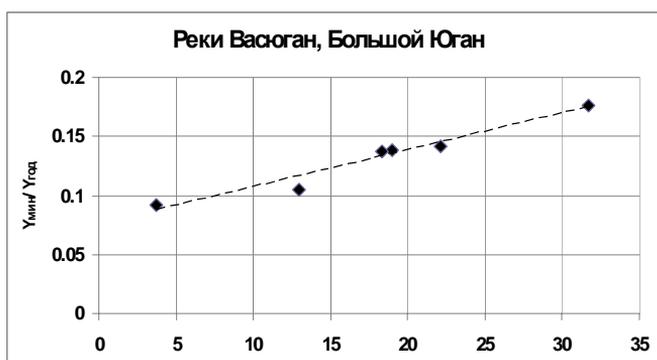
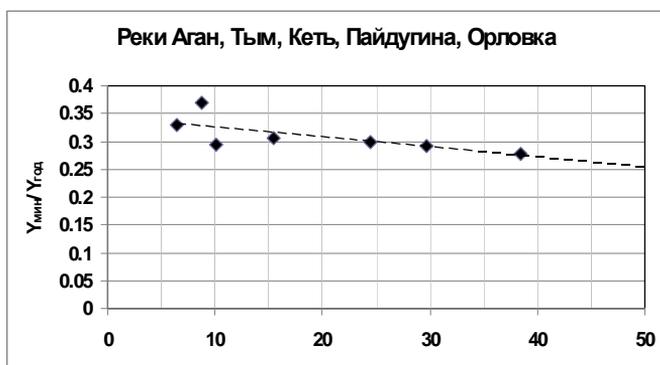
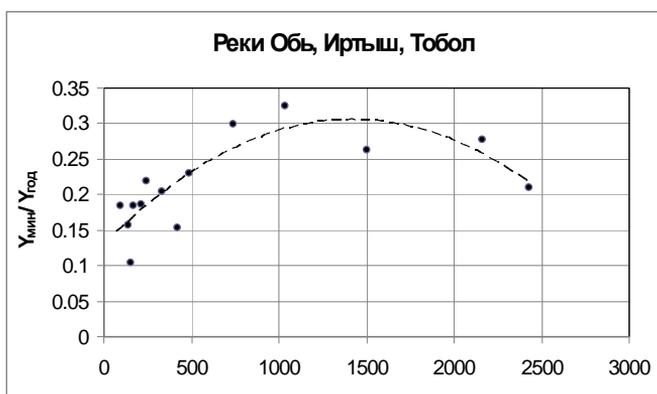


Рис. 1.2.1. Графики связи соотношения базисного и годового стока ($Y_{min}/Y_{год}$) при изменении размеров водосборной площади ($F/1000$)

Полученные графики показывают, что связи $Y_{min}/Y_{год}$ с площадью речного бассейна на территории региона не имеют однозначного характера, что подтверждает, прежде всего, глубокие различия в дренировании подземного стока в разных природно-климатических условиях Обь-Иртышского бассейна.

Составленная по фактическим данным зависимость коэффициента стока от увлажнения речного бассейна свидетельствует о том, что при возрастании увлажнения закономерно увеличиваются и значения коэффициентов стока (рис. 1.2.2). В речных бассейнах зоны избыточного увлажнения не менее 36 % ресурсов влаги расходуются на формирование речного стока, в зоне недостаточного увлажнения – не более 10 %.

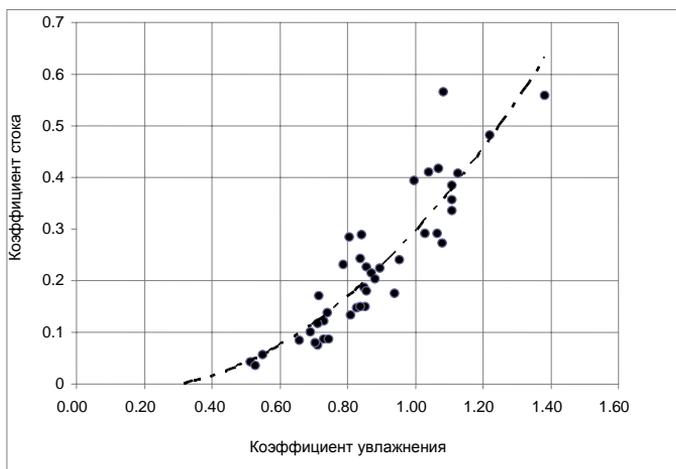


Рис. 1.2.2. График связи увлажнения территории и коэффициента стока рек Обь-Иртышского бассейна

Для крупных рек бассейна сток лимитирующего периода (июль–март) составляет от 23 до 32 % годового, лимитирующего зимнего сезона – от 6 до 12 %. Малые и средние реки характеризуются исключительно низким (до 1 %) зимним стоком или его отсутствием.

Качество вод связано с геологическим строением водосборного бассейна, природной геохимической специализацией территории, химическим составом и выщелачивающей активностью атмосферных осадков. И объем, и качество вод зависят от антропогенной нагрузки, оказывающей прямые, косвенные и опосредованные влияния на данные характеристики. Анализ факторов формирования стока был положен в основу комплексной оценки состояния водных объектов.

1.3. Ресурсы поверхностных вод

Обь является одной из крупнейших рек в мире, она занимает первое место в России по водосборной площади и третье – по стоку (после Енисея и Лены). Поверхность Обь-Иртышского бассейна дренируется многими тысячами рек, общая длина которых превышает 250 тыс. км. Крупнейшими притоками р. Обь являются: Иртыш, Васюган, Бол. Юган, Сев. Сосьва (левые), Чулым, Кеть, Вах, Тым, Томь (правые).

Истоком Оби принято считать место слияния рек Бия и Катунь, берущих начало в горах Алтая. Иртыш – самый крупный из притоков – берет начало в Монголии (где имеется небольшой участок реки) и далее пересекает территории трех государств: Китая, Казахстана, России. Протяженность реки в пределах России составляет 48 % от общей длины. Крупнейшие притоки Иртыша – реки Ишим и Тобол, истоки которых находятся в Казахстане.

Характерной особенностью Обь-Иртышского бассейна является наличие большого количества озер (Чаны, Убинское, Кулундинское и др.), в том числе соленых и горько-соленых. Имеются водохранилища: Новосибирское (р. Обь, Новосибирская область и Алтайский край), Бухтарминское и Шульбинское (р. Иртыш, Казахстан), Аргазинское и Шершневое (р. Миасс, Челябинская область), Петропавловское (р. Ишим, Казахстан), Каратомарское и Верхне-Тобольское (р. Тобол, Казахстан) и др. Густота речной сети не

очень велика и меняется в пределах бассейна в зависимости от рельефа и климатических особенностей. Южная часть бассейна общей площадью более 445 тыс. км² относится к территории замкнутого стока и отличается обилием бессточных озер.

Водность рек бассейна Оби иллюстрирует рис. 1.3.1. Наибольший поверхностный сток образуется на западных (наветренных) склонах Кузнецкого Алатау, Абаканского хребта с годовыми осадками около 1000 мм. Слой стока небольших рек здесь составляет 600–1000 мм, Бия выносит около 400 мм, Катунь в Сростках – 335 мм, Томь – 500–700 мм. Сток рек, текущих с восточных склонов Кузнецкого Алатау (верховья Чулыма), меньше.

На реках Бийско-Чумышской возвышенности, Предалтайской равнины, центральной части Кузнецкой котловины величина стока колеблется от 100 до 400 мм в зависимости от расположения относительно влагонесущих ветров и высоты местности. В районах, где заболоченные территории составляют значительную часть водосборных бассейнов, понятие «климатический сток» теряет смысл. Для болот характерна большая влагоемкость, разность «осадки минус сток» характеризует здесь не только испарение, но и аккумуляцию влаги в болотной толще. Обские притоки, текущие на север и северо-восток в зоне избыточного увлажнения, за год выносят в среднем 108 мм влаги. Годовой слой стока закономерно увеличивается при движении с юга на север вместе с общим увлажнением территории. Специфика распределения водных ресурсов бассейна по природным зонам отражена в табл. 1.3.1.

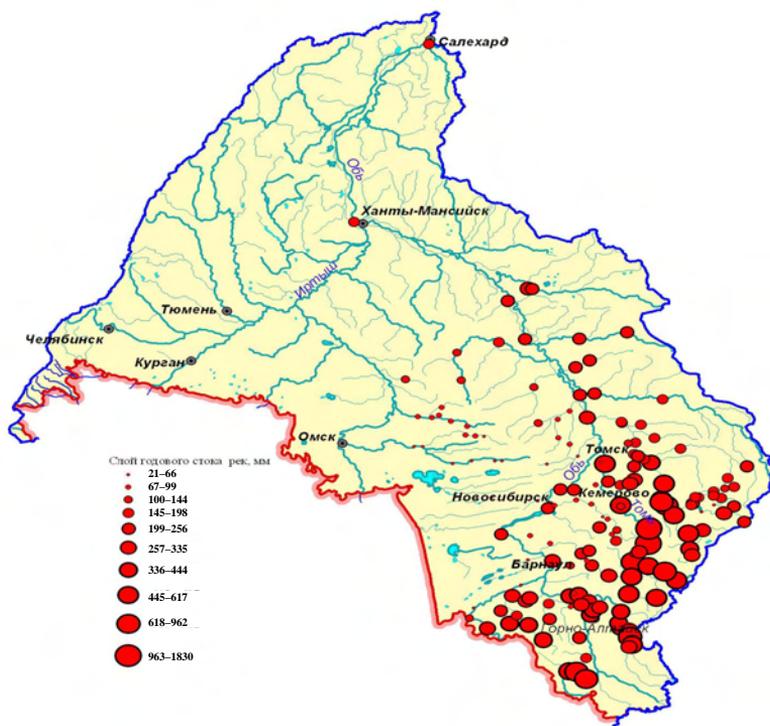


Рис. 1.3.1. Слой годового стока бассейна Оби [Отчет о выполнении..., 2008]

Таблица 1.3.1

**Средняя годовая величина речных ресурсов и удельная водообеспеченность по природным зонам
Обь-Иртышского бассейна [Савкин, 2000]**

Природная зона	Площадь, тыс. км ²	Сток, км ³ /год		Общие водные ресурсы	Водообеспеченность на км ² площади, тыс. м ³ /год	
		местный	транзитный		местные ресурсы	общие ресурсы
Горные районы	221,1	66,8	7,8	74,6	301,0	337,1
Степная и лесостепная	1112,8	48,3	74,6	122,9	43,4	110,4
Лесная	1469,6	232,0	122,9	354,9	157,8	241,4
Тундра	199,6	53,1	354,9	408,0	271,0	2078,0

Для выполнения гидрологических расчетов и прогнозов по жидкому стоку определен перечень исследуемых водосборов в бассейнах рек Оби и Иртыша, выбраны репрезентативные створы (длиннорядные посты) для продления многолетних стоковых рядов (до 2006 г.) и гидрологических расчетов по жидкому стоку. Гидрологические створы выбраны с учетом взаимосвязи по годовому стоку. Результаты гидрологических расчетов приведены в табл. 1.3.2 [Исследование..., 2010].

На основании гидрологических справочников и ежегодников собрана информация (на бумажных носителях) с начала наблюдений по 1987 г.). Данные за период с 1988 по 2006 гг. предоставлены Западно-Сибирским управлением Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России (Росгидромет). Расчеты выполнены в соответствии с «Пособием по определению расчетных гидрологических характеристик» с использованием оригинального программного обеспечения, имеющего государственное свидетельство о регистрации [Расчет..., 2000]. Данное программное обеспечение разработано в ИВЭП СО РАН на основе известных методик [Рождественский, Чеботарев, 1974; Пособие..., 1984; Воробьев и др., 2000, 2001].

Для створов р. Обь – Александровское (11 лет), р. Иня – Коновалово (2 года), р. Иня – Кусмень (11 лет), р. Вах – Ваховск – (20), р. Чулым – Старогорносталево (25), р. Томь – Теба (31 год) расчеты обеспеченности некорректны из-за небольшой продолжительности рядов. Для р. Алей – Алейск (51 год) – из-за нарушения естественного режима после пуска в эксплуатацию в 1980 г. Гилевского гидроузла.

Для количественной оценки водных ресурсов собственно р. Обь использовались данные Государственного водного кадастра [Т. 1., 1984], дополненные материалами по стоку по 2006 г. включительно. В качестве створов, по которым определялись ресурсы поверхностных вод, были выбраны пункты с наиболее длительным периодом наблюдений, характеризующие изменение водности по длине р. Обь от ее начала (Фоминское) до устья (Салехард) (табл. 1.3.3).

Для уточнения отдельных данных и скрининг-оценки современного состояния водных объектов и их бассейнов были проведены полевые гидрологические, гидрохимические, гидробиологические, биогеохимические и ландшафтно-экологические исследования (рис. 1.3.2–1.3.4). Полученные материалы позволили оценить нарастание как водосборной площади. Оби (рис. 1.3.5), так и объемов воды от Фоминского до Салехарда (рис. 1.3.6). Анализ колебаний среднегодовых расходов Оби и ее притоков показал, что после 1980 г. водность реки не претерпела значительных изменений (рис. 1.3.7) [Исследование..., 2010].

Таблица 1.3.2

Гидрологические показатели рядов среднегодовых расходов

Река	Водопост	Q _{ср}	C _v	C _s	σ	Q _p при P, %																
						0,3	1	2	3	10	25	50	70	90	99							
<i>Обь</i>																						
Обь	с. Фоминское	1128,30	0,17	0,81	191,81	1841,30	1689,50	1618,60	1547,70	1382,50	1239,90	1105,30	1015,00	902,56	775,49							
	г. Барнаул	1478,80	0,18	0,52	266,18	2320,40	2165,90	2089,00	2012,00	1819,70	1640,90	1459,90	1331,10	1162,20	959,48							
	г. Камень-на-Оби	1607,47	0,18	0,26	289,35	2490,00	2340,50	2263,70	2187,00	1988,20	1796,10	1594,00	1445,30	1244,00	993,24							
	с. Колпашево	3893,2	0,18	0,45	700,78	6153,60	5737,50	5530,60	5323,60	4806,60	4326,70	3841,60	3496,90	3045,90	2505,50							
<i>Притоки Верхней Оби</i>																						
Чулышман	с. Балыка	158,16	0,22	0,59	34,79	273,84	251,84	241,01	230,19	203,54	179,21	155,09	138,27	116,71	91,68							
Бия	г. Бийск	479,98	0,19	0,60	91,20	810,52	743,43	711,37	679,30	602,79	535,17	470,01	425,61	369,73	305,92							
Катунь	с. Сростки	700,93	0,41	0,46	287,38	2161,20	1723,40	1551,90	1380,40	1050,50	817,87	636,32	532,61	421,51	316,92							
Песчаная	с. Точильное	31,69	0,34	0,37	10,77	22,35	19,36	18,05	16,75	13,94	11,7	9,76	8,55	7,14	5,68							
Ануй	совхоз Ануйский	28,9	0,25	0,85	7,22	56,44	50,40	47,61	44,81	38,39	32,95	27,92	24,62	20,62	16,28							
Чарыш	совхоз Чарышский	191,69	0,24	0,37	46,00	334,14	309,44	296,85	284,25	251,89	220,97	188,92	165,74	135,07	98,38							
Алей	с. Староалейское	18,45	0,31	0,62	5,72	37,15	33,82	32,13	30,44	26,15	22,10	17,98	15,08	11,36	7,19							
Касмала	с. Рогозиха	1,87	0,45	1,5	0,84	4,75	4,22	3,95	3,68	3,01	2,39	1,77	1,36	0,87	0,39							
Чумыш	с. Тальменка	129,87	0,25	0,48	32,47	230,69	213,16	204,22	195,28	172,35	150,47	127,84	111,52	89,99	64,41							
Бердь	с. Ст. Искитим	36,14	0,21	-0,16	7,59	57,14	53,88	52,16	50,43	45,80	41,14	36,02	32,11	26,63	19,57							
<i>Томь и Чулым</i>																						
Томь	г. Новокузнецк	650,6	0,18	0,33	117,11	997,24	938,63	908,54	878,44	800,43	724,96	645,43	586,85	507,42	408,14							
	г. Томск	1073,4	0,18	0,33	193,21	1664,9	1564,7	1513,2	1461,8	1328,5	1199,8	1064,3	964,67	829,85	661,92							
Кия	г. Мариинск	146,95	0,2	0,78	29,39	251,63	230,27	220,09	209,9	185,65	164,28	143,75	129,8	112,29	92,38							
Чулым	с. Багурино	782,01	0,19	0	148,58	1193,2	1129,3	1095,5	1061,7	971,15	879,95	779,79	703,2	595,55	455,52							
<i>Притоки Оби ниже впадения Чулыма (зона болот)</i>																						
Чая	с. Подгорное	77,68	0,43	0,62	33,4	191,31	170,38	159,84	149,30	122,76	98,19	73,91	57,40	37,52	18,02							
Кежь	с. Максимкин Яр	242,4	0,2	0,59	48,19	411,53	377,13	360,71	344,28	305,12	270,54	237,27	214,62	186,15	153,69							
Парабель	с. Новиково	76,52	0,4	0,63	30,6	179,10	160,36	150,91	141,46	117,61	95,43	73,34	58,16	39,54	20,52							
Васюган	с. Н. Васюган	85,60	0,36	0,38	30,82	188,49	169,89	160,48	151,08	127,28	105,02	82,67	67,13	47,73	27,09							
Тым	с. Напас	196,05	0,19	0,42	37,25	319,50	296,55	285,17	273,79	245,49	219,35	193,08	174,53	150,40	121,77							
<i>Реки бессточной области Обь-Иртышского междуречья</i>																						
Бурла	с. Хабары	2,55	0,82	0,87	2,09	10,74	9,12	8,31	7,49	5,47	3,67	2,05	1,13	0,35	0,03							
Каргат	г. Здвинск	6,84	0,89	1,91	6,09	37,52	29,08	25,46	21,84	14,4	9,06	5,11	3,12	1,4	0,37							
Омь	с. Вознесенское	45,92	0,7	1,06	32,14	165,44	142,23	130,59	118,95	89,99	63,93	39,68	24,88	10,35	1,85							
Тара	с. М.Красноярское	35,07	0,52	1,03	18,24	99,80	87,62	81,50	75,38	60,06	46,05	32,49	23,58	13,47	4,87							
<i>Притоки Иртыша</i>																						

Наращение площади водосбора р. Обь идет почти прямолинейно от истока до устья р. Иртыш, а наиболее значительное отмечено при впадении Иртыша (площадь водосбора увеличивается почти в 2 раза). Наиболее заметное наращение средних многолетних объемов стока р. Обь имеет место после впадения Томи. Увеличение ресурсов поверхностных вод от устья Томи до впадения р. Иртыш происходит почти прямолинейно. Иртыш увеличивает водные ресурсы Оби на 88 км^3 при среднем многолетнем объеме ее стока до устья Иртыша в 237 км^3 .

Несмотря на значительную величину водных ресурсов бассейна Оби в районе Салехарда, по площади водосбора они распределены весьма неравномерно. Наиболее населенные территории Обь-Иртышского бассейна (Алтайский край, Кемеровская, Новосибирская, Омская, юг Тюменской области) обладают не столь существенными водными ресурсами. Положение усугубляется значительной внутригодовой неравномерностью стока. Подавляющая часть поверхностных вод сбрасывается в течение половодья (май-июнь). В период зимней межени (ноябрь-март) наблюдаются такие объемы минимального стока, которые не могут в полной мере удовлетворить запросы народного хозяйства.

В гидрологических расчетах поверхностного стока бассейна р. Иртыш (табл. 1.3.4) использованы материалы Государственного водного кадастра [Т. 6, вып.4–6, 8–9, 1984], дополненные наблюдениями по 2005 г. (г. Омск, г. Усть-Ишим, ниже р. Тобол) и по 2006 г. (г. Павлодар, Екатеринбургское, выше р. Тобол). Для 1960–1975 гг. введены поправки на изменение годовых величин стока, учитывающие регулирующее влияние Бухтарминского водохранилища.

Объем стока р. Иртыш в его устье составляет 27 % от общего стока р. Обь. Анализ колебаний речного стока в многолетнем разрезе и динамики естественного стока в результате хозяйственной деятельности не выявили значимых изменений объемов стока в створах нижнего течения Иртыша и приустьевых створах его основных притоков.

Таблица 1.3.3

Ресурсы поверхностного стока бассейна р. Обь

Река	Пост	Расстояние от устья, км	Площадь, тыс. км ²	Период наблюдений, годы	Объем стока, км ³ до 1980 г.	Объем стока, км ³ до 2006 г.	Изменение объема, %
Бия	Бийск	21	36,9	1894–2005	15,0	15,14	0,9
Катунь	Сростки	53	58,4	1919–2005	19,7	22,10	10,9
Обь	Фоминское	3638	98,2	1953–2005	36,3	35,58	–2,0
Обь	Барнаул	3430	169,0	1922–2005	46,4	46,64	0,5
Обь	Камень-на-Оби	3169	216,0	1894–1939, 1950–1963–2005	49,5	49,9	0,8
Томь	Томск	68	57,0	1918–1970–1972–2005	34,1	33,85	–0,7
Чулым	Батурино	136	131,00	1936, 1938–2005	24,7	24,6	–0,4
Обь	Колпашево	2422	486,0	1915–2005	129	122,78	–5,1
Обь	Прохоркино	2024	738,0	1960–1997	166	160	–3,8
Обь	Белогорье	1152	2160,0	1921–1923–1932–1990	325	321	–1,2
Иртыш	Ханты-Мансийск	1120	1120,0	1893–2005	88,0	88,3	0,3
Обь	Салехард	287	2430,0	1930–1990	394	395	0,3

Гидрологические исследования
ИВЭП СО РАН
на р. Обь у г. Барнаула
октябрь 2009 г.

Подложка - коллаж спутниковых
снимков Google на 04.10.2004 г.

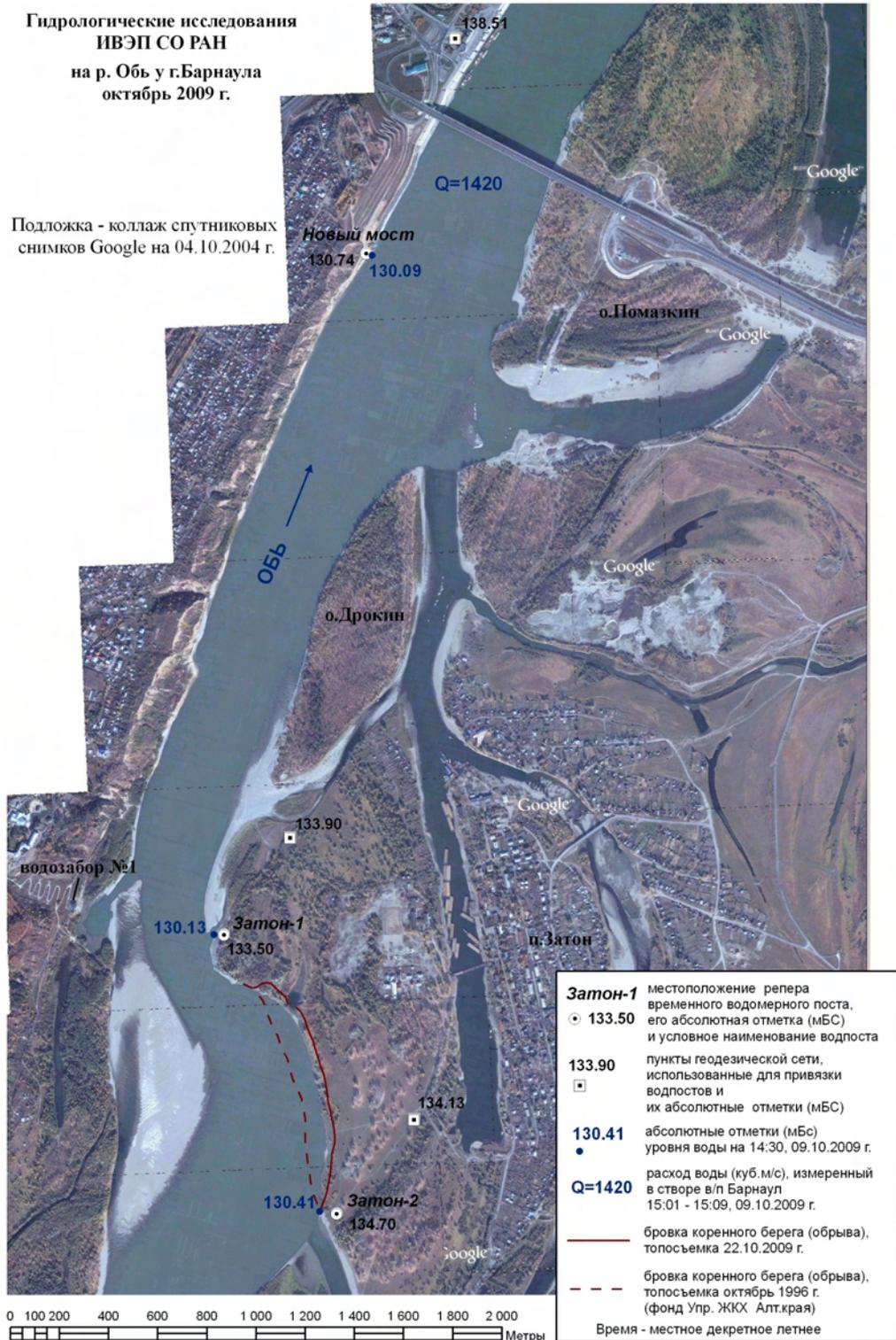


Рис. 1.3.2. Гидрологические исследования на р. Обь у г. Барнаула с использованием новых технологий (автоматические зонды, профилографы), октябрь 2009 г.

Для створов с искаженным естественным режимом стока достаточным обоснованием параметров распределения годового стока является использование оценок по ретроспективным рядам за периоды с неискаженным стоком при условии их репрезентативности. Полученные материалы позволили оценить как режимы нарастания площади водосбора р. Иртыш от Павлодара до Ханты-Мансийска (рис. 1.3.8), так и объемы его стока (рис. 1.3.9) [Исследование..., 2010]. Показатели обеспеченности годового стока в естественном режиме в устьевых и пограничных створах крупных рек бассейна р. Иртыш приведены в табл. 1.3.5.

По характеру внутригодового распределения стока реки относятся к типу рек с выраженным весенним половодьем, дождевыми паводками в теплую часть года и сравнительно низким меженным стоком в зимний и летний периоды. Исключение составляет р. Иртыш в устьевой части и притоки Нижнего Иртыша, где половодье растягивается на летние месяцы за счет зонального таяния снега и озерно-болотного регулирования. Продолжительность фазы половодья – 3–5 мес., в многоводные годы на нижнем Иртыше – до 6 мес. За период половодья проходит 60–90 % годового стока.

Таблица 1.3.4

Ресурсы поверхностного стока бассейна р. Иртыш

Водпост	Расстояние от устья, км	Площадь, тыс.км ²	Период наблюдений, гг.	Объем стока, км ³		Изменение объема, %
				по 1980 г.	по 2006 г.	
Павлодар (Казахстан)	2390	240	1978–2006	26,8	27,9	4,0
Омск, выше устья р. Омь	1816	268	1923–2005	25,4	25,1	–1,2
Омск, ниже устья р. Омь	1824	321	1960–2006	26,8	26,8	0,0
Екатерининское	1432	376	1979–2006	24,1	25,9	7,0
Усть-Ишим, выше устья р. Ишим	1012	390	1903–1975	31,2	30,2	–3,3
Усть-Ишим, ниже устья р. Ишим	1014	567	1893–1975	38,1		
Тобольск, выше устья р. Тобол	630	570	1891–2005	41,1	41,1	0,0
Тобольск, ниже устья р. Тобол	637	969	1891–2006	67,5	67,5	0,0
Ханты-Мансийск	20	1120	1893–2006	88,0	88,3	0,3

Таблица 1.3.5

Годовой сток в естественном режиме в устьевых и пограничных створах крупных рек бассейна р. Иртыш

Река	Створ	Расстояние от устья Иртыша, км	Действующих водосбор, тыс. км ²	Средний сток, км ³	Расчетные величины годового стока при различной обеспеченности (50–95 %), км ³			
					50	75	90	95
Иртыш	граница Казахстана и России	2041	246,0	27,9	27,2	22,8	19,4	17,4
	Ханты-Мансийск	20	1110,0	88,3	85,6	72,6	62,6	57,2
Омь	устье	1824	52,6	1,73	1,40	0,74	0,38	0,23
Ишим	граница Казахстана и России		111,0	2,23	1,89	0,97	0,44	0,25
	устье	1014	138,0	3,22	2,76	1,79	1,21	0,98
Тобол	граница Казахстана и России		33,0	0,55	0,36	0,16	0,09	0,07
	устье	637	362,0	26,4	24,8	19,1	15,1	13,2

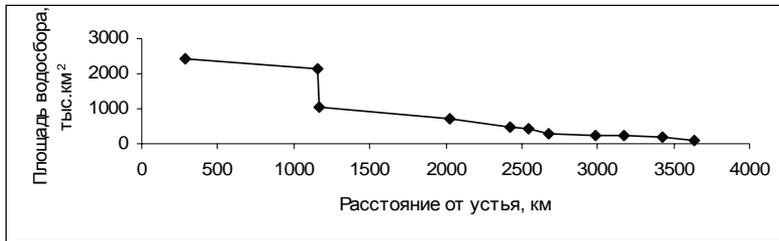


Рис. 1.3.5. Нарастание площади водосбора р. Обь от истока (Фоминское) до устья (Салехард)

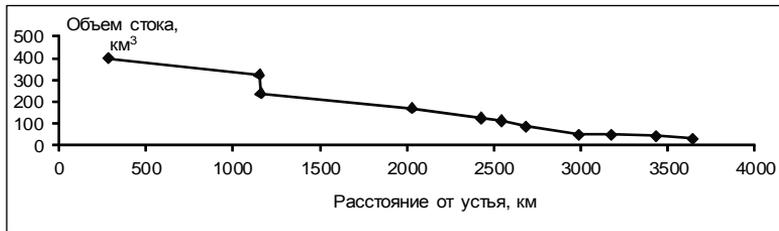


Рис. 1.3.6. Нарастание объема стока р. Обь от истока (Фоминское) до устья (Салехард)

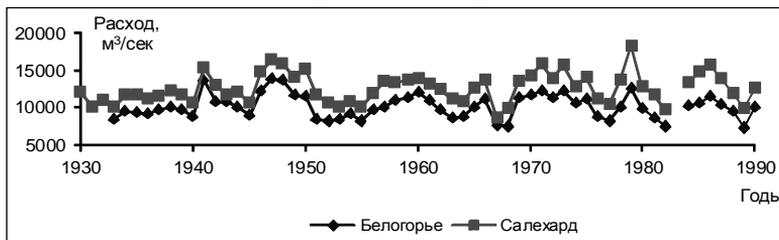


Рис. 1.3.7. Колебание среднегодовых расходов р. Обь по водпостам Белогорье (1933–1990 гг.) и Салехард (1930–1990 гг.)

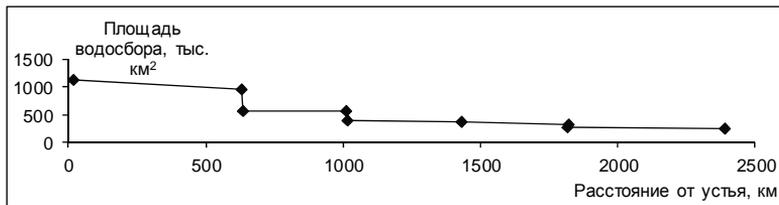


Рис. 1.3.8. Нарастание площади водосбора реки Иртыш от истоков (пост Павлодар) до устья (пост Ханты-Мансийск).

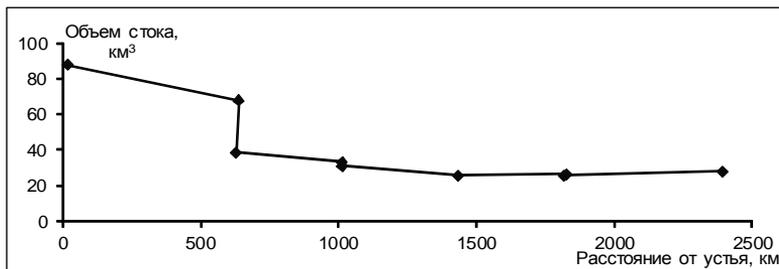


Рис. 1.3.9. Нарастание объемов воды реки Иртыш от истоков (пост Павлодар) до устья (пост Ханты-Мансийск)

В летне-осенний меженный период объемы стока в районах замкнутого стока Ишим-Иртышского и Ишим-Тобольского междуречья ничтожно малы – и составляют 5–6 % от годового стока, а в бассейнах лесоболотной зоны – 12–20 %. На малых реках в южной части изучаемой территории сток в этот период отсутствует.

Минимальные расходы воды наблюдаются в конце периодов летней (в сентябре–октябре) и зимней (в феврале–марте) межени. На всех реках с естественным режимом стока зимние минимальные расходы в 1,5–3 раза меньше летне-осенних. Летние средние минимальные расходы Иртыша увеличиваются по длине реки от границы Казахстана и РФ до устья (г. Ханты-Мансийск) с 449 до 2090 м³/с, а зимние – с 238 до 660 м³/с.

1.4. Ресурсы подземных вод

В гидрогеологическом отношении Обь-Иртышский речной бассейн входит в Западно-Сибирский артезианский бассейн (в пределах Западно-Сибирской равнины) и ряд бассейнов трещинных вод, приуроченных к горному обрамлению (Урал, Казахский мелкосопочник, Алтай-Саянская и Колывань-Томская складчатые области, Енисейский кряж).

По условиям водообмена, литологии и выдержанности в разрезе бассейна выделяются два гидрогеологических этажа: верхний, состоящий из водоносных комплексов четвертичного, неоген-позднепалеогенового и позднепалеогенового-позднемелового возраста, и нижний, объединяющий водоносные комплексы верхнемеловых-нижнемеловых и юрских отложений. В центральной части гидрогеологические этажи разделяются мощной толщей морских глинистых отложений чеганской свиты [Гидрогеология СССР, 1970]. Ресурсы подземных вод на территории Обь-Иртышского бассейна распределяются крайне неравномерно. На территории России выделяется несколько зон (рис. 1.4.1).

Воды верхнего этажа преимущественно пресные, реже слабосоленоватые. Для них в целом характерна широтная гидрохимическая зональность. На севере равнины породы и воды находятся в мерзлом состоянии. Многолетнемерзлыми породами занята практически вся северная половина Западно-Сибирского артезианского бассейна. Южная граница их распространения постепенно опускается с северо-запада на юго-восток. Потенциальные эксплуатационные ресурсы пресных вод Обь-Иртышского бассейна составляют не менее 1 000 000 тыс. м³/сут. Эксплуатационные ресурсы подземных вод по зонам представлены в табл. 1.4.1.

Зона I – горное обрамление Западно-Сибирского артезианского бассейна (Алтай, Кузнецкий Алатау, часть Западных Саян, восточная часть Урала) в пределах республик Алтай и Хакасия, Кемеровской, Челябинской и Свердловской областей, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов. Общая площадь – свыше 130 тыс. км². Подземные воды на Алтае распространены в трещиноватых породах протерозоя и палеозоя, в отложениях межгорных впадин, в аллювиальных осадках крупных рек, в отложениях ледников и конусов выноса. Широкое развитие дизъюнктивных нарушений, расчлененность горной страны и глубокий врез эрозионной сети обуславливают высокую динамичность подземных вод, которые формируются в зоне свободного водообмена. Для определения эксплуатационных запасов зоны I использовалось соотношение их с естественными

ресурсами. Остальную часть горного обрамления брали приблизительно из расчета половины запасов Алтая.

Зона II расположена на юге изучаемой территории в бассейне основного притока Оби – р. Иртыш, т.е. за пределами РФ. Основные ресурсы находятся в пределах Семипалатинской, Павлодарской и Восточно-Казахстанской областей. Общая площадь зоны II – 383 тыс. км². Естественные ресурсы Восточно-Казахстанской области приблизительно можно оценить через минимальный зимний модуль стока – 0,1 л/с·км² [Комлев, 1973]. Через соотношение естественных ресурсов и эксплуатационных запасов примерно оцениваем последние. Ресурсы подземных вод по областям, как и их водоотбор, весьма различны, в Кокчетавской области водоотбор производится значительно больше определенных ресурсов.

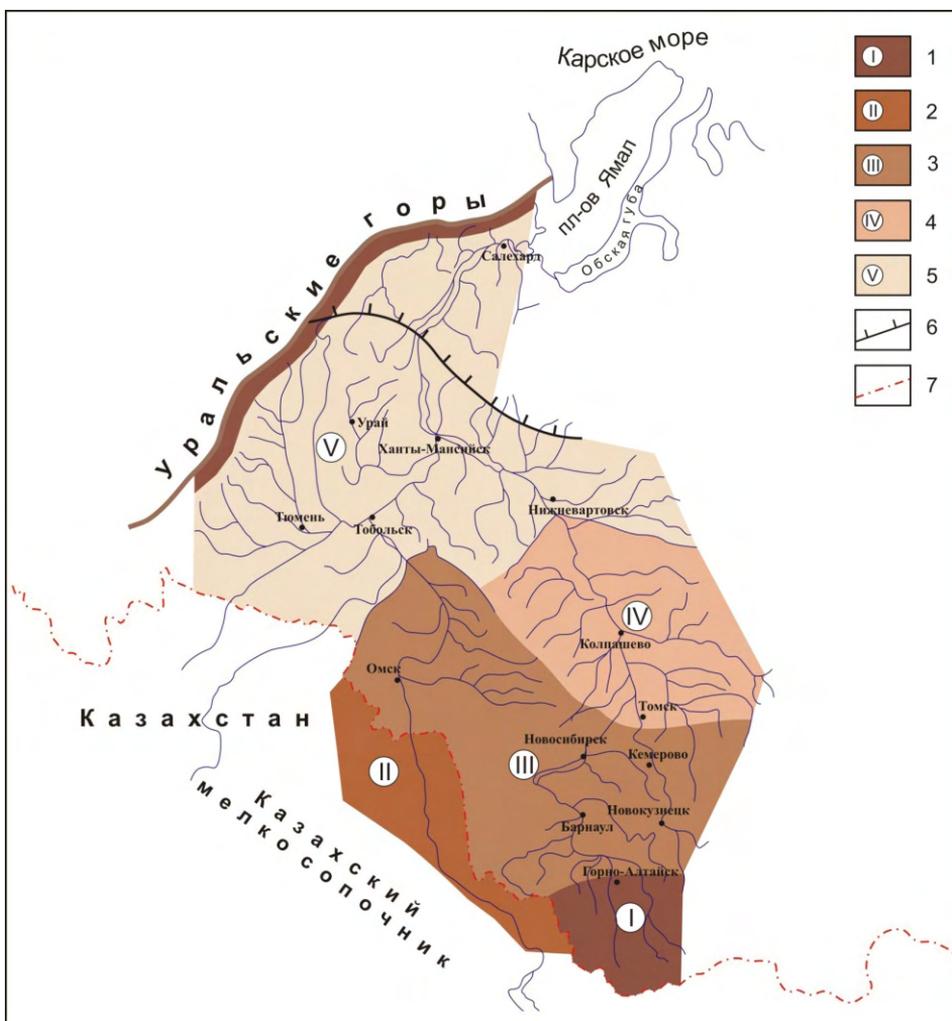


Рис. 1.4.1. Распределение ресурсов подземных вод по зонам:

- 1 – горное обрамление (зона I);*
- 2 – южная часть Обь-Иртышского бассейна за пределами РФ (зона II);*
- 3 – южная часть бассейна в пределах РФ (зона III);*
- 4 – центральная часть (зона IV);*
- 5 – северная часть (зона V);*
- 6 – граница распространения многолетнемерзлых пород;*
- 7 – граница РФ.*

Таблица 1.4.1

Эксплуатационные запасы подземных вод Обь-Иртышского бассейна (в пределах РФ)

Зона	Запасы подземных вод, тыс. м ³ /сут
I – горное обрамление	62 237
II – южная часть в пределах Семипалатинской, Кокчетавской, Павлодарской и Восточно-Казахстанской областей	14 618
III – южная часть в пределах Алтайского края, Новосибирской и Омской областей	45 439
IV – центральная часть (Томская область)	39 949
V – северная часть в границах Тюменской области, включая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа	168 066
<i>Всего по бассейну</i>	330 309

Зона III – южная часть Западно-Сибирского артезианского бассейна в пределах Алтайского края, Новосибирской, Кемеровской и Омской областей общей площадью около 670 тыс. км². Эксплуатационные ресурсы подземных вод зоны – свыше 45 млн м³/сут, водоотбор – более 1 млн м³/сут.

Таким образом, резерв использования подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения значителен. Следует указать, что в западной части Новосибирской области и Алтайского края (Барабинская степь и Кулундинская равнина) наблюдается дефицит подземного стока, обусловленный геологическим строением и особенностями гидрогеологических условий. Здесь отмечены минимальные значения подземного стока.

Зона IV занимает центральную часть Западно-Сибирского артезианского бассейна в пределах Томской области общей площадью 317 тыс. км². В центральной части Обь-Иртышского бассейна находится Томская область, общие эксплуатационные запасы которой, по оценкам, также значительны – около 40 млн м³/сут (табл. 1.4.1). Используются подземные воды незначительно – около 0,5 %. Таким образом, резервы для использования подземных вод центральной части бассейна огромные. В большинстве случаев эти воды вследствие специфических природных условий формирования не соответствуют установленным нормативам качества по содержанию железа, марганца, в северных районах – кремния, а также по величине перманганатной окисляемости. С учетом этого на большей части территории водоносные горизонты можно отнести ко второму и третьему классам источников водоснабжения.

Зона V находится в пределах территорий Тюменской области, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов (в целом Тюменская область). По площади это самая большая зона – 1435 тыс. км² [Национальный атлас., 2004]. В связи с огромной территорией ресурсы северной части бассейна весьма значительны. Однако распределены они весьма неравномерно, особенно на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, где распространены многолетнемерзлые породы. Поэтому здесь имеют место затруднения с хозяйственно-питьевым водоснабжением ряда новых населенных пунктов и объектов, возникших в последнее время в связи с освоением этой территории.

Таким образом, ресурсы подземных вод по Обь-Иртышскому бассейну, оцененные для южной, центральной и частично северной частей Западно-Сибирского артезианского бассейна, а также (приблизенно) для горного обрамления и северной части бассейна в настоящее время представляют собой внушительную величину – около 316 млн м³/сут.

1.5. Оценка опасных и неблагоприятных гидрологических ситуаций (негативного воздействия вод), рисков возникновения чрезвычайных ситуаций

Для водных объектов в бассейнах рек Обь и Иртыш характерны следующие проявления негативного воздействия вод:

- наводнения (затопление территорий);
- опасные изменения уровня грунтовых вод: экстремально низкий и экстремально высокий (подтопление);
- маловодья;
- негативные русловые процессы (подмыв берегов, размыв русла рек, перенос твердого стока, перехват русел);
- переработка берегов водохранилищ.

Среди отмеченных неблагоприятных гидрологических ситуаций наибольшую опасность представляют наводнения, которые на реках Обь-Иртышского бассейна могут быть вызваны весенними (весенне-летними) половодьями, дождевыми паводками и зажорно-заторными явлениями [Винокуров и др., 2008]. Для рек Обь-Иртышского бассейна наиболее высока вероятность наводнений, вызываемых половодьями и паводками (40 %, или один раз в 2,5 года и чаще), что характерно для левых притоков р. Тобол (реки Тавда, Тура, Миасс и др.) и р. Чулым. Для рек Томь, Вах (в верхнем течении), Тобол, Тавда (в среднем течении) вероятность наводнений составила 30–40 % (один раз в 2,5–3 года), для Иртыша (ниже устья Ишима), Оби (район Новосибирского водохранилища), Ваха (в среднем течении), Сев. Сосьвы – 20–30 %, для остальных рек Обь-Иртышского бассейна – менее 20 % (один раз в 5 лет и реже) [Атлас природных..., 2005].

Расчет уровней различной обеспеченности в период половодья при наличии длинных рядов наблюдений (от 20 лет) выполнен с использованием программного продукта «Гидростатистика», разработанного в ИВЭП СО РАН [Расчет аналитических..., 2000]. Для конкретных гидрологических расчетов выбран графоаналитический метод, давший при построении кривой обеспеченности меньшую погрешность.

При отсутствии длинных рядов наблюдений для конкретного створа расчет проводился с помощью методов рек-аналогов (СП 33–101–2003). Рассчитаны границы затопления для 24 населенных пунктов на картографической основе масштаба 1:25 000. Их картографирование выполнено в среде ГИС. Пример расчета границ территории затопления р. Обь у пос. Затон (г. Барнаул) при расходах различной обеспеченности на основе картографического метода дан на рис.1.5.1.

На основе полученных данных оставлена серия карт, отражающих степень паводковой опасности на водоемах Обь-Иртышского бассейна (рис. 1.5.2 и 1.5.3). Русловые процессы, вызывающие изменение плановых очертаний русла, вертикальных отметок дна, смещении аллювиальных форм руслового рельефа (побочней, кос, осередков) также часто могут сопровождаться опасными проявлениями. Это особенно характерно для рек юга Западной Сибири [Природные опасности..., 2002].

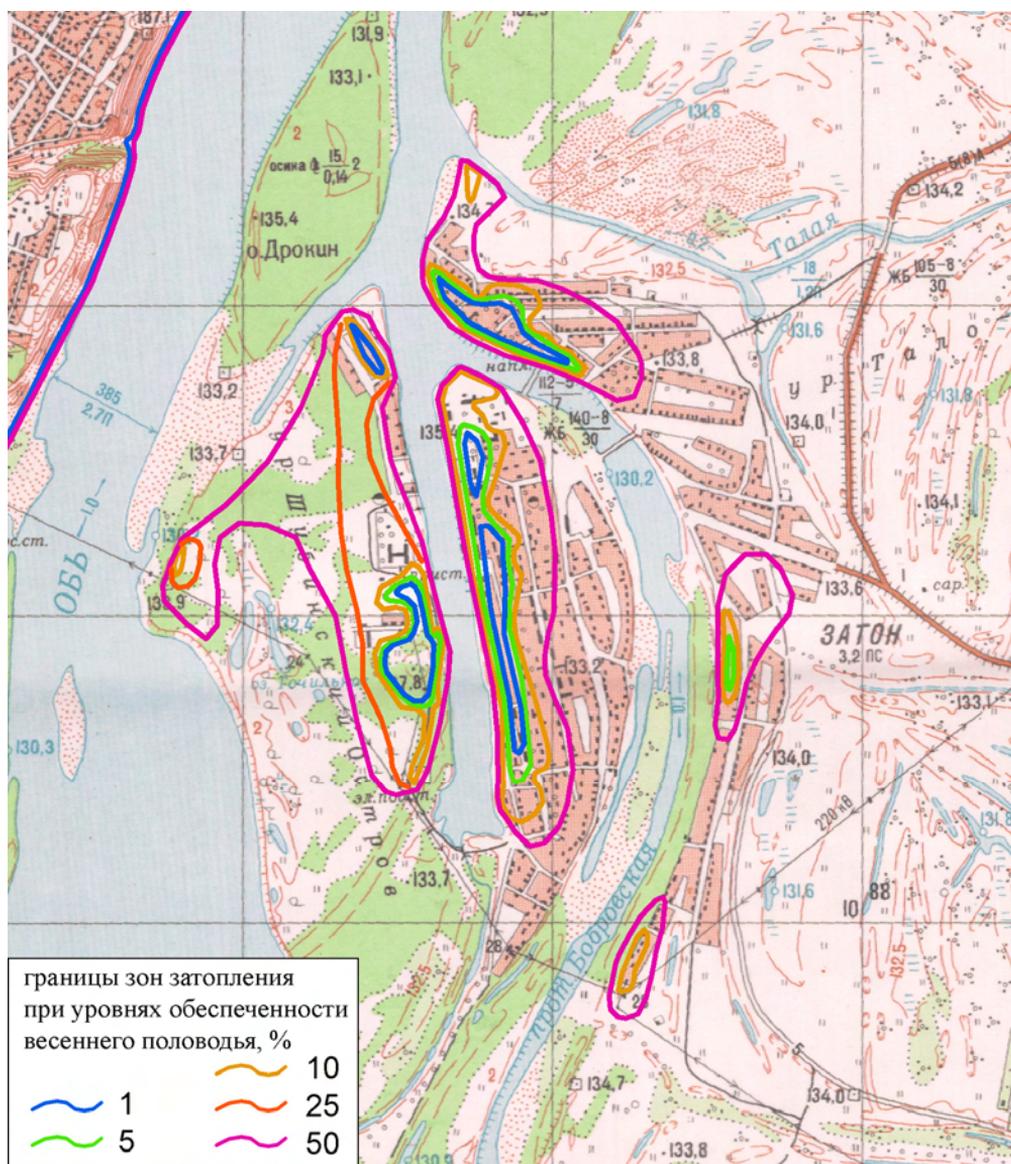


Рис. 1.5.1. Изолинии границ зон затопления в районе пос. Затон для половодий различной обеспеченности

Негативными последствиями процессов деформации русел являются размыв берегов в районе населенных пунктов и объектов инфраструктуры, заносимость водозаборных сооружений, обмеление судоходных участков, формирование условий для образования ледовых заторов и т.п. Например, существующая уже более двух десятилетий проблема устойчивого функционирования двух поверхностных водозаборов г. Барнаула, которые обеспечивают 95 % водоснабжения города, обусловлена естественным ходом русловых процессов на р. Обь.

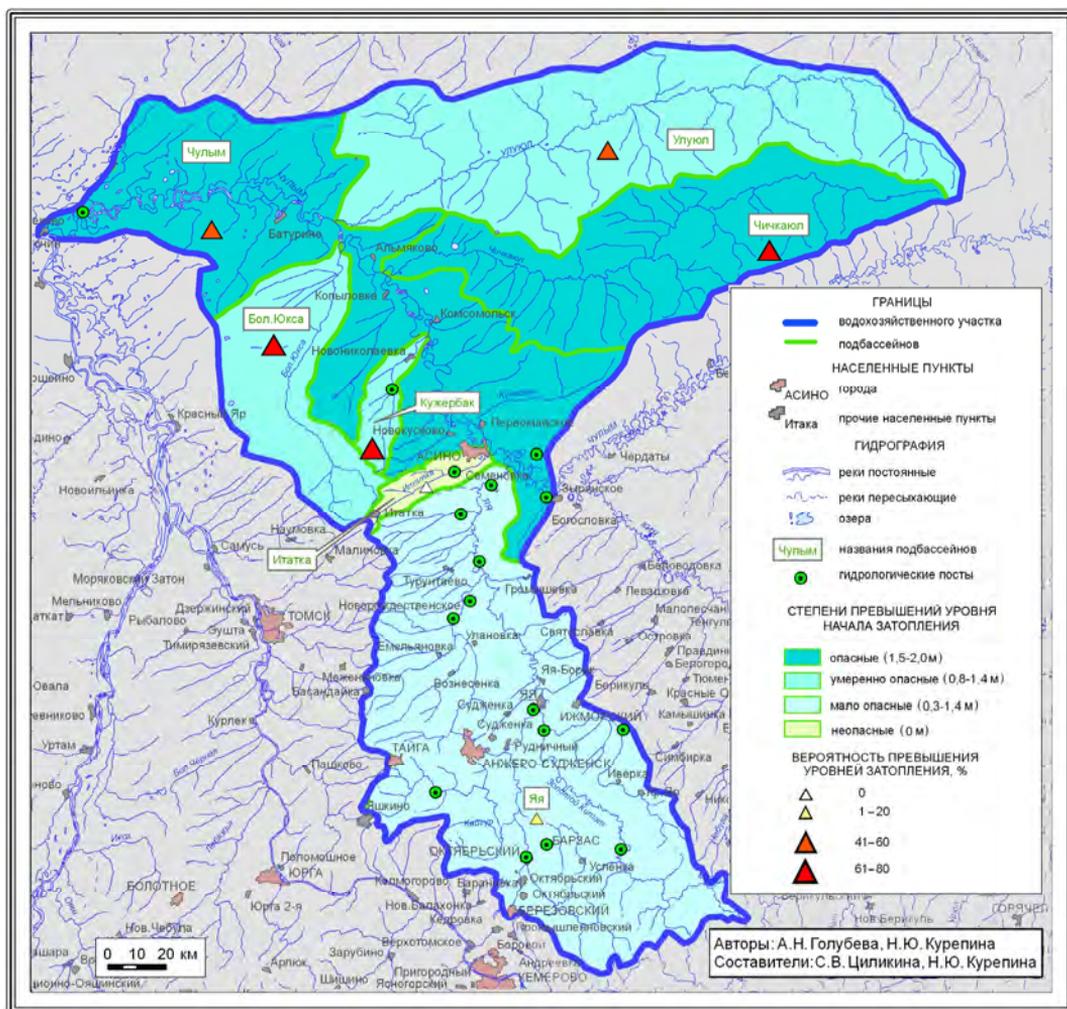


Рис. 1.5.2. Зонирование водосборной территории по степени паводковой опасности ВХУ 13.01.04.003 (р. Чулым от водпоста Зырянское до устья)

В настоящей работе на основе плановой модели выполнено численное моделирование участка р. Обь в районе водозабора № 2 на основе имевшихся гидрологических и батиметрических данных для условий летне-осенней межени (расход воды – $1320 \text{ м}^3/\text{с}$). Результаты расчетов представлены на рис. 1.5.4.

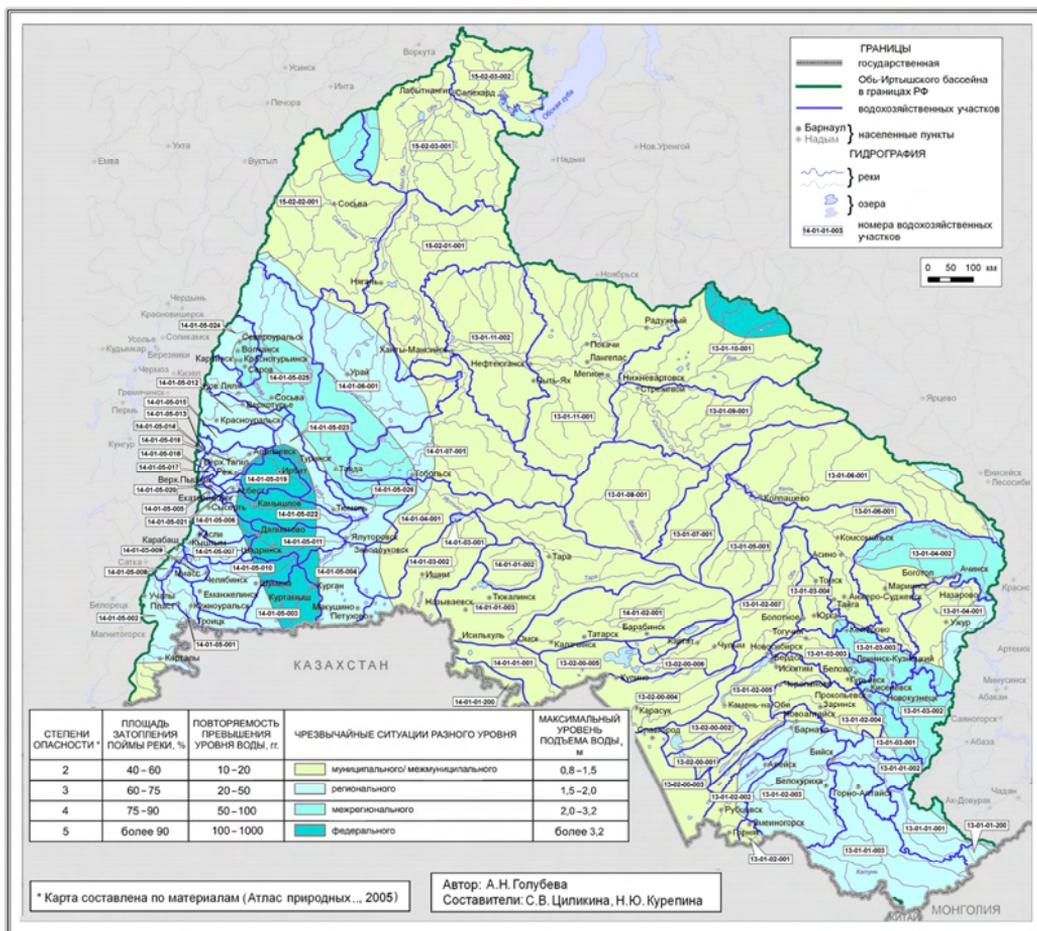


Рис. 1.5.3. Зонирование территории Обь-Иртышского бассейна по степени паводковой опасности

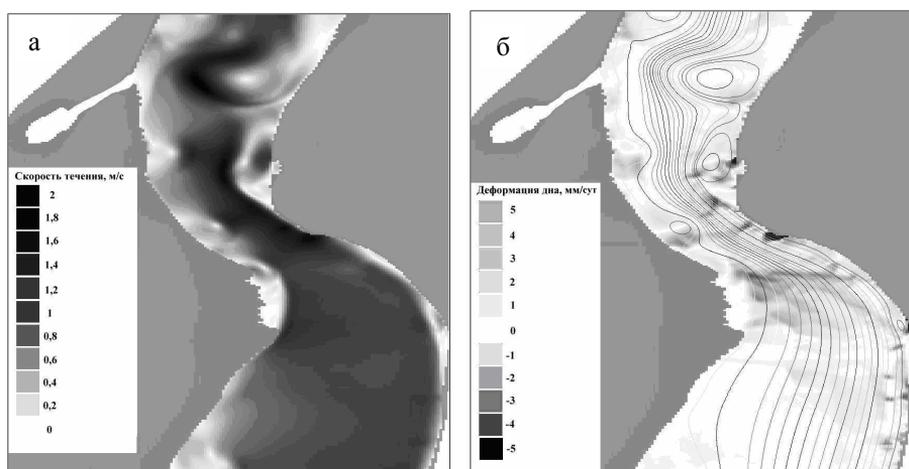


Рис. 1.5.4. Результаты математического моделирования участка р. Обь в районе водозабора № 2 (расход воды 1320 м³/с): средняя по глубине скорость течения (а); линии тока и скорости деформации дна (б)

1.6. Анализ изменения водности рек и прогноз динамики этого процесса под влиянием изменения климата

Для выявления тенденций в динамике основных параметров атмосферного воздуха, влияющих на гидрологический режим Обь-Иртышского бассейна, были проанализированы ряды многолетних наблюдений за температурой и осадками на различных его участках. С привлечением данных основных длиннорядных станций ЗапСибУГМ были рассчитаны нормативные показатели этих характеристик за 1961–1990 гг., средние за 1980–2008 гг., а также их аномалии. Анализ полиномиальных трендов температурных кривых показывает устойчивое повышение температуры воздуха в последние десятилетия со скоростью 0,2–0,6°/10 лет, исключение составляет бассейн р. Васюган, где температурный тренд не просматривается. Осадки несмотря на общее относительное уменьшение их количества по сравнению с нормативным периодом 1961–1990 гг. имеют положительную тенденцию внутри анализируемого периода 1980–2008 гг. (7–21 мм / 10 лет). Исключением являются бассейн Катунь с несущественными колебаниями осадков и бассейн оз. Кулундинского, где продолжается уменьшение их количества на 21 мм / 10 лет.

Анализ изменения водности проводился по материалам наблюдений за весь период работы водомерных постов с помощью трендов. Для аналитического представления сценарного прогноза на основе линейных трендов важен следующий исходный факт: норма стока Q_0 , вычисленная по рядам наблюдений Q_i и среднее значение ряда Q_0^T , задаваемого найденным линейным трендом, практически совпадают, т.е.:

$$Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i}{n} \approx Q_0^T = \frac{Q_1^T + Q_n^T}{2},$$

где $Q_i^T = A \times T(i) + B$ – уравнение тренда среднегодовых расходов Q_i ; $i = [1 \dots n]$ порядковые номера элементов ряда, $i = 1$ соответствует началу расчетного периода, $i = n$ – концу расчетного периода; Q_1 – первый элемент ряда среднегодовых расходов; Q_n – последний элемент ряда среднегодовых расходов; $T(i)$ – возрастающая последовательность годов наблюдений от $T(1)$ до $T(n)$.

Разница между Q_0 и Q_0^T составляет десятые-сотые доли процента. Это позволяет, используя линейное уравнение тренда, рассчитать прогнозируемую норму стока для периода от начала наблюдений до 2020 и 2030 гг. (табл. 1.6.1). В первом шаге устанавливается значение ординаты трендового уравнения Q_i^T для конца рассматриваемого периода ($T = 2020$ или $T = 2030$), затем вычисляется среднее значение ряда за весь период наблюдений (до 2020 г. или 2030 г.), которое и является прогнозным значением нормы стока.

По результатам прогнозного расчета на 2030 г. для Верхней Оби выделено шесть зон изменения стока с учетом границ водосборов (рис. 1.6.1).

Таблица 1.6.1

Прогнозируемая норма стока рек бассейна Верхней Оби для 2020 и 2030 гг.

Река	Гидрологический пост	Норма стока по годам, м ³ /с			Изменение относительно 2010 г., %	
		2010	2020	2030	ΔQ^{2020}	ΔQ^{2030}
		Q_o^{2010}	Q_o^{2020}	Q_o^{2030}		
<i>Верхняя Обь</i>						
Обь	Фоминское	1112,64	1095,49	1079,14		
	Барнаул	1481,63	1489,62	1497,41	0,54	1,07
	Камень-на-Оби	1610,65	1620,62	1630,00	0,62	1,20
	Колпашево	3880,51	3820,99	3761,48	-1,53	-3,07
<i>Притоки Верхней Оби</i>						
Чулышман	Балыкча	158,93	159,72	160,11	0,50	0,74
Бия	Бийск	478,92	476,35	473,38	-0,54	-1,16
Катунь	Сростки	671,68	630,26	588,84	-6,17	-12,33
Песчаная	Точильное	32,14	32,33	32,53	0,59	1,21
Ануй	Ануйский	28,39	27,75	27,12	2,24	-4,46
Чарыш	Чарышский	192,28	193,92	195,57	0,85	1,71
Алей	Староалейское	19,15	19,23	19,31	0,40	0,81
Касмала	Рогозиха	1,71	1,62	1,53	-5,18	-10,45
Чумыш	Тальменка	128,32	124,14	119,96	-3,26	-6,51
Бердь	ст. Искитим	35,91	35,34	34,76	-1,60	-3,21
<i>Реки Томь и Чулым</i>						
Томь	Томск	1069,03	1058,45	1047,88	-0,99	-1,98
Чулым	Батурино	784,36	781,22	778,08	-0,40	-0,80
<i>Притоки Оби ниже впадения Чулыма (зона болот)</i>						
Чая	Подгорное	77,74	77,85	78,01	0,14	0,35
Кеть	Максимкин Яр	242,70	243,30	243,90	0,25	0,49
Парабель	Новиково	79,74	84,14	88,54	5,52	11,04
Васюган	Средний Васюган	159,90	160,00	160,10	0,07	0,13
	Новый Васюган	87,63	90,05	92,47	2,76	5,52
Тым	Напас	196,63	197,91	199,18	0,65	1,30
<i>Реки бессточной области Обь-Иртышского междуречья</i>						
Бурла	Хабары	2,60	2,58	2,57	-0,61	-1,23
Кулунда	Шимolino	4,83	4,68	4,53	-3,15	-6,25
Каргат	Здвинск	6,70	6,44	6,17	-3,92	-7,94
<i>Притоки Иртыша</i>						
Тара	Малокрасноярское	36,17	37,76	39,34	4,38	8,76
Омь	Вознесенское	48,06	50,82	53,57	5,74	11,46

Зона 1 (-). Уменьшение стока рек Катунь (-6,2 % / 10 лет) и Бия (-0,54 % / 10 лет), в верхнем и среднем течении которых преобладают горные ландшафты, к 2030 г. приведет к уменьшению нормы стока р. Обь в створе с. Фоминское на -3,0 %.

Зона 2 (+). Увеличение стока левых притоков Оби – рек Алей (+0,40 % / 10 лет) и Чарыш (+0,85 % / 10 лет) – обусловит рост норм стока р. Обь к 2030 г. на +1,1 % (г. Барнаул) и на +1,2 % (г. Камень-на-Оби) относительно 2010 г.

Зона 3 (-). Правобережные притоки р. Обь с уменьшающейся нормой стока (реки Чумыш, Бердь, Томь, Чулым) определяют падение нормы ее стока в створе г. Колпашево к 2030 г. на -3,1 %.

Зона 4 (+). Правобережные притоки рр. Кеть и Тым к 2030 г. увеличат свою норму стока на +0,5 % и +1,3 %, соответственно.

Зона 5 (-). У р. Касмала (левого притока р. Обь) и рек Обь-Иртышского бессточного бассейна (Кулунды, Бурлы, Каргата) нормы стока будут уменьшаться со скоростью: 5,2 %; -4,7; -0,61; -3,9 % за 10 лет, соответственно.

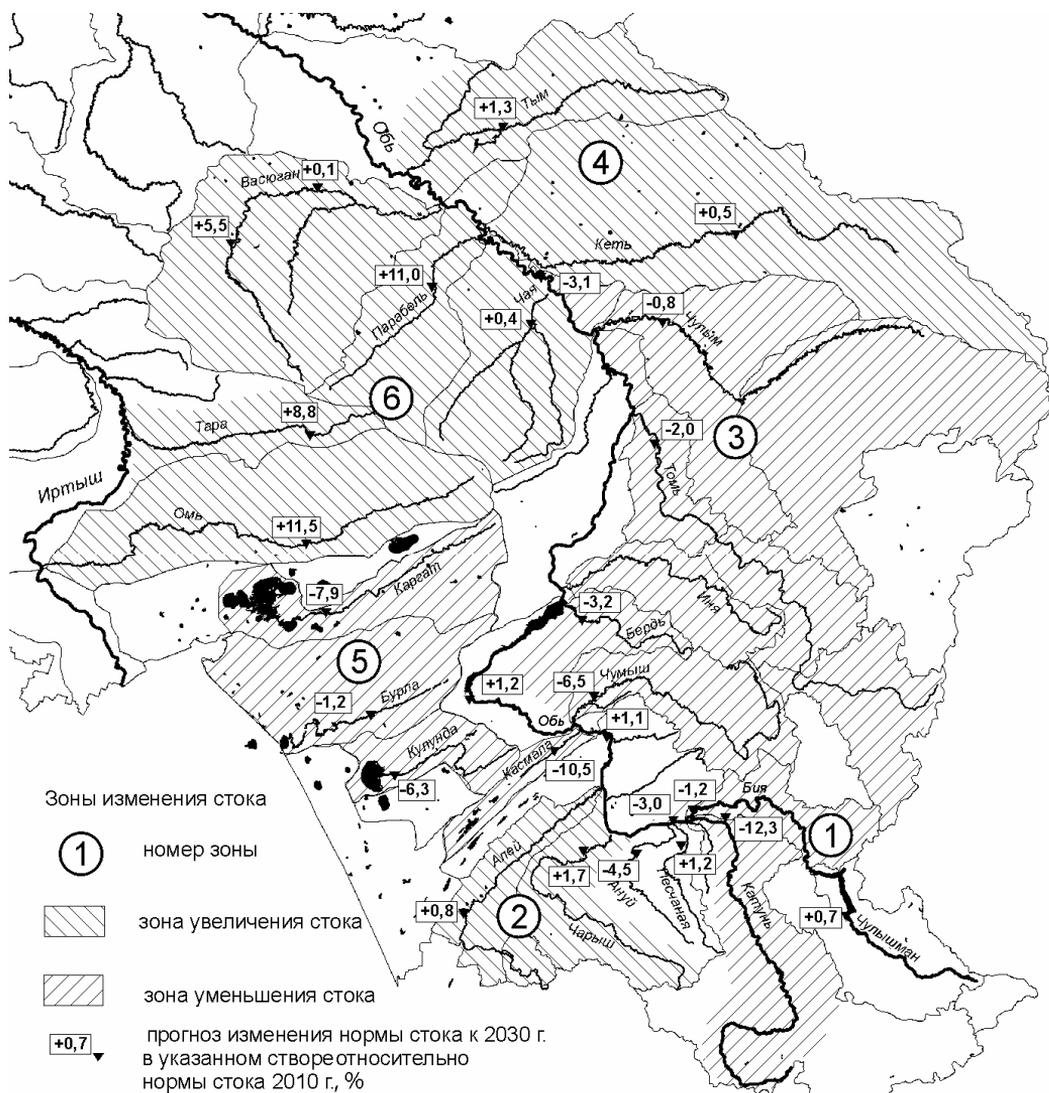


Рис. 1.6.1. Прогноз изменений норм стока на 2030 г. (относительно 2010 г.), %
(выполнен Е.Д. Кошелевой, О.В. Ловцкой)

Зона 6 (+). В зоне болот имеется устойчивая тенденция увеличения норм речного стока. Данная область дает максимальные значения относительных изменений стока к 2030 г. на р. Омь +11,5 % (юго-запад) и на р. Парабель (восток) +11,0 %.

На основе прогнозного расчета водности на основе линейных трендов подготовлена серия карт территории Обь-Иртышского бассейна для прогнозируемых норм стока в 2020 и 2030 гг. (рис. 1.6.2).

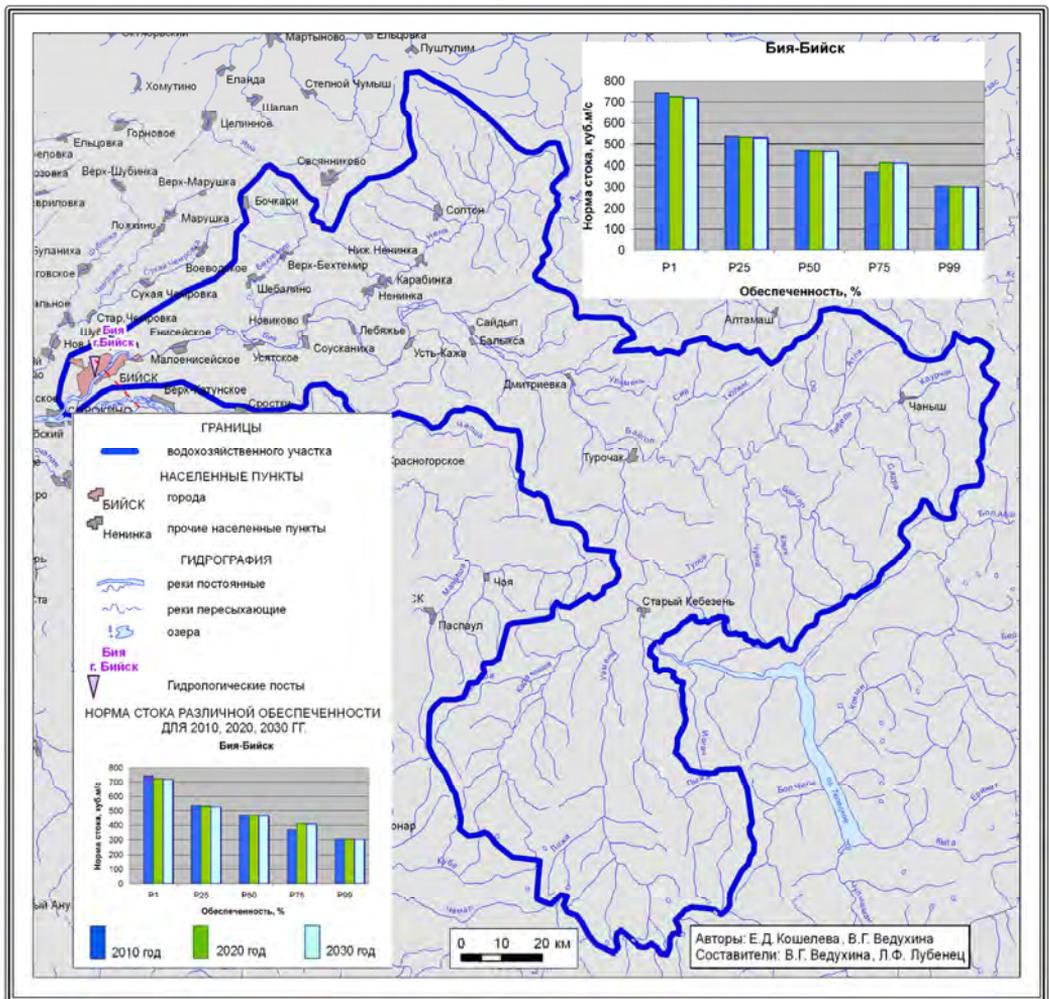


Рис. 1.6.2. Карта прогнозного изменения водности речного бассейна для ВХУ 13.01.01.002 (р. Бия) на 10-ти и 20-летний периоды

2. Современное использование водных ресурсов

2.1. Особенности водопользования в бассейне

Учет, анализ и оценка современного использования водных ресурсов в границах отдельных речных бассейнов и административно-территориальных образований РФ проводились на основе данных государственного статистического наблюдения по форме 2-ТП (водхоз), материалов, представленных Национальным информационным агентством «Природные ресурсы» (НИА-Природа), Федеральной службой государственной статистики (Росстат), территориальными органами (Верхне- и Нижне-Обским бассейновыми водными управлениями (БВУ)) и отделами Федерального агентства водных ресурсов (ФАВР). Анализировались данные за 1990–2007 гг.

Забор воды из всех природных источников Обь-Иртышского бассейна, по данным 2007 г., составлял более 9,0 км³, в сравнении с 1990 г. сократился на 25 %. Из поверхностных водных объектов было забрано 80 % общего объема изъятной воды. На бассейн р. Иртыш приходится 30–38 % общих объемов ежегодного водозабора (в том числе на бассейн Тобола – 25–32 %), на долю бассейна р. Томь – 26–31 % воды, р. Чулым – 9–12 %¹.

В административно-территориальном разрезе самыми крупными водопотребителями являются Кемеровская, Тюменская и Свердловская области, забирающие, соответственно, 2,5 км³, 2,0 (в том числе ХМАО – 1,4) и 1,1 км³. Наименьший объем водозабора – Республике Алтай – 0,01 км³.

В структуре использования воды доминируют производственные нужды – более 65 %. Максимальный объем производственного водопотребления приходится на бассейн Томи, его доля за 1990–2007 гг. увеличилась с 35 до 41 %. Второе место занимает бассейн Иртыша с Тоболом при постепенном сокращении доли с 34 до 22 %. Доля бассейна р. Чулым за рассматриваемый период варьировала в пределах 11–14 %.

Наибольшие объемы использования воды на производственные цели зарегистрированы в Кемеровской (1,7 км³) и Тюменской (1,2 км³, в том числе 0,9 км³ в ХМАО) областях. Интересно, что в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения в промышленности регионов расходы воды за 1990–2007 гг. практически не изменились (рис. 2.1.1), что свидетельствует об их работоспособности и хорошем техническом состоянии. При этом в регионах с растущим водопотреблением отмечалось существенное сокращение доли оборотного и повторного водоснабжения (в Томской и Тюменской областях, ХМАО).

¹ Реки Иртыш с Тоболом, Томь и Чулым – наиболее крупные притоки Оби, их водосборные территории подверглись интенсивному хозяйственному освоению. Бассейны данных рек рассматриваются Национальным информационным агентством «Природные ресурсы» [Водные ресурсы..., 2008] при характеристике динамики показателей использования воды в разрезе отдельных речных бассейнов.

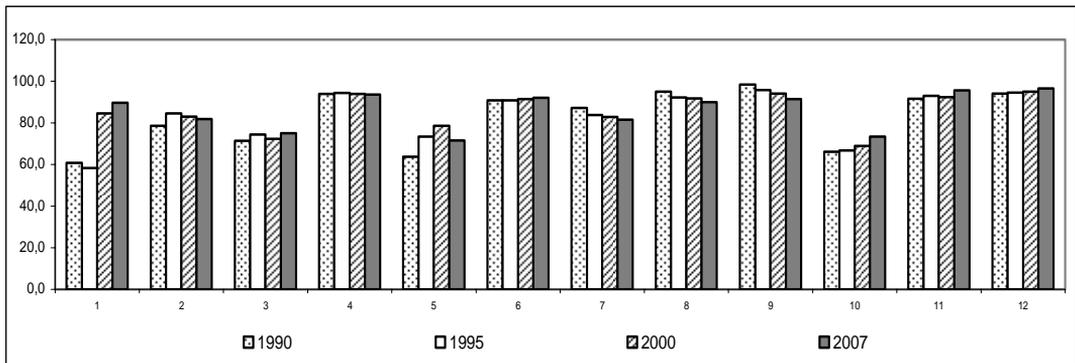


Рис. 2.1.1. Доля оборотного и повторно-последовательного водоснабжения в валовом водопотреблении на производственные нужды за 1990–2007 гг., %:

1 – Республика Алтай, 2 – Алтайский край, 3 – Кемеровская область, 4 – Курганская область, 5 – Новосибирская область, 6 – Омская область, 7 – Томская область, 8 – Тюменская область, 9 – ХМАО, 10 – ЯНАО, 11 – Свердловская область, 12 – Челябинская область.

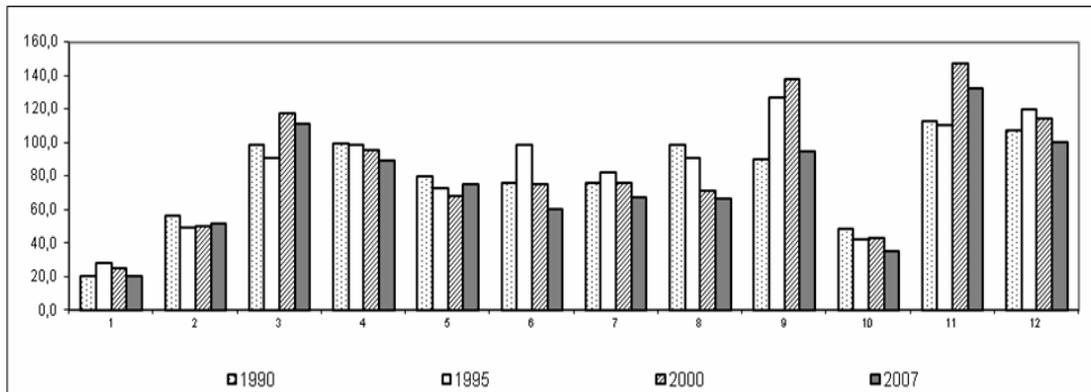


Рис. 2.1.2. Динамика использования воды на хозяйственно-питьевые нужды в разрезе регионов и в расчете на одного человека, м³/год:

1 – Республика Алтай, 2 – Алтайский край, 3 – Кемеровская область, 4 – Курганская область, 5 – Новосибирская область, 6 – Омская область, 7 – Томская область, 8 – Тюменская область, 9 – ХМАО, 10 – ЯНАО, 11 – Свердловская область, 12 – Челябинская область.

На хозяйственно-питьевые цели в пределах Обь-Иртышского бассейна ежегодно используется 1,8 км³ воды, или 22 % общего объема водопотребления. Среди бассейнов первое место по этому показателю принадлежит бассейну р. Иртыш (с Тоболом), доля которого с 1990 г. постепенно увеличилась с 49 до 51 %. В бассейне р. Томь на хозяйственно-питьевое водопотребление приходится 16–17 % от всего объема по Обь-Иртышскому бассейну, в бассейне р. Чулым – 2–4 %.

По объемам хозяйственно-питьевого водопотребления выделяются Свердловская (0,33 км³), Кемеровская (0,31), Челябинская (0,25), Новосибирская (0,24), Тюменская (0,23) и Омская (0,15 км³) области. В расчете на одного человека высокое удельное водопотребление отмечается в Свердловской, Кемеровской, Челябинской и Новосибирской областях, Ямало-Ненецком АО (рис. 2.1.2). В других регионах данная величина имеет уровни ниже среднероссийских (82 м³ в год/чел.). На цели орошения в пределах Обь-Иртышского бассейна в 2007 г. было использовано 0,5 км³ воды, что почти в 10 раз меньше, чем в 1990 г. (в целом по РФ за этот же период использование воды на орошение сократилось менее чем на половину). Наибольшие объемы воды – от 56 до 71 % от общего потребления на эти цели по бассейну Оби и Иртыша – в рассматриваемый промежуток времени расходовались в бассейне р. Иртыш с Тоболом. Среди регионов значительными объемами выделились аграрно-развитые Алтайский край (0,08 км³), Новосибирская (0,03) и Омская (0,01 км³) области.

Объем сброса сточных вод всех категорий в поверхностные водные объекты в 2006 г. составил около 7,0 км³, что на 11 % меньше по сравнению с 1990 г. Наибольшие объемы сточных вод приходятся на бассейны Иртыша с Тоболом (доля в сбросах Обь-Иртышского бассейна составляет 31 %) и Томи (33 %). При этом загрязненных сточных вод сбрасывается 2,5 км³. Наибольший вклад вносят предприятия, расположенные в бассейнах рек Иртыш (с Тоболом) – 61 %, Томь – 23, Чулым – 6 %.

Несмотря на общее снижение водоотведения и сокращение доли загрязненных вод, сброс сточных вод, не прошедших очистку, за 1990–2007 гг. увеличился на 36 % (тогда как за тот же период по РФ он сократился на 58 %). Столь существенный рост объемов вод данной категории (в 3,2 раза) произошел за счет бассейна Томи, доля которого в общем сбросе увеличилась за 1995–2006 гг. с 22 до 51 % (рис. 2.1.3). На территории Кемеровской области, где предприятия являются основными источниками загрязнения вод р. Томь, сбросы неочищенных стоков в этот период возросли с 70,8 млн м³ до 289,1 млн м³, или в 4,1 раза.

Сброс нормативно-очищенных сточных вод в целом по бассейну составляет 0,7 км³. На бассейн Томи приходится 11 % сточных вод данной категории, Чулыма – 1, Иртыша с Тоболом – 16 %. Наблюдается повсеместное сокращение сбросов нормативно-очищенных сточных вод (рис. 2.1.4). В разрезе субъектов по объемам общих сбросов выделяются Кемеровская (2,0 км³), Тюменская (1,3, в том числе ХМАО – 0,9), Свердловская (1,2), Новосибирская (0,6), Челябинская (0,6) и Томская (0,6 км³) области. Сбросы загрязненных сточных вод, свидетельствующие о нехватке мощностей очистных сооружений, по данным 2007 г. высоки в Свердловской (0,8 км³), Кемеровской (0,8), Челябинской (0,4), Омской (0,2), Тюменской (0,2) и Новосибирской (0,1 км³) областях.

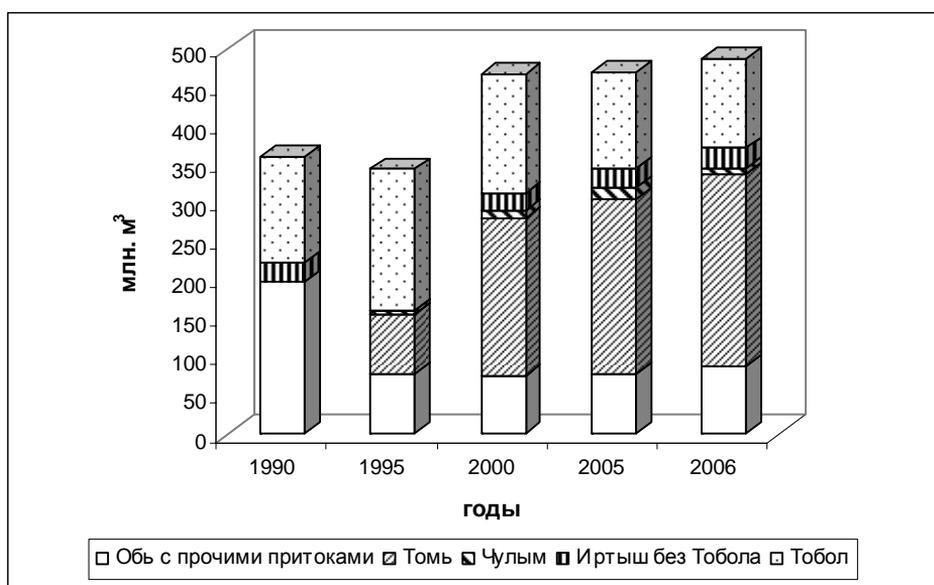


Рис. 2.1.3. Динамика сброса сточных вод без очистки в поверхностные водные объекты по отдельным речным бассейнам Обь-Иртышского бассейна, млн м³ (в 1990 г. бассейны рек Томь и Чулым не выделены) [Стоящева, 2009]

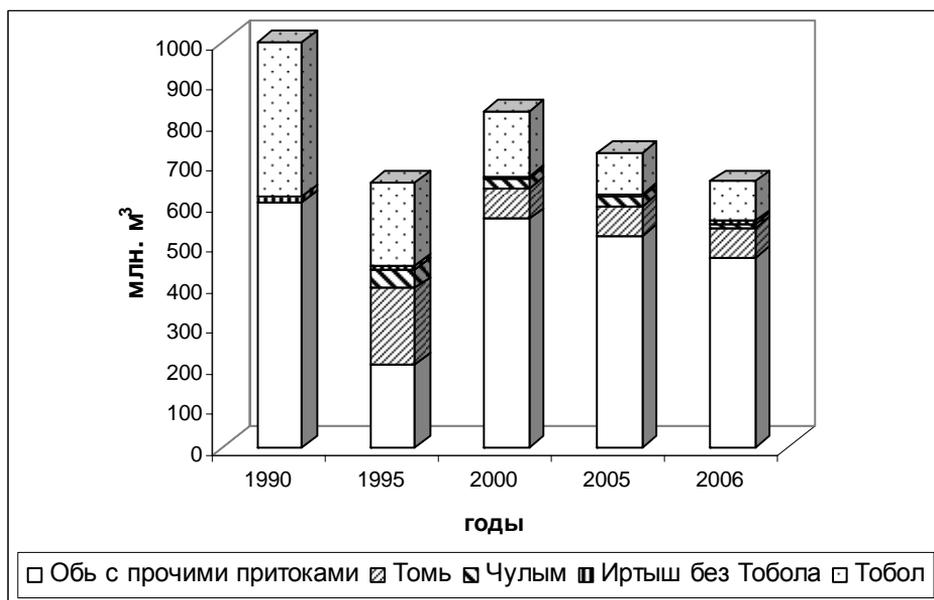


Рис. 2.1.4. Динамика сброса нормативно-очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты по отдельным речным бассейнам Обь-Иртышского бассейна, млн м³ (в 1990 г. бассейны рек Томь и Чулым не выделены) [Стоящева, 2009]

По сбросам нормативно-очищенных сточных вод за 2007 г. лидируют Новосибирская область (0,3 км³) и Алтайский край (0,2 км³). Незначительные объемы нормативно-очищенных сточных вод сбрасывают в водные объекты предприятия Кемеровской области (0,005 км³), ЯНАО (0,001) и Курганской (0,0001 км³) области. В Челябинской области очистение сточных вод до нормативного уровня не проводилось.

2.2. Оценка воздействия сосредоточенных и рассредоточенных источников на состояние подземных и поверхностных вод

Загрязнение водных экосистем происходит из сосредоточенных и рассредоточенных (диффузных) источников. Химический состав и количество сточных вод, поступающих в водные экосистемы Оби из сосредоточенных источников, существенно варьируют по годам. В последние годы следует отметить в целом снижение объемов стоков, содержащих загрязняющие вещества. От объемов сточных вод зависит количество поступающих в водоемы загрязняющих веществ, но характер этой зависимости неоднозначен. Прямая корреляция ($r=0,8-0,9$) обнаружена между объемом сточных вод и количеством сброшенных в водоемы нефтепродуктов, азота общего, СПАВ, железа, магния и сурьмы. Вместе с тем отмечается устойчивая тенденция роста количества нитратов и нитритов, сбрасываемых водопользователями в водные экосистемы Оби, несмотря на снижение общих объемов сосредоточенных стоков (рис. 2.2.1).

Основной объем загрязняющих веществ поступает в бассейны рек Иртыш (с р. Тобол) и Томь. С водами Тобола и Томи в водные экосистемы Оби поступает ежегодно около 40 тыс. т взвешенных веществ, что составляет не менее 70 % их общего количества, сбрасываемого всеми водопользователями Обского бассейна.

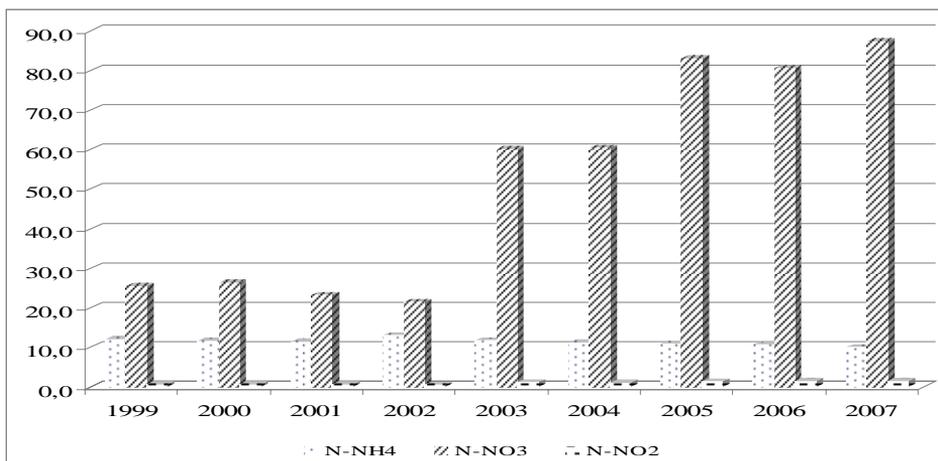


Рис. 2.2.1. Динамика поступления минеральных форм азота в бассейн Оби со сточными водами, содержащими загрязняющие вещества, тыс. т

При этом доля р. Тобол составляет около 40 %. Основное количество нефтепродуктов также сбрасывается водопользователями, приуроченными к бассейну р. Тобол (0,43 тыс. т, или более 60 % их общего количества, 2007 г.). Сосредоточенный сток вносит в бассейн Тобола ежегодно около 50 % сульфатов и хлоридов, фосфатов и аммонийного азота, синтетических поверхностно-активных веществ и соединений железа, более 70 % – меди, свинца, кадмия, марганца, более 80 % – никеля, алюминия, кальция, более 90 % – хрома, ванадия, магния от общего их количества, сбрасываемого крупными водопользователями Обского бассейна. Сосредоточенное поступление фтора, бора и особенно кремния связано в большей степени с водопользованием в бассейне р. Томь.

Доля отраслей хозяйства в загрязнении водных экосистем Оби различна как по объемам сбрасываемых вод, так и по характеру загрязнения. По объемам сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, лидируют предприятия, занимающиеся сбором и очисткой сточных вод, в том числе жилищно-коммунальное хозяйство (рис. 2.2.2). Доля этой отрасли составляет около 60 %. На втором месте находится угледобыча (более 8 %), далее – производство, передача и распределение электроэнергии (7), металлургическое (6) и химическое производство (5), добыча металлических руд (4), производство машин и оборудования (3 %).

Экономическая деятельность, связанная со сбором, очисткой и распределением воды, превосходит другие отрасли не только по объемам сброса загрязненных сточных вод, но и по количеству сброса компонентов, загрязняющих воду. Так в результате этой деятельности сбрасывается в бассейн Оби более 40 % количества нефтепродуктов, сульфатов, фенолов и меди; 50 % и более – взвешенных веществ, хлоридов, аммонийного и нитритного азота, соединений железа и никеля. Данная отрасль является основным поставщиком фосфатов, нитратов, СПАВ, цинка, алюминия, марганца. Сброс соединений хрома, висмута, сурьмы, кадмия, фтора, калия и кремния обусловлен главным образом деятельностью металлургического производства. С загрязненными сточными водами предприятий, добывающих металлические руды, поступает более 50 % кальция. С производством, передачей и распределением электроэнергии более чем на 75 % связан сброс соединений ванадия, магния в большей степени (около 40 %) – с работой угледобывающей отрасли.

Для оценки вклада рассредоточенных источников загрязнения в формирование качества поверхностных вод исследуемой территории был проведен анализ биогеохимических и ландшафтно-геохимических условий водосборных бассейнов на основе данных: структура почвенного покрова модельных участков, тип ландшафтов, физические и физико-химические свойства, водный режим почв, содержание мобильных форм загрязнителей (железа, меди, свинца, сульфатов, хлоридов и др.), состав почвенных растворов. Были рассчитаны ориентировочное поступление макро- и микрокомпонентов из почв в поверхностные воды и среднегодовые модули стока загрязняющих веществ на примере модельных участков, расположенных в различных природно-климатических условиях и испытывающих разную антропогенную нагрузку.

На территории Обь-Иртышского бассейна выявлены следующие рассредоточенные источники загрязнения поверхностных вод: предприятия нефте- и горнодобычи,

перерабатывающей промышленности, районы месторождений с выходящими на поверхность рудными телами, вторичные геохимические аномалии, урболандшафты, сельхозугодья, территории, загрязненные ДДТ и его метаболитами, а также подверженные влиянию ракетно-космической деятельности.

Влияние предприятий горнодобывающей отрасли на водоемы Обь-Иртышского бассейна было рассмотрено на основе Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОК, Алтайский край) и Акташского горнометаллургического предприятия (АГМП, Республика Алтай). В воде водоема, геохимически сопряженного с отстойником АГОКа, обнаружены аномально высокие концентрации тяжелых металлов (рис. 2.2.3). Развитие эрозии на склонах хвостохранилищ обуславливает смыв токсикантов с дождевыми и талыми водами.

Промзона АГМП является главным фактором воздействия на экологическое состояние поверхностных вод района, что находит свое подтверждение в распределении тяжелых металлов в воде транзитной р. Ярлыамры (рис. 2.2.4). На участке промзоны их концентрации в воде увеличиваются в среднем в 3–4 раза (за счет влияния рудных объектов Акташской кулисы). Выявлено локальное загрязнение почв, растений, компонентов водных экосистем ДДТ и продуктами его распада в районе Телецкого озера (табл. 2.2.1). На территории исследуемого бассейна проводились испытания ядерных устройств. Максимальная удельная активность цезия-137 свойственна горно-лесным почвам (табл. 2.2.2).

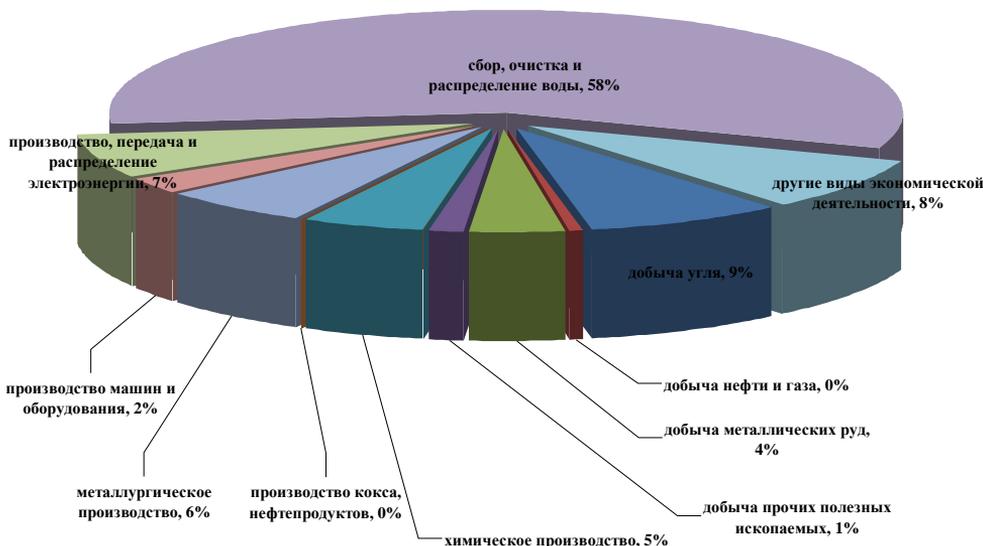


Рис. 2.2.2. Поступление сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, по видам экономической деятельности в рамках Обь-Иртышского бассейна за 2007 г.

Количество поступающих в поверхностные воды загрязняющих веществ с урбандолиндов с поверхностным стоком представлено на примере г. Кемерово (табл. 2.2.3). Характерными загрязнителями поверхностного стока являются органические вещества.

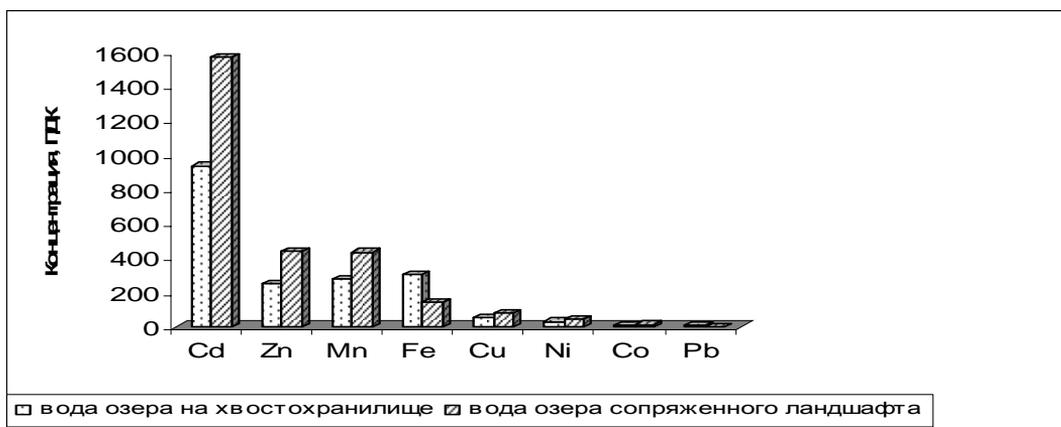


Рис. 2.2.3. Концентрация тяжелых металлов в воде техногенных и сопряженных с ними ландшафтов АГОКа, ПДК [Предельно-допустимые концентрации..., 2003]

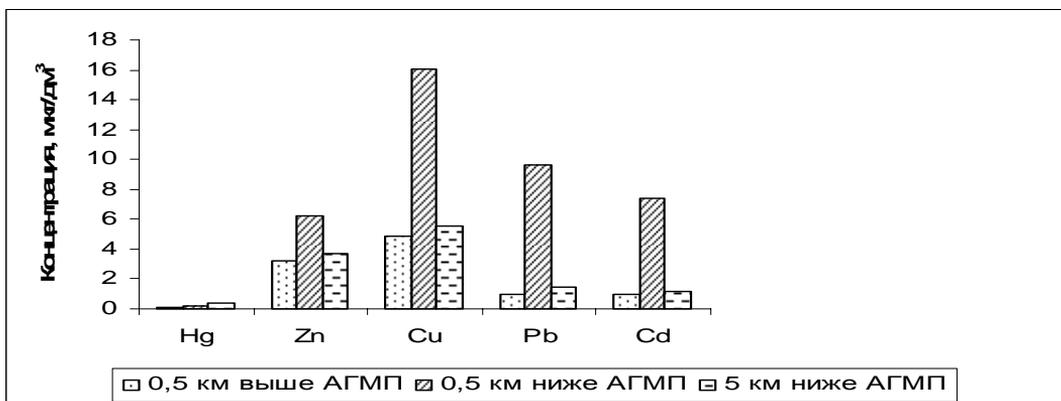


Рис. 2.2.4. Концентрации тяжелых металлов в воде р. Ярлыамры при работе АГМП [Робертус, Пузанов и др., 2010]

Таблица 2.2.1

Содержание ДДТ и его метаболитов* в природных средах с. Артыбаш [Результаты..., 2007]

Параметры	Почвогрунты, мг/кг	Растения, мг/кг	Донные осадки, мг/кг	Фрукты, мг/кг	Поверхностные воды, мг/дм ³
min	0,03	0,157	0,135	0,076	0,0004
max	13686,8	837,5	1,478	0,154	0,1223
ПДК, ОДК	0,1	0,05	не нормируется	0,1	0,1

Примечание: * – сумма ДДТ, ДДД, ДДЭ.

Удельная активность цезия-137 в почвах

Почва	Генетический горизонт	Глубина, см	¹³⁷ Cs, Бк/кг
Горно-лесная бурая суглинистая, Семинский хребет. Разрез 252А	А _{дер}	1–10	100,0
	А	15–25	–
	В	30–40	–

Примечание: «–» – не обнаружено.

Таблица 2.2.3

Вынос загрязняющих веществ с территории г. Кемерово с дождевым стоком, т/год*

Взвешенные вещества	Органические вещества по ХПК	Органические вещества по БПК ₂₀	Нефтепродукты	Соединения азота	Соединения фосфора	Минеральные соли
13025	5209,8	729,4	208,4	3,1	7,8	2083,9

Примечание: * – рассчитано по [Рекомендации по расчету..., 2006].

2.3. Внутрибассейновое и межбассейновое перераспределение водного стока²

Как отмечалось выше, несмотря на обилие водных ресурсов по территории Обь-Иртышского бассейна они распределены крайне неравномерно. Более 68 % стока приходится на малообжитые и малопригодные для сельскохозяйственного освоения земли среднего и нижнего течения Оби, в то время как аграрные и индустриально развитые регионы южной части бассейна испытывают недостаток в водных ресурсах. Еще более неравномерно распределены ресурсы поверхностных и подземных вод по территории РФ и стран СНГ, что предопределило разработку в 1970-х гг. многочисленных проектов внутрибассейновых и межбассейновых перебросок речного стока. Часть их была реализована, многие так и остались на стадии проектирования. В проектах по переброске речного стока в бассейн Аральского моря, а также частично в Волжский бассейн основное место отводилось водным ресурсам Оби и Иртыша.

Существующие системы территориального перераспределения водного стока

1. Реализованные проекты внутрибассейнового перераспределения стока.

Канал Иртыш – Караганда (ныне – им. Каныша Сатпаева) осуществляет переброску части стока р. Иртыш в бассейны рек Нура, Кенгир, Сары-Су, Шидерты для развития промышленности и освоения природных ресурсов Центрального Казахстана. Его строительство начато в 1962 г., сдан в эксплуатацию в 1974 г. Головной водозабор

² Составлено по: [Проблема территориального..., 1985; фондовые материалы ЗАО ПО «Совинтервод»].

расположен у г. Аксу. Общая протяженность канала (до Караганды) – 458 км, ширина по дну – 4 м, по верху – 40 м, глубина – 5–8 м. Пропускная способность – 2,0 км³/год, расход воды в районе головного водозабора: летом 75 м³/с, зимой – 55 м³/с. В настоящее время по одной из дополнительных веток осуществляется водоснабжение г. Астаны. Создание канала Иртыш – Караганда обеспечило потребности в воде промышленных центров Караганда, Темиртау, Экибастуз и дало толчок для развития сельского хозяйства – площадь орошения поданной по каналу водой составила 50 тыс. га. Основной проблемой переброски является изменение качества воды по длине канала – большая его часть использует русло р. Шидерты, протекающей по солонцам и солончакам. Ее воды отличаются значительной минерализацией.

Кулундинский канал был построен в Алтайском крае в 1983 г. по проекту Ленгипроводхоза в качестве опытного объекта. Его предназначение – развитие орошения Новотроицкого и Златополинского массивов площадью по 10 тыс. га каждый, а также участков попутного орошения и обводнения пастбищ в Центральной Кулунде. Протяженность канала – 180,6 км, он имеет земляное русло. На участках с большими фильтрационными потерями (80 км) предусматривался противофильтрационный экран, который был выполнен не в полном объеме, что привело к значительным потерям воды, заболачиванию и вторичному засолению почв, подтоплению населенных пунктов. Кроме того, использование канала для регулярного орошения производится не в полной мере, как было рекомендовано по проекту.

Магистральный канал Алейской оросительной системы, головной водозабор которого расположен на р. Алей в районе с. Веселоярск. Длина канала – 90 км. Алейская оросительная система является крупнейшей в Сибири, она предназначалась для орошения сельхозземель площадью около 50 тыс. га, с ежегодным забором воды в 30–40 млн м³. В настоящее время система работает не в полную силу, площадь орошения составляет чуть более 14 тыс. га. Особой формой перераспределения водных ресурсов можно назвать групповые водопроводы, использующие подземные воды.

Чарышский групповой водопровод был построен в 1982 г. Он осуществляет переброску подземных (подрусловых) вод из бассейна Чарыша в бассейн Алея. Забор воды общим объемом 13,7 тыс. м³/сут. (максимум приходился на 1990 г. – 34,0 тыс. м³/сут.) осуществляется из 30 подземных скважин, расположенных в пойме р. Чарыш. Воды имеют питьевое качество, водопровод обеспечивает водой 73 населенных пункта Алтайского края. В настоящее время из 1166,9 км Чарышского группового водопровода списано 499 км по причине непригодности к дальнейшей эксплуатации. Чарышским водоводом, вода которого отвечает всем санитарным нормам, должны пользоваться порядка 143 населенных пунктов, более того, его запасов хватит обеспечить водой практически все поселения близлежащих районов – Поспелихинского, Чарышского, Мамонтовского, Романовского, Новичихинского, Егорьевского и Алейского, а также г. Алейска.

Тельмановский групповой водопровод. Его протяженность – 35 км. Он осуществляет подачу подземных вод питьевого качества в райцентр с. Благовещенка. При этом соседние

села пользуются собственными скважинами, качество воды в которых не отвечает санитарным требованиям.

2. Межбассейновые перераспределения стока

Обь-Енисейский (Кеть-Касский) судоходный канал – один из старейших проектов. Он существовал с конца XIX и использовался до середины XX вв. Канал соединяет р. Озерная, приток р. Кеть с р. Мал. Кас, притоком р. Бол. Кас (бассейн Енисея). Его длина – 8 км, ширина по дну – 10 м, глубина – до 2 м. На протяжении 217 км система канала проходит по мелководным, извилистым и маловодным речкам, по проекту требовалось устройство 29 шлюзов и канализация всех вышеуказанных рек, а также спрямление, углубление и расчистка Мал. Каса. В 1942 г. он использовался в последний раз. Канал расположен в глухой тайге, поэтому в настоящее время он заброшен, лишь время от времени используется туристами-водниками.

Переброски стока в бассейне р. Тобол. Для повышения водообеспеченности г. Челябинска, г. Екатеринбурга и прилегающих промузлов осуществляется переброска части стока рек Уфа и Чусовая (приток Камы) в бассейн р. Исеть (приток Тобола). Для повышения водообеспеченности Челябинска завершаются работы по переброске стока из Долгобродского водохранилища на р. Уфа в Аргазинское водохранилище на р. Миасс. Переброска протяженностью около 40 км с расчетным годовым объемом 130 млн м³ осуществляется транзитом через Кыштымское водохранилище. Для повышения водообеспеченности Екатеринбурга осуществлена переброска стока с годовым объемом 80 млн м³ из Нязепетровского водохранилища на р. Уфа в р. Зап. Чусовая с подачей воды через Верхне-Макаровское и Волчихинское водохранилища на р. Чусовой. Идет переброска стока из Волчихинского водохранилища в р. Решетка с годовым объемом 8 млн м³ с подачей воды в Верхне-Исетское водохранилище (на р. Исеть).

Канал Черный Иртыш – Каратай. К его строительству приступили в феврале 1994 г. в Китае. Это ирригационный канал, предназначенный для эксплуатации нефтяных месторождений на западе страны. Он имеет длину более 300 км и ширину – 22 м. В настоящее время канал забирает 1,5–1,8 км³ стока Черного Иртыша ежегодно, в перспективе увеличение водозабора планируется довести до 4,0–5,0 км³ [Ашимбаева, 2007; Жоламанова, 2007]. Уже сегодня его эксплуатация усиливает напряженность и без того сложную водохозяйственную обстановку в казахстанской и российской части бассейна Иртыша. Увеличение водозаборов китайской стороной может привести к катастрофическому истощению водных ресурсов реки.

Проектируемые системы территориального перераспределения водного стока

1. Внутрибассейновое перераспределение стока

Среди наиболее перспективных и широко обсуждаемых сегодня рассматриваются следующие проекты *внутрибассейнового перераспределения стока*.

Переброска части стока р. Чарыш в р. Алей с целью развития орошения в бассейне последнего. Канал начинается у водозаборного сооружения на р. Чарыш в районе с. Озерки, дюкером проходит под р. Локтевкой и заканчивается выпуском в р. Поперечную (приток р. Алей). Длина канала – 23,7 км, пропускная способность – 81 м³/с.

Переброска части стока р. Обь в р. Бурла. Намечаемая переброска воды из р. Обь в бассейн р. Бурла предполагает решение комплекса проблем: развитие орошаемых земель, поддержание соответствующих уровней воды в озерах в целях рыбоводства и обеспечения хозяйственно-питьевых нужд населенных пунктов. Водозабор для переброски запроектирован из хвостовой части Новосибирского водохранилища в районе с. Крутиха. От водозаборного узла магистральным каналом длиной 30 км воды поступают в р. Бурла. Расчетный расход канала – 31 м³/с. На всем протяжении он запроектирован в земляном русле, только на участках в песчаных грунтах предусмотрено устройство противотрационного экрана. Подачу воды намечено производить в теплый период, ранней весной – на лиманное орошение, летом – на регулярное орошение, осенью – для заполнения озер.

Работы по строительству канала были начаты в середине 1970-х гг., но в 1992 г. были приостановлены из-за отсутствия финансирования. Наряду с решением ряда социально-экономических проблем его строительство может привести к негативным последствиям, включая развитие заболачивания и вторичного засоления почв. Кроме того, с обской водой в р. Бурла зайдет рыба, зараженная описторхозом, что нанесет вред рыбному хозяйству. При этом развитие больших площадей орошения нецелесообразно, поскольку даже ранее орошаемые здесь участки были заброшены из-за низкой эффективности эксплуатации. В связи с этим вопрос о необходимости продолжения строительства Бурлинского магистрального канала в настоящее время не решен однозначно. Для оценки всех возможных последствий необходимо проведение дополнительных комплексных исследований.

Переброска части стока р. Обь в оз. Чаны намечалась в рамках двух проектов: Кулундинский тракт и переброска обской воды по Карасукскому каналу. Кулундинский тракт переброски части стока Оби в р. Иртыш имел многоцелевое назначение, включая подпитку оз. Чаны, водно-болотные угодья которого внесены в список Рамсарской конвенции.

Переброска части стока Оби с водозабором из Новосибирского водохранилища по Карасукскому магистральному каналу предназначалась для развития орошаемого земледелия в Новосибирской области и подпитки оз. Чаны. Общая площадь орошаемых земель на базе канала составляла по проекту 63,2 тыс. га, тем самым предусматривалась подача воды в объеме 0,5 км³/год. Планировалось сооружение системы магистральных каналов: Карасукский канал с использованием русла р. Карасук для подпитки Карасукской группы озер (протяженность – 458 км и производительность – 160 м³/с); Студеновский канал (25,5 км и 9 м³/с); Чановский канал для подпитки оз. Чаны (83,5 км и 50 м³/с).

Сравнение вариантов Карасукского магистрального канала с Кулундинским трактом выявило преимущество последнего. Однако и данный проект был отклонен из-за ограничения объема переброски, вместо него построили Кулундинский оросительный канал.

Однако актуальность проекта сохраняется и в настоящее время, что продиктовано прогрессирующим сокращением площади акватории оз. Чаны. Главной причиной этого является нерациональная хозяйственная деятельность на водосборе.

Переброска части стока р. Иртыш в р. Омь: Иртыш (с. Исаковка) – р. Ачирка (приток р. Омь). Целью его возведения было повышение водообеспеченности орошаемых земель, обеспечение бесперебойности водоснабжения г. Калачинска и ряда сел Приомья, улучшение санитарного состояния р. Омь и восстановление рыбных запасов. Расчетный расход канала – 11,5 м³/с, он запроектирован в земляном русле, режим работы – сезонный (с мая по октябрь).

Перераспределение стока рек в бассейне р. Тобол. В Свердловской области для повышения водообеспеченности г. Новоуральска планируется внутрибассейновая переброска стока из Аятского водохранилища на р. Аять (приток р. Реж) в Верхне-Нейвинское водохранилище на р. Нейва (приток р. Ница) с годовым объемом 25 млн м³. В природоохранных целях в отдельные годы предусматривается переброска части стока р. Нейва объемом 7,5 млн м³/год в оз. Шигирское, расположенное в центре Шигирского торфяника.

Переброска части стока р. Катунь в бассейн Бухтармы. Для улучшения водохозяйственной ситуации в бассейне Иртыша казахстанскими специалистами предложено начать отъем вод Катунь в результате строительства Белокатунской ГЭС, которое будет сопровождаться переброской воды левого притока – р. Тихая (со среднемноголетним расходом 15 м³/с), берущей начало на территории Казахстана. На казахстанской территории планируется пробивка туннеля в бассейн Бухтармы длиной 4,5 км и диаметром 3 м. На самой Катунь возводится плотина Белокатунской ГЭС. Объем водохранилища сезонного регулирования ГЭС составляет 1,25 км³. В результате переброски расход Иртыша увеличится до 2 км³/год, при этом столько же теряется среднемноголетнего стока р. Катунь. «Жертвуя» катунской водой, Россия имеет право на совместное энергетическое использование Белокатунской ГЭС. При выработке ГЭС 2,7 млрд кВтч доля России может составить до 1,8 млрд кВтч в год. За российской стороной должны остаться управление ГЭС и проведение экологических попусков через плотину на Катунь. В данном случае Россия осваивает гидроэнергетические ресурсы с минимальными экологическими издержками, не затрагивая археологические памятники в долине Катунь. Осуществление проекта позволит отказаться от усеченного варианта Алтайской ГЭС в Еландинском створе. Российская доля электроэнергии позволила бы обеспечить потребности населения Республики Алтай и водно-мелиоративные нужды Алтайского Приобья, реализацию Бурлинской и др. обводнительных систем.

2. Межбассейновые перераспределения стока

Поворот рек Ак-Кабы и Кара-Кабы, которые берут начало на хребтах Катон-Карагайского района Республики Казахстан, уходят в Китай и, слившись, впадают в Черный Иртыш. Образовавшуюся от слияния реку по проекту собираются развернуть от границы и направить в Иртыш на казахстанской стороне. Стоимость реализации данного проекта

составляет почти 1 млрд дол. США, длина туннеля – около 20 км. При этом, по мнению авторов идеи, временно проблема дефицита воды будет снята.

Одна из слабых сторон двух последних проектов связана с тем, что строительные работы затронут заповедные зоны Катунского биосферного заповедника (РФ) и Катон-Карагайского природного парка (РК), где законодательством обеих стран запрещено любое строительство, даже менее экологоемкое. Кроме того, поскольку Китай намерен наращивать водозабор из Черного Иртыша, то вода, полученная за счет перебросок, просто растворится в иртышских водохранилищах. Можно рассчитывать лишь на незначительное улучшение водохозяйственной обстановки в районе Омска во время осенне-зимней межени. Потребуется проведение дополнительных комплексных исследований для всесторонней экологической и социально-экономической оценки всех возможных последствий осуществления данных проектов.

Переброска части стока р. Обь в р. Волга. Эта система переброски предполагала отъем 25 км³/год обской воды на первом этапе и 60 км³/год – на втором (через Уральский хребет в бассейн Камы). Были предложены семь вариантов трассы переброски: Обь (устье р. Сосьва) – Елец – Уса – Печора – Колва – Вишера – Кама (1); Обь (устье р. Сосьва) – Тянью – Лагорта – Юньяха – Уса – Печора – Вишерка – Колва – Вишера – Кама (2); Обь (Сев. Сосьва) – Лепля – Лозьва – Унья – Колва – Вишера – Кама (3); Обь (Ханты-Мансийск) – Иртыш – Тобол – Тавда – Лозьва – Унья – Колва – Вишера – Кама (4); Обь (Ханты-Мансийск) – Иртыш – Тобол – Тавда – Сосьва – Уса – Вишера – Кама (5); Обь (Ханты-Мансийск) – Иртыш – Тобол – Тура – Ница – Черн. Шишим – Бол. Шишим – Чусовая – Кама (6); Обь (Ханты-Мансийск) – Иртыш – Тобол – Тура – Пышма – оз. Таватуй – Черн. Шишим – Бол. Шишим – Чусовая – Кама (7).

Предусмотрена возможность отъема проектного количества воды из живого тока низовья Оби с наименьшим ущербом для окружающей среды. Вариантами 1–2, 6–7 возможно преодоление Уральского хребта с наименьшими подъемами воды. Варианты 4–7 предусматривают максимальное приближение трасс переброски стока к наиболее освоенным районам Среднего Урала.

Проект переброски части стока рек Обь и Иртыш в бассейн Аральского моря был самым значительным как по объему перераспределяемого стока и влияния на окружающую среду, так и по полноте научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ. Переброска предусматривалась в целях развития орошения в бассейне Аральского моря, повышения водообеспеченности хозяйства Казахстана и Зауралья и поддержания уровня самого моря. Водозабор для первой очереди должен был составить 27,2 км³/год, для второй – 60 км³/год. Рассматривались четыре основных варианта переброски, при этом выделена общая, заключительная, часть, которая начинается на Тургайском водоразделе на широте г. Курган. По склонам долины р. Убаган она выходит в долину р. Тургай, спускается к р. Сырдарье, пересекая ее междуречье с р. Амударья, в которую впадает между г. Ургенч и г. Нукус.

Вариант I. Обь (села Белогорье или Шапшино) – Тобольское водохранилище – Иртыш-Тобольская пойма – долина р. Убаган – Тургайское понижение (к началу общей трассы для всех вариантов). Длина канала – 2273 км. Преимуществом варианта является высокая гарантированность водообеспечения не только первой, но и последующих очередей, а также возможное нарастание объемов переброски, обеспечение переброски по самой короткой трассе, возможность привлечения в отдаленной перспективе стока р. Енисей.

Вариант II. Обь (Колпашево) – р. Иртыш (Ямышево) – Курган – Тургайское понижение (1); Обь (Колпашево) – Омск – Курган – Тургайское понижение (2); Обь (Тымск) – Иртыш (устье Ишима) – Курган – Тургайское понижение (3). Недостаток варианта – создание водохранилищ, что повлечет за собой затопление больших площадей сельхозугодий в пойме Оби (до 160 тыс. га). Кроме того, по стоимости строительства он дороже других.

Вариант III. Новосибирское водохранилище (с. Кирзы) – Кулундинская степь – Иртыш (с. Ямышево) – Тургайский водораздел. Для переброски вод из водохранилища может быть использовано не более 25 км³/год, для 2-й очереди (до 60 км³/год) должна привлекаться часть стока рек Чулым и Томь. Как подвариант водозабор планировался из проектируемого водохранилища в районе г. Камень-на-Оби.

Вариант IV. Проектируемые водохранилища на реках Катунь и Бия – Шульбинское водохранилище – р. Ишим – бассейн Сырдарьи. Вариант не обеспечен свободным стоком Оби в точке водозабора даже на первую очередь переброски при очень дорогих и трудноосуществимых мероприятиях по привлечению ресурсов верхнего Енисея. Создание водохранилищ в головной части канала приведет к затоплению высокозначимых в экологическом и социально-экономическом отношении земель. Так долина Катунь именно на этом участке представляет собой наиболее густо заселенную и интенсивно освоенную часть Республики Алтай.

В 1983 г. ТЭО проекта было одобрено Государственной экспертной комиссией Госплана СССР. Однако в 1986 г. работы полностью прекратились в связи с начавшейся бурной дискуссией, в первую очередь, в части возможных экологических последствий строительства для Обь-Иртышского бассейна и всей Западной Сибири.

Проект был вновь инициирован в 2002 г. мэром г. Москвы Ю.М. Лужковым. Им было подготовлено письмо к Президенту РФ по вопросу «...использования паводковых и избыточных вод сибирских рек в целях вовлечения в оборот неиспользуемых высокопродуктивных пригодных для орошения сельхозземель России и Средней Азии». Заинтересованность Ю.М. Лужкова в проекте заключалась в том, что участие Москвы позволит «...получать свою долю прибыли от освоения новых сельскохозяйственных земель в виде дешевой сельхозпродукции». Однако по нашему мнению, сегодня в переброске сибирских рек нет необходимости. Сама первопричина, вызвавшая к жизни эту идею – спасение Арала – уже не актуальна, поскольку колебания уровня воды в этом море имеют природный циклический характер. Реальные потребности в воде в странах Средней Азии также уменьшились – хлопок здесь заменен твердыми сортами пшеницы, не требующей

огромного количества воды. Что касается дефицита собственных ресурсов воды в странах Средней Азии, то он связан в том числе с нерациональным их использованием. По словам президента Центра экологической политики России А.В. Яблокова, суточное потребление воды в Ташкенте составляет 530 л/чел., что вдвое больше, чем в большинстве столиц мира. В Туркмении, Узбекистане и Казахстане на единицу урожая тратится гораздо больше воды, чем в других засушливых странах. Из 55 км³ воды, ежегодно расходуемой в Узбекистане на орошение, до полей доходит менее половины [Моисеенко, 2003].

Несмотря на проведенные ранее исследования до сих пор остается много вопросов по поводу экологического влияния проектов. В частности, резкой критике подвергается заявление Ю.М. Лужкова о наличии в Оби «избыточных вод». Есть вероятность, что изъятие 5–7 % стока приведет к негативным изменениям (нарушению рыбного хозяйства, изменению теплового баланса Арктики и т.п.) [Там же, 2003].

В связи с нарастанием дефицита воды в Центральной Азии (необходимость обеспечения населения качественной питьевой водой, развития промышленности и др.), увеличением индекса водного стресса, России как обладательнице значительного количества водных ресурсов придется «делиться» ими с соседями. Однако это должно осуществляться не путем передачи воды по открытым каналам, гораздо эффективнее использовать высокотехнологичные способы транспортировки воды. Питьевую воду можно бутилировать и продавать, перевозить цистернами, перегонять по трубам. Но для этого нужна глубокая экономическая, экологическая, социальная и геополитическая проработка.

2.4. Трансграничный перенос загрязняющих веществ в бассейне Оби

Оценка трансграничного загрязнения в пределах бассейна Оби выполнена на основе сравнительного анализа расходов загрязняющих веществ по сопряженным водохозяйственным участкам (рис. 2.4.1). Расчет проводился по формуле: $Q_{ЗВ} = Q_в \cdot C_{ЗВ}$, где $Q_{ЗВ}$ – расход загрязняющего вещества, г/с; $Q_в$ – среднегодовой расход воды в створе наблюдения, м³/с; $C_{ЗВ}$ – концентрация загрязняющего вещества в створе наблюдения, г/м³. Были также рассчитаны расходы основных гидрохимических показателей во входном и выходном створах, баланс веществ для каждого ВХУ.

Анализ данных по содержанию минеральных ионов и их расходов на водохозяйственных участках, последовательно расположенных по течению р. Обь от истока к устью, показывает увеличение концентраций всех макрокомпонентов, начиная с ВХУ 13.01.02.003 (Обь от слияния рек Бия и Катунь до г. Барнаул без р. Алей). Резкое увеличение концентраций сульфат- и хлорид-ионов (почти в 2 раза) наблюдается после впадения р. Иртыш, в котором содержание этих ионов составляет в среднем 30 и 20 мг/л, соответственно.

Продольное распределение расходов минеральных ионов (рис. 2.4.2) характеризуется их увеличением на участках Средней и Нижней Оби, что связано с увеличением концентраций ионов вследствие смены природно-климатических условий (изменение состава пород, почв, количества осадков, температурного режима и так далее). Положительный баланс между входным и выходным створами для большинства ВХУ указывает на привнос минеральных ионов с водосборной площади.

Данные по содержанию биогенных элементов на водохозяйственных участках бассейна р. Обь свидетельствуют, что в верхнем ее течении не наблюдается превышения ПДК_{вр} ни по одному показателю. Начиная с ВХУ 13.01.02.003 (р. Обь, с. Фоминское) и до самого устья концентрации аммонийного азота превышают ПДК_{вр} в 1,1–2,4 раза. Содержание других элементов находятся в допустимых пределах.

Динамика расходов биогенных элементов характеризуется их увеличением на участках, расположенных в таежных климатических зонах и испытывающих антропогенное влияние крупных городов и поселков (рис. 2.4.3). Положительный баланс для всех водохозяйственных участков, за исключением ВХУ 13.01.02.005, указывает на поступление биогенных элементов с прилегающих территорий.

Содержание органических соединений в р. Обь в пространственном отношении характеризуется отсутствием превышения ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения по показателю АПАВ на всех участках р. Обь. Превышение ПДК_{вр} по показателям БПК₅ и ХПК отмечается на всех водохозяйственных участках, расположенных ниже ВХУ 13.01.05.001, приуроченных к таежной зоне.

По таким показателям, как нефтепродукты и фенолы, превышение ПДК_{вр} фиксируется во всех гидрохимических створах. Необходимо отметить, что данные о содержании фенолов и нефтепродуктов, возможно, являются не совсем корректными, поскольку превышение допустимых значений по нефтепродуктам и фенолам в таких реках, как Чулышман и Катунь, где антропогенная нагрузка практически отсутствует, являются весьма сомнительным.

Динамика расходов органических соединений (рис. 2.4.4) характеризуется повышением их значений на участках, расположенных ниже с. Александровское, с максимальными значениями на ВХУ, испытывающих значительную антропогенную нагрузку.

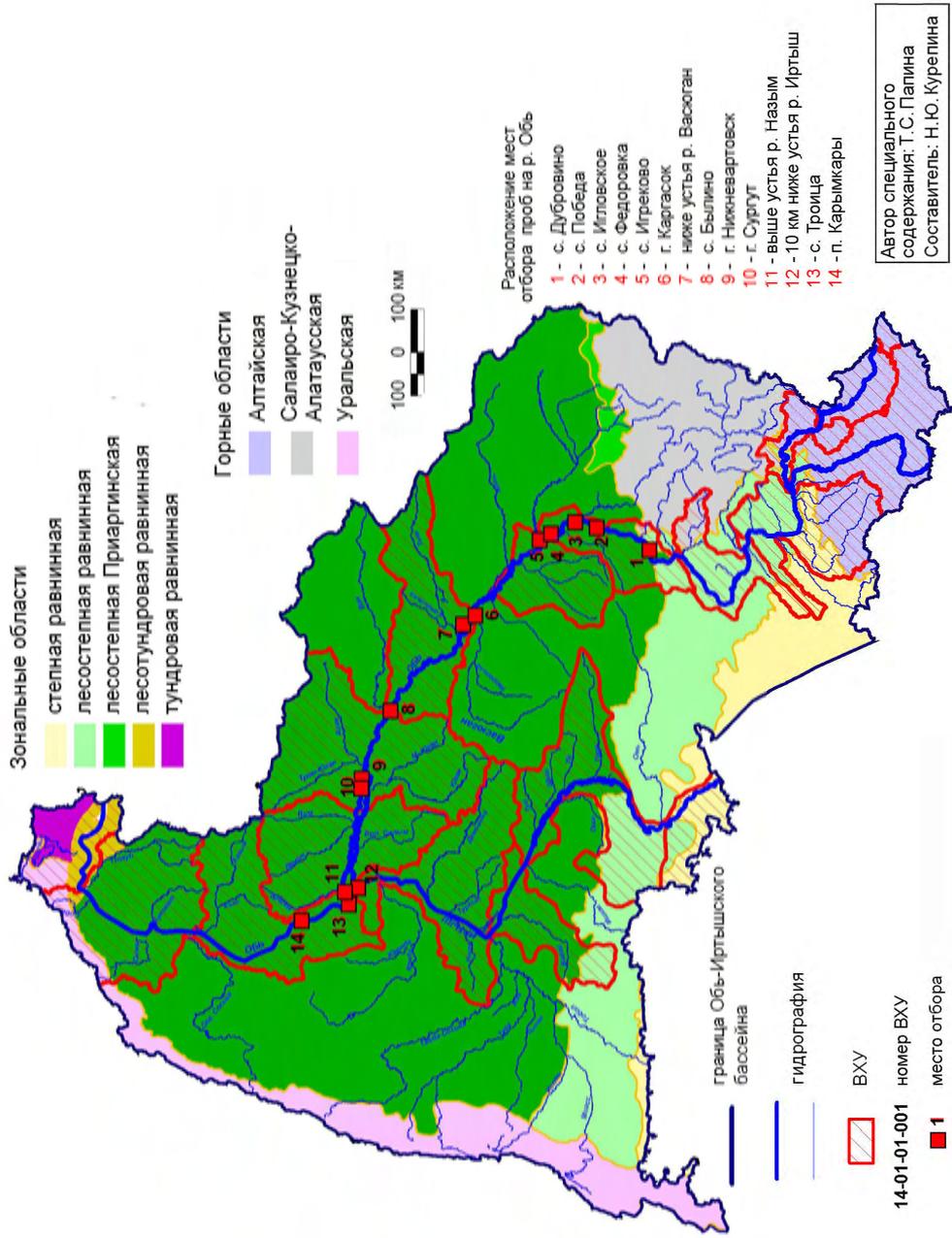


Рис. 2.4.1. Карта сопряженных ВХУ бассейнов рек Обь и Иртыш

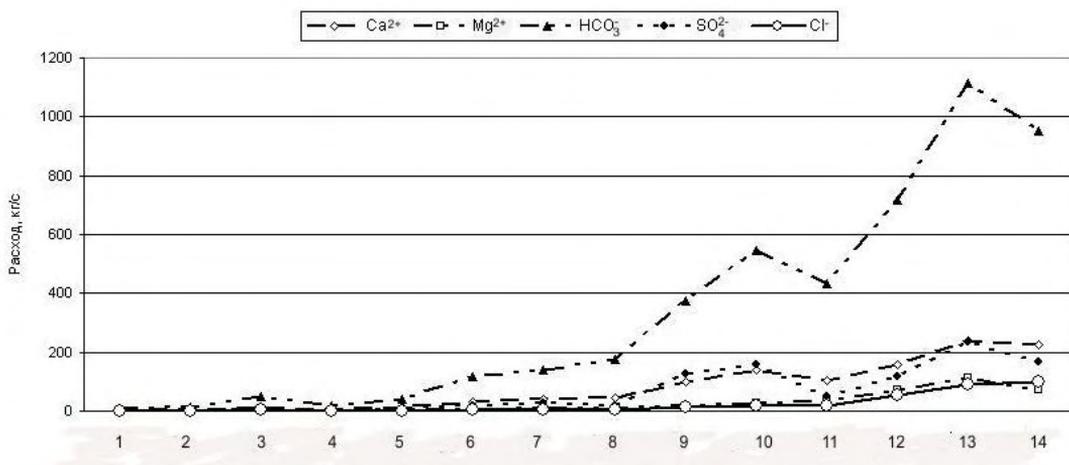


Рис. 2.4.2. Продольное распределение расходов минеральных ионов на участке р. Обь от истока к устью:

1 – р. Чулышман, 2 – оз. Телецкое, 3 – р. Бия, 4 – р. Катунь (п. Тюнгур), 5 – р. Катунь (с. Сростки), 6 – р. Обь (с. Фоминское), 7 – р. Обь (г. Барнаул), 8 – Новосибирское водохранилище (нижний бьеф), 9 – р. Обь (г. Колташево), 10 – р. Обь (с. Александровское), 11 – р. Обь (г. Нижневартовск), 12 – р. Обь (с. Белогорье), 13 – р. Обь (п. Октябрьский), 14 – р. Обь (г. Салехард).

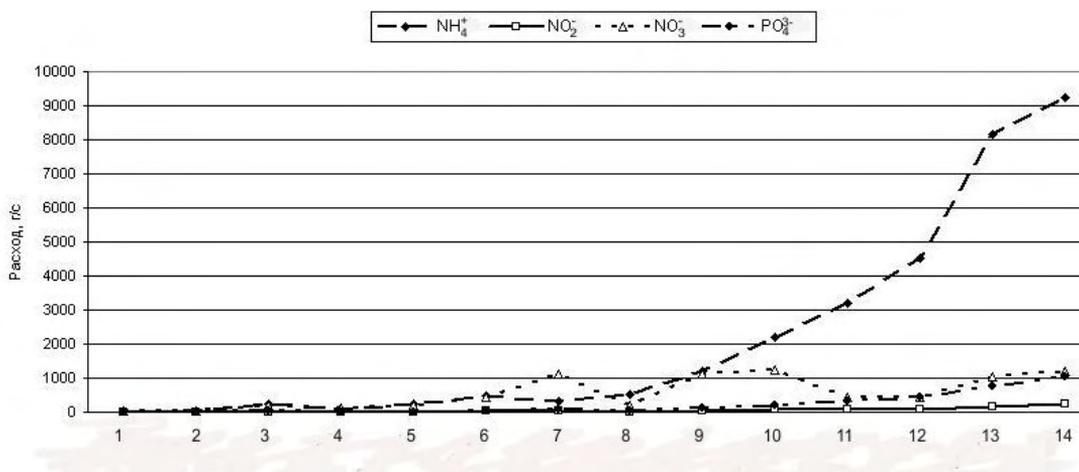


Рис. 2.4.3. Продольное распределение расходов биогенных элементов на участке р. Обь от истока к устью:

1 – р. Чулышман, 2 – оз. Телецкое, 3 – р. Бия, 4 – р. Катунь (п. Тюнгур), 5 – р. Катунь (с. Сростки), 6 – р. Обь (с. Фоминское), 7 – р. Обь (г. Барнаул), 8 – Новосибирское водохранилище (нижний бьеф), 9 – р. Обь (г. Колташево), 10 – р. Обь (с. Александровское), 11 – р. Обь (г. Нижневартовск), 12 – р. Обь (с. Белогорье), 13 – р. Обь (п. Октябрьский), 14 – р. Обь (г. Салехард).

Особенно это проявляется в случае загрязнения нефтепродуктами, расходы которых в местах нефтедобычи возрастают в 1,5–2 раза (рис. 2.4.5). Положительные балансы органических веществ для большинства водохозяйственных участков указывают на значительную роль водосборной площади в загрязнении поверхностных вод р. Обь этими соединениями.

Анализ загрязнения р. Обь тяжелыми металлами позволил выявить допустимых норм по железу и меди на всех участках р. Обь от истока до устья. Высокое содержание марганца и цинка отмечено на участках р. Обь в районе г. Нижневартовска и ниже. Однако отсутствие данных по тяжелым металлам для ряда ВХУ не позволяет дать объективную оценку загрязнения р. Обь по этим параметрам. Распределение расходов железа и марганца при продвижении от истока к устью характеризуется их резким увеличением на участках, расположенных ниже с. Александровское (рис. 2.4.6).

Расчет баланса для некоторых ВХУ оказался не возможен из-за отсутствия данных. Анализ имеющейся информации показывает, что максимальные количества железа и марганца приходятся на участки Нижней Оби. Полученные отрицательные балансы связаны либо с процессами самоочищения на этих участках, либо с некорректными данными о содержании тяжелых металлов.

Таким образом, для трансграничного переноса веществ (водная составляющая) в пределах речного бассейна Оби на региональном уровне решающее значение имеет смена природно-климатических условий при протекании реки с юга на север.

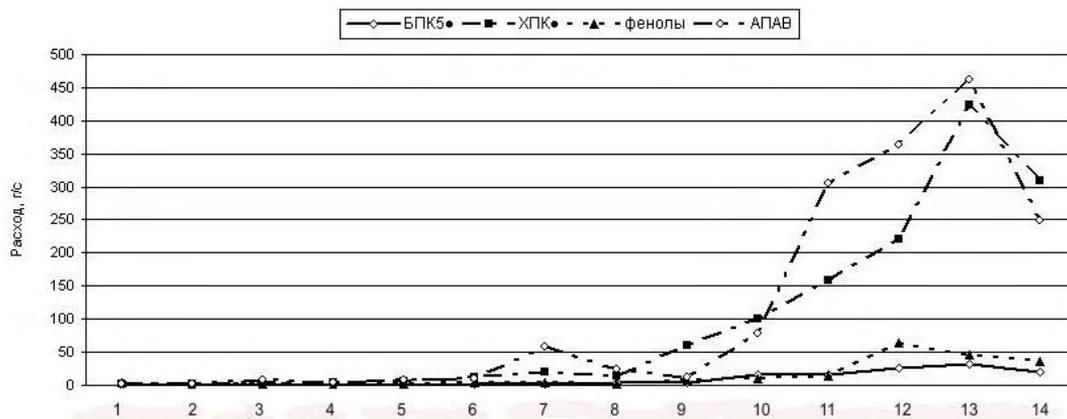


Рис. 2.4.4. Продольное распределение расходов органических веществ на участке р. Обь от истока к устью

1 – р. Чульшман, 2 – оз. Телецкое, 3 – р. Бия, 4 – р. Катунь (п. Тюнгур), 5 – р. Катунь (с. Сростки), 6 – р. Обь (с. Фоминское), 7 – р. Обь (г. Барнаул), 8 – Новосибирское водохранилище (нижний бьеф), 9 – р. Обь (г. Колташево), 10 – р. Обь (с. Александровское), 11 – р. Обь (г. Нижневартовск), 12 – р. Обь (с. Белогорье), 13 – р. Обь (п. Октябрьский), 14 – р. Обь (г. Салехард).

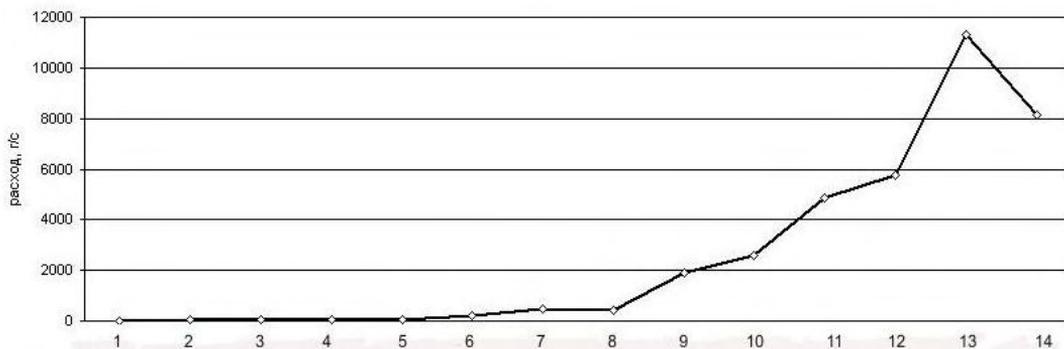


Рис. 2.4.5. Продольное распределение расходов нефтепродуктов на участке
р. Обь от истока к устью

1 – р. Чулышман, 2 – оз. Телецкое, 3 – р. Бия, 4 – р. Катунь (п. Тюнгур), 5 – р. Катунь (с. Сростки), 6 – р. Обь (с. Фоминское), 7 – р. Обь (г. Барнаул), 8 – Новосибирское водохранилище (нижний бьеф), 9 – р. Обь (г. Колпашево), 10 – р. Обь (с. Александровское), 11 – р. Обь (г. Нижневартовск), 12 – р. Обь (с. Белогорье), 13 – р. Обь (п. Октябрьский), 14 – р. Обь (г. Салехард).

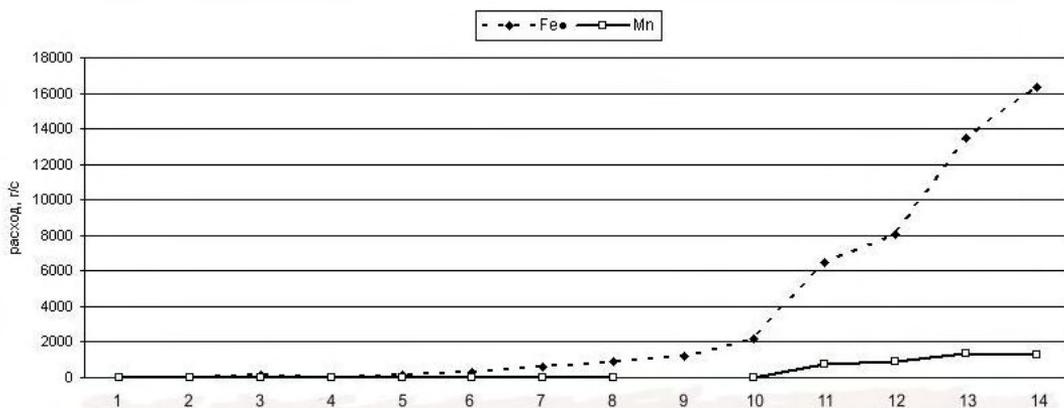


Рис. 2.4.6. Продольное распределение расходов Fe и Mn на участке
р. Обь от истока к устью

1 – р. Чулышман, 2 – оз. Телецкое, 3 – р. Бия, 4 – р. Катунь (п. Тюнгур), 5 – р. Катунь (с. Сростки), 6 – р. Обь (с. Фоминское), 7 – р. Обь (г. Барнаул), 8 – Новосибирское водохранилище (нижний бьеф), 9 – р. Обь (г. Колпашево), 10 – р. Обь (с. Александровское), 11 – р. Обь (г. Нижневартовск), 12 – р. Обь (с. Белогорье), 13 – р. Обь (п. Октябрьский), 14 – р. Обь (г. Салехард).

Из природных источников наиболее значимое влияние на качество вод Средней и Нижней Оби и нижнего течения Иртыша оказывают Васюганские болота. Уменьшение величины рН и растворенного кислорода, существенное повышение цветности и концентраций железа, марганца, биогенных элементов (аммонийного азота и фосфатов) и органических веществ – все это последствия дренирования этими реками обширных заболоченных территорий.

Антропогенное загрязнение вод Оби носит локальный характер и проявляется только ниже сельхозугодий, расположенных в пойме, крупных поселков и промышленных городов, а также в районах нефтегазодобычи. Обь, имеющая высокий потенциал самоочищения, быстро восстанавливает свое экологическое состояние. Из всех притоков наибольший вклад в загрязнение вод р. Обь вносит Иртыш, который характеризуется значительными расходами загрязняющих веществ.

2.5. Оценка состояния водных экосистем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям

Оценка состояния водных объектов по гидробиологическим показателям

Обь-Иртышский бассейн включает значительное количество разнотипных экосистем текучих и стоячих вод: водотоков различной величины; горных и степных озер разных размеров и солености, малых и больших водохранилищ, болот [Жадин, 1950; Стебаев и др., 1993; Кириллов, 2001а].

Сезонная динамика пигментных характеристик, видового состава и уровня развития фитопланктона верхнего течения Оби свидетельствует о высоком потенциале биологического самоочищения реки в период открытой воды, доминирующей роли климатических и гидродинамических факторов в формировании и функционировании фитопланктона [Кириллова, Митрофанова, 2002а-б]. Трофический статус участка реки ниже г. Барнаула можно отнести к мезотрофно-эвтрофному. В межгодовом аспекте он достаточно стабилен, тогда как в сезонном прослеживаются значительные колебания, обусловленные повышением продуктивности планктонного сообщества реки в течение вегетационного периода. Верхнее течение Оби также характеризуется низкими значениями численности и биомассы зообентоса, что вероятнее всего, связано с естественными причинами: распространением на этом участке реки малопродуктивных песчаных грунтов. По сапробиологическим показателям верхнее течение р. Обь можно отнести к олиго-бета-мезосапробной зоне с незначительным повышением сапробности (до бета-мезосапробного уровня) ниже крупного города – Барнаула. За 70 лет наблюдений не отмечено существенных изменений состава, структуры доминирующего комплекса и обилия гидробионтов верхнего течения, что свидетельствует о стабильности состояния донных зооценозов. По классификации [Руководство по..., 1992] такое состояние сообществ соответствует фоновому.

Притоки Верхней Оби (реки Чарыш, Чумыш, Алей) берут свое начало в горной области. В целом они характеризуются невысокими значениями продукционных показателей фито- и зооценозов и соответствуют уровню олиготрофных водоемов. Вода этих рек относится преимущественно ко II и III классам качества – «чистая» и «удовлетворительной чистоты», отдельные водоемы (Гилевское водохранилище) и участки рек ниже крупных населенных пунктов (г. Рубцовск и г. Алейск) соответствовали классу «загрязненные».

Исключение составляет р. Барнаулка, уровень загрязнения которой меняется с «умеренно загрязненного» выше г. Барнаула до «сильно загрязненного» в черте города.

В пределах Верхней Оби расположено крупное равнинное Новосибирское водохранилище. В последние годы отмечено незначительное снижение видового разнообразия русла водохранилища при высоком его уровне для заросших участков литорали. Численность и биомасса зообентоса основной части водохранилища имеют стабильно низкие значения, их межгодовые колебания зависят от водности года. В бентосе представлены все основные трофические группировки при доминировании детритофагов-собирателей. Учитывая стабильность основных гидробиологических показателей, можно сделать вывод, что такое состояние сообществ для Новосибирского водохранилища, вероятно, соответствует фоновому. В срединной части водохранилища (разрез Ордынское – Нижняя Каменка) и на приплотинном участке отмечено снижение биологического разнообразия, повышение биомассы, упрощение трофической структуры сообщества, что позволяет заключить, что сообщества этих участков до сих пор находятся в состоянии антропогенного экологического регресса.

Одним из наиболее загрязненных водотоков Верхней Оби является р.Томь. Антропогенное загрязнение вниз по течению Томи распространено неравномерно. По степени загрязнения выделяются три наиболее загрязненных участка – ниже г. Новокузнецка (с. Ерунаково), Кемерово (с. Мозжуха) и г. Томска, соответственно. При комплексном исследовании реки в осенний период при пониженном потенциале самоочищения водотока было установлено, что на участке реки от с. Ерунаково до с. Мозжуха вниз по течению наблюдается уменьшение количественных показателей гидробионтов – фитоперифитона, зоопланктона и зообентоса. Участок Томи от г. Новокузнецка до г. Кемерово характеризуется: по уровню трофности – как олиготрофно-мезотрофный, по индексу сапробности Пантле и Букка – как бета-мезосапробный. На участке предполагаемого строительства Крапивинского водохранилища (от с. Усть-Нарык до с. Металлоплощадка) отмечены олиготрофные олигосапробные условия. Здесь идет процесс самоочищения реки, способствующий фактически полному восстановлению биоценозов и улучшению качества воды, что свидетельствует о ее способности справляться с дисбалансирующим действием г. Новокузнецка даже в период пониженного потенциала самоочищения. Интегральная оценка экологического состояния Томи по фитопланктону, зоопланктону и зообентосу показала, что восстановление состава и количества гидробионтов происходит на участке в 30-ти км ниже г. Новокузнецка. Стоки Томь-Усинской ГРЭС стимулируют развитие гидробионтов на участке ниже сброса подогретых вод в реку (0,3 км). Ниже г. Томска (50 км) не отмечено улучшения качества среды обитания гидробионтов, что связано не только с поступлением большого количества хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, но и с изменением гидрологических условий (снижением уклона русла) и фракционного состава донных отложений, способствующих аккумуляции загрязняющих веществ.

По мере удаления от верхней границы Средней Оби видовой состав, численность и биомасса планктонных организмов увеличивается за счет выноса организмов из придаточной системы. Однако на отдельных участках реки (ниже устья основных притоков – рек Томь, Чулым, Тым, Вах, Иртыш) наблюдалось снижение общей численности и биомассы фитопланктона, а иногда (устье р. Томь) зоопланктона и зообентоса. Среднее течение Оби принимает в себя также воды притоков, протекающих в районе интенсивной нефтедобычи. В донных сообществах отмечается сокращение численности и выпадение чувствительных к загрязнению групп (например, ручейников), снижается разнообразие гидробионтов, при этом на отдельных участках численность и биомасса зообентоса повышаются. Увеличение численности, биомассы (в районе пос. Каргасок) и индекса сапробности Пантле и Букка (в районах Нижневартовска, Сургута и Ханты-Мансийска) отмечено также для зоопланктона. Согласно методу экологических модификаций [Руководство..., 1992], речные сообщества находятся в состоянии антропогенного экологического регресса.

На состав и структуру зооценозов рек оказывают влияние работы по добыче песчано-гравийной смеси в их руслах. Во время проведения работ планктонные и бентосные сообщества водоемов полностью разрушаются, на их восстановление требуется длительный (до нескольких лет) период.

В нижнем течении р. Обь происходит обогащение (особенно во вторую половину лета) планктонных и бентосных сообществ за счет выноса организмов из пойменных водоемов, при длительном затоплении поймы в многоводные годы численность и биомасса фито-, зоо- и ихтиоценозов возрастает. Притоки Нижней Оби не испытывают в настоящее время существенной техногенной нагрузки и вносят в р. Обь преимущественно чистые воды. Индекс сапробности (по фито- и зоопланктону) в Нижней Оби незначительно снижается по сравнению со средним течением и показывает изменение состояния водных масс от «умеренно загрязненных» (3-й класс качества воды) до «чистых» (2-й). В зоне поступления вод материкового стока и сточных вод населенных пунктов вода характеризуется как альфа-бета-мезосапробная, однако самоочистительная способность экосистемы реки на данном участке настолько высока, что зоны влияния стоков очень ограничены, и через несколько километров ниже по течению качество воды уже характеризуется как бета-мезосапробное.

Донные сообщества нижнего течения реки характеризуются увеличением разнообразия (числа видов), большой гетерогенностью пространственного распределения и увеличением средних показателей численности и биомассы зообентоса, что соответствует состоянию антропогенного экологического напряжения.

В целом структурные характеристики фито- и зооценозов свидетельствуют о достаточно благополучном состоянии р. Обь. Экосистема реки способна к самоочищению, происходящие в ней изменения по характеру обратимы, но существует угроза перехода в кризисное состояние на наиболее загрязненных участках, особенно ниже по течению городов, где наблюдается поступление сточных вод. Уровень самоочищения реки снижается в период паводка вследствие большого сноса терригенного материала с территории бассейна,

передислокации донных отложений, снижения прозрачности, повышения турбулентности воды и, как следствие, снижения физиологической активности водорослей.

Оценка состояния водных объектов по гидрохимическим показателям

Для определения химического состава и оценки качества поверхностных вод Обь-Иртышского бассейна был изучен фактический материал гидрохимических наблюдений Западно-Сибирского УГМС (1995–2005 гг.) и Омского УГМС (1990–2009 гг.), рассчитаны средние многолетние концентрации минеральных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$), биогенных элементов (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}), pH, растворенного кислорода, общих показателей содержания органического вещества (БПК₅, ХПК), органических соединений (фенолы, нефтепродукты, СПАВ) и тяжелых металлов (Fe, Cu, Mn, Cr, Pb, Hg, Zn, Ni). Для каждого водного объекта рассчитаны формулы Курлова и определен химический тип вод.

Реки Обь-Иртышского бассейна по величине минерализации являются в основном водами малой (44 % рек) и средней (32 % рек) минерализации. Доля вод с очень малой минерализацией составляет 10 %, повышенной – 5, высокой минерализацией – 9 %. По химическому составу 84 % поверхностных вод бассейна относятся к гидрокарбонатному классу вод кальциевой группы. Другие типы представлены в незначительных количествах: гидрокарбонатно-магниевый – 2 % (р. Алей, г. Алейск); гидрокарбонатно-натриевый – 5 % (реки Тым, Кулунда, Аба, Ускат, оз. Большое Островное). Воды засушливых степных зон Алтайского края (оз. Кучукское) и Новосибирской области (реки Каргат и Карасук, оз. Яркуль, Малые и Большие Чаны) относятся к сульфатно-натриевому и хлоридно-натриевому классам вод, соотношение которых составляет 1 и 8 %, соответственно.

Анализ данных гидрохимических постов (в основном приуроченных к населенным пунктам) показал, что большинство водных объектов Обь-Иртышского бассейна на участках отбора проб по индексам загрязнения воды (УКИЗВ) классифицируются как загрязненные (рис. 2.5.1). Сравнение качества воды для разных участков р. Обь по УКИЗВ показывает, что минимальные значения наблюдаются в районах Верхней Оби, максимальные и средние – для всех участков Оби примерно одинаковы. В пространственном отношении, по мере продвижения к устью, наблюдается увеличение показателя УКИЗВ (табл. 2.5.1).

Изучение временной динамики показателей УКИЗВ на различных участках Оби показало их увеличение в среднем в 1,5 раза за пятилетний период (рис. 2.5.2). Существующие источники загрязнения вод Обь-Иртышского бассейна определяют спектр приоритетных загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные и подземные воды данного бассейна.

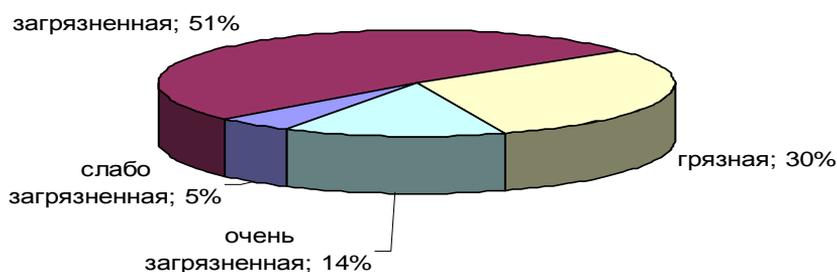


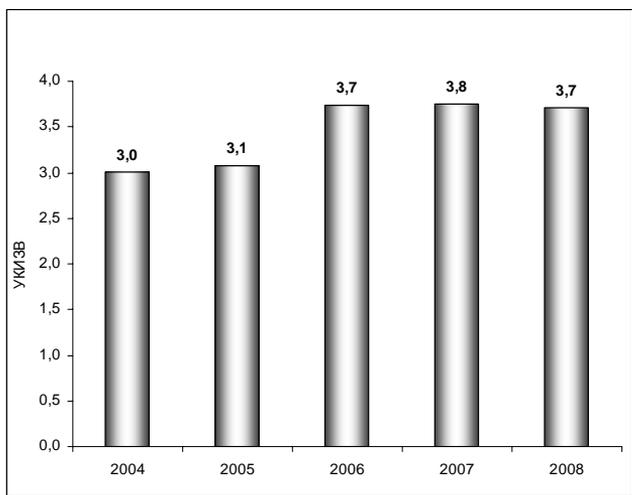
Рис. 2.5.1. Качество поверхностных вод Обь-Иртышского бассейна

Таблица 2.5.1

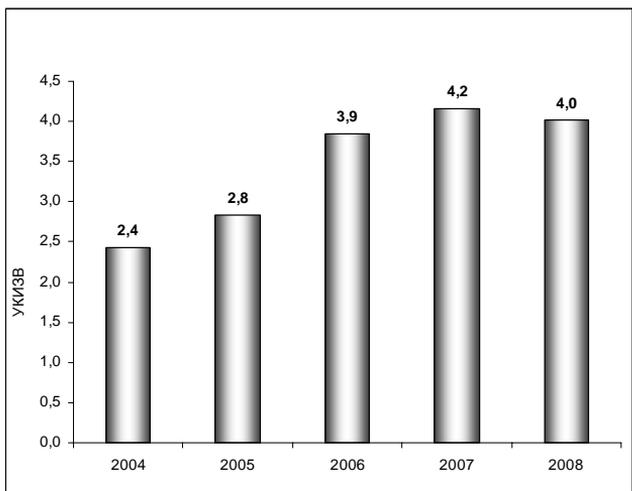
Интервалы варьирования УКИЗВ и их средние значения для разных участков Обь-Иртышского бассейна

Участок Обь-Иртышского бассейна	УКИЗВ		
	минимум	максимум	средний
Верхняя Обь	1,14	6,05	3,45
Средняя Обь	1,74	6,28	3,46
Нижняя Обь	2,73	4,83	3,95

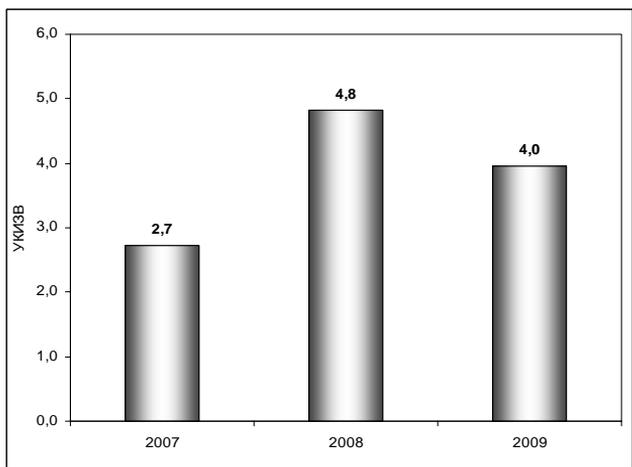
Согласно данным гидрохимических наблюдений Западно-Сибирского и Омского УГМС, приоритетными загрязняющими веществами рек Обь-Иртышского бассейна являются ионы NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_2^- , легкоокисляемые органические вещества (определяемые по показателю БПК₅), трудноокисляемые органические вещества (по показателю ХПК), фенолы, нефтепродукты. Среди тяжелых металлов (ТМ) превышения допустимых концентраций (для рыбохозяйственных водоемов) наблюдаются для Fe и Cu на всех ВХУ, для Mn и Zn – преимущественно на участках Средней и Нижней Оби.



а



б



в

Рис. 2.5.2. Изменение показателей УКИЗВ на различных участках Обь-Иртышского бассейна: а – Верхняя Обь; б – Средняя Обь; в – Нижняя Обь.

3. Комплексная оценка водно-ресурсного и водно-экологического потенциала

3.1. Методика оценки

Для проведения комплексной оценки современного состояния водных объектов бассейна Оби и Иртыша разработаны методологические подходы, учитывающие природно-климатические условия формирования качества воды и специфику химического состава вод (рис. 3.1.1).

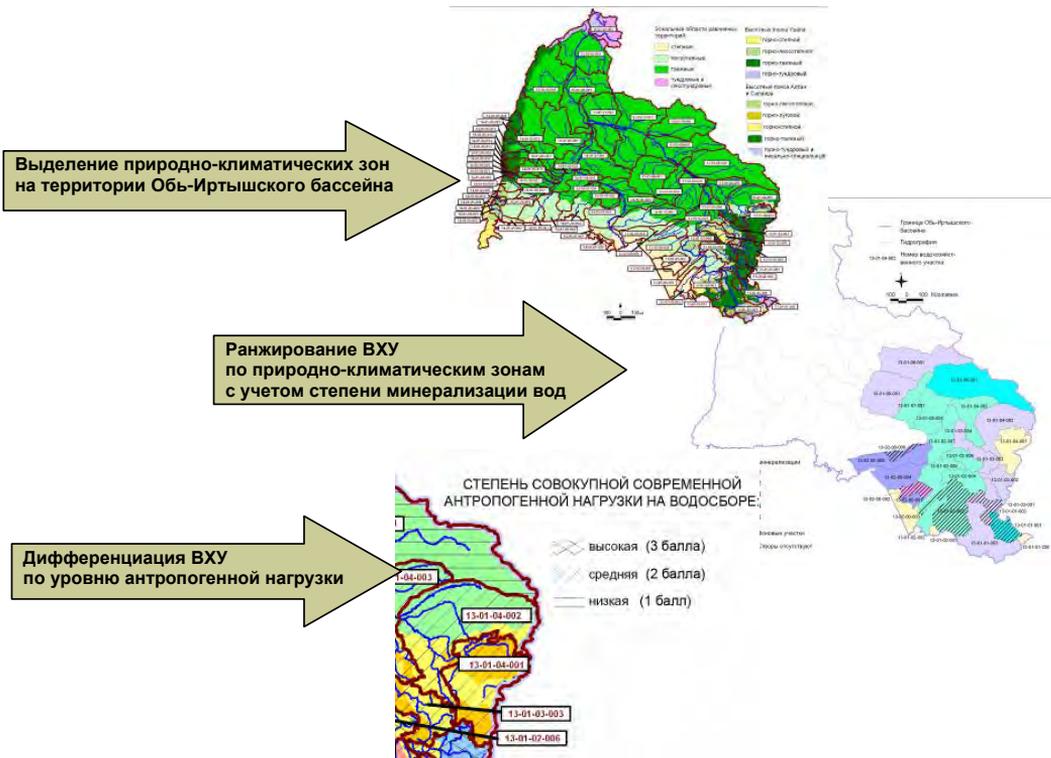


Рис. 3.1.1. Методологическая база для комплексной оценки состояния водных объектов и совершенствования существующих систем экологического мониторинга

Оценка состояния водных объектов проводилась в рамках выделенных на этой территории типизированных классов вод. Было выбрано 13 ключевых водохозяйственных участков (ВХУ) с различными типами вод по следующей схеме.

1. Водохозяйственные участки, имеющие одинаковый тип вод, объединялись в одну группу. В случае приуроченности участка к двум и более природно-климатическим зонам и наличия на территории поверхностных вод разной степени минерализации его относили ко всем выявленным типам вод с указанием долей вклада занимаемой ими площади относительно общей площади ВХУ. Для наибольшей по площади и меридиональной протяженности таежной зоны (IV тип) ключевые ВХУ выбраны в пределах каждой подзоны – южно-таежной, среднетаежной и северо-таежной.

2. В каждой группе выбирались, как минимум, два ключевых ВХУ. Один из участков, отражающий в большей степени специфику природной составляющей, принимался в качестве фонового. Другой, испытывающий максимальную степень антропогенной нагрузки (или несколько участков, ранжированных по степени антропогенной нагрузки), использовался для оценки степени воздействия антропогенной нагрузки на экологическое состояние водных объектов в данной группе ВХУ.

3. Данные по ключевым ВХУ распространялись на территорию всей выделенной группы, что позволило охарактеризовать Обь-Иртышский бассейн в целом даже при отсутствии информации по некоторым ВХУ группы.

4. Участки, признанные фоновыми, позволили определить целевые показатели качества вод в рамках выделенных классов.

Оценка проводилась на двух уровнях: ВХУ и всей водосборной площади Обь-Иртышского бассейна. Расчетные материалы послужили базой для составления серии оценочных карт. Картографирование выполнялось в среде ArcGIS на топографических основах масштабов 1:200 000 и 1:1 000 000.

Для типизации вод Обь-Иртышского бассейна использовались данные по природно-климатическим условиям и показатели минерализации воды. За основу была взята классификация О.А. Алекина [1970], согласно которой природные поверхностные воды подразделяются на пять классов: 1-й – воды очень малой минерализации (до 100 мг/дм³); 2-й – малой минерализации (100–200); 3-й – средней (200–500); 4-й – повышенной (500–1000); 5-й – воды высокой минерализации (более 1000 мг/дм³). С учетом природно-климатических и гидрохимических условий на территории Обь-Иртышского речного бассейна выделено семь типов вод.

I. Очень малая минерализация – водоемы таежного, тундрового и нивально-гляциального высотных поясов.

II. Очень малая минерализация – водоемы в зоне тундры и лесотундры.

III. Малая минерализация – в горно-таежном поясе.

IV. Малая минерализация – в таежной зоне.

V. Средняя минерализация – в равнинной и горной лесостепи.

VI. Повышенная минерализация – в равнинной и горной степи.

VII. Высокая минерализация – в бессточной области, степной и лесостепной зонах.

Ранжирование (зонирование) территории Обь-Иртышского бассейна по степени антропогенной нагрузки проводилось на основе учета показателей, оказывающих косвенное воздействие на водные объекты, что проявляется в виде площадных нагрузок на водосборе, связанных с заселением территории, хозяйственной деятельностью жителей, промышленной и сельскохозяйственной специализацией экономики [Рыбкина и др., 2011]. В качестве основных применялись: плотность населения на водосборной территории, плотность промышленного производства (объем производимой в регионе промышленной продукции в тыс. руб., приходящийся на 1 км²) и сельскохозяйственная освоенность, включающая распаханность (%) и животноводческую нагрузку (количество условных голов на 1 км²). Расчеты данных показателей проводились с административной привязкой в границах речных бассейнов и отдельных ВХУ.

Используемые показатели группировались по видам антропогенных воздействий: демографических, промышленных и сельскохозяйственных. При этом сельскохозяйственная нагрузка получена как среднеарифметическое значение балльных оценок интенсивности земледельческой (распаханность) и животноводческой нагрузок. Совокупная антропогенная нагрузка определялась как среднеарифметическое демографической, промышленной и сельскохозяйственной нагрузок. Для каждого из показателей принята 8-мибалльная условная шкала интенсивности антропогенной нагрузки (табл. 3.1.1), в основу которой положена методика А.Г. Исаченко [2001]. Эта шкала была использована при оценке степени нагрузки на территории ВХУ, для целей комплексной оценки состояния водных объектов Обь-Иртышского бассейна шкала антропогенной нагрузки была упрощена до трех градаций: 1-я – низкая (1–3 балла), 2-я – средняя (4–6) и 3-я – высокая (7–8 баллов) степень. Результаты ранжирования территории Обь-Иртышского бассейна по типам поверхностных вод и степени антропогенной нагрузки приведены на рис. 3.1.2.

Оценка и анализ состояния водных объектов Обь-Иртышского бассейна велись по следующим направлениям:

- природно-климатические условия;
- ландшафтно-экологические условия;
- гидрогеологический режим;
- гидрологический режим;
- водохозяйственная деятельность;
- антропогенная нагрузка на водосборный бассейн;
- гидрохимический режим;
- гидробиологический режим;
- интенсивность самоочищения водных объектов.

Природно-климатические условия характеризовались такими основными параметрами, как количество атмосферных осадков, их распределение по периодам и месяцам, высота снежного покрова, температура воздуха (средняя, максимальная и минимальная самого теплого и самого холодного месяцев, соответственно), относительная влажность воздуха, скорость ветра.

Таблица 3.1.1

Шкала основных показателей антропогенной нагрузки, балл

(составлена на основе методики А.Г. Исаченко [2001])

Показатель	Незначительная или отсутству- ет	Очень низкая	Низкая	Пониженная	Средняя	Повышенная	Высокая	Очень высо- кая
	1	2	3	4	5	6	7	8
Плотность насе- ления, чел/км ²	0,0	≤ 0,1	0,2–1,0	1,1–5,0	5,1–10,0	10,1–25,0	25,1– 50,0	> 50,0
Плотность про- мышленного про- изводства, тыс. руб./ км ²	0,0	≤ 10,0	10,1– 100,0	100,1– 1000,0	1000,1– 3000,0	3000,1– 4000,0	4000,1– 5000,0	> 5000
Распаханность, %	0,0	≤ 0,1	0,2–1,0	1,1–5,0	5,1–15,0	15,1–40,0	40,1– 60,0	> 60,0
Животноводче- ская нагрузка, усл. гол./км ²	0,0	≤ 0,1	0,2–1,0	1,1–2,0	2,1–3,0	3,1–6,0	6,1–10,0	> 10,0

Ландшафтно-экологические условия. Геологическая основа для рассматриваемого уровня формирования стока имеет первостепенное значение (строение зоны аэрации и горизонт грунтовых вод). *Характеристика рельефа* осуществлялась по следующим показателям: абсолютные отметки (максимум, минимум и средние, м), относительные превышения высот (м), густота речной сети (км/км²), густота расчленения (км/км²), глубина расчленения (м). Основные параметры *почвенного покрова*: тип почвы, геохимический ландшафт, мощность почвенного профиля (м), плотность почв (г/см³), масса почв с учетом мощности почвенного профиля (кг). Кроме того учитывались лесистость, озерность, заболоченность территории (%).

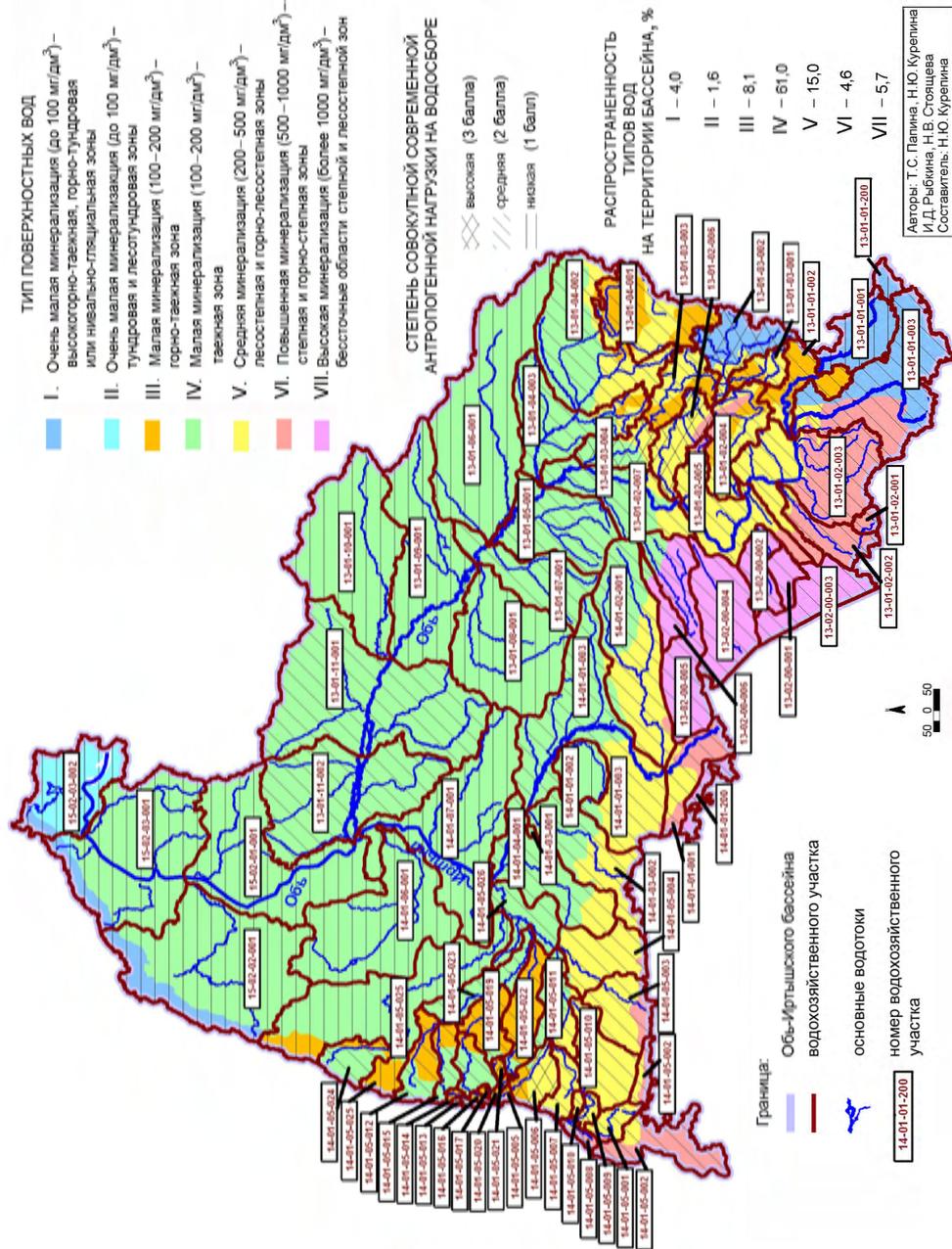


Рис. 3.1.2. Основные типы вод и степень антропогенной нагрузки на территории Обь-Иртышского бассейна

Совокупная антропогенная нагрузка на водосборе, балл

Код ВХУ	Основной водный объект	Вид нагрузки				Совокупная
		демографическая	промышленная	сельскохозяйственная	иная	
14.01.02.001	р. Омь	2	2	2	2	2
14.01.03.001	бассейн озера Б. Уват	1	1	2	2	1
14.01.03.002	р. Ишим (от границы с Республикой Казахстан до устья)	2	2	2	2	2
14.01.04.001	р. Иртыш (без р. Ишим)	2	1	2	2	2
14.01.05.001	р. Увелька (исток-устье)	3	2	2	2	2
14.01.05.002	р. Тобол (от границы РФ до владения р. Уй)	2	1	3	2	2
14.01.05.003	р. Тобол (от владения р. Уй до г. Курган)	2	2	2	2	2
14.01.05.004	р. Тобол (от г. Курган до владения р. Исеть)	2	1	2	2	2
14.01.05.005	р. Исеть (от истока до Екатеринбурга)	3	3	2	2	3
14.01.05.006	р. Исеть (от Екатеринбурга до владения р. Теча)	3	3	2	2	3
14.01.05.007	р. Теча (исток-устье)	2	2	2	2	2
14.01.05.008	р. Миасс (от истока до Аргазинского г/у)	3	3	3	3	3
14.01.05.009	р. Миасс (от Аргазинского г/у до г. Челябинск)	3	3	3	3	3
14.01.05.010	р. Миасс (от г. Челябинск до устья)	2	2	3	2	2
14.01.05.011	р. Исеть (от владения р. Теча до устья)	2	2	2	2	2
14.01.05.012	р. Тура (от истока до владения р. Тагил)	2	2	2	2	2
14.01.05.013	р. Черная (от истока до Черноисточинска)	2	1	2	2	2
14.01.05.014	р. Тагил (от истока до г. Нижний Тагил)	3	3	2	2	3
14.01.05.015	р. Тагил (от г. Нижний Тагил до устья)	2	2	2	2	2
14.01.05.016	р. Нейва (от истока до Невьянского г/у)	3	3	2	2	3
14.01.05.017	р. Аял (от истока до Аргского г/у)	2	3	2	2	2
14.01.05.018	р. Реж и Нейва (до их слияния)	2	2	2	2	2
14.01.05.019	р. Ница (от слияния рек Реж и Нейва)	2	2	3	2	2
14.01.05.020	р. Пышма (от истока до Белоярского г/у)	3	3	2	2	3
14.01.05.021	р. Рефт (от истока до Рефтинского г/у)	3	3	2	2	3
14.01.05.022	р. Пышма (от Белоярского г/у до устья)	2	2	2	2	2
14.01.05.023	р. Тура (от владения р. Тагил до устья)	2	1	2	2	2
14.01.05.024	р. Сосыва (от истока до в/п д. Морозово)	2	2	1	1	2
14.01.05.025	р. Тавда (от истока до устья без р. Сосыва)	2	2	2	2	2
14.01.05.026	р. Тобол (от владения р. Исеть до устья)	2	2	2	2	2
14.01.06.001	р. Конда (исток-устье)	2	2	1	2	2
14.01.07.001	р. Иртыш (без рек Тобол и Конда)	1	2	1	1	1
15.02.01.001	реки Мал. Обь и Обь (без р. Иртыш)	1	1	1	1	1
15.02.02.001	р. Северная Сосыва (от истока до устья)	1	1	1	1	1
15.02.03.001	р. Обь (без р. Сев. Сосыва)	1	1	1	1	1
15.02.03.002	р. Обь (от г. Салехард до устья р. Надым)	1	1	1	1	1

Код ВХУ	Основной водный объект	Вид нагрузки				Совокупная
		демографическая	промышленная	сельскохозяйственная	иная	
13.01.01.001	оз. Телеевое и впадающие в него реки	1	1	1	1	1
13.01.01.002	р. Бия (от истока до устья)	2	2	2	2	2
13.01.01.003	р. Катунь (от истока до устья)	2	2	2	2	2
13.01.01.200	водные объекты, расположенные на территории между бассейнами рек Обь, Енисей и границей России с Монголией	1	1	2	1	1
13.01.02.001	р. Алей (приграничная часть бассейна)	2	2	3	2	2
13.01.02.002	р. Алей (среднее течение и устье)	2	2	3	2	2
13.01.02.003	р. Обь (без р. Алей)	2	2	3	2	2
13.01.02.004	р. Чулыш	2	2	2	2	2
13.01.02.005	р. Обь (без р. Чулыш)	2	2	3	2	2
13.01.02.006	р. Иня	3	2	3	3	3
13.01.02.007	р. Обь (без рек Иня и Томь)	2	2	2	2	2
13.01.03.001	р. Кондома	3	2	2	2	2
13.01.03.002	р. Томь (без р. Кондома)	3	3	2	2	3
13.01.03.003	р. Томь	3	3	2	2	2
13.01.03.004	р. Томь	3	3	3	3	3
13.01.04.001	р. Чулым	2	2	2	2	2
13.01.04.002	р. Чулым (исток и среднее течение)	2	2	2	2	2
13.01.04.003	р. Чулым (устье)	2	2	2	2	2
13.01.05.001	р. Обь (без р. Чулым)	2	2	2	2	2
13.01.06.001	р. Кеть	1	1	2	1	1
13.01.07.001	р. Обь (без р. Кеть)	2	2	2	2	2
13.01.08.001	р. Васюган (от истока до устья)	1	2	1	1	1
13.01.09.001	р. Обь (без р. Васюган)	1	2	1	1	1
13.01.10.001	р. Вах	1	2	1	1	1
13.01.11.001	р. Обь (без р. Вах)	2	3	1	2	2
13.01.11.002	р. Обь	2	2	3	2	2
13.02.00.001	бассейн оз. Кулундского	2	2	3	2	2
13.02.00.002	бассейн оз. Кулундского	2	2	3	2	2
13.02.00.003	южные бассейны р.Бурла (без бассейнов озер Кулундского и Кулундинского)	2	2	3	2	2
13.02.00.004	бассейн оз. Тополиное, р. Бурла и др. водные объекты	2	1	3	2	2
13.02.00.005	бассейн оз. Чаны и водные объекты до границы с бассейном р. Иртыш	2	1	2	2	2
13.02.00.006	водные объекты между бассейнами оз. Чаны и р. Омь	2	1	2	2	2
14.01.01.001	р. Иртыш (граница с Республикой Казахстан)	2	1	3	2	2
14.01.01.002	р. Оша (исток-устье)	2	1	2	2	2
14.01.01.003	р. Иртыш (без рек Омь и Оша)	2	2	2	2	2
14.01.01.200	бессточные приграничные территории между речья Иртыша и Ишима	2	1	3	2	2

Гидрогеологический режим. Характеристика проводилась с использованием следующих показателей: водоносная зона трещиноватости, комплекс, горизонт (индекс), распространение; глубина залегания (м); мощность водоносной зоны трещиноватости, водоносного комплекса, горизонта (м); водовмещающие породы (доля от преобладающих, %); удельные дебиты скважин, расходы родников (л/с); минерализация (г/дм³), химический состав вод; модуль подземного стока (с 1 км², л/с). Для оценки гидрологического режима водных объектов ВХУ использовался следующий набор необходимых для этого параметров и характеристик. Водный потенциал (потенциал возобновляемых водных ресурсов, м³/год/км²); среднегодовой модуль стока (с 1 км², л/с) и годовой слой стока (мм); составляющие водного баланса (осадки, поверхностный сток, потери на испарение, км³); запас труднодоступных вод (ледники, болота, подземные воды, км³); паводковая опасность (превышение уровня начала затопления, м; вероятность, %; категория и степень опасности).

Оценка водохозяйственной деятельности и антропогенной нагрузки на водосборный бассейн осуществлялась в разрезе водохозяйственных участков по следующей схеме.

I. Хозяйственная деятельность. Источниками информации служили статистические данные по муниципальным образованиям, предоставленные территориальными органами Федеральной службы государственной статистики. При характеристике данного фактора использовались следующие показатели:

- численность населения (тыс. чел), в том числе городского, плотность населения (чел./км²);
- крупнейшие населенные пункты;
- производство основных видов промышленной продукции (тыс. руб. в натуральном выражении);
- наличие земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых открытым способом (%);
- площади сельскохозяйственных угодий, в том числе пашни в хозяйствах всех категорий (тыс. га), уровень сельскохозяйственной освоенности и распаханности территории (%);
- поголовье скота в хозяйствах всех категорий, животноводческая нагрузка на территорию (количество условных голов на 1 км²);
- производство сельскохозяйственной продукции в хозяйствах всех категорий (в натуральном выражении).

II. Особенности водопользования. Характеристика водопользования дана по материалам статистической отчетности 2-ТП(водхоз), предоставленным Верхне- и Нижне-Обским, а также Енисейским (по р. Чулым) БВУ. Особенности водопользования описывались следующими показателями:

- общий водозабор, в том числе из поверхностных водных объектов и подземных вод (млн м³);
- объемы прямого водопотребления, в том числе на хозяйственно-питьевые, производственные нужды, сельскохозяйственное водоснабжение (орошение), прудовое и рыбное хозяйство и др. (млн м³);
- доля оборотного и повторно-последовательного использования воды в валовом водопотреблении на производственные нужды (%);
- общий объем сбросов и сброс в поверхностные водные объекты, в том числе загрязненных и нормативно-очищенных вод (млн м³);
- характеристики крупных водопользователей.

Как уже отмечалось, в основу зонирования (ранжирования) степени *антропогенной нагрузки* были положены показатели косвенного (опосредованного) воздействия на водоемы и водотоки, выражающегося в виде нагрузок на территорию водосбора. Методика ранжирования представлена выше. Прямые воздействия на водные объекты определялись, исходя из объемов изъятия речного стока и сброса сточных вод, а также расчета показателя водного стресса. Оценка водного стресса (термин «*water stress*» в настоящее время широко используется за рубежом при характеристике водноэкологических ситуаций) определяется соотношением забора воды из поверхностных водных источников к доступным возобновляемым водным ресурсам (в нашем случае – среднегодовое значение речного стока). Если оно менее 10 %, то водный стресс не наблюдается, от 10 до 20 % . существует слабая нехватка воды, 20–40 % . умеренная, превышение 40 % означает высокий уровень вододефицита [Данилов-Данильян, Лосев, 2006].

Гидрохимический режим. Химический состав природных вод отражает результирующее действие всех факторов формирования количества и качества природных вод, а также внутриводоемных процессов. Поэтому для наиболее полного представления о состоянии водных объектов водохозяйственного участка необходимо характеризовать их по общепринятой [Руководство..., 1977] подробной схеме, приведенной ниже.

1. Физико-химические показатели (t°С, рН, Eh, цветность, мутность, электропроводность).
2. Растворенные газы (O₂, CO₂, H₂S).
3. Минеральные вещества (Ca²⁺, Mg²⁺, жесткость, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, ∑(Na⁺+K⁺), Br⁻, F⁻).
4. Биогенные вещества (NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, N_{общ.}, PO₄³⁻, P_{общ.}, Si).
5. Органические вещества (БПК₅, ХПК, ПО, фенолы, нефтепродукты, АПАВ).
6. Тяжелые металлы (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, а также As).

7. Специфические загрязняющие вещества, характерные для отходов промышленной, сельскохозяйственной и другого рода деятельности в рамках границ ВХУ (для каждого участка установлен свой набор специфических загрязняющих веществ).

Из приведенного списка показателей для каждого ВХУ определялись приоритетные загрязняющие вещества, содержание которых превышает установленные нормы. Так как состояние водных объектов оценивается на основе количественных гидрохимических данных, то для достоверной оценки необходимы надежные сезонные определения специфических и приоритетных загрязняющих веществ, а также органических и биогенных веществ и физико-химических показателей. При этом среднегодовые значения всех этих показателей необходимо рассчитывать с учетом продолжительности гидрологического сезона года как средневзвешенную среднегодовую концентрацию вещества, равную математическому ожиданию случайной величины:

$$\hat{C} = \Sigma(C_i \times T_i)/365,$$

где C_i – среднесезонная концентрация анализируемого вещества i -го сезона; T_i – продолжительность i -го сезона, 365 – количество дней в году.

В случае неомогенного распределения определяемого вещества в потоке реки для того, чтобы взять репрезентативную пробу, по створу сечения реки брали единичные пробы и смешивали в пропорциях, учитывающих вклад мгновенного расхода каждого участка (сегмента) створа, где была отобрана проба, в общий объем расхода воды (при определении растворенных форм) или взвешенных веществ (при определении взвешенных форм). Тем самым, как и в случае среднегодовых концентраций, среднюю концентрацию вещества в створе реки характеризовали средневзвешенной величиной:

$$\hat{C} = \Sigma(C_i \times Q_i)/Q,$$

где C_i – концентрация анализируемого компонента в пробе, отобранной в i -м сегменте створа; Q_i – расход воды (или взвешенных веществ) в i -м сегменте; Q – общий расход воды или взвешенных веществ в створе, равный ΣQ_i .

Для оценки общего поступления загрязняющих веществ с водосборной площади ВХУ и способности к самоочищению приуроченных к нему водных объектов необходимо рассчитывать поток загрязняющих веществ через входной и замыкающий створы как для самого участка, так и для основных его водотоков.

Гидробиологические показатели являются важнейшим элементом системы контроля загрязнения поверхностных вод; они позволяют охарактеризовать экологическое состояние водных объектов, оценить качество поверхностных вод как среды обитания организмов, определить совокупный эффект комбинированного действия загрязняющих веществ, локализовать источник загрязнения во времени и пространстве, определить трофические свойства водного объекта, тип загрязнения, установить возникновение вторичного загрязнения вод. Биоиндикационные исследования проводят с использованием характеристик различных водных сообществ, из которых на практике чаще используют фитопланктон, зоопланктон и зообентос [Израэль и др., 1979; Wetzel, Likens, 1991].

Для гидробиологической характеристики водных объектов использовали следующие показатели: количество видов, численность и биомасса фитопланктона, зоопланктона и зоо-

бентоса, концентрация хлорофилла а; трофность водоема по фитопланктону, зоопланктону и зообентосу определяли по шкале С.П. Китаева [1984].

Видовое разнообразие фитопланктона, зоопланктона и зообентоса оценивали на основе расчета информационного индекса разнообразия Шеннона–Уивера по численности ($P_i = N_i/N$):

$$H = -\sum_{i=1}^k P_i \cdot \log_2 P_i$$

Для оценки сапробности воды по организмам фито- и зоопланктона применяли метод индикаторных организмов Пантле и Букка в модификации Сладечека. Данный метод учитывает численность гидробионтов h и их индикаторную значимость s (сапробную валентность):

$$S = \frac{\sum (sh)}{\sum h}$$

Для ксеносапробной зоны принимали значения индекса в пределах 0–0,50; олигосапробной – 0,51–1,50; бета-мезосапробной – 1,51–2,50; альфа-мезосапробной – 2,51–3,50; полисапробной – 3,51–4,00. Для оценки хронического загрязнения водных объектов органическими веществами использовали индексы, основанные на соотношении числа видов и численности отдельных групп долгоживущих бентосных организмов (биотический индекс Вудвисса и олигохетный индекс Гуднайта–Уитлея).

Самоочищение вод – совокупность природных процессов, направленных на восстановление экологического благополучия водного объекта (ГОСТ 27065–86). Факторы самоочищения, показатели его интенсивности и эффективности делятся на три группы: физические, химические и биологические.

К физическим факторам самоочищения водоемов относятся: разбавление (уменьшение концентрации загрязнителей вследствие перемешивания и диффузии), ультрафиолетовое излучение солнца (дезинфицирующий эффект), температура воды и седиментация взвешенных веществ. Физические факторы самоочищения зависят от гидрологических и гидравлических свойств водного объекта, главным образом, от расхода воды, при этом минимальный потенциал самоочищения наблюдается в меженный период и в маловодные годы.

Из химических факторов самоочищения водоемов первостепенное значение имеет окисление органических и неорганических веществ. Химическое самоочищение в основном определяется окислительными свойствами растворенного в воде кислорода.

Для оценки биологического потенциала самоочищения исследуют состав и уровень развития гидробионтов, пространственное распределение и динамику биоценозов, продуктивность и благополучие водных экосистем, характер и степень экологических модификаций.

В соответствии с методикой выявления гидравлических факторов самоочищения определяются два показателя: условия самоочищения поверхностных вод за счет трансформации загрязняющих веществ и интегральные условия самоочищения [Скорняков и др., 1997;

Стурман, 1995]. Первый показатель рассчитывается с учетом пространственного сопоставления данных по среднегодовым температурам воды за три летних месяца и интенсивности перемешивания воды, которая определяется на основе подразделения рек на равнинные (абсолютные высоты до 500 м) – слабая интенсивность перемешивания; предгорные – средняя; горные (высоты свыше 1000 м) – сильная.

Для выделения классов рек по интегральным условиям самоочищения применяется матрица с градацией значений температуры и интенсивности перемешивания воды [Скорняков и др., 1997]. Классы рек по интегральным условиям самоочищения воды выделяются на основе значений расходов воды и условий трансформации загрязняющих веществ. Уровень разбавления рассчитывается на основе данных по нормам среднегодовых расходов воды.

Интенсивность биохимических процессов самоочищения с участием гидробионтов, включая микроорганизмы, напрямую зависит от температурного режима водного объекта. Чем выше температура, тем быстрее протекает самоочищение, что обуславливает неравномерность данного процесса в различные сезоны года. Общую характеристику температурных условий самоочищения дает *показатель природного потенциала самоочищения воды* ($ППС_{H_2O}$), который рассчитывается по формуле:

$$ППС_{H_2O} = \left(\frac{A}{365} \right) \cdot J,$$

где A – число дней в году со среднесуточной температурой воды 16°C и выше; J – эмпирический индекс максимальной цветности воды [Гигиенические основы..., 1987].

Показатель природного потенциала самоочищения воды позволяет в универсальной форме оценить интегральные условия этого процесса и сравнивать между собой различные водные объекты (на разных участках реки), а определение показателя за ряд лет позволяет выявить его изменения за выбранный расчетный период [Кириллов и др., 2010].

3.2. Результаты оценки вод Обь-Иртышского бассейна

В ходе проведения комплексной оценки водно-ресурсного потенциала и экологического состояния вод Обь-Иртышского бассейна были рассмотрены все 72 ВХУ, лежащие в его пределах (прилож.).

Большое разнообразие *природно-климатических и ландшафтно-экологических условий* территории обусловлено обширностью Обь-Иртышского бассейна, его значительной протяженностью с юга на север и наличием горного обрамления. Сложность и мозаичность ландшафтных условий нашли свое отражение в пределах многих ВХУ, особенно тех, которые расположены на стыке равнинной и горной частей. С другой стороны, поскольку самым большим по площади является пояс тайги (61 % территории), участки, лежащие в его пределах, характеризуются однородной ландшафтной структурой. Подобная неоднородность и сложность природных условий отдельных ВХУ обусловили большое разнообразие количест-

ва и качества водных ресурсов, формирующихся в пределах данных участков, уровня и видов их использования, а также сложность комплексной оценки вод бассейна.

Гидрологические условия

По мере изменения природно-климатических условий при продвижении от степных районов к тундре средний многолетний поверхностный слой стока изменяется в широких пределах: от 10–15 мм (в степной зоне, *VII тип вод*) до 200–300 мм (в лесотундровой и тундровой зонах, *II тип*). В зависимости от условий увлажнения в горах средний многолетний поверхностный слой стока колеблется также значительно: от 200–300 мм (в низкогорных горно-таежных районах – *IV тип*) до 450–570 мм (в среднегорных горно-таежных – *III тип*).

Характерной чертой водного режима рек Обь-Иртышского бассейна является значительная внутригодовая неоднородность. На реках степной зоны (*VII тип*) за период половодья формируется 90–95 % годовой величины стока. С увеличением увлажнения внутригодовая неоднородность уменьшается, но остается достаточно высокой до 70–75 % (таежная и горно-таежная зоны, *IV тип*). Неоднородность стока изменяется в межгодовом аспекте и зависит от уровня увлажнения территории. Наиболее явно она проявляется в слабо увлажненных районах ($C_v = 0,70–0,89$), а при значительном увлажнении уменьшается ($C_v = 0,18–0,25$).

Наиболее неблагоприятная водохозяйственная ситуация сложилась в индустриально развитых регионах Урала, где промышленное освоение территорий приурочено к горным ландшафтам (преимущественно горно-таежным, а кроме того, горно-лесостепным и горно-степным) в верховьях рек (*типы вод III, V и VI*) (рис. 3.2.1).

По природным условиям потенциальная водообеспеченность здесь имеет наименьшие показатели в бассейне (бассейн р. Исеть – 0,5–1,0 тыс. м³/год на чел., р. Увелька – 0,8 тыс. м³/год, на наиболее освоенном участке бассейна р. Миасс в районе г. Челябинск – 0,3 тыс. м³/год¹). При этом показатель водного стресса достигает здесь своих максимальных значений. Так в верховьях рек Исеть и Увелька забор воды составляет, соответственно, 14 и 18 % от их среднемноголетних расходов, на участках бассейнов рек Тагил (г. Нижний Тагил) и Миасс (г. Челябинск) – более 50–70 %, а в верховьях р. Миасс на двух водохозяйственных участках забор воды равен расходу реки. Проблема недостатка воды в Свердловской и Челябинской областях решается зарегулированием русел рек и межбассейновыми перебросками стока (из бассейна Камы).

В условиях лесостепной зональной области, в лесостепи межгорных котловин Обь-Иртышского бассейна (*тип вод V*) высокие антропогенные нагрузки приурочены к крупным промышленным центрам и городам-миллионерам (Новосибирск, Омск, Кемерово, Новокузнецк, Барнаул и др.) (рис. 3.2.2). Обеспеченность населения поверхностными водными ресурсами здесь имеет высокие значения (20–50 тыс. м³/год на чел.). Показатель водного стресса составляет не более 1–2 %, однако на отдельных участках в бассейне Томи он превышает 10–20 %. В указанных регионах преобладает смешанный тип водоснабжения.

¹ При пороге в 1,7 тыс. м³/год на человека, который, по оценкам специалистов, соответствует ситуации водного кризиса [Данилов-Данильян, Лосев, 2006; Entekhabi et. al., 1999].

Довольно значителен водный стресс в условиях недостаточного увлажнения в бассейнах степных рек с высокой долей распаханых территорий и низкой потенциальной обеспеченностью населения поверхностными водными ресурсами, особенно в пределах бессточной области Обь-Иртышского междуречья (*типы вод VI и VII*). Так обеспеченность населения поверхностными водными ресурсами в бассейне р. Тобол составляет 1,7 тыс. м³/год на чел.; в бассейне оз. Чаны – 1,3 тыс. м³/год (при среднем расходе) и 0,3 тыс. м³/год (при минимальном среднемноголетнем расходе).

При этом показатели водного стресса здесь обычно не превышают 10 %, достигая умеренных значений (10–20 %) в маловодные годы. Именно поэтому водоснабжение этих регионов (Курганская область, частично Новосибирская область и Алтайский край) осуществляется преимущественно из подземных водных источников, однако подаваемая населению вода не всегда соответствует критериям питьевого качества.

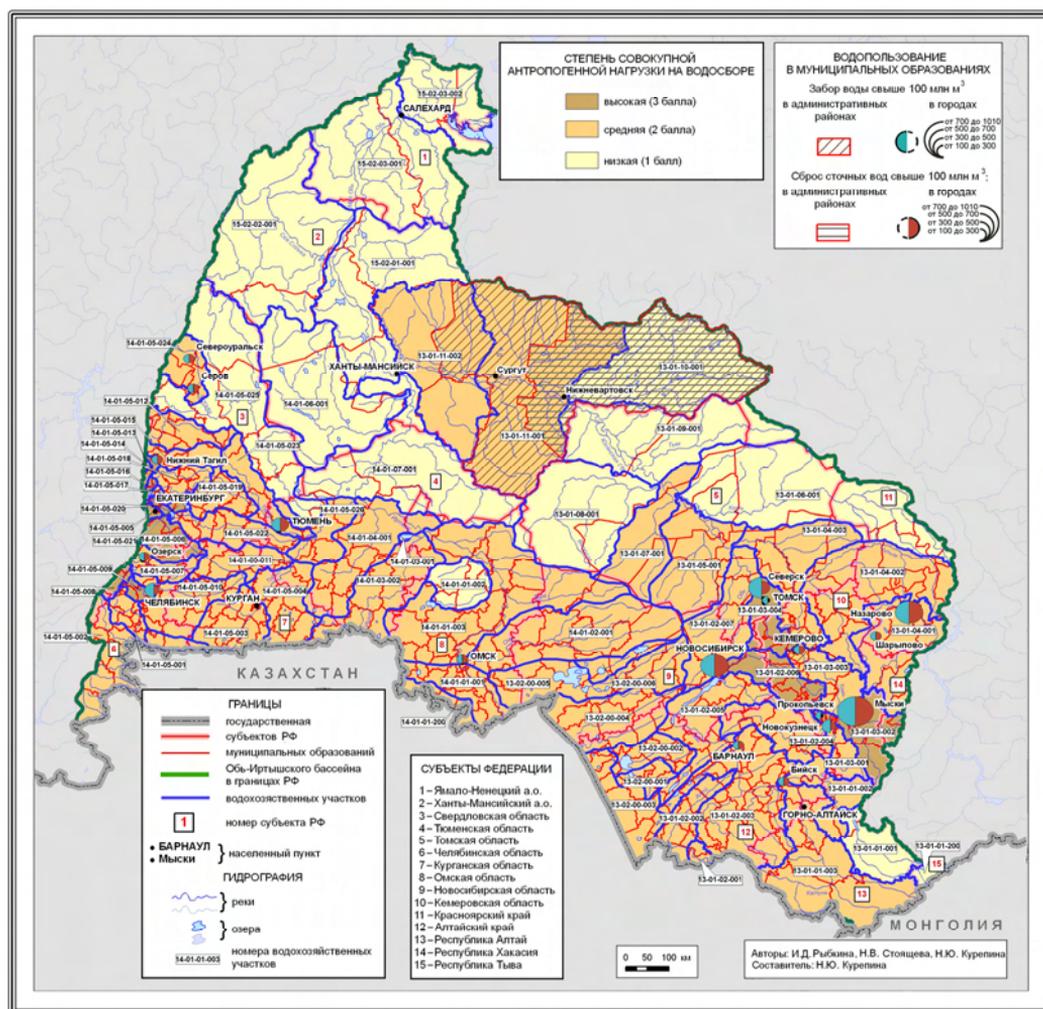


Рис. 3.2.1. Зонирование (ранжирование) территории Обь-Иртышского бассейна по степени антропогенной нагрузки

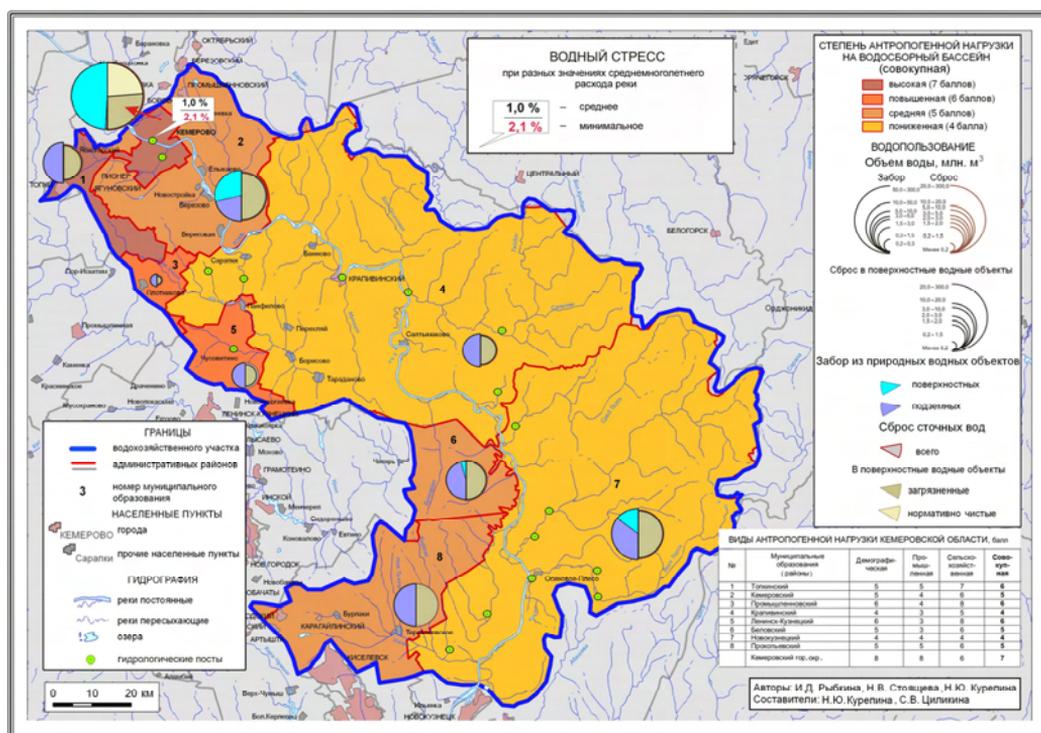


Рис. 3.2.2. Зонирование (ранжирование) водосборной территории по степени антропогенной нагрузки ВХУ 13.01.03.003 (р. Томь, от г. Новокузнецка до г. Кемерово)

В среднем и нижнем течении р. Обь в таежной и тундровой зонах (*типы вод II и IV*) потенциальная водообеспеченность имеет максимальные величины. Высокая обеспеченность населения ресурсами поверхностных вод (600–800 тыс. м³/год и более) наблюдается практически повсеместно: и в условиях очагового промышленного освоения, связанного с нефте- и газодобычей, и там, где ее нет. Водный стресс минимален: в среднем менее 1 %, в очагах освоения – не более 10 %.

Малоосвоенные горные территории Алтая и Кузнецкого Алатау (*типы вод I и III*) характеризуются наиболее благополучной природно-экологической обстановкой с высокой водообеспеченностью (500–600 тыс. м³/год/чел.) при наименьших значениях водного стресса (менее 1 %).

Гидрохимические условия

По химическому составу преобладающее количество водных объектов Обь-Иртышского бассейна относится к гидрокарбонатному классу вод группы кальция. Лишь воды рек засушливых степных районов Алтая, Омской и Новосибирской областей в меженные периоды переходят в сульфатно-хлоридный классы групп магния или кальция (реки Карасук, Каргат, Кулунда). Озера равнинного степного Алтая и степной зоны Новосибирской и Ом-

ской областей высоко минерализованы и относятся преимущественно к хлоридному классу вод группы натрия.

Согласно природно-климатическому районированию, по мере продвижения с юга на север (от степных районов к тундре) в поверхностных водах рек Обь-Иртышского бассейна происходит снижение минерализации и содержания основных ионов, но при этом повышается содержание биогенных веществ (в первую очередь, ионов аммония и фосфатов), железа, марганца, органических веществ нефтяного происхождения и гуминовых веществ, поступающих с заболоченных территорий. Таким образом, химический состав р. Обь и ее притоков, пересекающих различные природные зоны, отражает зональные природные особенности, которые позволили ранжировать поверхностные воды Обь-Иртышского бассейна на семь типов.

Воды I типа, приуроченные к высокогорно-таежной, горно-тундровой или нивально-гляциальной зонам, имеют низкое содержание солей и относятся к классу вод очень малой минерализации (0,05–0,10 г/л). Величина жесткости не превышает 1,5 мг-экв/л, что характеризует этот тип вод как «очень мягкие». В большинстве случаев в их минеральном составе среди катионов преобладают ионы кальция, а среди анионов – гидрокарбонат-ионы. Однако воды горно-тундровой и высокогорно-таежной зон также могут принадлежать к гидрокарбонатно-кремнеземному классу вод, гидрохимические фации которого характерны для рек горных областей умеренных климатических зон и составляют особую горную (вертикальную) зону [Проблемы Байкала, 1978]. Воды I типа содержат высокие концентрации растворенного кислорода (10,2–10,6 мг/л), величина водородного показателя pH варьирует в пределах 7,27–7,51.

Концентрации биогенных элементов группы азота невелики и не превышают допустимых значений для вод рыбохозяйственного назначения. Содержание органических веществ, определяемых по показателям БПК₅ и ХПК, также незначительно и не превышает значений ПДК_{вр}. Количество фенолов и нефтепродуктов, по данным Западно-Сибирского УГМС, выше допустимых нормативов в среднем в три раза. Однако превышение допустимых норм содержания веществ, поступление которых в водные объекты напрямую связано с антропогенной нагрузкой, при отсутствии которой это является малодостоверным фактом и требует дополнительного изучения.

Концентрации тяжелых металлов в поверхностных водах этого типа лежат в допустимых пределах, исключение составляет медь, содержание которой превышает ПДК_{вр} в среднем в три раза. По показателям качества (УКИЗВ) воды I типа Обь-Иртышского бассейна относятся к классу слабозагрязненных вод. Приоритетными загрязняющими веществами являются фенолы, нефтепродукты и медь.

Воды II типа, приуроченные к тундровой и лесотундровой зонам, не были исследованы и их характеристика из-за отсутствия фактического материала выполнена на основе литературных данных [Московиченко, 2010; Природа Ямала, 1995; Нечаева, 1985, 1988; Ямало-Гдынская..., 1978].

По величине минерализации поверхностные воды этого типа относятся к слабоминерализованным (до 100 мг/л) и «очень мягким» (общая жесткость, как правило, не превышает

0,65 мг-экв/л). Особенностью рек тундровой зоны является слабокислая и близкая к нейтральной реакция водной среды (значения рН лежат в пределах 5,38–6,41). Содержание растворенного кислорода существенно зависит от периода года: в безледный – максимально (10–14 мг/л), в подледный – нередко достигает критических значений (< 4 мг/л). По химическому составу воды относятся к кальциевой группе гидрокарбонатного класса с низким содержанием сульфатов, хлоридов и ионов натрия.

Еще одной особенностью химического состава вод тундровой зоны является их высокая цветность, обусловленная большой концентрацией природных органических соединений гумусового происхождения, которые определяют высокие значения показателя ХПК (> 15 мг/л). Биогенные элементы в водах этого типа имеют повышенные концентрации аммонийного азота, поступающего с заболоченных территорий в составе гуминовых соединений. Присутствие других биогенов, как правило, незначительное.

Содержание нефтепродуктов в водах II типа напрямую зависит от степени антропогенной нагрузки. На участках, где техногенное воздействие отсутствует, показатели находятся на уровне ПДК, а в непосредственной близости к районам освоения месторождений углеводородов их концентрации составляют десятки ПДК.

Для рек тундровой и лесотундровой зон характерно высокое содержание железа, превышающее установленные нормативы для рек рыбохозяйственного назначения. Обусловлено это, главным образом, природными факторами, а именно, повышенным содержанием железа, находящимся в составе комплексов с солями гуминовых кислот в болотных и грунтовых кислых водах. В целом следует отметить, что железо является типоморфным элементом для ландшафтов севера Западной Сибири, где широко распространена глеевая восстановительная обстановка, в которой оно становится активным элементом. В этих условиях железо способно вступать в химические соединения и приобретать подвижное состояние.

Повышенное содержание меди в водах этого типа связано, вероятно, с региональными ландшафтно-геохимическими особенностями тундры севера Западной Сибири, которые обуславливают активное выщелачивание и высокую миграционную подвижность данного элемента в кислых поверхностных и грунтовых водах.

Воды III типа Обь-Иртышского бассейна, приуроченные к горно-таежной зоне, характеризуются малой величиной минерализации, что составляет в среднем 164 мг/л. По показателю жесткости (1,16–2,98 мг-экв/л) они относятся к «мягким» водам, по химическому составу – к классу гидрокарбонатно-кальциевых. Воды этой зоны достаточно насыщены кислородом (9,59–11,2 мг/л), величина водородного показателя рН варьирует в пределах 7,51–7,76.

В химическом составе вод этого типа, расположенных на территориях со средней антропогенной нагрузкой, наблюдается увеличение концентраций биогенных элементов группы азота и незначительное превышение допустимых значений по иону аммония для вод рыбохозяйственного назначения (1,5 ПДК). Аналогичная ситуация прослеживается и для органических веществ, определяемых по показателям БПК₅ и ХПК, для которых также наблюдается увеличение и незначительное превышение ПДК_{вр}. Содержание фенолов и нефтепродуктов превышают допустимые нормативы в среднем в 5 и 3,5 раза, соответственно.

Содержание тяжелых металлов в водах этого типа для территорий со средней антропогенной нагрузкой характеризуется превышением ПДК_{вр} для железа – в 2 раза, для меди – в 9,5 раз. По показателям качества, принятым в нашей стране для водоемов рыбохозяйственного назначения, данные воды относятся к классу загрязненных вод. Среди загрязняющих веществ доминируют ионы аммония, органические вещества, фенолы, нефтепродукты, железо и медь.

На территории водосборных бассейнов рек III типа существуют несколько участков, на которых высокое антропогенное загрязнение вод имеет устойчивый региональный характер. Это, в первую очередь, горно-таежные территории Свердловской области – бассейны притоков рек Тобола и Ишима (Черная, Нейва, Исеть, Пышма). По данным Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в р. Исеть (г. Екатеринбург) значения показателя качества воды (УКИЗВ) варьируют от 6,27 до 7,20; в р. Пышма (г. Березовский) – 6,70-7,98; р. Нейва (г. Невьянск) – 6,40-6,98 [Ежегодник качества..., 2006]. Основными загрязняющими веществами являются органические вещества, медь, марганец, нитритный азот, аммонийный азот, фенолы. Особое место в данном перечне занимают тяжелые металлы (медь и марганец), концентрации которых в этих водах могут достигать более 30 ПДК_{вр}.

Воды IV типа являются доминирующими в Обь-Иртышском бассейне. Они приурочены к таежной зоне и характеризуются малой величиной минерализации (197 мг/л). По величине жесткости этот тип вод относится к «мягким» водам. В минеральном составе среди катионов преобладают ионы кальция, в анионном – гидрокарбонат-ионы. Воды этого типа содержат высокие концентрации растворенного кислорода (8,40–12,3 мг/л), величина водородного показателя pH варьирует в пределах 6,5–7,70.

Химический состав данного типа вод резко меняется при переходе из южно-таежной природной зоны в среднетаежную, когда начинает активно сказываться влияние Васюганских болот (для бассейна Оби это район г. Каргасок). Уменьшение pH и растворенного кислорода, существенное повышение цветности (в 4–5 раз) и содержания биогенных и органических веществ, железа, марганца (в 3–5 раз) – все это последствия дренирования реками обширных болотистых территорий.

Независимо от уровня антропогенной нагрузки в реках данного типа вод превышение допустимых значений по иону аммония составляет в среднем 2 ПДК_{вр}, по нитрит-иону – 1,5 ПДК_{вр}, по показателям БПК₅ и ХПК – 1,5 и 2,5 ПДК_{вр}, соответственно. Содержание фенолов и нефтепродуктов превышает допустимые нормативы в среднем в 12 и 13 раз, соответственно. Концентрации тяжелых металлов значительно выше ПДК_{вр}: для железа – в 10 раз, для марганца – в 16, для меди – в 9, для цинка – в 3 раза. В местах активной нефтедобычи (Тюменская область) за счет перекрытия донных отложений малых рек слоем асфальтенов (тяжелые фракции нефти) природный характер состояния водных экосистем этих рек практически полностью нарушен.

По показателям качества IV тип вод Обь-Иртышского бассейна относится к классу «очень загрязненных» вод. Приоритетными загрязняющими веществами являются ионы ам-

мония, органические вещества, фенолы, нефтепродукты, железо, марганец, медь и цинк. Однако следует отметить, что кроме низовья Томи, испытывающего высокую антропогенную нагрузку, и рек, расположенных в местах активной нефтедобычи, на остальных территориях данного типа вод повышенное содержание биогенных элементов (включая ионы биогенных металлов железа и марганца) и органических веществ определяются исключительно природными факторами – наличием обширных болотистых территорий. Таким образом, высокое содержание биогенных и органических веществ, а также ряда металлов является природной нормой данного типа вод, и относить эти воды к классу очень загрязненных вод неправомерно.

Воды V типа Обь-Иртышского бассейна приурочены к лесостепной и горно-лесостепной зонам. Они характеризуются средней величиной минерализации. По жесткости этот тип вод относится к «умеренно жестким» водам. В минеральном составе среди катионов преобладают ионы кальция, в анионном – гидрокарбонат-ионы. Воды этого типа достаточно насыщены кислородом (7,48–10,9 мг/л), величина водородного показателя рН варьирует в пределах 7,43–7,95.

Водосборная площадь бассейнов рек данного типа наиболее густонаселена и промышленно освоена. На данной территории нет ВХУ с низкой антропогенной нагрузкой, основное количество участков испытывает среднюю степень нагрузки и лишь несколько (приурочены к р. Иня в Кемеровской и Новосибирской областях, рекам Исеть и Миасс – в Челябинской и Курганской областях) – высокую. Повсеместно химический состав вод этого типа характеризуется повышенными концентрациями биогенных элементов группы азота и фосфат-ионов. Превышение допустимых значений по иону аммония составляет в среднем 1,5 раза, по нитрит-иону – 1,2, по фосфат-ионам – 2 раза. Для органических веществ отмечено повышенное содержание и превышение ПДК_{вр} в 2,3 (БПК₅) и 2,8 (ХПК) раза. Содержание фенолов и нефтепродуктов превышают допустимые нормативы в среднем в 4 и 6 раз, соответственно. Концентрации тяжелых металлов в водах этого типа превышают ПДК_{вр}: для железа – в 2 раза, для марганца – в 1,5, для меди – в 4 раза.

По показателям качества V тип вод Обь-Иртышского бассейна относится к классу «грязных» вод. Приоритетными загрязняющими веществами являются ионы аммония, фосфат-ионы, органические вещества, фенолы, нефтепродукты, железо, марганец, медь, никель и цинк.

Воды VI типа Обь-Иртышского бассейна приурочены к степной, горно-степной и горно-луговой зонам. Они характеризуются повышенной величиной минерализации (510 мг/л). По показателю жесткости этот тип вод относится к «жестким» водам. В минеральном составе среди катионов преобладают ионы кальция, в анионном – гидрокарбонат-ионы. Воды этого типа достаточно насыщены кислородом (9,05–10,7 мг/л), величина водородного показателя рН варьирует в пределах 7,54–8,48.

Независимо от уровня антропогенной нагрузки для химического состава вод этого типа отмечается возрастание концентрации ионов аммония и фосфат-ионов – 1,3 и 1,5 ПДК_{вр}, соответственно. Для органических веществ характерны превышения значений ПДК_{вр} в 1,5 (БПК₅) и 1,8 (ХПК) раза. Содержание фенолов превышает допустимые нормативы в среднем

в 4, а нефтепродуктов – в 8 раз. Концентрации тяжелых металлов в водах этого типа значительно выше ПДК_{вр}: для железа – в 3 раза, для марганца – в 2, для меди и цинка – в 10 раз.

По показателям качества воды VI типа Обь-Иртышского бассейна относятся к классу «грязных» вод. Приоритетными загрязняющими веществами являются ионы аммония, фосфат-ионы, органические вещества, фенолы, нефтепродукты, железо, марганец, медь и цинк. Поскольку качество воды в водных объектах данного типа не зависит от уровня антропогенной нагрузки, оказываемой на их водосборную площадь, то наблюдаемые превышения установленных норм обусловлены только природными факторами.

Воды VII типа, приуроченные к степной и лесостепной зонам бессточных областей, характеризуются очень высоким содержанием солей и относятся к классу вод высокой минерализации (1–188 г/л). Величина жесткости составляет 6,82–53,0 мг-экв/л, что характеризует этот тип вод как «очень жесткие». В минеральном составе среди катионов преобладают ионы натрия, в анионном – хлорид-ионы. Содержание кислорода варьирует от 2,0 до 10,6 мг/л, величина рН –7,28–8,63.

Содержание биогенных элементов группы азота превышает ПДК_{вр}: по иону аммония – в 3 раза, нитрит-иону – 1,4, фосфат-иону – в 1,5 раза. Концентрация органических веществ превышает ПДК_{вр}: по БПК₅ – в 1,1, ХПК – 5 раз. Уровень загрязнения фенолами и нефтепродуктами значительно выше допустимых норм: в 3 и 9 раз, соответственно.

Высока концентрация тяжелых металлов в поверхностных водах этого типа, что связано, в первую очередь, с их природной особенностью. Испарение ведет к накоплению металлов наряду с другими веществами, что обуславливает образование прочных хлоридных комплексов и удерживание их в растворе.

По показателям качества воды VII тип вод Обь-Иртышского бассейна относится к классу «грязных» вод. Приоритетными загрязняющими веществами являются ионы аммония, нитрит- и фосфат-ионы, органические вещества, фенолы, нефтепродукты, железо, медь, марганец, свинец и цинк. Однако наблюдаемые превышения установленных норм качества связаны только с природной спецификой изучаемого типа вод.

Гидробиологические условия

Обь-Иртышский бассейн включает значительное количество разнотипных текучих и стоячих вод: водотоков различной величины; горных и степных озер различных размеров и солености, малых и больших водохранилищ, болот [Жадин, 1950; Стебаев и др., 1993; Кириллов, 2001б]. Существенное разнообразие природно-климатических и ландшафтно-географических факторов формирования экосистем обуславливает значительное разнообразие водных биоценозов региона. В соответствии с делением поверхностных вод Обь-Иртышского бассейна на семь типов можно типизировать и биогидроценозы региона.

Тип I. В речных водах очень малой минерализации горно-тундровой зоны развиваются, как правило, сообщества ультра-олиготрофного типа. Донные сообщества представлены преимущественно оксифильными холодноводными видами. Истинный планктон не раз-

вит, что связано с его гибелью в следствие быстрого течения горных рек. Среди макрофитов преобладают макроводоросли и водные мохообразные. Рыбы встречаются в основном в нижнем течении рек и представлены бореальным предгорным комплексом видов. Экосистемы водотоков I типа чрезвычайно чувствительны к антропогенной нагрузке, что обусловлено доминированием в их составе высокочувствительных к загрязнению видов гидробионтов. В связи с низким уровнем развития биоценозов биологический потенциал самоочищения также низкий.

Tun II. К водам очень малой минерализации тундровой зоны относится участок Нижней Оби ниже г. Салехарда, где происходит обогащение (особенно во вторую половину лета) планктонных и бентосных сообществ за счет выноса организмов из пойменных водоемов. При длительном затоплении поймы в многоводные годы численность и биомасса фито-, зоо- и ихтиоценозов возрастают. Трофность увеличивается до бета-мезотрофного – альфа-эвтрофного уровня. Притоки Нижней Оби не испытывают в настоящее время существенной антропогенной нагрузки и вносят в р. Обь преимущественно чистые воды. Индекс сапробности (по фито- и зоопланктону) в Нижней Оби несколько ниже по сравнению со средним течением и показывает изменение состояния водных масс от «умеренно загрязненных» (3-й класс чистоты воды) до «чистых» (2-й класс) [Гидробионты Обского..., 1995].

Tun III. В водах горно-таежной зоны относительно горно-тундровых вод I типа трофность повышается до олиготрофного уровня, а по бентосным сообществам нижних участков малых и средних рек – до мезотрофного. Бентоценозы представлены реофильными эври-термными видами. Повышается разнообразие макрофитов за счет появления гидрофитов речных перекаатов и стремнин. Ихтиоценозы таксономически обогащаются преимущественно видами равнинного и арктического комплекса. По гидробиологическим показателям воды этого типа соответствуют преимущественно 1-2 классам качества. К наиболее загрязненным водотокам относится р. Томь на участке, расположенном в 30 км ниже г. Новокузнецка.

Tun IV. Речные воды таежной зоны отличаются повышенным развитием фитопланктона (по содержанию хлорофилла – до мезотрофно-эвтрофного уровня). Максимального разнообразия в этой зоне достигают сообщества высшей водной растительности, представленные высоко- и низкотравными гелофитами, гидро- и плейстофитами слабопроточных и эвтрофных вод. На преобладающих в данном типе рек малопродуктивных песчаных грунтах донные сообщества слабо развиты и сформированы преимущественно лимнофильными видами. Рыбы представлены равнинным комплексом видов. По гидробиологическим показателям воды этого типа относятся преимущественно к 3-му классу качества. К наиболее загрязненным по гидробиологическим показателям водотокам этой зоны относится р. Томь от г. Томска до устья.

Типы V-VI. В речных водах данных типов уровень развития биоценозов, как правило, невысок и соответствует олиготрофному типу водоемов на горных участках рек и олиготрофно-мезотрофному типу – в равнинной части. По гидробиологическим показателям воды этих типов относятся преимущественно ко 2-му (на горных участках рек) и 3-му (в равнинной части) классам качества. Гидробиологические данные по наиболее загрязненным участкам бассейна отсутствуют.

Тип VII. В озерах высокой минерализации бессточной области степной и лесостепной зон уровень развития фито- и зоопланктона соответствует мезотрофно-эвтрофному типу водоемов. При повышении уровня минерализации свыше 100 г/л уровень развития зообентоса снижается с мезотрофного до олиготрофного; при минерализации свыше 200 мг/л бентосные беспозвоночные практически не встречаются. По гидробиологическим показателям воды этого типа относятся преимущественно к 2–3-му классу качества. Следует отметить, что на границах ландшафтно-географических зон, а также при незначительной площади бассейна, принадлежащей отдельной зоне, биоценозы, как правило, не успевают отреагировать на изменение условий перестройкой структурно-функциональных характеристик, что связано как с переносом гидробионтов с вышележащих участков реки, так и с их интразональностью.

Характеристика самоочищающей способности водоемов

По условиям самоочищения за счет разбавляющей способности, интенсивности трансформации загрязняющих веществ, по температуре и цветности воды, уровню развития планктона и бентоса, а также по содержанию растворенного кислорода, биогенных и органических веществ р. Обь в период открытой воды на всем протяжении течения характеризуется высокими потенциалом и интенсивностью самоочищения вследствие взаимодействия физических, химических и биологических процессов. Снижение интенсивности самоочищения наблюдается в подледный период, особенно в условиях поступления с заболоченного водосбора на участке Средней Оби вод, обогащенных органическими веществами, что определяет дефицит кислорода и значительные изменения экосистемы реки.

Для одного из наиболее крупных притоков (р. Томь) установлено, что низкая температура воды на протяжении большей части года (294–304 дня) и, возможно, токсичный характер загрязнения воды существенно лимитируют самоочистительную способность реки. Это происходит несмотря на значительный потенциал самоочищения, обусловленный большим расходом воды, достаточным содержанием кислорода, полнотой и уровнем развития водных сообществ.

Для большинства ключевых водохозяйственных участков отмечены плохие и очень плохие интегральные условия самоочищения при их низком биологическом потенциале. Это связано с невысокой температурой воды в летний период и небольшими среднегодовыми расходами рек (притоков Оби и области замкнутого стока). Относительно хорошие и средние условия самоочищения характерны только для больших и средних рек (Бия, Катунь, Обь, Томь, Чулым, Вах, Васюган, Северная Сосьва).

Снижение проточности, повышение температуры воды, интенсивности трансформации веществ в результате увеличения количества и разнообразия гидробионтов при зарегулировании стока р. Обь и создании Новосибирского водохранилища способствовали повышению потенциала самоочищения реки на этом участке.

В целом анализ условий и показателей самоочищения для бассейна Оби позволил установить приоритетное значение природных факторов по сравнению с антропогенными. Водные экосистемы формируются и функционируют при кратковременных и локальных в

пространстве изменениях характеристик биоценозов и качества поверхностных вод под влиянием крупных индустриальных центров и отдельных промышленных предприятий.

3.3. Целевые показатели водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов

Для установления целевых показателей качества² водоемов рыбохозяйственного назначения в бассейне Оби и Иртыша предложено (рис. 3.3.1):

- ранжирование поверхностных вод Обь-Иртышского бассейна на семь типов, учитывая природные и гидрохимические особенности водных объектов и их водосборных бассейнов;
- установление единых групповых целевых показателей водно-ресурсного потенциала и качества для каждого типа вод;
- организация ревизий и корректировка норм качества (ПДК) для вод культурно-бытового и рыбохозяйственного назначений на основе современных научно обоснованных подходов.

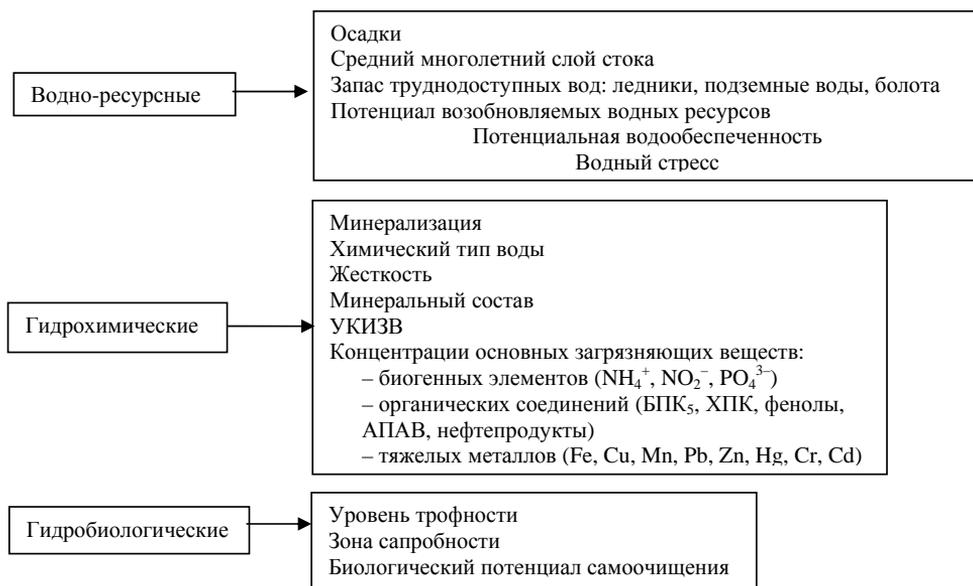


Рис. 3.3.1. Целевые показатели поверхностных вод

² Целевые показатели качества вод – допустимый интервал концентраций, устанавливаемый в зависимости от целевого использования водных объектов.

В ходе выполнения комплексной оценки водных объектов Обь-Иртышского бассейна было показано, что неправомерно характеризовать все типы поверхностных вод от слабоминерализованных тундровых до высокоминерализованных вод бессточных зон по единым установленным нормам качества (ПДК) и единым целевым показателям. Оценку качества вод необходимо проводить по критериям, учитывающим природную специфику и установленным для определенного типа вод.

Групповые целевые показатели водно-ресурсного потенциала и качества вод бассейна, учитывающие природные и гидрохимические особенности водных объектов и их водосборных территорий, обоснованы и установлены для каждого из выделенных семи типов вод, вклад которых в общую площадь водосбора Обь-Иртышского бассейна составил: для вод IV типа – 61 %, V – 15, III – 8,1, VII – 5,7, VI – 4,6, I – 4,0, II типа – 1,6 %. Ниже приводятся групповые целевые показатели (водно-ресурсные характеристики и нормы качества) для выделенных семи типов вод Обь-Иртышского бассейна.

Воды очень малой минерализации, приуроченные к высокогорно-таежной, горно-тундровой или нивально-гляциальной зонам (I тип)

Водосборная площадь вод I типа составляет 4,0 % от водосбора бассейна. Водные объекты представлены высокогорными озерами и горными реками снежно-ледникового питания. Характерной особенностью территории является наличие при прочих равных условиях строго выраженной зависимости количества осадков и слоя водного стока от направленности основного воздушного потока.

Водосборные территории данного типа вод являются наименее заселенными и освоенными районами Обь-Иртышского бассейна. Целевые показатели водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов данного типа вод сведены в табл. 3.3.1.

Из-за очень низкой минерализации и низкого потенциала самоочищения водные объекты данного типа очень уязвимы. Их экосистемы могут быть нарушены даже при незначительном антропогенном воздействии или загрязнении. Так при небольшом повышении антропогенной нагрузки (средний уровень) индекс загрязненности (УКИЗВ) данных вод резко увеличивается с 0,54–1,42 до 1,68–2,27. Поэтому для данного типа вод рекомендуется природоохранный режим использования водных объектов, так как любое сколько-нибудь значимое вмешательство или промышленное освоение территории может привести к непоправимым экологическим последствиям.

Высокие значения целевых показателей качества воды по фенолам, нефтепродуктам и меди для вод I типа (выше ПДК), установленные на основе долгосрочных (за последние 10 лет) данных государственных контролирующих служб, на наш взгляд, не отражают реальности и связаны как с методическими ошибками мониторинга (например, невыполнение обязательного условия фильтрации и консервации водных проб на месте отбора), так и с установленными в нашей стране необоснованно низкими пороговыми значениями критерия качества по этим показателям.

жалению, на этой территории (ВХУ 15.02.03.002) систематические данные гидрологических, гидрохимических и гидробиологических наблюдений отсутствуют, поэтому оценочные значения целевых показателей для данного типа вод выполнены с использованием немногочисленных литературных данных [Московиченко, 2010; Природа Ямала, 1995; Нечаева, 1985, 1988; Ямало-Гдынская., 1978] (табл. 3.3.2).

Из-за очень низкой минерализации и варьирующего от низкого к среднему биологического потенциала самоочищения водные объекты данного типа чуть менее уязвимы при их использовании, чем воды I типа. Согласно литературным данным в районах тундры Ямало-Ненецкого округа, неподверженных антропогенным нагрузкам, содержание таких характерных для Обь-Иртышского бассейна загрязняющих веществ, как фенолы и нефтепродукты, находится на уровне ниже чувствительности метода их определения. Для данных территорий рекомендуется природоохранный режим использования водных объектов.

Таблица 3.3.2

Целевые показатели водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов Обь-Иртышского бассейна, относящихся к водам II типа

<i>Водно-ресурсные</i>			
Осадки		350–450 мм	
Средний многолетний слой стока		200–300 мм	
Запас труднодоступных вод: ледники		отсутствуют	
	подземные воды	97 тыс. м ³ на 1км ² площади (Σ=3,5 км ³)	
	болота	100 тыс. м ³ на 1км ² площади (Σ=5 км ³)	
Потенциал возобновляемых водных ресурсов		250 тыс. м ³ /год км ²	
Потенциальная водообеспеченность		до 20 млн м ³ /год	
Водный стресс		менее 1 %	
<i>Гидрохимические</i>			
Химический тип: гидрокарбонатно-кальциевый, гидрокарбонатно-кремнеземный			
Минерализация	< 0,1 г/л	марганец	
Жесткость	«очень мягкие» (< 0,65 мг-экв/л)	медь	1–10 мг/л
Сульфаты	мг/л	цинк	
Гидрокарбонаты		БПК ₅	
Хлориды	мг/л	ХПК	> 15 мгО ₂ /л
Аммоний		фенолы	
Нитраты		нефтепродукты	
Фосфаты		УКИЗВ	
Железо	0,5–2,0 мг/л		
Приоритетные загрязняющие вещества: цветность, ХПК, ионы аммония, нефтепродукты, фенолы, железо, медь			
<i>Гидробиологические</i>			
Уровень трофности		от бета-мезотрофного до альфа-эвтрофного	
Зона сапробности		от олиго- до бета-мезосапробного	
Биологический потенциал самоочищения		низкий/средний	

Воды малой минерализации, приуроченные к горно-таежной зоне (III тип)

Водосборная площадь III типа вод составляет 8,1 % от общей водосборной площади Обь-Иртышского бассейна. Основными водными объектами являются горные озера и реки, имеющие смешанный тип питания с преобладанием снегового (табл. 3.3.3). По степени антропогенных воздействий различают высокоиндустриальные территории Урала и слабо освоенные – Алтай, Салаира и Кузнецкого Алатау. При низкой минерализации и потенциале самоочищения водные объекты данного типа более устойчивы к антропогенной нагрузке, чем воды I и II типов. Об этом свидетельствуют незначительные изменения интервалов варьирования индекса загрязненности вод: при среднем уровне антропогенной нагрузки показатели УКИЗВ изменяются в пределах 1,64–3,79, а при высоком уровне антропогенной нагрузки – 1,76–4,23. Так как реки горно-таежной зоны в основном представлены малыми водотоками, использование водных ресурсов здесь должно быть ограничено и осуществляться при обязательном соблюдении необходимых природоохранных мер. На Урале в условиях высокого водного стресса (более 40 %) требуется переход на альтернативные источники водоснабжения (перераспределение стока, обеспечение бутилированной водой и др.) и водосберегающие технологии.

Таблица 3.3.3

Целевые показатели водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов Обь-Иртышского бассейна, относящихся к водам III типа

<i>Водно-ресурсные</i>			
Осадки		500–750 мм	
Средний многолетний слой стока		200–300 мм	
Запас труднодоступных вод:		отсутствуют	
	ледники		
	подземные воды	100 тыс. м ³ на 1км ² площади ($\Sigma=21$ км ³)	
	болота	10 тыс. м ³ на 1км ² площади ($\Sigma=2,5$ км ³)	
Потенциал возобновляемых водных ресурсов		250 тыс. м ³ /год км ²	
Потенциальная водообеспеченность		Урал – 0,5–1,0 тыс. м ³ /год;	
		Алтай – около 500 тыс. м ³ /год	
Водный стресс		Урал – 50–70 %, Алтай – менее 1 %	
<i>Гидрохимические</i>			
Химический тип: гидрокарбонатно-кальциевый			
Минерализация	0,1–0,3 г/л	марганец	1–7 мкг/л
Жесткость	2–3 мг-экв/л	медь	0,8–4 мкг/л
Сульфаты	7–22 мг/л	цинк	1–13 мкг/л
Гидрокарбонаты	72–180 мг/л	БПК ₅	2–3 мгО ₂ /л
Хлориды	2–10 мг/л	ХПК	13–18 мгО ₂ /л
Аммоний	0,2–0,6 мг/л	фенолы	0,003–0,007 мг/л
Нитраты	0,3–2 мг/л	нефтепродукты	0,1–0,2 мг/л
Фосфаты	0,02–0,04 мг/л	УКИЗВ	1,64–4,23
Железо	0,1–0,4 мг/л		
Приоритетные загрязняющие вещества: ХПК, ионы аммония, фенолы, нефтепродукты, железо, медь			
<i>Гидробиологические</i>			
Уровень трофности		от олиготрофного до мезотрофного	
Зона сапробности		от ксено- до олигосапробной	
Биологический потенциал самоочищения		низкий/средний	

Воды малой минерализации, приуроченные к таежной зоне (IV тип)

Водосборная площадь вод IV типа составляет 61,0 % от общей водосборной площади Обь-Иртышского бассейна. Водоёмы данного типа вод представлены озерами и реками с заболоченными водосборами и имеют смешанный тип питания с преобладанием снегового. Территория отличается преимущественно очаговым характером освоения.

Благодаря низкой величине минерализации и низкому/среднему потенциалу самоочищения (табл. 3.3.4) водные объекты данного типа являются более устойчивыми к антропогенному воздействию, чем воды III типа из-за их высокой разбавляющей способности. Об этом свидетельствуют незначительные изменения интервалов варьирования показателей УКИЗВ: при среднем уровне антропогенной нагрузки показатели изменяются в пределах 1,96–6,30, при высоком – 2,38–6,39.

Таблица 3.3.4

Целевые показатели водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов Обь-Иртышского бассейна, относящихся к водам IV типа

<i>Водно-ресурсные</i>			
Осадки			500–650 мм
Средний многолетний слой стока			150–300 мм
Запас труднодоступных вод: ледники			отсутствуют
	подземные воды		50 тыс. м ³ на 1 км ² площади ($\Sigma=70$ км ³)
	болота		200 тыс. м ³ на 1 км ² площади ($\Sigma=250$ км ³)
Потенциал возобновляемых водных ресурсов			225 тыс. м ³ /год км ²
Потенциальная водообеспеченность			600–800 тыс. м ³ /год
Водный стресс			менее 10 %, включая освоенные территории
<i>Гидрохимические</i>			
Химический тип: гидрокарбонатно-кальциевый			
Минерализация	0,1–0,3 г/л	марганец	50–800 мкг/л
Жесткость	1–3 мг-экв/л	медь	2–50 мкг/л
Сульфаты	4–55 мг/л	цинк	3–136 мкг/л
Гидрокарбонаты	40–165 мг/л	БПК ₅	1–5 мгО ₂ /л
Хлориды	2–20 мг/л	ХПК	20–58 мгО ₂ /л
Аммоний	0,1–2 мг/л	фенолы	0,001–0,02 мг/л
Нитраты	0,03–0,5 мг/л	нефтепродукты	0,1–1,0 мг/л
Фосфаты	0,04–0,1 мг/л	УКИЗВ	2,38–6,3
Железо	0,1–3,5 мг/л		
Приоритетные загрязняющие вещества: ионы аммония, БПК ₅ , ХПК, фенолы, нефтепродукты, железо, марганец, медь, цинк			
<i>Гидробиологические</i>			
Уровень трофности			мезотрофно-эвтрофный
Зона сапробности			бета-мезосапробная
Биологический потенциал самоочищения			низкий/средний

Здесь следует отметить, что высокие значения верхних границ интервала целевых показателей по ионам аммония, БПК₅, ХПК, нефтепродуктам, железу и марганцу связаны исключительно с природными особенностями региона – наличием Васюганских болот, занимающих значительную территорию и существенно влияющих на качество воды.

При соблюдении водоохраных мероприятий территории водосборных бассейнов вод IV типа перспективны для освоения и заселения и характеризуются высоким водно-ресурсным потенциалом.

*Воды средней минерализации, приуроченные к лесостепной
или горно-лесостепной зонам (V тип)*

Водосборная площадь вод V типа составляет 15,0 % от общей водосборной площади Обь-Иртышского бассейна. Водоёмы данного типа имеют смешанный тип питания с преобладанием снегового. Это наиболее густонаселенные и освоенные территории. Данный тип вод, характеризующийся средней величиной минерализации и низким/средним потенциалом самоочищения (табл. 3.3.5), является сравнительно устойчивой экосистемой к внешним воздействиям. Изменение интенсивности антропогенной нагрузки мало сказывается на изменении качества вод.

При среднем уровне антропогенной нагрузки показатели УКИЗВ изменяются в пределах 1,15–4,67, а при высоком – 1,70–5,03.

Однако из-за низкого потенциала возобновляемых водных ресурсов, а также среднего (Верхняя Обь) и высокого (Уральский регион) водного стресса перспективы водоснабжения для данного типа вод связаны в одних случаях с переходом на интегрированное управление водными ресурсами и поиском путей устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса, в других – с переходом на альтернативные источники водоснабжения и водосберегающие технологии.

*Воды повышенной минерализации, приуроченные к степной
или горно-луго степной зонам (VI тип)*

Водосборная площадь VI типа вод занимает 4,6 % от общего водосбора Обь-Иртышского бассейна. Основу данного типа вод составляют озера и реки, имеющие смешанный тип питания с существенным преобладанием снегового. Они характеризуются большой неравномерностью внутригодового распределения стока, объем которого в период половодья может достигать 80–85 % от годового, а в меженный период маловодных лет реки пересыхают и перемерзают. Территории водосборов имеют преимущественно сельскохозяйственную освоенность.

Таблица 3.3.5

Целевые показатели водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов Обь-Иртышского бассейна, относящихся к водам V типа

<i>Водно-ресурсные</i>			
Осадки			350–450 мм
Средний многолетний слой стока			35–40 мм
Запас труднодоступных вод: ледники			отсутствуют
	подземные воды		3 тыс. м ³ на 1 км ² площади ($\Sigma=1$ км ³)
	болота		10 тыс. м ³ на 1 км ² площади ($\Sigma=4$ км ³)
Потенциал возобновляемых водных ресурсов			38 тыс. м ³ /год км ²
Потенциальная водообеспеченность			Верхняя Обь – 20–50 тыс. м ³ /год
			Урал – менее 1 тыс. м ³ /год
Водный стресс			Верхняя Обь – 10–20 %
			Урал – 20–70 %
<i>Гидрохимические</i>			
Химический тип: гидрокарбонатно-кальциевый			
Минерализация	0,2–0,5 г/л	марганец	2–25 мкг/л
Жесткость	2–6 мг-экв/л	медь	0,1–10 мкг/л
Сульфаты	10–100 мг/л	цинк	0,1–30 мкг/л
Гидрокарбонаты	30–320 мг/л	БПК ₅	1–6 мгО ₂ /л
Хлориды	1–30 мг/л	ХПК	8–70 мгО ₂ /л
Аммоний	0,1–1,0 мг/л	фенолы	0,001–0,01 мг/л
Нитраты	0,1–1,0 мг/л	нефтепродукты	0,03–0,5 мг/л
Фосфаты	0,01–0,6 мг/л	УКИЗВ	1,15–4,67
Железо	0,05–0,3 мг/л		
Приоритетные загрязняющие вещества: ионы аммония, фосфат-ионы, ХПК, БПК ₅ , нефтепродукты, фенолы, железо, марганец, медь, цинк			
<i>Гидробиологические</i>			
Уровень трофности			олиготрофный и олиготрофно-мезотрофный
Зона сапробности			от олиго- до бета-мезосапробной
Биологический потенциал самоочищения			низкий/средний

Экосистемы данного типа вод, характеризующиеся повышенной минерализацией и низким/средним потенциалом самоочищения (табл. 3.3.6), являются достаточно устойчивыми. Изменение интенсивности антропогенной нагрузки мало сказывается на качестве вод.

Так при среднем уровне антропогенной нагрузки показатели УКИЗВ варьируют в пределах 1,97–5,03, а при высоком – 2,25–5,31. При этом следует отметить, что из-за повышенной минерализации поверхностных вод особое значение для использования в хозяйственно-питьевых целях приобретают подземные водоисточники, которые требуют строгой водоохранной политики при их эксплуатации.

Таблица 3.3.6

Целевые показатели водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов Обь-Иртышского бассейна, относящихся к водам VI типа

<i>Водно-ресурсные</i>			
Осадки		300–350 мм	
Средний многолетний слой стока		10–20 мм	
Запас труднодоступных вод: ледники		отсутствуют	
	подземные воды	3 тыс. м ³ на 1 км ² площади (Σ 0,3 км ³)	
	болота	отсутствуют	
Потенциал возобновляемых водных ресурсов		15 тыс. м ³ /год км ²	
Потенциальная водообеспеченность		менее 1,0–2,0 тыс. м ³ /год	
Водный стресс		от менее 10 до 20 %	
<i>Гидрохимические</i>			
Химический тип: гидрокарбонатно-кальциевый, гидрокарбонатно-магниевый			
Минерализация	0,5–1,0 г/л	марганец	2–72 мкг/л
Жесткость	2–4 мг-экв/л	медь	2–15 мкг/л
Сульфаты	17–72 мг/л	цинк	0,4–5 мкг/л
Гидрокарбонаты	135–210 мг/л	БПК ₅	2–4 мгО ₂ /л
Хлориды	3–40 мг/л	ХПК	11–21 мгО ₂ /л
Аммоний	0,2–0,5 мг/л	фенолы	0,002–0,007 мг/л
Нитраты	0,1–0,7 мг/л	нефтепродукты	0,2–2 мг/л
Фосфаты	0,03–0,5 мг/л	УКИЗВ	1,97–5,03
Железо	0,2–0,9 мг/л		
Приоритетные загрязняющие вещества: ионы аммония, фосфат-ионы, ХПК, нефтепродукты, БПК ₅ , фенолы, железо, марганец, медь, цинк			
<i>Гидробиологические</i>			
Уровень трофности		олиготрофный и олиготрофно-мезотрофный	
Зона сапробности		от олиго- до бета-мезосапробной	
Биологический потенциал самоочищения		низкий/средний	

Низкие водно-ресурсные характеристики воды поверхностных водоисточников являются фактором, ограничивающим развитие территорий. Необходимы меры по сокращению водопотерь (включая модернизацию систем водоподачи), разработке путей и механизмов рационализации водопользования, поиску дополнительных источников водоснабжения, например, подземных, которые также требуют к себе особого отношения.

Воды высокой минерализации, приуроченные к бессточным областям степной и лесостепной зон (VII тип)

Водосборная площадь вод VII типа составляет 5,7 % от общего водосбора Обь-Иртышского бассейна. Водоемы данного типа вод имеют преимущественно снеговое питание и характеризуются очень большой неравномерностью внутригодового распределения стока. В меженный период реки данной территории пересыхают и перемерзают, а во время половодья объем их стока может достигать 90–95 % годового. Территории водосбора харак-

Из-за очень низкой обеспеченности ресурсами поверхностных вод и высокой степени минерализации вода является фактором, ограничивающим развитие территорий. Необходимы меры по сокращению водопотерь и улучшению водоподготовки, поиску дополнительных источников водоснабжения и рационализации водопользования в целом. Поскольку наиболее уязвимыми к воздействию антропогенной нагрузки являются водные экосистемы с очень слабой минерализацией вод, приуроченные к горно-таежной, горно-тундровой (I тип) и тундровой (II тип) зонам, для них рекомендуется природоохранный режим использования, так как любое вмешательство и промышленное освоение территории может привести к необратимым экологическим последствиям.

Водные экосистемы с повышенной и высокой минерализацией вод (VI и VII типы) наиболее устойчивы к антропогенной нагрузке, изменение интенсивности которой в настоящее время практически не сказывается на качестве их вод. Однако низкий потенциал возобновляемых водных ресурсов, высокий водный стресс и необходимость использования для целей коммунального водоснабжения подземных водных источников резко ограничивают перспективы водоснабжения этих территорий. При использовании данного типа вод необходим поиск путей устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса, включая переход на жесткие водосберегающие технологии.

Поверхностные воды III, IV и V типов занимают промежуточное положение по степени уязвимости к антропогенным нагрузкам, поэтому при их водохозяйственном использовании необходимо обязательное соблюдение водоохранного режима, хотя и менее жесткого, чем для вод I и II типов. Самыми перспективными для освоения и заселения являются воды IV типа, они имеют высокий водно-ресурсный потенциал.

Для характеристики крупных речных бассейнов, простирающихся через различные природно-климатические зоны впервые разработаны групповые показатели количества и качества природных вод. Они могут быть использованы как целевые нормативы при разработке схем комплексного использования водных объектов. Даже при отсутствии необходимого набора гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и других исходных данных (труднодоступные участки) такой подход позволяет в целом охарактеризовать водно-ресурсное и экологическое состояние водных объектов.

4. Новосибирское водохранилище

Основные цели исследования Новосибирского водохранилища, как и любого водохозяйственного объекта, можно сформулировать следующим образом.

1. Составление и поддержка информационной системы об объекте, содержащей как ретроспективную, так и непрерывно пополняемую оперативную информацию (своевременно переходящую в разряд ретроспективной), научное обоснование структуры определяющих параметров, а также пространственной и временной разрешимости их представления.

2. Выявление и детальное изучение как общих закономерностей, так и специфических особенностей поведения данного объекта.

3. Разработка методов и средств составления прогноза поведения объекта при различных природных и техногенных воздействиях, включая чрезвычайные ситуации.

4. Разработка теоретических основ и практических рекомендаций для проведения мониторинга (например, гидролого-экологического или технологического), принятия проектных инженерных и эксплуатационных решений по улучшению (или сохранению) состояния и водохозяйственного использования объекта.

5. Обоснование принципов управления объектом и разработка системы поддержки принятия решений (СППР).

4.1. Морфометрические и гидрологические характеристики

Новосибирское водохранилище было создано в 1957–1959 гг. в результате частичного затопления долины р. Обь после ее перекрытия в створе с координатами 55°с.ш. и 83°в.д. в 679 км от места слияния рек Бия и Катунь. Водоем простирается в генеральном направлении с юго-запада на северо-восток от г. Камень-на-Оби до плотины Новосибирской ГЭС и имеет простую в плане (линейно-вытянутую) форму. Его основные морфометрические характеристики (при нормальном подпорном уровне – НПУ – 113,5 м) таковы: протяженность по судовому ходу – 200 км, по равноудаленной от берегов линии – 220 км; полный объем – 8,8 км³; полезный объем – 4,4 км³; минимальная, средняя и максимальная ширина – 2, 10 и 22 км, соответственно; средняя и максимальная глубина – 9 и 25 м, соответственно; площадь акватории – 1090 км²; общая протяженность береговой линии – 550 км [Формирование береговой..., 1968]. Существенным фактором для формирования качества воды и жизни водохранилища является соотношение площадей участков водохранилища с различной глубиной. В Новоси-

бирском водохранилище при НПУ участки с глубиной 0–2 м составляют 14 % акватории, 2–5 м – 19,6, 5–10 м – 41,2, 10–15 м – 21,5, 15–25 м и более – 3,7 %.

По гидрологическому режиму и морфометрическим характеристикам Новосибирское водохранилище является типично равнинным водоемом и подразделяется на три основные части: нижнюю – озеровидную; среднюю – суженную и верхнюю – расширенную (рис. 4.1.1). В озеровидной части водохранилища (п. Завьялово – плотина Новосибирской ГЭС) содержится 73 % объема воды при НПУ и 90 % – при уровне УМО (108,5 м). Эта часть водохранилища характеризуется наибольшей шириной, максимальными глубинами и развитием ветрового волнения. Стоковые течения здесь имеют минимальные значения (0,1–0,15 м/с), в прибрежной зоне наблюдаются ветроволновые течения, возникающие при штормах (скорость до 0,3 м/с).



Рис 4.1.1. Схема Новосибирского водохранилища: I – верхняя (расширенная, речная) часть; II – средняя (суженная) часть; III – нижняя (озеровидная) часть.

В связи со значительными разгонами юго-западных ветров высоты волн достигают 3,0 м, правобережные склоны подвержены наиболее интенсивному разрушению. В средней (суженной) части водохранилища глубины уменьшаются, а многочисленные острова, сохранившиеся в пределах долины Оби, препятствуют развитию ветрового волнения. Скорости стоковых течений возрастают, ветроволновых – снижаются. Верхняя (расширенная, речная) часть водохранилища в русловой части характеризуется гидрологическим режимом, близким к речному. Скорости стоковых течений достигают 1,5 м/с, ветроволновые – практически отсутствуют, высота волн – минимальная для водохранилища.

Пространственное положение водохранилища в лесостепной зоне достаточно близко к горной части водосборного Обь-Иртышского бассейна, это определяет значительную неоднородность его гидрологического режима в сезонном и многолетнем аспектах. В среднем полный объем Новосибирского водохранилища аккумулирует в себе 17 % годового стока в

створе гидроузла (или 27 % объема весеннего половодья), полезный – вдвое меньше. В различные по водности годы полезный объем составляет лишь от 6 до 12 % годового стока. Это обстоятельство существенно отражается на ежегодном наполнении водохранилища и трансформации им весеннего паводка. Регулирование стока Новосибирским водохранилищем в связи с его малой полезной емкостью не вызывает заметной срезки пика паводка, поэтому максимальные расходы (0,1 и 0,01 %) обеспеченности практически не трансформируются. Основная приточность в Новосибирское водохранилище (94–96 %) обусловлена стоком р. Обь. По классификации Фортунатова [1974] Новосибирское водохранилище относится к водоемам с очень большой степенью водообмена (среднегодовой коэффициент – 6,62). В последние годы происходит понижение водности отдельных лет в целом и весеннего сезона во внутригодовом разрезе.

В первые годы существования водохранилища (1959–1973 гг.) среднегодовой коэффициент водообмена составлял 7,13; за последующие десятилетия его величина значительно понизилась, в целом за 1959–2011 гг. был равен 6,62. Такая динамика наблюдается и для коэффициента водообмена весеннего сезона: за 1959–1973 гг. – 3,50; за 1959–2011 гг. – 3,11. Отметим, что в маловодный 2011 г. среднегодовой коэффициент водообмена составил 5,48; а коэффициент водообмена весеннего сезона – 2,52. Динамика гидрологических характеристик Новосибирского водохранилища в годы различной водности представлена на рис. 4.1.2.

4.2. Процессы переработки берегов

Одним из основных негативных последствий создания любого водохранилища является неизбежный процесс переработки его берегов. В связи со строительством Новосибирского водохранилища была затоплена значительная часть долины р. Обь на участке от Камня-на-Оби до Новосибирска, благодаря чему котловина образовавшегося водоема унаследовала основные черты ее строения. На Оби, как и на многих других реках северного полушария, левобережный склон долины более пологий, чем правобережный. Поэтому область наибольших глубин в котловине водоема оказалось приуроченной к его правому берегу. Ширина Новосибирского водохранилища в целом возрастает в направлении его простираения, а распределение глубин в затопленной долине также характеризуется их возрастанием в том же направлении. В совокупности с особенностями геологического строения затопленной долины эти черты во многом определяют основные тенденции развития берегов Новосибирского водохранилища.

По данным, приводимым в монографии «Природные опасности России» [2002], периметр подверженных размыву берегов Новосибирского водохранилища достигал 52 % общей протяженности его береговой линии. В результате действия гидрогенных рельефообразующих процессов на побережьях водоема было утрачено 31,2 км² территорий, преимущественно ценных, в том числе покрытых лугами и кустарниками – 15,7 км², покрытых лесами и редколесьями – 13,3 км², урбанизированных (не включая территорию г. Бердск в его исторических границах) – 1,6 км² (табл. 4.2.1–4.2.2).

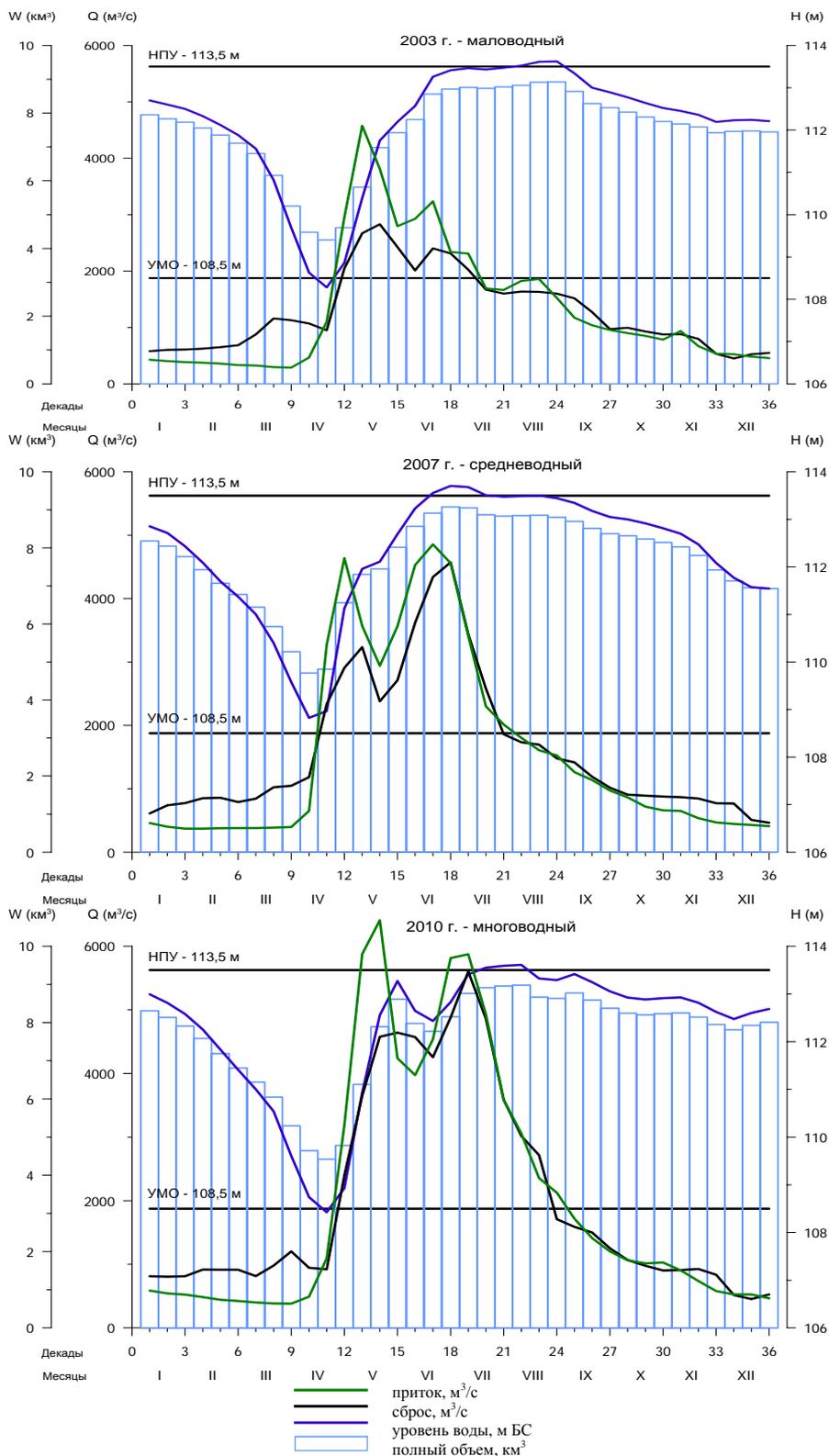


Рис. 4.1.2. Динамика гидрологического режима Новосибирского водохранилища в годы различной водности

Таблица 4.2.1

Абразионный размыв берегов Новосибирского водохранилища, 1959–2010 гг.

Берег	Абразионное развитие берегов по периодам, м								За весь пе- риод	Про- гноз на 2011– 2020 гг.
	на- пол- нение	нормальная эксплуатация								
	1957– 1959	1960– 1970	1971– 1980	1981– 1990	1991– 2000	2001– 2005	2006– 2008	2009– 2010		
Правый:	<i>Нижняя часть водохранилища</i>									
– суглинки	35–90	91–130	78–87	25–30	30	12	12	5	≤455	24
– пески	59–93	22–52	19–23	5–21	30	12	12	5	≤255	24
Левый	3–5	≤20	≤50	≤25	≤30	10	6	3	≤153	16
	<i>Средняя часть водохранилища</i>									
Правый	≤20	≤15	≤10	≤5	5	4,5	2,5	2	≤62	8
Левый	≤15	≤20	≤10	≤10	9	4,0	3,0	2	≤72	8
	<i>Верхняя часть водохранилища</i>									
Правый	≤5	≤18	≤6	≤4	≤3,5	1,5	1,0	1	≤41	3
Левый	≤5	≤15	≤5	≤3	≤2	1,0	1,0	1	~36	2

В период нормальной эксплуатации Новосибирского водохранилища на большей части его побережий наблюдалось снижение масштабов негативных проявлений деятельности гидрогенных рельефообразующих процессов и темпа размыва [Хабидов, 1999; Хабидов и др., 2001]. Анализ картографических произведений, материалов дистанционного зондирования и данных наблюдений показал [Хабидов и др., 2009], что протяженность подверженных размыву берегов водохранилища в настоящее время сократилась до 33,6 % периметра береговой линии и составляет 244 км. При этом наблюдавшаяся скорость переработки берегов снизились с 13,0 м/год (1960–1970 гг.) до 2,2 м/год (2006–2010 гг.).

Наряду с негативными проявлениями деятельности гидрогенных рельефообразующих процессов на Новосибирском водохранилище наблюдается накопление как твердого стока образующей водоем реки, так и продуктов размыва берегов (главным образом, песчаных разностей терригенного материала). Кроме того, отмечаются результаты действия процессов, обусловленных антропогенными факторами. Это питание береговой зоны водоема рыхлым пляжеобразующим материалом и создание искусственных пляжей для целей берегозащиты (табл. 4.2.3).

Прогноз влияния гидрогенных процессов волновой и неволновой природы на перестроение берегов Новосибирского водохранилища показывает, что наиболее высокий риск потери земель на урбанизированных территориях, а также на территориях лесного фонда, сельскохозяйственного и иного назначения имеется в области преимущественно волнового морфолитогенеза: на правом берегу водоема – это открытые действию волн приустьевые районы залива Завьялово, участок с. Быстровка – с. Тула – с. Бурмистрово – с. Сосновка – устье р. Н.Ельцовка и прилегающий к устью залива субмеридианальный участок берега, а на

левом берегу водоема – район с. Береговое и прилегающие к нему участки побережья, а также участок с. Боровое – с. Ленинское.

На фоне сокращения масштаба пораженности побережий Новосибирского водохранилища абразионными процессами на водоеме происходит общее снижение скорости размыва берегов (табл. 4.2.4). При этом по сравнению с 2001–2005 гг. скорость размыва берега в 2006–2010 гг. снизилась на правом побережье водоема на 15 % (в среднем 3 % в год), на левом побережье – на 20 % (в среднем 4 % в год). Видимая разность темпа снижения абразионной активности обусловлена унаследованными различиями в геологическом строении котловины и береговой зоны, их рельефа, а также разными волновыми нагрузками на берега, обусловленными морфометрическими характеристиками, приобретенными на последовательных стадиях формирования профиля подводного берегового склона и пляжа.

Аналогичная тенденция наблюдается и в переходной области Новосибирского водохранилища, где в 2001–2005 гг. правый берег отступал со среднемаксимальной скоростью 0,48 м/год, а в 2006–2010 гг. – со скоростью 0,44 м/год; соответственно, среднемаксимальная скорость отступления левого берега снизилась с 0,52 до 0,50 м/год. В области преимущественно флювиального морфолитогенеза, где в формировании берегов доминируют эрозионные процессы, изменения в скорости их размыва не наблюдались (табл. 4.2.4).

Таблица 4.2.2

Масштаб размыва берегов Новосибирского водохранилища волнами

Территории	Площадь размытых территорий в границах динамических обстановок рельефообразования, км ²			
	S_o	S_e	S_n	S_ϕ
Покрытые лесами и редколесьями	13,254	12,675	0,564	0,015
Покрытые лугами и кустарниками	15,693	14,484	0,437	0,772
Заболоченные	0,373	0,167	0,017	0,189
Урбанизированные	1,593	1,46	0,133	–
Песчаные острова	0,325	–	–	0,325
Утрачено в результате размыва, всего	31,238	28,786	1,151	1,301

Примечание: S_o – общая площадь размытых территорий на побережьях Новосибирского водохранилища; площадь территорий на побережьях Новосибирского водохранилища, утраченных в результате размыва берегов в границах основных динамических обстановок рельефообразования и осадконакопления, в том числе S_e – в области преимущественно волнового морфолитогенеза; S_n – в переходной области; S_ϕ – в области преимущественно флювиального морфолитогенеза.

**Площадь аккумулятивных форм рельефа, возникших в период эксплуатации
Новосибирского водохранилища**

Вновь образованные территории	Площадь аккумулятивных форм рельефа в границах динамических обстановок рельефообразования, км ²			
	S_o	S_b	S_n	S_ϕ
	40,788	8,265	1,278	31,245

Примечание: S_o – общая площадь территорий на побережьях Новосибирского водохранилища, образованных в результате аккумуляции наносов; площадь вновь образованных территорий на побережьях Новосибирского водохранилища в границах основных динамических обстановок рельефообразования и осадконакопления, в том числе S_b – в области преимущественно волнового морфолитогенеза; S_n – в переходной области; S_ϕ – в области преимущественно флювиального морфолитогенеза.

Таблица 4.2.4

Величина отступления береговой линии Новосибирского водохранилища, 2001–2010 гг.

Берег	Величина отступления береговой линии, м		
	2001–2005	2006–2010	всего за период 10 лет
	<i>Область преимущественно волнового морфолитогенеза</i>		
Правый	≤12,0	≤10,2	≤22,2
Левый	≤10,0	≤8,0	≤18,0
	<i>Переходная область</i>		
Правый	≤2,4	≤2,2	≤4,6
Левый	≤2,6	≤2,5	≤4,9
	<i>Область преимущественно флювиального морфолитогенеза</i>		
Правый	≤1,5	≤1,5	≤3,0
Левый	≤1,0	≤1,0	≤2,0

Исходя из общих положений учения о развитии берегов [Зенкович, 1962; Вендров и др., 1972; Финаров, 1974; Печеркин и др., 1980], можно полагать, что темп их переработки хотя и будет в дальнейшем снижаться, но негативное воздействие водных масс водохранилища на прибрежные территории продолжится (как минимум, до 2020 г.). В связи с этим необходимо оценить величину возможных изменений положения береговой линии в результате гидрогенных рельефообразующих процессов. По данным табл. 4.2.4 получим прогностической величины отступления береговой линии водохранилища до 2020 гг.: область преимущественно волнового морфолитогенеза – 17,6 м (для правого берега) и 13,1 м (для левого), область переходного типа – 4,1 м (для правого берега) и 4,8 м (для левого) водоема. При преимущественно флювиальном морфолитогенезе темп размыва правого берега не превысит 3 м, а левого – 2 м, хотя ситуация может измениться при высокой повторяемости маловодных (снижение эрозии) или многоводных лет (возрастание).

Наиболее значимый размыв наблюдается и прогнозируется в пределах населенных пунктов Сосновка (правый берег, рис. 4.2.1) и Ордынское (левый берег, рис. 4.2.2). По прогнозам к 2020 г. в районе с. Сосновка берег отступит на ~17,6 м, а в районе п. Ордынское – на ~13,1 м. В пределах этих населенных пунктов существует угроза размыва в районе жилых домов и рекреационных территорий, на остальных абразионных участках размываются только сельскохозяйственные территории и лесные массивы. Хотя проводимый на Новосибирском водохранилище мониторинг береговых процессов и демонстрирует тенденцию замедления во времени скорости размыва его берегов, рельеф береговой зоны водоема еще не достиг состояния динамического равновесия. Поэтому подвергающиеся абразией или эрозией берега водоема в принципе нуждаются в инженерной защите на всем их протяжении [Тризно и др., 2000].

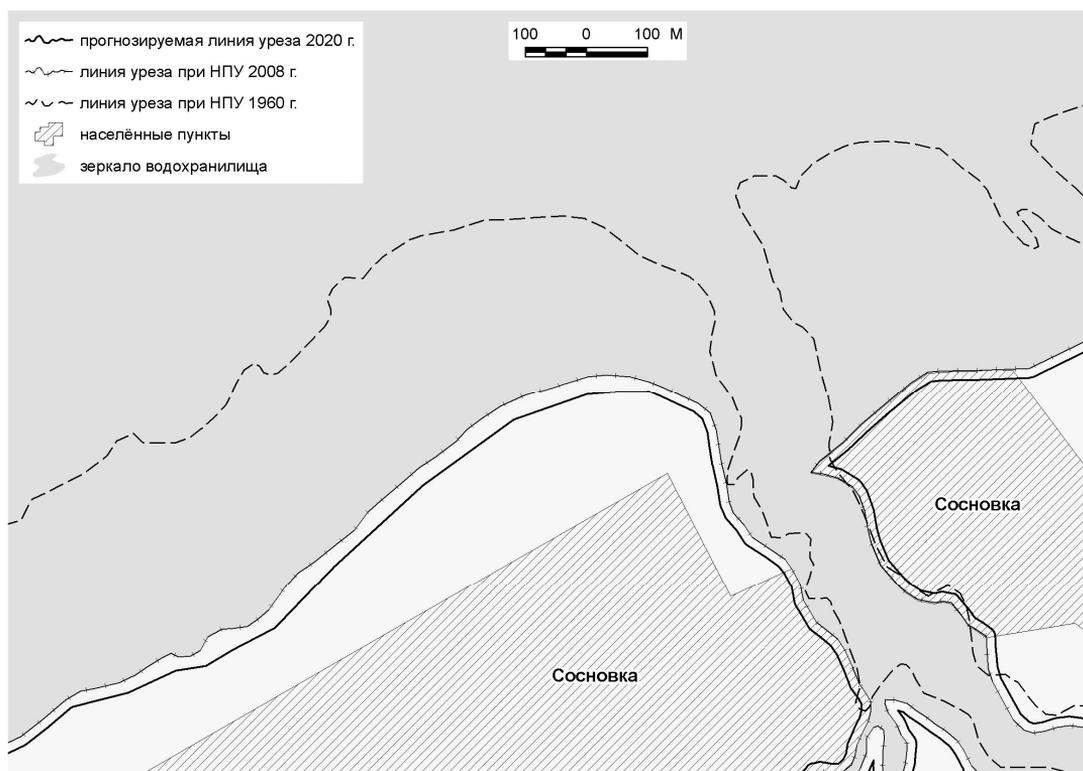


Рис. 4.2.1. Прогнозируемое положение береговой линии на 2020 г. в районе с. Сосновка

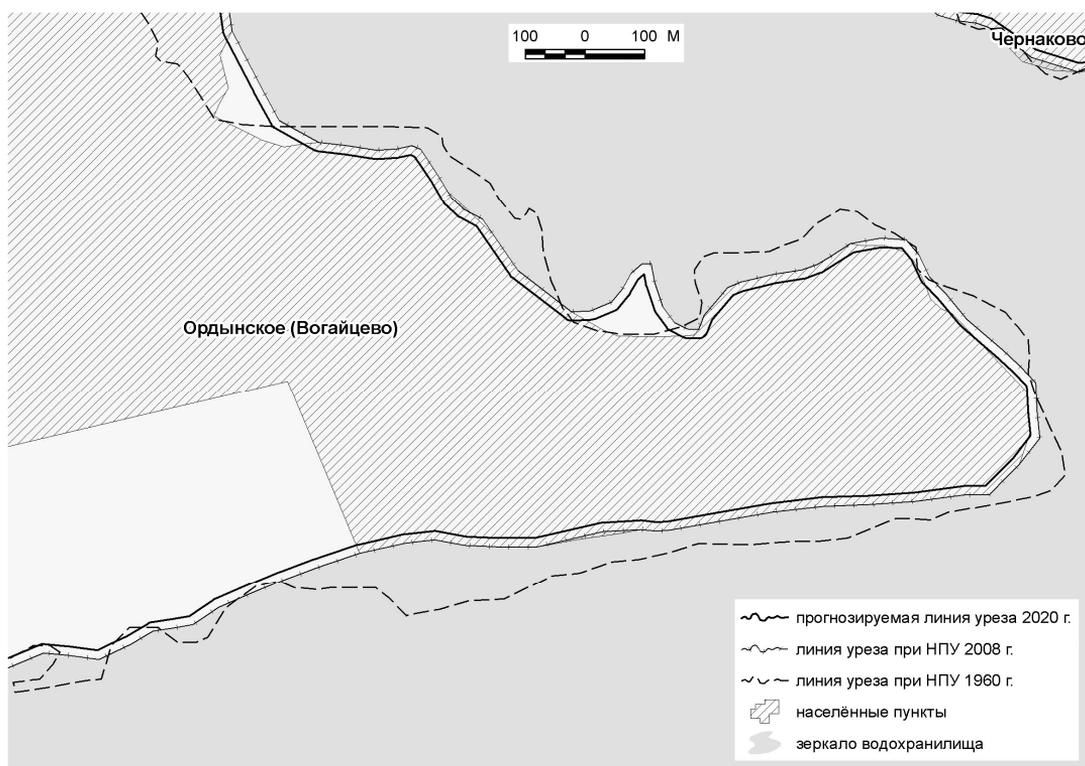


Рис. 4.2.2. Прогнозируемое положение береговой линии на 2020 г.
в районе п. Ордынское

В реальных условиях в силу экономических причин речь может идти, главным образом, о защите земель с развитой социально-экономической инфраструктурой или о переносе поселений. Применительно к Новосибирскому водохранилищу это, прежде всего, касается поселений, расположенных в границах области преимущественно волнового морфолитоге-за водоема: с. Завьялово, с. Быстровка, с. Тула, с. Бурмистрово и окрестностей г. Бердска (правый берег водохранилища), с. Спирино ниже устья одноименного залива, с. Красный Яр, с. Береговое и с. Боровое – с. Ленинское (левый берег водохранилища). При этом в каждом случае ответ на указанный вопрос может быть получен только из материалов технико-экономического обоснования рассматриваемых мероприятий.

Необходимо отметить, что для визуализации как истории трансформации береговой линий Новосибирского водохранилища, так и прогнозного ее положения в ИВЭП СО РАН была разработана специализированная ГИС «Акватория и береговая зона Новосибирского водохранилища» [Заключительный..., 2009]. Такая ГИС позволяет, в частности, отображать изобаты на карте Новосибирского водохранилища, поэтому можно вычленять при каждом уровне сработки водохранилища важные для ихтиологов так называемые «отшнурованные» участки водохранилища, гидравлически изолированные от основной акватории. В заключение приведем сводные данные по фактическому отступанию берегов Новосибирского водохранилища за все время его существования (табл. 4.2.5).

Фактическое отступление берегов Новосибирского водохранилища, 1959–2012 гг.

Берег	Абразионное развитие берегов по периодам, м								за весь период
	наполнение	нормальная эксплуатация							
		1957–1959	1960–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2005	2006–2008	
Правый:	<i>Нижняя (озероидная) часть водохранилища</i>								
– суглинки	35–90	91–130	78–87	25–30	30	12	12	5	≤455
– пески	59–93	22–52	19–23	5–21	30	12	12	5	≤255
Левый	3–5	≤20	≤50	≤25	≤30	10	6	3	≤153
	<i>Средняя (суженная) часть водохранилища</i>								
Правый	≤20	≤15	≤10	≤5	5	4,5	2,5	2	≤62
Левый	≤15	≤20	≤10	≤10	9	4,0	3,0	2	≤72
	<i>Верхняя (расширенная) часть водохранилища</i>								
Правый	≤5	≤18	≤6	≤4	≤3,5	1,5	1,0	1	≤41
Левый	≤5	≤15	≤5	≤3	≤2	1,0	1,0	1	≤36

4.3. Водоохранная зона

Современное законодательство, регламентирующее режим использования водоохранных зон

На настоящий момент правовой режим водоохранных зон регулируется Водным Кодексом (ВК) РФ от 03.06.2006 г. [Водный кодекс, 2006].

Водоохранными зонами (ВЗ) являются территории, примыкающие к береговой линии водных объектов, на которых устанавливается специальный режим хозяйственной и иной деятельности. Этот режим осуществляется в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира (ст. 65.1). В границах водоохранных зон устанавливаются *прибрежные защитные полосы (ПЗП)*, на которых вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности (ст. 65.2).

На территориях водоохранных зон возникают не только наиболее сложные водно-экологические ситуации, но и разнообразные конфликты между земле- и водопользователями. Здесь же в концентрированном виде представлены наиболее сложно организованные ландшафтно-гидрологические системы [Ландшафтное планирование..., 2001].

Основной целью создания водоохранных зон является улучшение гидрологического, гидрохимического, гидробиологического, санитарного и экологического состояния водных

объектов и благоустройство их прибрежных территорий. За пределами населенных пунктов водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы устанавливаются от береговой линии (ст. 65.3), для водохранилищ береговая линия определяется по нормальному подпорному уровню (ст. 5.3).

До 2007 г. порядок установления границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос, режим их использования регламентировался «Положением о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах» от 23.11.1996 г. [Об утверждении..., 1996]. В настоящее время размеры водоохранных зон и режим их использования регламентируются Водным кодексом (ст. 65.3–14), который однозначно определяет их ширину в зависимости от типа и характеристик водного объекта, а ширину прибрежных защитных полос – от типа водного объекта и уклона берега. Необходимо отметить, что современное водоохранное законодательство имеет ряд недостатков и противоречий (как юридического, так и природоохранного характера), касающихся водоохранных зон и прибрежных защитных полос.

Наиболее острыми противоречиями являются те, которые касаются застройки водоохранных зон и прибрежных защитных полос. Исторически сложилось так, что населенные пункты и хозяйственные объекты в большинстве своем располагаются по берегам водоемов. При этом поверхностные стоки с территории жилой и общественной застройки, а также предприятий, автомобильных и железных дорог являются одним из основных факторов негативного воздействия на водный объект. Сегодня кодекс фактически разрешает строительство жилых домов, других строений и производств на территории водоохранных зон и прибрежных защитных полос при условии, что они имеют очистные сооружения (ст. 65.16–17). Таким образом, строительство, с одной стороны, узаконено, а с другой – большая часть землевладельцев, в том числе тех, кто уже оформил свои участки в собственность до введения кодекса, очистных сооружений не имеет, т.е. фактически нарушает законодательство. Еще одно противоречие связано с тем, что береговая полоса водного объекта шириной 20 м предназначена для общего пользования, т.е. доступна для всех граждан (ст. 6.6). Поэтому застройка данной территории в принципе незаконна. Однако, если п. 7 Положения [Положение..., 1996] запрещал размещение в прибрежных защитных полосах дачных участков и выделение участков под строительство, то кодекс 2006 г. фактически разрешает и это.

В настоящий момент отсутствуют и единые утвержденные государственными органами методические указания по организации водоохранных зон и прибрежных защитных полос. Методические указания по проектированию водоохранных зон и прибрежных защитных полос (Приказ МПР России от 21.08.1998 г. № 198), разработанные МПР, так и не были утверждены Правительством РФ, а с 12 июля 2000 г. были отменены (Приказ МПР России от 12.07.2000 г. № 174).

Ранее для водохранилищ, согласно упомянутому Положению, минимальная ширина водоохранной зоны принималась при площади акватории до 2 км² – 300 м, от 2 км² и более – 500 м. С принятием нового кодекса ее ширину установили в размере 50 м для водоема более 0,5 км² (ст. 65.6). Фактически это означает уменьшение ширины водоохранной зоны для крупных водохранилищ в 10 раз. Однако позднее в данный пункт статьи были внесены по-

правки, согласно которым ширина водоохранной зоны водохранилища, расположенного на водотоке, устанавливается равной ширине водоохранной зоны этого водотока (ФЗ РФ от 14 июля 2008 г.). Таким образом, согласно ст. 65.4 ВК для Новосибирского водохранилища ширина водоохранной зоны, как и для р. Обь составляет 200 м, ширина прибрежной защитной полосы – от 30 до 50 м в зависимости от уклона берега (30 м – для обратного или нулевого уклона, 40 м – для уклона до 3° и 50 м – для уклона 3° и более, ст. 65.11). Кодекс не регламентирует порядок выделения водоохранных зон в пределах населенных пунктов.

Безусловным недостатком является то, что размеры водоохранной зоны регламентируются без учета стокоформирующих и самоочищающих способностей прилегающих ландшафтов. На практике при проектировании водоохранных зон и прибрежных защитных полос используются Методические указания МПР по проектированию водоохранных зон, положения Постановления о водоохранных зонах и прибрежных защитных полосах, а также авторские методики, учитывающие природные особенности территории и характер их хозяйственного использования [Кормаков и др., 2004; Жерелина и др., 2007]. Так методика, предложенная иркутскими учеными [Ландшафтное планирование..., 2002] для водоохранных зон оз. Байкал, предполагает внутреннее ее зонирование, что позволяет минимизировать вредное воздействие на водные объекты. В ИВЭП СО РАН разработана методика проектирования водоохранных зон с использованием ландшафтно-географического подхода и бассейнового принципа, которая наряду с обязательными требованиями к размерам водоохранных зон и прибрежных защитных полос, закрепленными в законодательстве, учитывает как природные (характер стокоформирования, особенности ландшафтов, тип берегов, интенсивность эрозийных процессов), так и антропогенные (хозяйственное использование земель, застройка, источники загрязнения) факторы [Жерелина и др., 2007], кроме того реализована методика, учитывающая гидрологические характеристики водоема при проектировании водоохранных зон [Балдаков и др., 2007].

В целом же законодательные акты, действовавшие до 2007 г., при всех недостатках в большей степени способствовали сохранению водных объектов. В более тщательной проработке нуждаются нормы, которые определяют порядок выделения участков под строительство в водоохранных зонах и эксплуатации уже существующих объектов.

Современное состояние водоохранной зоны Новосибирского водохранилища

Функция водоохранной зоны – предотвращение загрязнения, засорения, заиления и истощения вод, а также сохранение среды обитания водных биологических ресурсов и объектов животного и растительного мира [Водный кодекс, 2006, ст. 65]. Для того чтобы оценить, насколько удовлетворительно водоохранная зона Новосибирского водохранилища выполняет данную функцию, рассмотрим качество воды по данным действующих на водохранилище гидропостов, проанализировав объем и динамику загрязнений, поступающих в водохранилище посредством точечных источников – сбросов сточных вод предприятиями, на основе данных 2-ТП(водхоз) за 10 лет (1999–2008 гг.). Сброс сточных вод непосредственно в Новосибирское водохранилище и его притоки, а также в их водосбор осуществляется пред-

приятными Новосибирской области и Алтайского края. В 2008 г. предприятий, отчитывающихся по форме 2-ТП(водхоз), насчитывалось 153, из них 19 – на территории Алтайского края, 134 – в Новосибирской области.

Основные выводы таковы: практически по всем гидропостам на водохранилище с 2004 по 2008 гг. наблюдается тенденция ухудшения качества воды по показателю УКИЗВ. В пространственном отношении изменение загрязнения воды по акватории водохранилища не существенно. При этом увеличение объемов сброса сточных вод с 1999 по 2008 гг., по данным 2-ТП(водхоз), не наблюдалось. Однако данная форма отчетности содержит лишь часть сведений о поступлении сточных вод в водоемы. Значительная доля загрязняющих веществ привносится с площадных источников (территорий промышленных предприятий, жилой застройки, дорог, сельскохозяйственных угодий) в виде поверхностных стоков. В сельской местности загрязнение происходит из-за попадания в водотоки органических и минеральных удобрений, а также смыва почвы в результате водной эрозии в весенне-летний период.

В апреле и сентябре 2010 г. экспедиционный отряд ИВЭП СО РАН провел полевые работы в водоохранных зонах населенных пунктов, а также рекреационных зон и участков сельскохозяйственных угодий между ними для оценки состояния водоохранных зон и прибрежных защитных полос. Ключевые участки выбирались в пределах населенных пунктов и их окрестностей, а также на территориях с хорошей транспортной доступностью, используемых для рекреации: Академгородок (территория городского пляжа), г. Бердск («Бердская стрелка» и район водозабора), с. Ленинское (юго-западная окраина), с. Сосновка, с. Красный Яр, участок берега протяженностью около 7 км к северо-востоку от с. Красный Яр, с. Новопичугово (восточная окраина), участки берега между с. Новопичугово и с. Береговое, с. Береговое, участки берега между с. Береговое и с. Боровое, с. Боровое (район базы отдыха «Кедр»), с. Бурмистрово; с. Быстровка; участок берега между с. Быстровка и с. Завьялово; с. Завьялово (район бывшего пионерлагеря). Такой выбор участков обусловлен тем, что на них приходится наибольшая антропогенная нагрузка. Именно здесь следует особое внимание уделить соблюдению режима водоохранных зон.

В задачи полевого обследования ключевых участков входили:

- установление нарушений режима водоохранной зоны;
- оценка состояния берегов водохранилища (сокращение земель водоохранной зоны за счет размыва берегов и эрозии);
- оценка соответствия установленной границы водоохранной зоны (ее ширина, наличие предупредительных знаков) современному законодательству.

По результатам обследования можно сделать следующие выводы.

1. Одним из наиболее серьезных нарушений режима водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы является размещение на их территории строительных объектов. В рамках проделанной работы не представлялось возможным проверить их соответствие требованиям нормам кодекса (оборудование объектов сооружениями, обеспечивающими охрану

водных объектов от загрязнения, засорения и истощения вод в соответствии с водным законодательством и законодательством в области охраны окружающей среды).

2. Установлено, что на территории всех обследованных участков водоохранных зон и прибрежных защитных полос размещены соответствующие информационные знаки.

3. Участки водоохранной зоны в пределах крупных городов, используемые для рекреации (пляж Академгородка, «Бердская стрелка», а также рекреационная зона около Бердского водозабора) в целом находятся в удовлетворительном состоянии. Территория благоустроена. Из нарушений режима водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы можно отметить небольшие свалки бытовых отходов в районе Бердского водозабора и на территории пляжа Академгородка. Состояние режима водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы в рекреационной зоне «Бердской стрелки» вполне образцовые.

4. На территории водоохранной зоны, используемой в качестве земель сельскохозяйственного назначения, серьезных нарушений режима не выявлено. Водоохранная зона используется в основном под пашню. Прибрежная защитная полоса залужена либо занята древесно-кустарниковой растительностью. Однако на этих землях отмечается сокращение водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы, что связано с разрушением берегов (до нескольких метров в год), сложенных легко размываемыми глинистыми грунтами, а также ростом оврагов.

5. В прибрежной защитной полосе вблизи сельских населенных пунктов производится выпас скота.

6. Наиболее проблемными, с точки зрения соблюдения режима водоохранной зоны, являются территории сельскохозяйственных земель и населенных пунктов, расположенных в ее пределах на размываемых берегах водохранилища (с. Сосновка, с. Береговое). Прибрежная защитная полоса полностью или частично размыта и уже не соответствует требованиям Водного кодекса. На территории водоохранной зоны в с. Сосновка расположены действующий свинокомплекс, старый скотомогильник, уже частично размытая силосная траншея. Под угрозой смыва находится часть жилых построек, расположенных в прибрежной защитной полосе. Водоохранная зона и прибрежная защитная полоса населенных пунктов часто захламливаются отходами антропогенной деятельности. Выявленные нарушения режима использования водоохранной зоны негативно сказываются на санитарно-экологическом состоянии водохранилища и прилегающих территорий.

7. Непосредственно в водоохранной зоне и прибрежной защитной полосе как в населенных пунктах, так и вне их расположено множество рекреационных объектов. Как правило, территория баз отдыха благоустроена, но окрестности часто захламливаются бытовым мусором. Это касается и «диких» мест отдыха, которые встречаются повсеместно там, где есть подъезды к берегам водохранилища.

*Рекомендации по режиму использования водоохранной зоны
Новосибирского водохранилища*

Проведенные исследования позволили сформулировать предложения по улучшению режима использования водоохранной зоны Новосибирского водохранилища.

1. Соблюдение режима водоохранной зоны в пределах рекреационных территорий, обустройство мест отдыха, очистка территории от свалок антропогенных отходов, установка и своевременный вывоз мусорных контейнеров.
2. Очистка берегов от мусора, ликвидация несанкционированных свалок, благоустройство территорий в пределах населенных пунктов.
3. Предотвращение потерь земель вследствие разрушения берегов волноприбойными процессами и эрозией с целью сохранения земель водоохранной зоны и ограничения поступления легкоразмываемых грунтов в акваторию водохранилища.
4. В районах распространения оврагов (с. Ленинское, с. Сосновка, с. Береговое и др.) необходимы мероприятия по предотвращению их роста. Целесообразна посадка древесно-кустарниковой растительности в береговой полосе. Необходимо исключить распашку прибрежной защитной полосы (участок между селами Новопичугово и Береговое), в пределах водоохранной зоны требуется ограничение распашки земель, особенно вдоль склонов. То же можно рекомендовать для предотвращения возможного возникновения оврагов на высоких берегах, сложенных легко размываемыми глинистыми грунтами. Особое внимание на подобных участках следует уделять регламентированному использованию удобрений и ядохимикатов в водоохранной зоне и прибрежной защитной полосе. Необходимо исключить складирование бытовых отходов в овраги.
5. Запретить неконтролируемый выпас скота вблизи сельских населенных пунктов в пределах прибрежной защитной полосы (кроме использования традиционных мест водопоя).
6. На участках активного размыва берегов (например, с. Сосновка, участок к западу от с. Береговое) необходимо контролировать размеры водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы, устанавливая ограничительные знаки, согласно современному законодательству.

4.4. Гидрохимические и гидробиологические исследования

4.4.1. Гидрохимические показатели

В настоящее время исследование химического состава и оценку качества воды водохранилища и связанных с ним рек осуществляют Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Новосибирский филиал ФГУ «Госрыбцентр», отдел по контролю качества природных и сточных вод ФГУ «ВерхнеОбьрегионводхоз» Федерального агентства по водным ресурсам Минприроды, ИВЭП СО РАН.

Основное питание водохранилища (более 95 %) осуществляется через входной створ р. Обь. На боковую приточность в пределах самого водоема приходится менее 5 % величины годового притока. Химический состав воды в Новосибирском водохранилище формируется в основном за счет Оби. Поступление химических веществ с водой Оби в приходной статье баланса является преобладающим (93–95 %) [Подлипский, 1985; Тарасенко, Варламова, Охалин, 1998]. Проведенные в 2008–2009 гг. оценки показали, что даже наиболее крупные боковые притоки не оказывают какого-либо ощутимого регулярного вклада в качество воды водохранилища. Столь же невелики и гидрогеохимические потоки, поскольку подземный годовой водообмен Новосибирского водохранилища составляет не более 1 % от полного его объема. Весьма малы и поступления химических веществ в воды Новосибирского водохранилища при обрушении берегов. Анализ точечных источников загрязнения (сброс сточных вод в водохранилище на основании данных 2-ТП(водхоз) за 2008 г.) показал, что сбросы предприятий на основании этих данных не вносят ощутимого вклада в загрязнение воды Новосибирского водохранилища в целом. Однако всегда остается открытым вопрос, все ли промсбросы учитываются отчетностью по форме 2-ТП(водхоз).

Необходимо отметить, что Новосибирское водохранилище относится к водохранилищам с очень большой степенью водообмена (среднегодовалый коэффициент водообмена $K = 6,62$). А степень водообмена является решающим фактором при формировании качества воды, ибо изменение средней по водоему концентрации примесей только за счет разбавления (без учета захоронения в донных отложениях или биогеохимических процессов, но и без учета возможного «вторичного» загрязнения от донных отложений) определяется простой экспоненциальной зависимостью [Атавин и др., 2011]:

$$C(t) = C_* + (C(t_0) - C_*) \exp(-K(t - t_0)), \quad 4.4.1$$

где $C(t)$ – текущее значение концентрации примеси, C_* – ее фоновое значение (среднегодовая концентрация ингредиента, например, в створе Камень-на-Оби), t – текущее время, t_0 – начальный для изучаемого процесса момент времени. В соответствии с этой зависимостью любой кратковременной сброс загрязняющих веществ в Новосибирское водохранилище сверх среднегодового поступления через входной створ в течение четырех месяцев уменьшится на порядок. А к концу года от концентрации дополнительного загрязнения останется всего 0,13%. Следовательно, техногенное воздействие может существенно повлиять на каче-

ство воды Новосибирского водохранилища, однако ситуация возникает только локально в течение ограниченного времени [Севастьянов, 1987; Двуреченская, 2007]. Это, как правило, может иметь место только в аварийных ситуациях.

Донные отложения – это природные интеграторы состояния экосистемы водоема и степени воздействия на нее антропогенных факторов. Они являются накопителями поступающих в водоем и осаждающихся в нем загрязняющих веществ и вместе с тем могут быть источником вторичного загрязнения водоема. Для оценки вклада донных отложений в формирование гидрохимического режима Новосибирского водохранилища в различные сезоны года (июнь, июль и октябрь) 2009 г. ИВЭП СО РАН были проведены экспедиционные исследования с целью изучения распределения биогенных веществ между донными отложениями и водной толщей Новосибирского водохранилища. На каждой вертикали каждого створа (рис. 4.4.1) проводился отбор четырех проб воды: поровой (отжим донных отложений), придонного слоя, а также на отметках 0,4 и 0,8 м глубины.



Рис. 4.4.1. Схема точек отбора проб на Новосибирском водохранилище:

I – г. Камень-на-Оби; V – Ордынское-Нижнекаменка; VI – Сосновка-Ленинское;

VII – Боровое-Быстровка; X – верхний бьеф.

Содержание биогенных веществ (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}) определялось спектрофотометрическим методом, биогенных металлов (железа и марганца) – методом атомно-адсорбционной спектроскопии в соответствии с методиками, установленными ГОСТом. В отобранных пробах донных отложений окислительные условия их залегания ($E_h > +100$ мВ) были отмечены только во входном створе водохранилища (г. Камень-на-Оби) в июне. Во всех остальных случаях пробы имели ярко выраженные восстановительные условия ($E_h < -100$ мВ), за ис-

ключением трех проб донных отложений, отобранных на мелководье и имевших промежуточные значения Eh.

Результаты анализа показали, что во всех контрольных створах Новосибирского водохранилища во все периоды наблюдения содержание биогенных элементов в поровых водах с четко выраженными восстановительными условиями значительно превышает их содержание в поверхностных водах, что создает предпосылки для их поступления в воду водохранилища. Для поровых вод с явно выраженными окислительными условиями таких различий (за исключением нитратов) не наблюдалось [Папина, Третьякова, Эйрих, 2012]. Полученные результаты создают основу для выяснения механизма гидрохимического взаимодействия донных отложений с водами водохранилища.

Для составления полного баланса гидрохимических ингредиентов в водах Новосибирского водохранилища необходимо также оценить гидрохимический вклад воздушного переноса и воздействие водного транспорта, полагая при этом, что диффузный (поверхностный) сток аккумулируется впадающими в водохранилище притоками.

Для интегральной оценки воздействия Новосибирского водохранилища на воды р. Обь было проведено сопоставление параметров качества воды во входном створе и в нижнем бьефе водохранилища. Ретроспективный анализ химического состава воды во входном створе и нижнем бьефе водохранилища, выполненный на основе сопоставления (по критерию Стьюдента) натуральных значений концентраций веществ (БПК₅, ХПК, кислорода, фенолов, нефтепродуктов, ионов кальция, магния, аммонийных соединений, нитрит-ионов, нитратов, хлорид-ионов, гидрокарбонат-ионов с 1968 по 2003 гг., по данным Западно-Сибирского ЦГМС) указывает на позитивное влияние водохранилища на качество воды. Анализ был проведен для среднесезонного (осредненных по сезонам года) содержания загрязняющих веществ в многолетнем разрезе.

По многим гидрохимическим показателям происходит снижение концентраций при движении от входного створа к плотине. На рисунках 4.4.2–4.4.5 представлены результаты такого сопоставления для некоторых ингредиентов. Вертикальные отрезки на диаграммах указывают пределы допустимых ошибок измерения и статистической обработки.

Некоторое увеличение концентраций нефтепродуктов в нижнем бьефе в летний период (рис. 4.4.2) связано с использованием водохранилища для судоходства, поскольку кроме основного поступления нефтепродуктов с промышленными стоками предприятий свой вклад вносит маломерный флот, широко используемый на Новосибирском водохранилище.

Повышение значений БПК₅ и ХПК в нижнем бьефе во все сезоны (рис. 4.4.3–4.4.4) является эффектом зарегулирования речного стока – в водохранилище формируется более продуктивная экосистема. При этом на окисление автохтонного вещества требуется большее количество кислорода.

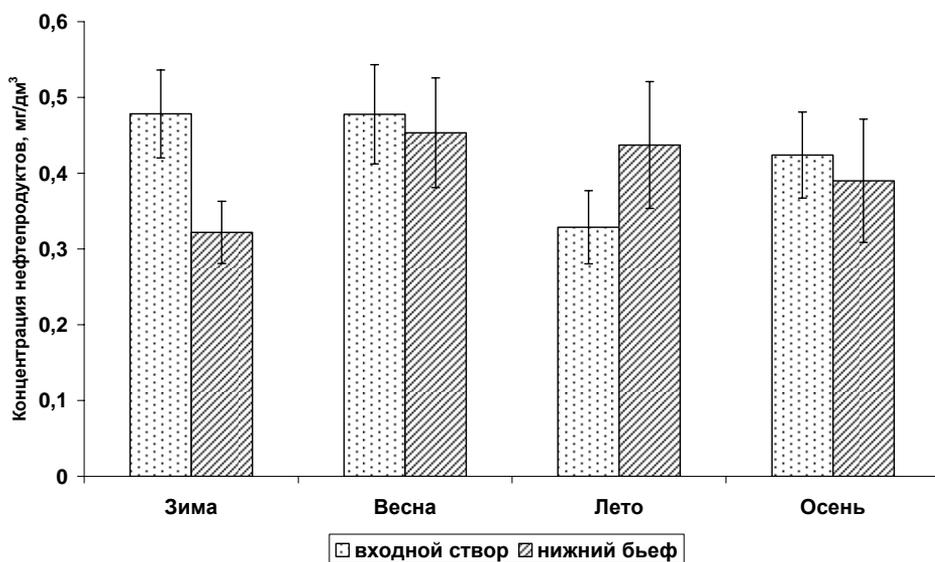


Рис. 4.4.2. Динамика концентраций нефтепродуктов во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

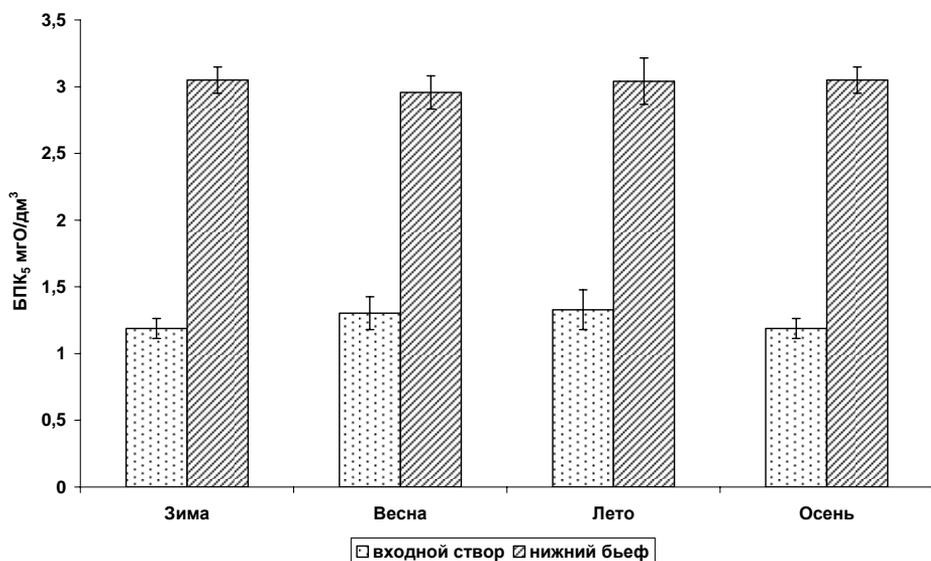


Рис. 4.4.3. Динамика значений БПК₅ во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

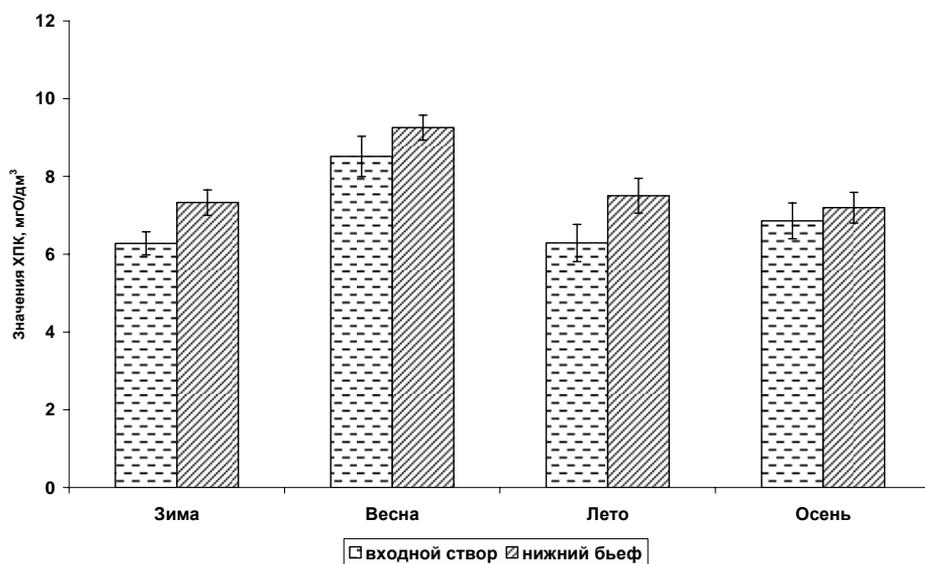


Рис. 4.4.4. Динамика значений ХПК во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

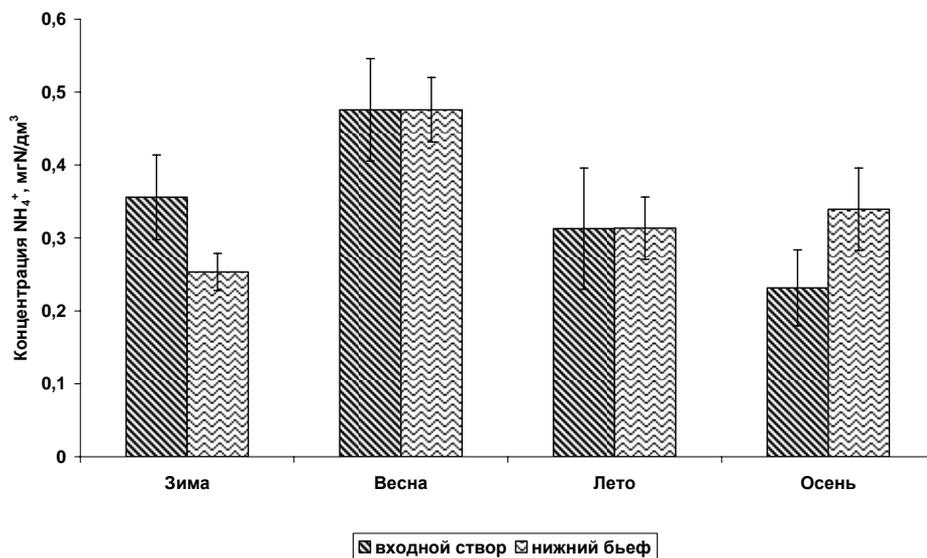


Рис. 4.4.5. Динамика концентрации соединений, содержащих ионы аммония, во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

Показатели качества воды Новосибирского водохранилища (УКИЗВ)

Год	Входной створ		Нижний бьеф	
	УКИЗВ	класс качества	УКИЗВ	класс качества
2006	3,55	очень загрязненная	2,97	загрязненная
2007	3,18	очень загрязненная	2,28	загрязненная
2008	3,10	очень загрязненная	2,65	загрязненная

Повышение концентраций нитратов в нижнем бьефе в весенний период (рис. 4.4.5) связано с большим количеством талых вод, попадающих в водохранилище. Рост концентраций аммонийных соединений в нижнем бьефе в осенний период обычно объясняется продолжающимся распадом органических веществ, содержащих азот, в условиях слабого или полного отсутствия их потребления фитопланктоном.

Интегральную гидрохимическую ситуацию иллюстрируют данные табл. 4.4.1 Оценка состояния загрязненности поверхностных вод проводилась на основе статистической обработки результатов химических анализов и показателей комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод, рассчитываемых в соответствии с РД 52.24.643–2002 «Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям».

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) насчитывался по следующим 15 показателям качества воды: растворенный в воде кислород, БПК₅, ХПК, фенолы, нефтепродукты, нитрит-ионы, нитрат-ионы, ионы аммония, железо общее, медь, цинк, никель, марганец, хлориды, сульфаты.

Были использованы данные отдела по контролю качества природных и сточных вод ФГУ «ВерхнеОбьрегионводхоз» за 2006–2008 гг. Класс качества воды в нижнем бьефе водохранилища по сравнению с классом качества воды во входном створе за рассмотренный период изменялся: если во входном створе вода характеризовалась как «очень загрязненная», то в нижнем бьефе – уже как «загрязненная».

Итак, сопоставление значений УКИЗВ во входном створе и нижнем бьефе подтверждает вывод о позитивной роли водохранилища в формировании качества воды по химическим показателям.

4.4.2. Гидробиологические характеристики

Значительная неоднородность морфологических, гидрологических и гидрохимических факторов на различных участках водоема и их изменение в многолетнем и сезонном аспектах определяют состав, структуру и функционирование биогидроценозов Новосибирского водохранилища. Пространственная неоднородность развития жизни в водохранилище (фито- и зооценозы) зависит в первую очередь от температуры и движения воды: продуктив-

ность в основном нарастает по направлению от верховьев к плотине. Наиболее продуктивные участки – заливы, верхнее и нижнее озеровидные расширения, где уровень развития биоценозов достигает в отдельные периоды года уровня эвтрофных водоемов. Но в многолетнем аспекте и для водохранилища в целом факторами, предотвращающими эвтрофикацию водохранилища, являются промывка (смена воды около 7 раз в год), ветроволновые процессы и значительные колебания уровня, особенно зимой.

Для оценки уровня развития фитопланктона, начиная с 1981 г., исследовали пигментные характеристики водорослей [Кириллова, Котовщиков, 2009]. Трофический статус водохранилища, оцениваемый по наиболее часто встречающимся значениям концентрации хлорофилла ($10\text{--}30\text{ мг/м}^3$) соответствует уровню эвтрофных водоемов по градациям, предложенным Н.М. Минеевой [Минеева, 2000]. Качество воды по комплексной экологической классификации [Оксиук и др., 1993] относится ко II–III классам, разрядам 2а–3б (вполне чистая – слабо загрязненная), лишь единичные значения в прибрежной зоне в низовье водохранилища, Мильтюшском и Бердском заливах превышают пороговую величину, свойственную загрязненным водам.

На основе пигментных характеристик планктонных альгоценозов современное экологическое состояние Новосибирского водохранилища можно оценить как достаточно благополучное. Происходящие в экосистеме изменения согласно классификации зон кризисности экосистем [Критерии..., 1994] носят обратимый характер (возможно самоочищение до природного фона), но на отдельных участках с наиболее высоким уровнем антропогенной нагрузки существует угроза перехода в кризисное состояние.

Для расчета концентраций хлорофилла (как маркера уровня развития фитопланктона Новосибирского водохранилища) решена задача дистанционного оптического зондирования на основе данных спектрометра MERIS/Envisat и нейросетевых моделей [Ковалевская и др., 2009; 2012]. Сравнение спутниковых данных с результатами натурных исследований выявило хорошее согласие результатов моделирования и измеренных концентраций в диапазоне $1\text{--}33\text{ мг/м}^3$ на разнотипных участках водоема – эвтрофном заливе р. Мильтюш, Крутихинском мелководье, в верховье. Доля объясненной вариации в уравнениях линейной и полиномиальной (второй степени) регрессии составила 73–95 %. Эти результаты имеют важное практическое значение для оперативного экологического мониторинга Новосибирского водохранилища, включая развитие планктона как фактора экологического риска при использовании водохранилища для питьевого водоснабжения, рекреации и рыбного хозяйства [Кириллов и др., 2012].

Одним из факторов экологического риска являются сине-зеленые водоросли. В водохранилище азот и фосфор летом (нитраты – от 0,18 до 1,98 мгN/л, аммонийный азот – до 0,40 мгN/л, фосфаты – до 0,069 мгP/л) [Васильев и др., 1997; 2000] находятся в количестве, оптимальном для развития сине-зеленых водорослей. Для начала цветения достаточно сочетания четырех основных факторов: наличия водорослей, необходимого содержания биогенных элементов, пониженных скоростей движения воды и высокой ее температура. В Новосибирском водохранилище два первых фактора не лимитируют развитие сине-зеленых водорослей. Снижение гидродинамического возмущения и повышение температуры воды взаимосвязаны

и достигают значений, благоприятных для начала цветения (скорости течения – не более 0,1 м/с и температура воды не ниже 25 °С) в период стабилизации уровня, который длится около 180 дней в течение года. Пространственная неоднородность руслового Новосибирского водохранилища, проточность и невысокое содержание биогенов на большей части акватории являются предпосылками малой вероятности возникновения цветения водорослей по всему водоему. Оно возможно после стабилизации уровня, и только на отдельных участках (заливы, Крутихинское и Ирменское мелководья). Прекращение цветения связано с характерными для открытых частей водохранилища ветроволновыми явлениями и сезонным снижением температуры воды.

Высшая водная растительность Новосибирского водохранилища, имеющая важное значение для самоочищения водоема, характеризуется невысоким видовым и ценотическим разнообразием, наибольшие значения которого отмечены на верхнем участке водохранилища, а также в заливах, где макрофиты играют большую роль как средообразующий фактор и барьер для выноса загрязняющих веществ с водосбора в водохранилище.

Во флоре Новосибирского водохранилища в настоящее время отмечено 62 вида макроскопических растений из четырех отделов: Charophyta, Polypodiophyta, Equisetophyta Magnoliophyta. По видовому разнообразию доминируют покрытосеменные Magnoliophyta. В водохранилище достаточно часто встречаются редкие для Сибири виды: каулиния малая (*Caulinia minor* L. (all.) Coss. et Germ.), роголистник рисовый (*Ceratophyllum orizetorum* Kom.), сальвиния плавающая (*Salvinia natans* (L.) all.). Эти виды внесены в Красные книги различных уровней, однако в водохранилище они нашли благоприятные условия для существования и на некоторых участках даже являются содоминантами растительных сообществ.

Основную роль в формировании растительного покрова мелководий водохранилища играют сообщества тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steud.), рогоза узколистного (*Typha angustifolia* L.), сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.), болотноцветника щитолистного (*Nymphoides peltata* (S.G Gmel.) O. Kuntze), рдестов – пронзеннолистного и блестящего (*Potamogeton perfoliatus* L. и *P. lucens* L.) [Киприянова, Зарубина, 2012].

Доля продукции высшей водной растительности в суммарной величине первичной продукции зависит от степени ее развития в водоеме. Из-за больших глубин, слабой изрезанности берегов и активной ветроволновой деятельности Новосибирское водохранилище по интенсивности зарастания макрофитами относится к слабозарастающим водоемам. Поэтому в целом для водохранилища величина первичной продукции, образованной макрофитами, не велика. Однако в верхней части водохранилища на мелководьях Крутихинского плеса заросли макрофитов более обширны и продуктивны.

Основными продуцентами органического вещества среди макрофитов являются погруженные растения. Они создают максимальную биомассу практически на всех исследованных участках водохранилища. Величина органического вещества, создаваемого гелофитами за год, колеблется от 764 г/м² (в Бердском заливе в устье р. Шадриха) до 4024 г/м² (в районе о. Кузнецов на Крутихинском плесе). Максимальную продукцию создают тростнико-

вые сообщества, которые по классификации Р. Уиттекера [Уиттекер, 1980] относятся к умеренно- и высокопродуктивным [Зарубина, Соколова, Киприянова, 2012].

Значительно меньшую биомассу продуцируют погруженные растения – гидрофиты. Максимальная величина органического вещества, создаваемого ими за год, не превышает 1131 г/м^2 . Среди гидрофитов наибольший вклад в образование первичной продукции в водоеме вносят сообщества рдестов, телореза алоеидного, роголистника погруженного, гидриллы мутовчатой и болотноцветника щитолистного. По величине образуемой ими первичной продукции их можно отнести по классификации Р. Уиттекера как к низко-, так и к среднепродуктивным сообществам.

Растения с плавающими на поверхности воды листьями (плейстофиты) занимают большие площади акватории заливов и затишных участков литорали, однако величина продуцируемой ими биомассы невелика, максимальные значения органического вещества не превышают 509 г/м^2 в год.

В целом величина органического вещества, продуцируемого макрофитами на 1 м^2 литорали на Новосибирском водохранилище, сопоставима, а в некоторых случаях и выше аналогичных показателей для европейских водохранилищ.

Значения индекса сапробности Пантле и Букка верхних участков водохранилища (1,7–1,8) позволяет отнести их к классу мезо-сапробных умеренно загрязненных вод [Киприянова, Зарубина, Соколова, 2009].

В зоопланктоне обнаружено 89 видов (38 – Rotatoria, 38 – Cladocera, 13 – Copepoda). В летний период преобладают ветвистоусые ракообразные, в осенний – крупные веслоногие (*A. viridis*, *C. strenuus*, *E. Graciloides*). Наибольшее скопление зоопланктона наблюдается в заливах и на прибрежных мелководьях водохранилища. Значения индекса сапробности находятся в пределах 1,84–2,3. Наиболее неблагоприятными по гидрохимическим и гидробиологическим показателям являются воды Шарапского и Бердского заливов, которые испытывают значительное антропогенное воздействие. На этих участках значения индекса сапробности иногда достигают значений 2,3–2,5, что характерно для бета-мезосапробной зоны. В верхнем бьефе ГЭС усредненные показатели индекса сапробности за период открытой воды составили: 2003 г. – 1,62; 2004 г. – 1,69; 2005 г. – 1,74; 2006 г. – 1,64; 2007 г. – 1,59, что соответствует бета-мезосапробной зоне по комплексной экологической классификации О.П. Окснюк и др. [1993] или 3-му классу качества воды (удовлетворительной чистоты) по РД 52.24.643–2002. По зоопланктону водохранилище в настоящее время можно охарактеризовать как умеренно загрязненный бета-мезосапробный водоем, на отдельных участках – с чертами эвтрофности.

В зообентосе водохранилища в 2007–2008 гг. обнаружено 127 видов беспозвоночных, большая часть которых (79 видов) относится к насекомым. В верхней части водохранилища отмечено 47 видов беспозвоночных, в средней – 29, в нижней – 27, в приплотинной – 10, в заливах – 100 видов гидробионтов. Около трети всех видов встречались только в заливах, что обусловлено большим разнообразием условий обитания гидробионтов. Кроме своеобразного

биотопа зарослей макрофитов в заливах широко представлены песчаные и илистые грунты, встречаются каменистые и глинистые участки.

Существенное влияние на структуру зообентоса средней части водохранилища оказало вселение в водоем в начале 1990-х гг. живородок – брюхоногих моллюсков (*Viviparus viviparus* L.). Массовое развитие живородок в средней части водохранилища привело к значительному росту биомассы зообентоса этого участка (112 г/м² – в 2008 г., 808 г/м² – в июне 2009 г., 509 г/м² – в августе 2009 г.) при сравнительно низких значениях численности (0,7, 1,5 и 1,7 тыс. экз./м², соответственно). Биомасса зообентоса без моллюсков (1,1–3,2 г/м²) была близка аналогичным показателям других участков водохранилища. На участках массового развития живородки отмечено снижение числа видов и видового разнообразия [по индексу Шеннона, Шитиков и др., 2003] бентосных сообществ, а также повышение численности и биомассы зообентоса по сравнению с не заселенными живородоками зонами [Яныгина, 2011].

По таксономическому разнообразию, численности и биомассе бентосных животных (без живородок) Новосибирское водохранилище может быть разделено на четыре участка: верхний участок (створы в районе г. Камень-на-Оби, п. Алеус) с высоким таксономическим разнообразием бентосных сообществ при низких значениях их численности и биомассы; средний участок (створы в районе с. Спирино, п. Ордынское) с невысоким разнообразием при низких значениях численности и биомассы; нижний участок (створы в районе с. Сосновка, с. Быстровка) с низким разнообразием при сравнительно высоких значениях численности и биомассы макробеспозвоночных; приплотинный участок (устьевой участок Бердского залива, глубоководная зона перед плотиной) с минимальным разнообразием при сравнительно высоких значениях численности и биомассы. Низкие значения численности и биомассы на верхнем и среднем участках, вероятнее всего, связаны с преобладанием малопродуктивных песчаных грунтов и осушением мелководья во время сработки уровня. Отмечена тенденция увеличения роли олигохет в структуре бентосного сообщества от верхних участков водохранилища к нижним.

В целом Новосибирское водохранилище по уровню развития фито- и зоопланктона, зообентоса и макрофитов можно отнести к умеренно загрязненным водоемам. Наиболее высокое качество воды «чистые воды» отмечено у правого берега верхнего участка и в зарослях макрофитов в заливах. А самыми неблагополучными по гидробиологическим показателям являются низовья водохранилища, Шарапский и Бердский заливы, которые испытывают значительное антропогенное воздействие. На этих участках наблюдается снижение качества воды до категории «грязные воды».

4.4.3. Ихтиофауна

Создание Новосибирского водохранилища способствовало увеличению рыбопродуктивности этого участка р. Обь. В настоящее время в водохранилище обитает сибирская минога и 27 видов рыб, из которых 5 – вселенцы. В Оби в пределах Новосибирской области и Алтайского края в 1950-е гг. предприятиями государственного лова (т.е. без учета любитель-

ского лова) ежегодно вылавливалось в среднем 15 тыс. ц рыбы, в том числе в районе будущего водохранилища – 2 тыс. ц. В водохранилище добыча всех промысловых видов рыб в первые десять лет (1958–1967 гг.) его существования составляла в среднем 2239 ц в год, 1968–1977 гг. – 4071, 1978–1987 гг. – 6965, 1988–1996 гг. – 10150 ц/год. В последнее десятилетие вылов рыбы заметно снизился. Так в 2007 г. организациями было добыто 4600 ц, в 2008 г. – 7060, в 2009 г. – 6500 ц. В уловах доминирует по-прежнему лещ.

Влияние уровня режима на рыб имеет место как в естественных водоемах, так и в водохранилищах. Если в реках и озерах колебания уровня режима связаны в основном с изменениями климата (снижением и повышением увлажненности того или иного региона) и носят циклический характер [Максимов, 1989], то в водохранилищах колебания уровня воды обусловлены не только динамикой притока, но и регулированием стока. Последнее нередко осуществляется без учета адаптивных возможностей рыб, снижая тем самым репродуктивный потенциал ихтиоценоза и рыбохозяйственные показатели водохранилища.

Большинство рыб Новосибирского водохранилища относится к фитофильным весенне-нерестующим видам, эффективность размножения которых определяется, помимо репродуктивных характеристик нерестового стада, наличием соответствующих нерестилищ, степенью их заиления и заливания водой, термическим и ветровым режимами. Наиболее зависимыми от этих факторов среды оказались щука, язь, плотва и окунь, размножение которых происходит в прибрежной мелководной зоне при сравнительно низкой температуре воды. В 1959–1972 гг. нерест этих рыб отмечался чаще всего во второй половине мая в диапазоне температур от 4 до 16 °С, однако в последние десятилетия нерест наблюдается в более ранние сроки в связи с более быстрым прогревом воды до нерестовых температур. При этом если рост температуры воды опережает наполнение водоема, то результативность нереста существенно снижается из-за нехватки залитого водой полноценного нерестового субстрата. В такие годы плотва и окунь размножаются преимущественно на глубине до 3,5–4 м и в устьях рек, что ухудшает условия развития отложенной икры и увеличивается выклев личинок. На мелководьях существенное отрицательное влияние на нерест плотвы и окуня оказывают суточные колебания уровня воды и ветровые волнения.

В условиях Новосибирского водохранилища массовый нерест леща и судака происходит несколько позднее, чем у плотвы и окуня, при более высоких (в среднем) температурах воды и в более широком диапазоне глубин (от мелководий до 3–7 м). Поэтому эффективность нереста леща и судака оказывается в меньшей зависимости от колебаний уровня воды, чем у рыб-аборигенов. Отрицательное влияние опережающего эффекта прогрева воды на нерест леща и судака в первые 10–12 лет существования водохранилища было выражено в меньшей степени, чем в последующие годы, поскольку нерестовый субстрат для откладки икры этими рыбами встречался в широком диапазоне глубин.

Существенно различаются условия воспроизводства рыб в водохранилище в годы с разной длительностью его наполнения до НПУ. Благоприятные условия для размножения аборигенных фитофильных рыб, более требовательных к условиям нереста, чем лещ и судак, складываются в водохранилище только при заливании водной растительности в ранние сроки (в первой декаде мая). В такие годы прогрев воды до температуры в 10 °С, при которой

начинается нерест основных промысловых видов рыб водохранилища, происходит на большей части акватории не ранее второй декады мая, уже после достижения отметки уровня в 112 м и начала затопления прибрежных нерестилищ. При более позднем заливании прибрежных нерестилищ плотва, окунь и другие рыбы этой экологической группы откладывают икру на торфяные кочки и любые незаиленные предметы, что определяет низкую выживаемость эмбрионов.

Непрерывным условием эффективного весеннего нереста рыб в водохранилище является не только сравнительно быстрый, но и равномерный (8–10 см/сут) рост уровня воды до НПУ, своевременный прогрев мелководий и оптимум погодных условий. В годы с очень медленным нарастанием уровня, особенно в условиях штормовой погоды, неблагоприятные условия размножения складывались не только для рыб-аборигенов, но и для судака и леща. У некоторой доли (до 11,5) самок леща в эти годы отмечалась резорбция икры.

В годы с ранним наполнением водохранилища условия нереста рыб-фитофилов были более благоприятными, а эффективность нереста высокой. Однако такой вывод правомерен преимущественно для первых 10–12 лет существования водохранилища, когда большие площади нерестилищ находились и за пределами прибрежных мелководий. Так следует также отметить, что благоприятные условия нереста и инкубации икры, складывающиеся в такие годы, не являются полной гарантией появления высокоурожайных поколений рыб, поскольку последующее развитие молоди и ее численность находятся в существенной зависимости от обеспеченности пищей и гидрологического режима водоема в летне-осенний и зимний периоды. В годы раннего наполнения водохранилища и длительного стояния уровня воды на отметке НПУ и выше наблюдался вынос части личинок и молоди рыб, особенно судака, в нижний бьеф под влиянием сравнительно высоких скоростей стокового течения. Повышенная водность замедляла прогрев воды и ухудшала условия питания молоди рыб. Некоторая компенсация выноса рыб из водохранилища происходила в результате поступления их молоди (личинок и мальков) из Верхней Оби.

Основное негативное воздействие неоптимального, с позиций ихтиологии, уровня режима на зимовальные скопления рыб в Новосибирском водохранилище начинает проявляться в марте. К началу этого месяца уровень воды в водохранилище обычно снижается на 2–3 м и осушаемые мелководья начинают обособливаться от глубоководной части водоема, что затрудняет скат рыбы из литорали в пелагиаль. В марте наблюдается минимальная концентрация кислорода в воде (20–30 %), что в совокупности с низкими ее температурами замедляет реакцию рыб на падение уровня в водоеме. Практически ежегодно часть рыб, особенно молоди, в конце зимней сработки уровня воды гибнет, не имея возможности выйти из участков, «отшнуровавшихся» от основной массы воды и характеризующихся неблагоприятным газовым режимом. Случаи массовой гибели рыб на отчлененных от основной акватории участках были зарегистрированы в 1994, 1997 и 2003 гг. [Визер, 2003; Сецко, 1997].

Необходимо отметить, что увеличение абсолютной численности и промысловых уловов рыб в водохранилище возможно только при комплексном подходе к решению этого вопроса.

4.5. Система поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами

В представленном фрагменте системы поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами Новосибирского водохранилища даны методическая основа и алгоритмы решения следующих задач.

1. Математическое моделирование прохождения волны весеннего половодья по руслу Верхней Оби, Новосибирскому водохранилищу и его нижнему бьефу с учетом управляющих воздействий.
2. Алгоритм выработки рекомендаций по рациональному использованию запасов воды Новосибирского водохранилища в зимний период.
3. Имитационная модель функционирования Новосибирского водохранилища.
4. Планирование водоохранной деятельности в бассейне Верхней Оби.

4.5.1. Математическое моделирование прохождения волны весеннего половодья по руслу Верхней Оби, Новосибирскому водохранилищу и его нижнему бьефу с учетом управляющих воздействий

У истоков математического моделирования движения воды в открытых водотоках стояли исследования Сен-Венана и Буссинеска [Saint Venant, 1871; Boussinesq, 1872]. К родоначальникам численных методов решения уравнений неустановившихся течений в открытых руслах следует отнести отечественных ученых – С.А. Христиановича [Христианович, 1938] и В.А. Архангельского [Архангельский, 1947], которые разработали метод характеристик и метод мгновенных режимов, соответственно, положенных во второй половине прошлого столетия в основу многих машинных алгоритмов [Васильев, Лятхер, 1970; Васильев, 1999]. Затем (во многом под влиянием бурно развивающихся газодинамических расчетов) стали применяться методы конечных разностей, основанные на использовании как явных [Стокер, 1959], так и неявных [Preissmann, Cunge, 1961] разностных схем.

Неявные разностные методы позволяют вести расчеты с достаточно большими шагами по времени, определяемыми только физикой протекающих процессов.

Важную роль в становлении и внедрении в практику гидравлических расчетов этих методов, начиная с 1960-х гг., сыграли работы коллектива из Института гидродинамики (ИГ) СО АН СССР под руководством О.Ф. Васильева [Атавин и др., 1983; Васильев, 1999]. Были разработаны численные методы решения задач о неустановившихся течениях в открытых руслах на основе неявных разностных схем для медленно изменяющихся течений типа паводков [Васильев и др., 1963; 1965], а также для решения задач, связанных с расчетом формирования и распространения прерывных волн [Васильев, Гладышев, 1966; Васильев, Гла-

дышев, Судобичер, 1970]. В дальнейшем этим же коллективом ИГ предложены численные модели неустановившегося движения воды в многорукавных руслах, которые составили основу гидравлических расчетов для нужд народного хозяйства. Цикл работ ИГ [Шугрин, 1969; Атавин, 1975; Atavin, Vasiliev, Voevodin, 1976] стал конструктивной основой для численного решения уравнений Сен-Венана для многорукавных речных систем и устьевых областей рек. Эта методика нашла широкое применение в отечественной и зарубежной практике решения различных водохозяйственных, экологических и гидроэнергетических задач [Атавин и др., 1983; Атавин, Готовцев, Никифоровская, 1987; Васильев, Темноева, Шугрин, 1965; Васильев, 1999; Грушевский, 1982; Иванов, Котрехов, 1976; Котрехов, 1972, 2000; Рогуневич, 1989].

По этой же методике можно проводить расчет распространения волн весеннего половодья как по Верхней Оби, так и по Новосибирскому водохранилищу. Математическая постановка задачи о расчете неустановившихся течений в произвольной системе речных русел на основе одномерных уравнений типа Сен-Венана приведена в работе [Атавин, 1975]. Дадим спецификацию этой постановки для условий прохождения волны весеннего половодья по руслу Верхней Оби, Новосибирскому водохранилищу и его нижнему бьефу. Рассматриваемый участок речной сети (от с. Фоминское до водпоста Новосибирск) схематизируем ориентированным плоским графом (комплексом Γ), представленным на рис. 4.5.1.

Ребра графа соответствуют отдельным участкам речной сети (включая Новосибирское водохранилище), а вершины – узловым и конечным точкам рассматриваемой речной системы. На каждом отрезке выполняются одномерные уравнения неустановившегося медленно изменяющегося течения воды в открытых руслах (уравнения типа Сен-Венана):

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q, \quad (4.5.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{\omega} \right) + g\omega \left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{K^2} \right) =$$

$$\rho_a / \rho C_d U_W^2(x, t) \cos(\varphi_r(x) - \varphi_W(x, t)) B(x, z).$$

В качестве функций, характеризующих течение воды, здесь выбраны расход $Q(x, t)$ и ордината свободной поверхности воды $z(x, t)$, отсчитываемая по вертикали от горизонтальной оси x .

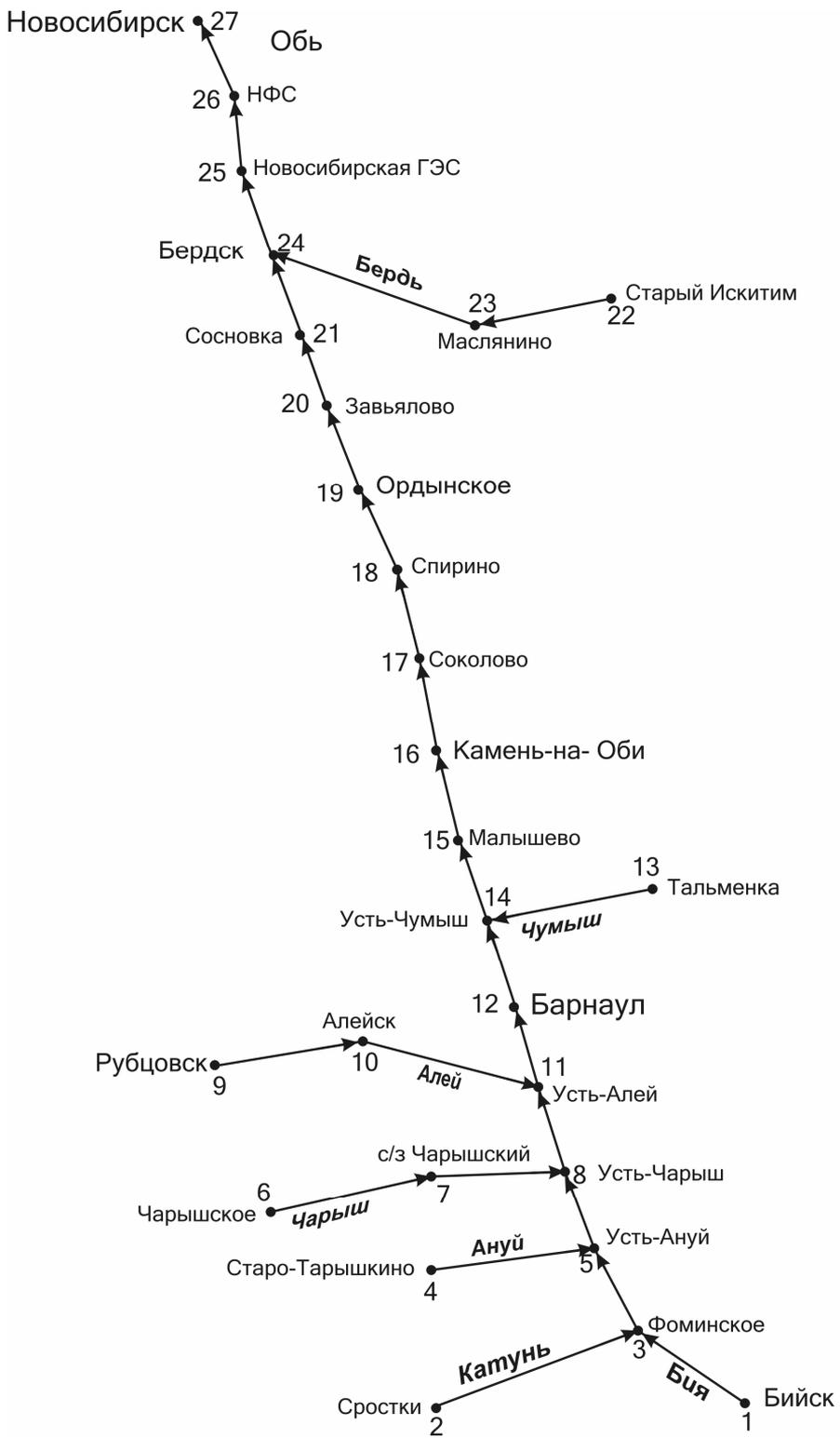


Рис. 4.5.1. Схема рассматриваемого участка бассейна Верхней Оби

Независимыми переменными являются продольная координата x , направленная вдоль соответствующего отрезка (по фарватеру русла) от вершины с меньшим к вершине с большим номером, и время t . Русло задается ординатой дна $z_0(x)$ и шириной поперечного сечения $b(x, \zeta)$ на расстоянии ζ (по вертикали) от дна русла. Тогда глубина потока – $h(x, t) = z(x, t) - z_0(x)$, площадь поперечного сечения потока – $\omega(x, h) = \int_0^h b(x, \zeta) d\zeta$, ширина свободной поверхности потока – $B = b(x, h)$, средняя по поперечному сечению скорость потока – $v = Q / \omega$. Другие обозначения: $q(x, t, h)$ – путевой приток, приходящийся на единицу длины русла, например, за счет распределенного поверхностного стока и возвратных вод ($q > 0$), либо за счет фильтрации, испарения и мелких водопотребителей по длине русла ($q < 0$); g – ускорение свободного падения; $\varphi_r(x)$ – азимут рассматриваемого участка русла; $U_w(x, t), \varphi_w(x, t)$ – величина и азимут ветра (обычно задаются кусочно-постоянными функциями x и t);

$$C_d = \begin{cases} 1,1 \times 10^{-3} & |U_w| < 6 \text{ м/с} \\ (0,72 + 0,063|\bar{U}|) \times 10^{-3} & |U_w| \geq 6 \text{ м/с} \end{cases},$$

$$\rho_a / \rho = 1,3 \cdot 10^{-3},$$

где ρ_a – плотность воздуха; ρ – плотность воды.

В качестве краевых условий в каждой вершине комплекса Γ задаются соотношения трех типов (при этом величины, относящиеся к m -му отрезку, отмечаются нижним индексом m , а относящиеся к p -й вершине – верхним индексом p , например, под Q_m^p следует понимать величину расхода в концевой точке m -го отрезка, примыкающей к p -й вершине).

а). Баланс расходов:

$$\sum_{m \in \gamma^p} \eta_m^p Q_m^p + Q^p = \Omega^p \frac{dz^p}{dt}, \quad (4.5.3)$$

где γ^p – множество номеров отрезков, примыкающих к p -й вершине, $\eta_m^p = -1$ для левого конца и 1 для правого конца отрезка, $\Omega^p(z^p)$ – площадь свободной поверхности сосредоточенной емкости в p -й вершине, зависящая от отметки свободной поверхности $z^p(t)$ в этой вершине, если таковая имеется в вершине, в противном случае $\Omega^p \equiv 0$, $Q^p(t, z^p)$ – приток извне в p -ю вершину.

б). Связь между параметрами в вершине:

$$F^p(z^p, Q^p, t) = 0, \quad (4.5.4)$$

например, неподтопленное истечение из вершинной емкости $Q^p + Q(z^p) = 0$ или заданный приток в речную сеть через данную вершину $Q^p - Q(t) = 0$.

в). Условия примыкания:

$$f_m^p(z_m^p, Q_m^p, z^p, t) = 0, \forall m \in \gamma^p, \quad (4.5.5)$$

например, простой подход $z_m^p - z^p = 0$ или затвор-автомат, поддерживающий в заданном створе уровень z_m^* (в мелиоративных системах) $z_m^p - z_m^* = 0$.

Кроме этого должны быть заданы начальные (при $t = t_0$) условия:

$$z_m(x, t_0), Q_m(x, t_0) \forall m; z^p(t_0) \forall p. \quad (4.5.6)$$

На этом математическая постановка задачи завершается.

Рассматриваемый участок речной сети не содержит закольцованных участков и схематизируется графом типа «дерево», допускающем нумерацию вершин и отрезков (рис. 4.5.1), упрощающую численную реализацию поставленной задачи [Атавин, 1975].

В нашем случае во входных створах системы (вершинах 1, 2, 4, 6, 9, 13, 22, соответствующих гидропостам Бийск, Сростки, Старо-Тырышкино, Чарышское, Рубцовск, Тальменка, Старый Искитим) задаются значения расходов (наблюденные или прогнозируемые) – соотношения (4.5.4) вида $Q^p - Q(t) = 0$, в остальных вершинах соотношения $Q^p = 0$ и простые (кроме подходов к вершинам 25 и 27) условия примыкания ($z_m^p - z^p = 0$). В выходном створе (водпост Новосибирск) в качестве условия примыкания ставится безотражательное условие (условие свободного протекания) [Atavin, Kudishin, Zinoviev, 1993] или используется кривая связи $Q_{26}^{27} = Q(z_{26}^{27})$. В верхнем и нижнем бьефах Новосибирского гидроузла (подходы к вершине 25) ставятся условия, имитирующие работу ГЭС: $z_{24}^{25} = z^{25}$ и $Q_{25}^{25} = Q(t)$, где $Q(t)$ – расход, сбрасываемый через турбины ГЭС в нижний бьеф, это единственное управляющее воздействие на протекающие в речной системе процессы (кроме природных воздействий). Если работает водосливная плотина, то к $Q(t)$ добавляется расход $Q_c(z^{25}, t)$ через эту плотину. Можно несколько упростить схематизацию рассматриваемой речной системы, перенеся расходы входных гидропостов (вершины 4, 6, 9, 13, 22) в устья соответствующих притоков (вершины 5, 8, 11, 14) с поправочными коэффициентами, учитывающими неосвещенные гидрологическими наблюдениями части водосборного бассейна между этими гидропостами и устьями соответствующих притоков.

Морфометрия русла задается с помощью цифровой модели рельефа (ЦМР) либо с использованием лоцманских карт. На рис. 4.5.2. представлена «одномерная» геометрия Новосибирского водохранилища, полученная на основе цифровой модели рельефа Новосибирского водохранилища [Заклучительный, 2009].

Учет аккумулирующей емкости Бердского залива осуществляется следующим образом: на участке впадения р. Бердь в качестве бокового притока берется не расход гидропоста Старый Искитим ($Q_{22}^{22}(t)$), а величина $Q_{22}^{22}(t) - \Omega(z) \frac{dz}{dt}$, где $\Omega(z)$ – батиметрическая характеристика Бердского залива (зависимость его площади от отметки уровня), а $z(t)$ – отметка уровня водохранилища в этом месте, что эквивалентно условиям (4.5.3) и (4.5.4) с сосредоточенным притоком $Q_{22}^{22}(t)$ в соответствующую вершину. Уровни и расходы в промежуточных пунктах (например, Барнаул и Камень-на-Оби) могут быть использованы для корректировки расчетов.

На участке поймы выше водохранилища могут быть применены другие модели [Воеводин, Никифоровская, Остапенко, 2004; Шлычков, 2005], более детально описывающие поведение воды на пойме, например, плановые модели или представление поймы в виде набора боковых емкостей, гидравлически связанных с основным руслом [Чан Тхань Чай, 1978].

Для формирования краткосрочного (оперативного) прогноза процесса прохождения волны весеннего половодья предлагается следующий алгоритм. В качестве значения расходов во входных створах принимаются наблюдаемые к настоящему моменту (или пересчитанные по наблюдаемым уровням) значения расходов в створах вышеупомянутых гидропостов, продолженные рядами наблюдений по году-аналогу.

После получения от служб Росгидромета новой информации о расходах эти значения подвергаются корректировке (часть продолженных значений расхода заменяется наблюдаемыми к данному моменту времени) и выполняется перерасчет процесса. В результате такой ежесуточной корректировки расчетов для выходного створа получается достоверный прогноз изменения параметров процесса до момента добегания волны от ближайшего гидропоста. Реально время добегания существенно более суток, что позволяет получать в створе ГЭС непрерывную достоверную картину процесса и использовать ее для принятия управляющих решений по назначению режима ппуска через створ ГЭС.

4.5.2. Алгоритм выработки рекомендаций по рациональному использованию запасов воды водохранилища в зимний период

При разработке стратегии рационального использования запасов воды Новосибирского водохранилища в зимний период ключевым является вопрос об обеспечении бесперебойной подачи воды для удовлетворения хозяйственно-бытовых и производственных потребностей г. Новосибирска в условиях ее весеннего дефицита, который имеет место главным образом ввиду малости полезного объема водохранилища.

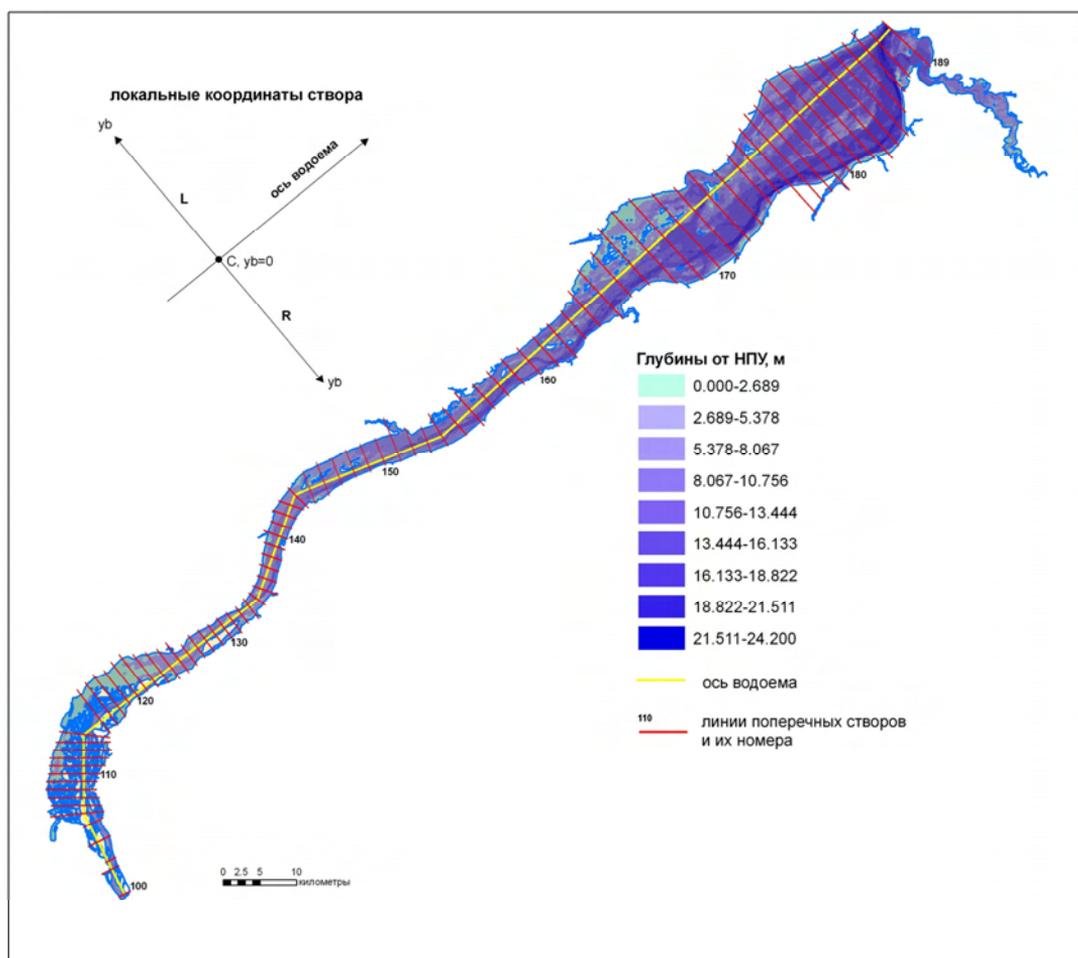


Рис. 4.5.2. Расположение поперечников для одномерной модели водохранилища

Кроме того, обострение водохозяйственной ситуации в нижнем бьефе гидроузла является результатом деформации ложа Оби, которая возникла уже к концу 1970-х гг. на участке реки протяженностью в несколько десятков километров. На процесс деформации русла, обусловленный перехватом донных отложений осветленным потоком, наложилось воздействие техногенного фактора: в 1970-х гг. в черте г. Новосибирска были проведены крупномасштабные работы по выемке аллювиальных (песчано-гравийных) отложений из русловых карьеров. В результате совместного воздействия указанных факторов посадка уровня, по различным оценкам, достигла в нижнем бьефе гидроузла 180–200 см, а в створе Новосибирского водного поста (в 20 км ниже ГЭС) – 140–160 см. Из-за произошедшей деформации русла реки режим работы Новосибирского водохранилища стал определяться главным образом необходимостью поддержания уровня воды в черте г. Новосибирска на отметках, обеспечивающих надежную работу систем коммунального и промышленного водоснабжения в осенне-зимний период, особенно в маловодные годы [Васильев, Атавин, Пичугина, 2008]. И хотя после реконструкции водозабора НФС-5 (основная насосно-фильтровальная станция

г. Новосибирска) негативное воздействие этого обстоятельства на водоснабжение города заметно снижено, проблема весеннего дефицита воды остается актуальной.

При решении задачи рационального использования зимних водных запасов водохранилища необходим долгосрочный прогноз как притока воды в водохранилище, так и изменения метеоусловий. Эти прогнозы заблаговременно выполняются Новосибирским ЦГМС-РСЦМ с последующим ежемесячным уточнением.

В ИВЭП СО РАН разработана и проверена в условиях нижнего бьефа Новосибирского водохранилища продольно-одномерная модель гидроледотермического режима Оби [Atavin, Kudishin, Zinoviev, 1993]. Она реализована в виде сертифицированной программы «Гидроледотермика-1ДН (Полынья)» [Зиновьев, Кудишин, Атавин, 2006], что позволяет воспроизводить гидроледотермический режим нижнего бьефа в зимних условиях и, в частности, получать картину изменения уровней на водозаборе НФС-5.

Приближенными аналитическими выкладками было установлено, а затем подтверждено расчетами по вышеописанной модели, что в присутствии ледяного покрова зависимость уровня воды в створе НФС-5 от подаваемого через створ ГЭС расхода не всегда монотонна, как это имеет место в условиях открытой воды. При некоторых значениях параметров метеоусловий, уровень воды на водозаборе с увеличением расхода, начиная с некоторого значения расхода, падает, а затем снова возрастает (рис. 4.5.3). Объясняется эта ситуация переменным влиянием подвижного (с изменением величины сбрасываемого расхода) ледового покрова на общую шероховатость русла. Для определения величины полыньи получена упрощенная аналитическая расчетная формула:

$$S = \rho c_p \frac{Q_{in} T_{in}}{\Phi} \equiv \beta Q_{in}, \quad \beta = \frac{\rho c_p T_{in}}{\Phi}, \quad 4.5.7$$

подтвержденная расчетами по одномерной и плановой гидротермическим моделям. Здесь S – площадь полыньи; Φ – обусловленный метеоусловиями удельный поток тепла через свободную поверхность воды [Rayan, Harleman, Stolzenbach, 1974; Wake, Rumer, 1979]; Q_{in} и T_{in} – расход и температура сбрасываемой через створ плотины воды, ρ – плотность воды; c_p – ее удельная теплоемкость. Заметим, что влияние всей совокупности стандартно измеряемых метеопараметров с достаточно высокой степенью точности сводится к единственному параметру β , который представляет собой величину, обратную удельному потоку тепла через свободную поверхность воды при нулевой температуре воды (точнее, при температуре $T_{in}/2$, что мало изменяет величину β).

Предлагается следующий алгоритм получения величины зимнего расхода, гарантирующего заданный уровень воды на НФС-5 (назовем его критическим – $Q_{кр}$). На основе расчетов по программе «Гидроледотермика-1ДН (Полынья)» определяются значения уровня в створе НФС-5 и площади полыньи в зависимости от подаваемого расхода воды и длины полыньи L :

$$z = f_1(Q_{in}, L), \quad S = f_2(Q_{in}, L), \quad 4.5.8$$

где z – уровень воды в створе НФС-5. В принципе, это можно сделать и по любой другой программе, реализующей гидравлический расчет стационарного течения в реальном русле, характеризующем заданными ЦМР и шероховатостью (с учетом дополнительной шероховатости от ледовой поверхности). Пример зависимости представлен на рис. 4.5.4.

Исключив из соотношений (4.5.4) и (4.5.5) параметр S , найдем зависимость как решение относительно нелинейного уравнения:

$$\beta Q - f_2(Q, L) = 0, \quad 4.5.9$$

с последующим построением зависимости $z = f_1(Q, L(Q)) \equiv f_3(Q)$.

Теперь, разрешая относительно Q уравнение, имеем:

$$f_3(Q) = z_{кр}, \quad 4.5.10$$

где $z_{кр}$ – та критическая отметка, ниже которой не должен опускаться уровень воды на водозаборе НФС-5. Далее находим искомое значение расхода, обеспечивающего эту отметку. При этом в силу возможной немонотонности зависимости уровня воды на НФС-5 от сбрасываемого через створ ГЭС расхода (рис. 4.5.5) график функции $z = f_3(Q)$, представляющей собой основанное на соотношении (4.5.7) приближенное представление этой зависимости, может тоже оказаться немонотонным.

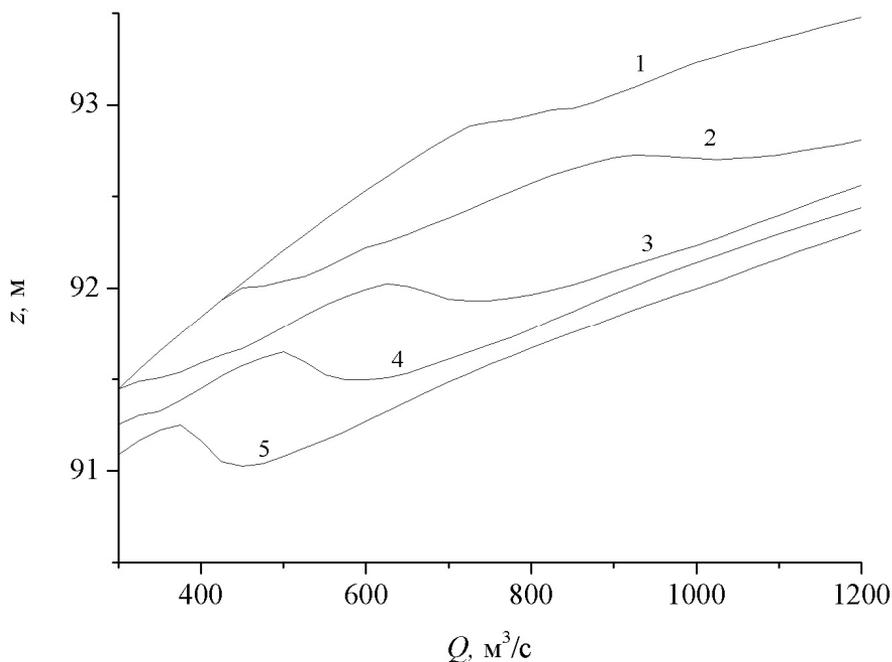


Рис. 4.5.3. Связь уровней и расходов в створе НФС-5 при различной удельной теплоотдаче свободной поверхности воды:
 1 – 0,059; 2 – 0,04; 3 – 0,03; 4 – 0,025; 5 – 0,02, ккал/(м²·с).

Это приведет к тому, что решение уравнения (4.5.10) будет не единственным. В этом случае выбирается наибольшее значение корня, ибо после крайней правой точки пересечения с прямой $z = z_{кр}$ зависимость $z = f_3(Q)$ становится монотонно возрастающей. Поэтому расход, соответствующий этой точке, и будет значением расхода в створе плотины, гарантирующим ситуацию, при которой условие $Q_{in} > Q_{кр}$ обеспечивает в створе НФС-5 выполнение условия $z > z_{кр}$.

Таким образом, на основе предложенного алгоритма можно определить минимальный расход $Q_{кр}$, при котором уровень нижнего бьефа при имеющемся наборе метеоданных будет соответствовать водохозяйственным требованиям.

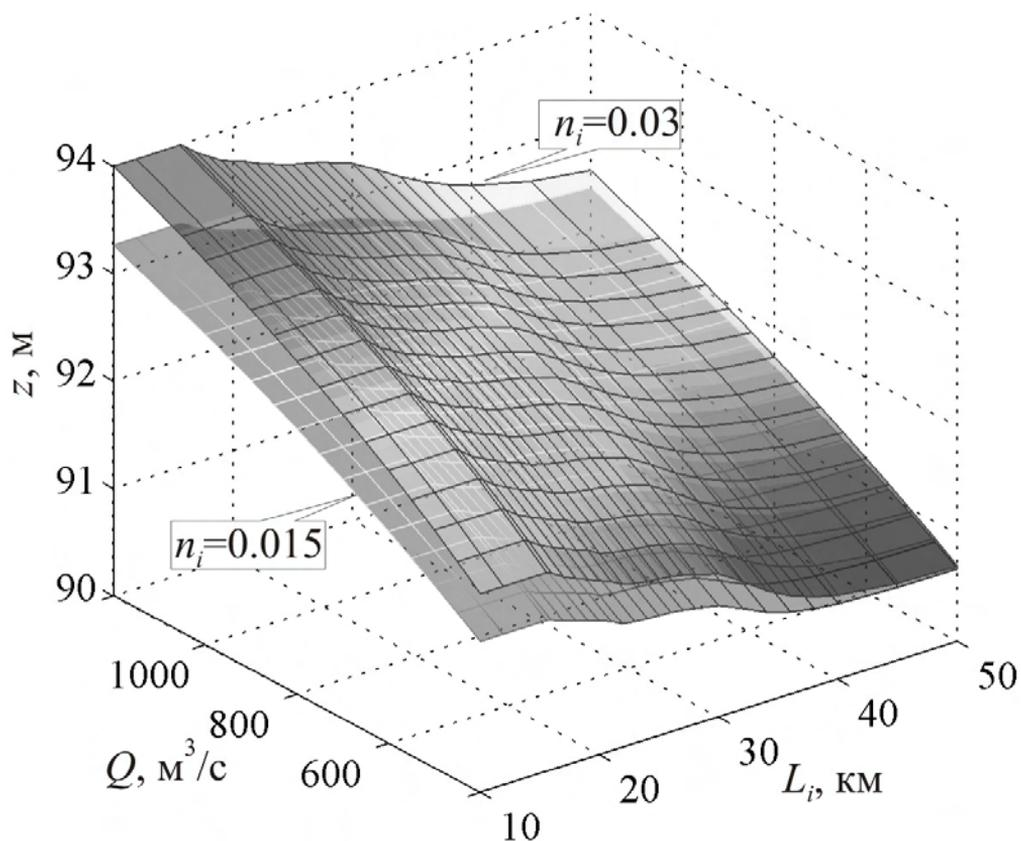


Рис. 4.5.4. Поверхности $z = f_1(Q_{in}, L)$ для створа НФС-5 при разных значениях коэффициента шероховатости льда n_i

Теперь, опираясь на долгосрочный прогноз метеоусловий (либо на среднестатистические значения этих параметров), можно построить зависимость $\beta(t)$, как правило, кусочно-постоянную с месячным или подекадным разрешением, на весь зимний период и по вышеописанной процедуре с таким же разрешением – зависимость $Q_{кр}(t)$.

Затем лицо, принимающее решение по управлению режимом работы Новосибирского гидроузла и имеющее прогноз притока к водохранилищу, может определить величину запаса воды в водохранилище на любой момент времени по формуле:

$$V(t) = V(t_0) + \int_{t_0}^t (Q_{in}(\tau) - Q_{out}(\tau)) d\tau, \quad 4.5.11$$

где $V(t)$ – запас (объем) воды в водохранилище на момент времени t .

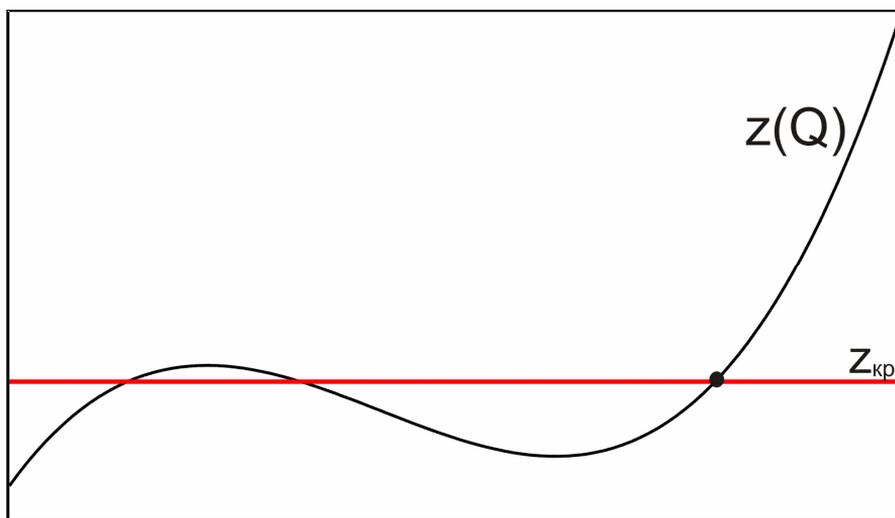


Рис. 4.5.5. Зависимость $z = f_3(Q)$

Оно может получить значение объема воды в водохранилище в любой момент времени t , если известно его значение $V(t_0)$ – начальное наполнение водохранилища, т.е. запас воды на момент времени t_0 (начальный момент сработки водохранилища либо очередной момент времени, когда имеющиеся измерения позволяют этот объем установить) и $Q_{out}(t)$ – выбранный режим пусков через створ плотины. Надо полагать, что будет приниматься решение о том, что $Q_{out}(t) > Q_{кр}(t)$, а насколько больше, будет зависеть от прогноза.

Созданная на основе данного алгоритма программа включает интерфейс, позволяющий корректировать прогноз при поступлении более точной информации по метеоусловиям, по приточности в водохранилище, по принятому режиму пуска через створ плотины или по

температуре сбрасываемой из водохранилища воды. Возможна смена управленческих решений путем пересчета всего процесса, начиная с момента, когда принято решение об изменении режима пуска или произошло уточнение входных данных. Можно также проверить влияние принятой критической отметки уровня на НФС-5 на весь процесс. На рис. 4.5.6 приведен вид главного окна программы с исходными и откорректированными расчетными кривыми.

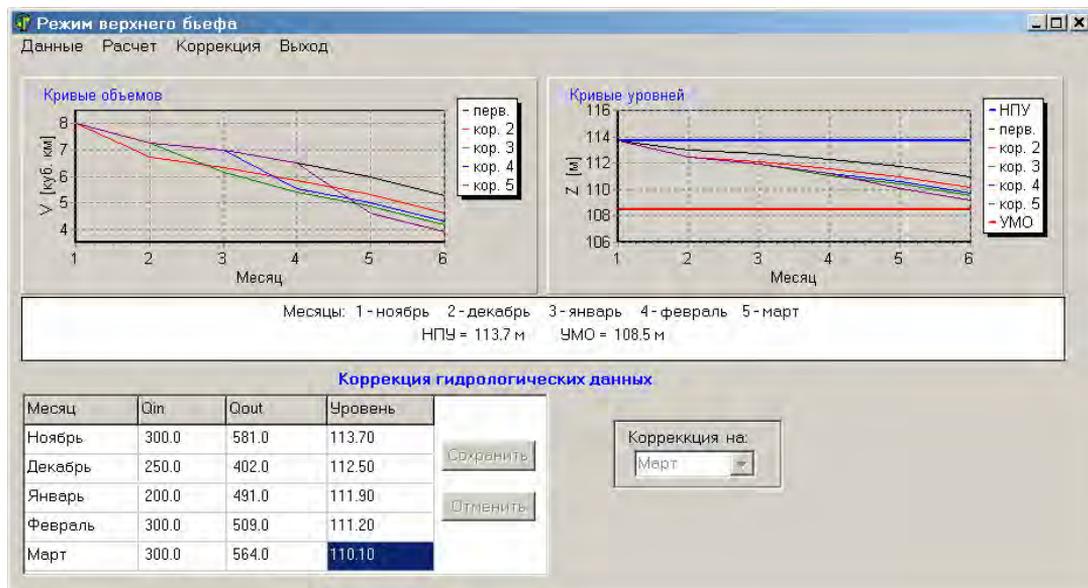


Рис. 4.5.6. Результаты исходного расчета и расчета по корректированным данным

4.5.3. Имитационная модель функционирования водохранилища

Имитационная модель функционирования Новосибирского водохранилища реализуется в виде алгоритма, состоящего из трех блоков.

Блок 1. Расчет сработки водохранилища при сезонном регулировании по диспетчерскому графику для периода июль-октябрь. Входными параметрами являются: начальное наполнение на данном расчетном интервале, водозабор в верхнем и нижнем бьефах, а также приток к водохранилищу. Выходными параметрами будут: конечное наполнение на расчетном интервале, сброс в нижний бьеф и отдача, включающая водозабор в верхнем и нижнем бьефах. Алгоритм расчета водохозяйственного баланса состоит из следующих вычислений.

1. Оцениваются гарантированные отдача (включает все водозаборы) и судоходный попуск, определяется состояние системы на начало расчета.

2. Поскольку площадь водохранилища на конец расчетного интервала неизвестна, то дальнейшие расчеты выполняются методом итераций. В качестве первого приближения площадь зеркала принимается такой, какая была на начало расчетов. Затем после вычислений водного баланса она уточняется и используется на следующем итерационном шаге.

3. Определяются возможные сбросы в нижний бьеф. Если ситуация находится в зоне сокращенной отдачи, то сброс назначается в размере $900 \text{ м}^3/\text{с}$. Если объема воды в водохранилище недостаточно, то сбрасывается весь полезный запас до УМО.

4. После учета отдачи в нижний бьеф определяем новое состояние водохранилища. Если конечный объем превышает НПУ, то в нижний бьеф сбрасываются все «излишки». Если ситуация находится в зоне гарантированной отдачи, то сбрасывается требуемый объем в нижний бьеф, исходя из верхней границы зоны гарантированной отдачи. Если на начало счета ситуация была в зоне сокращенной отдачи, а в конечном состоянии – в зоне гарантированной отдачи, то пытаемся увеличить величину отдачи вплоть до полной. Если ресурсов недостаточно, то увеличиваем отдачу насколько возможно, при этом используем диспетчерскую линию гарантированной отдачи. При необходимости сбрасываем все, что можно сбросить в нижний бьеф и после увеличения отдачи. Если на начало счета находились в зоне гарантированной отдачи, а в конце – в зоне сокращенной отдачи, то пробуем уменьшить величину отдачи и используем линию гарантированной отдачи. В противном случае остаемся в зоне сниженной отдачи.

Блок 2. Осуществляется расчет сезонного регулирования по диспетчерскому графику для периода ноябрь-март (апрель). По сравнению с блоком 1 дополнительно учитывается объем льда, оседающего на берегах водохранилища при зимней сработке уровня воды. Он вычисляется как произведение осушенной площади на среднюю для данного времени года толщину льда. Потери на оседание льда вычитаются из полезного запаса воды в водохранилище. Дальнейший алгоритм расчета аналогичен тому, что описан в блоке 1, при этом учитываются три зоны со значениями сокращенной отдачи. При переходе из одной зоны в другую рекомендуется также придерживаться линии гарантированной отдачи или границы верхней зоны сокращенной отдачи.

Блок 3. Реализуется алгоритм расчета заполнения водохранилища. Входными параметрами в этом блоке также являются начальное наполнение, приток и дата начала заполнения, которая определяется из условия превышения транзитным расходом значения $900 \text{ м}^3/\text{с}$. Дальнейшее наполнение осуществляется в соответствии с диспетчерской линией. При этом запас воды в виде льда, осевшего на берегах водохранилища, возвращается в водоем в течение первых двух расчетных интервалов заполнения.

4.5.4. Планирование водоохранной деятельности в бассейне Верхней Оби

Для оценки влияния точечных и диффузных источников загрязнения вод Новосибирского водохранилища и Обской речной сети в целом была проведена адаптация разработанной в ИВП РАН модели стратегического планирования водоохранных мероприятий в бассейне, предназначенной для описания стационарных процессов переноса и трансформации загрязняющих веществ [Готовцев, 2009; Готовцев и др., 2011]. Модель позволяет анализировать последствия воздействия различных реализаций природных условий, антропогенных нагрузок и водоохранных мероприятий на водные объекты на всей площади водосборного бассейна. Она предназначена для работы в условиях неполной и неточной информации и позволяет не только рассчитывать качество воды, но и выбирать места (створы) строительства очистных сооружений, их тип и мощность, необходимые для выполнения заданных ограничений на концентрации всех расчетных видов загрязняющих веществ (ЗВ) во всех контролируемых створах.

Реализованная технологическая схема расчетов состоит из трех этапов: формирование условий расчета (оценка водного объекта и антропогенная нагрузка на него по физическим, гидрологическим и гидрохимическим показателям); оценка качества природных вод; выбор стратегии водоохранной деятельности. В качестве критериев оптимизации применялись минимизация либо капитальных и эксплуатационных затрат (при заданных ограничениях на суммарные массы сбрасываемых ЗВ), либо масса сбрасываемых ЗВ при ограниченных капиталовложениях на очистку сбросных вод. Условия расчета базируются на определенной схематизации бассейна реки, гидрологической, гидрохимической и технико-экономической информации, а также данных об антропогенной нагрузке бассейна. Отдельного внимания требуют задачи адекватного осреднения исходных данных, выделения частей бассейна, допускающих такое осреднение, учета неоднородности климатических, гидрологических, хозяйственных и иных условий.

Бассейн Верхней Оби схематизирован в виде ориентированного разветвленного графа (типа «дерева»), состоящего из 27 вершин и 26 ребер, отображающих соединяющие эти вершины участки русел. Контрольные створы выделены с учетом замкнутости водосборных площадей по условиям формирования речного стока и наличия данных гидрохимических наблюдений. Качество речных вод определяется результатом взаимодействия одновременно протекающих процессов загрязнения, разбавления и самоочищения вод. Поэтому оно зависит от таких разнородных факторов, как соотношение расходов смешивающихся потоков (реки, боковые притоки, сточные и другие загрязненные воды), исходных концентраций присутствующих в них ЗВ, устойчивости этих веществ в воде, а также длины участка и скорости течения воды.

При оценке источников загрязнения предполагается, что поступление в реку ЗВ с подземными и сточными водами имеет стационарный характер и происходит равномерно в течение всего года. С водосборных площадей ЗВ поступают в водные объекты лишь с талыми и дождевыми водами. Далее рассматривались лишь точечные, управляемые источники

загрязнения. Упрощенная модель динамики загрязнений позволила вычислить концентрации ЗВ в тех створах реки, для нижних частей которых имеются данные гидрологических и гидробиохимических наблюдений. Модель соотносит выброс ЗВ в каждом из створов и их концентрацию C в пунктах наблюдений и имеет вид:

$$\frac{dC}{dt} = -Ck, \quad 4.5.12$$

где k – коэффициент трансформации ЗВ в потоке.

Процессы поглощения и восстановления кислорода в речном потоке в первом приближении были описаны еще в начале XX века Стритером и Фелпсом [Готовцев, 2008]. Их модель базируется на допущениях, что скорость разложения органического ЗВ пропорциональна его концентрации, а скорость восстановления растворенного кислорода пропорциональна его дефициту. При этом концентрация органического ЗВ измеряется в кислородных единицах и называется биохимической потребностью в кислороде (БПК).

Классическая (немодофицированная) модель Стритера-Фелпса [Готовцев, 2010] эффективно используется для экспресс-оценки качества воды и при обычных (достаточно малых) концентрациях дает вполне удовлетворительные результаты не только по БПК, но и по другим видам ЗВ (в частности, по приоритетным для Новосибирского водохранилища азоту, фосфору, железу, нефтепродуктам).

Уравнение изменения потока ЗВ вдоль русла при стационарном течении воды в нем с учетом естественного распада и при наличии диффузных источников, равномерно распределенных вдоль русла, имеет вид:

$$V \frac{dZ}{dx} = -k_1 Z + wV, \quad 4.5.13$$

а его решением при начальном условии $Z(0) = Z_0$ будет:

$$Z(x) = \frac{wV}{k_1} + (Z_0 - \frac{wV}{k_1}) \exp, \quad 4.5.14$$

где x – расстояние от начального створа по длине русла; Z – поток ЗВ через поперечное сечение русла (концентрация ЗВ, умноженная на расход воды); V – средняя по поперечному сечению русла скорость течения воды; k_1 – коэффициент скорости распада ЗВ; w – модуль диффузного стока ЗВ; Z_0 – поток ЗВ через начальный створ руслового участка.

При расчете масс БПК и ЗВ в замыкающем створе каждого участка учитывались как их поступление на участок от различных источников, так и перенос их с вышележащих участков. Для более точного описания процесса поступления загрязняющих веществ от точечных источников было введено понятие «агрегированный коллектор стока ЗВ» [Готовцев и др., 2011].

Выбор способов очистки сточных вод и распределение соответствующих капитальных затрат между административными единицами бассейна могут быть выполнены на основе рассматриваемой модели. Она реализуется с помощью пакета программ для решения задач линейного программирования.

Сточные воды в бассейне контролируются по шести показателям: БПК, нефтепродуктам, взвешенным веществам, общему фосфору и азоту, а также железу. Рассматриваются четыре способа очистки: механическая, химическая, биологическая и биохимическая. В процессе расчетов каждый из указанных способов очистки сбросных вод может быть сопоставлен с остальными.

Общее описание программы

Управление расчетами осуществляется с помощью нескольких файлов исходных данных и графического интерфейса. Предполагается использование программы в двух рабочих режимах: мониторинг и выбор стратегии водоохранных мероприятий. В первом режиме осуществляется расчет расходов ЗВ на участках русла. Во втором дается дополнительная оценка затрат на водоохранные мероприятия, перечисленные выше. Для калибровки (подбора параметров, обеспечивающих более адекватное описание процессов) используются данные натурных наблюдений (рис. 4.5.7).

Входными данными являются конфигурационный файл (указывает имя файла данных, описывающего режим работы), файл нормативных данных, файл описания водоема, который включает 9 таблиц данных, характеризующих:

- годовой сброс ЗВ;
- сосредоточенные сбросы ЗВ в створах по данным 2-ТП(водхоз);
- равномерно распределенные по длине участка русла сбросы ЗВ;
- доли выносимых с водосборных площадей диффузных ЗВ, формирующих равномерно распределенные по длине участка русла сбросы ЗВ;
- коэффициенты аэрации и коэффициенты распада;
- калибровочные (натурные) концентрации ЗВ;
- фоновые концентрации ЗВ в воде боковой приточности;
- равновесные концентрации ЗВ в русле;
- верхние ограничения на концентрацию ЗВ.

Результаты расчетов также записываются в файл как таблица данных и отображаются в виде диаграмм основных расчетных параметров на экране. Программа позволяет сохранять результаты в указанных папках вместе с некоторыми исходными данными и затем просматривать их в стандартном режиме диалога.

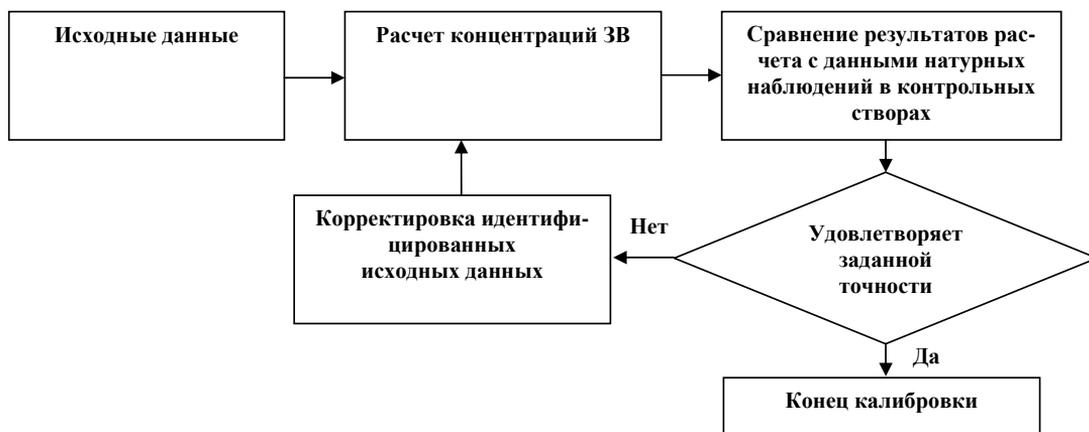


Рис. 4.5.7. Блок-схема калибровки модели

5. Управление водными ресурсами речного бассейна

5.1. Водохозяйственный комплекс и проблемы водопользования

Водохозяйственный комплекс¹ Обь-Иртышского бассейна обеспечивает потребности в воде населения, промышленности, сельского хозяйства, очистку сточных вод, выработку электроэнергии, судоходство, рыбный промысел, нужды рекреации, а также контроль за ограничением негативного воздействия вод. На территории Обь-Иртышского бассейна расположено более 200 крупных водохранилищ объемом свыше 1 млн м³, в том числе 11 – объемом более 100 млн м³, среди которых крупнейшими являются Новосибирское (8800 млн м³), Аргазинское (740), Гилевское (471) и Белоярское (250 млн м³).

Большинство водохозяйственных систем (ВХС) и гидротехнических сооружений (ГТС) находится в Алтайском крае, Кемеровской, Свердловской, Новосибирской и Челябинской областях. Только в бассейне Верхней Оби, по данным на 01.01.2007 г., функционировало 1857 водохозяйственных систем и гидротехнических сооружений, в том числе 561 ГТС водохранилищ и прудов емкостью 100 тыс. м³ и более, защитные дамбы, водозаборы, очистные сооружения, накопители и отстойники (табл. 5.1.1). В числе указанных водохозяйственных объектов имеется 13 водохранилищ емкостью 10 млн м³ и более, в том числе 3 озера-водохранилища с водоподпорными сооружениями.

Сеть каналов межбассейнового и внутрибассейнового перераспределения стока, водохозяйственных систем воднотранспортного назначения общей протяженностью более 1000 км позволяет осуществлять переброску стока в объеме 400 млн м³ в год (табл. 5.1.2).

Таблица 5.1.1

Наличие водоподпорных ГТС и защитных дамб на территориях субъектов РФ в бассейне Верхней Оби на 01.01.2007 г. [<http://www.vobvunsk.ru/>]

Субъекты РФ	Наличие ВХС и ГТС, шт.	
	всего*	в том числе ГТС водохранилищ и прудов
Республика Алтай	9	7
Алтайский край	142	130
Новосибирская область	108	95
Кемеровская область	350	295
Томская область	48	34
<i>Итого:</i>	657	561

Примечание: * – в таблицу включены ГТС водохранилищ и прудов с объемом более 100 тыс. м³ и напором более 3 м, а также сооружения инженерной защиты.

¹ Термин «водохозяйственный комплекс» используется в контексте Водной стратегии РФ на период до 2020 г., которая рассматривает его как совокупность водохозяйственных систем, обеспечивающих устойчивое водопользование на территории субъекта РФ или бассейновой системы.

Перераспределение стока в Обь-Иртышском бассейне

Наименование объектов	Протяженность переброски, км	Объем переброски, млн м ³
<i>Внутрибассейновое перераспределение</i>		
Кулундинский канал	180,6	25,0
Чарышский групповой водопровод	667,9	12,4
Бурлинский канал	30,0	30,0
Протока Брундук, р. Кисловка	0,825	0,3
Алейская оросительная система	100,0	100,0
Чеминская оросительная система	15,0	2,0
Рубцовский групповой водопровод	100,0	0,2
<i>Межбассейновое перераспределение</i>		
Из Долгобродского водохранилища на р. Уфа в Аргазинское водохранилище на р. Миасс	40,0	130,0
Из Нязепетровского водохранилища на р. Уфа в р. Зап. Чусовая с подачей воды через Верхне-Макаровское и Волчихинское водохранилища на р. Чусовая и далее в р. Решетка с подачей воды в Верхне-Исетское водохранилище на р. Исеть	53,1	88,0

Для обеспечения безопасности поселений, объектов экономики и сельскохозяйственных угодий от негативного воздействия вод возведено множество дамб преимущественно земляного типа и других объектов инженерной защиты.

Основные проблемы водопользования в Обь-Иртышском бассейне связаны с неравномерным распределением поверхностных и подземных водных ресурсов, их нерациональным использованием, вызванным применением устаревших водоемких технологий в промышленном и жилищно-коммунальном секторе, высокими потерями воды при транспортировке, отсутствием эффективных экономических механизмов ресурсосбережения и т.п. При этом проявление названных водохозяйственных проблем имеет разную остроту и территориальную специфику.

1. *Недостаток водных ресурсов* особенно актуален для центральной части Челябинской области, в которой коэффициент изъятия вод (или водный стресс) достигает 60–80 % и более (из наиболее антропогенно нагруженных водных объектов – р. Миасс). Дефицит ресурсов покрывается за счет переброски из бассейна Камы (р. Уфа – р. Миасс).

В Свердловской области крайний недостаток ресурсов поверхностных вод отмечается в центральной, промышленно развитой части. Антропогенная нагрузка на поверхностные водные объекты здесь достигает 40–60 % и более (реки Исеть и Тагил). Проблема недостатка также решается путем переброски вод из бассейна Камы (р. Чусовая – р. Исеть).

Вододефицит, кроме того, наблюдается в Курганской, Омской областях и степных районах Алтайского края, западной части Новосибирской и на юге Тюменской областей. В ряде регионов положение усугубляется наличием трансграничных водотоков – рек Иртыш, Тобол, Ишим: российские территории являются реципиентами привнесенных загрязнений вышерасположенных хозяйствующих субъектов других стран.

В бассейнах рек, не носящих трансграничный характер, но расположенных в приграничной полосе Обь-Иртышья, также существуют проблемы вододеления и водоснабжения населенных пунктов. Например, «Горводоканал» г. Горняк Локтевского района Алтайского

края вынужденно обеспечивает Жезкентский ГОК Республики Казахстан водами питьевого качества, в то время как и в самом районе, и в городе имеется дефицит питьевых вод.

2. *Низкое качество вод источников хозяйственно-питьевого водоснабжения (в том числе обусловленное высокой минерализацией), отсутствие современных систем водоподготовки.* В Алтайском крае более 50 % всех питьевых вод неблагоприятны по органолептическим показателям в связи с высоким содержанием химических элементов или отсутствием фтора в исходной воде [Материалы к ежегодному..., 2008]. В Новосибирской области пресными подземными водами с минерализацией до 1 г/дм³ обеспечены преимущественно северные и центральные районы, придолинная часть левобережья р. Обь, правобережье, а также Баганский, Карасукский и Краснозерский районы [Доклад «Состояние...», 2007]; на остальной территории области водоснабжение населения может быть удовлетворено только при разрешении органов госнадзора за счет подземных вод с минерализацией преимущественно от 1 до 1,5 г/дм³.

В Томской области повсеместно в подземных водах наблюдается превышающее ПДК содержание железа (от 2 до 77,7 раз), марганца (1,3–12,7), аммония (1,3–3), кремния (от 1,1 до 2,8 раз). Специальная водоподготовка ведется только на крупных водозаборах (например, в г. Томске); используемые на подавляющем числе водозаборов системы водоподготовки не обеспечивают эффективную очистку воды, а на одиночных скважинах она вообще отсутствует [Областная целевая..., 2008].

Крайне сложная ситуация сложилась в Курганской области. Имеющиеся запасы подземных вод в значительной степени минерализованы и не отвечают требованиям питьевого назначения по показателям общей минерализации, содержанию бора, брома, железа. Однако крайний недостаток пресных поверхностных источников и их загрязненность вынуждают использовать в питьевых целях подземные воды с минерализацией до 2 г/л и природными примесями, а на водоснабжение животноводства – до 3 г/л [Паспорт целевой программы области «Чистая вода на 2009–2013 годы», 2008].

Практически повсеместное неудовлетворительное состояние источников питьевого водоснабжения отмечается в Челябинской и Свердловской областях. В южной части Челябинской области единственным потенциальным источником питьевой воды являются запасы подземных вод, качество которых в 13 % случаев не соответствует санитарным нормам [Галимханова, 2001]. В восточных районах Свердловской области минерализация вод достигает 2,5 г/л, систематически регистрируются повышенные концентрации железа, бора, брома, мышьяка, лития и других ингредиентов [Утечка воды..., 2007].

3. *Антропогенное загрязнение источников водоснабжения* характерно практически для всех индустриально развитых областей. На фоне относительно благополучной ситуации с обеспечением населения Кемеровской области питьевой водой (системами централизованного водоснабжения охвачено 90 % населения) в регионе существует проблема антропогенного загрязнения источников водоснабжения. При этом загрязнению подвергаются не только поверхностные, но и подземные воды. По санитарно-химическим показателям не соответствует нормативам 31,2 % проб воды водоисточников, в том числе из открытых водоемов – 28,8 %, подземных вод – 31,7 % [Материалы к Государственному..., 2007].

В Челябинской области неудовлетворительное качество воды по санитарно-химическим показателям отмечается в питьевых источниках г. Троицка, г. Копейска, г. Карабаша, г. Еманжелинска, г. Южноуральска, Чебаркульского, Еткульского, Карталинского и Красноармейского районов [Комплексный доклад..., 2007]. Высокую степень бактериального загрязнения имеют источники питьевого назначения в г. Копейске, а также в Карталинском, Верхнеуральском, Чебаркульском и Агаповском районах. В результате деятельности ПО «Маяк» отмечается радиоактивное загрязнение водных объектов.

Использование поверхностных водных ресурсов Тюменской, Курганской, Свердловской областей в качестве источников питьевого водоснабжения также ограничено по причине высокого уровня загрязнения. Например, на территории Свердловской области протекает шесть рек, которые включены в список наиболее загрязненных водных объектов РФ, пять из них (Исеть, Пышма, Тагил, Нейва, Салда) принадлежат к Обь-Иртышскому бассейну. При этом Свердловская область в целом относится к территориям с напряженной экологической ситуацией, а бассейны рек Тагил и Исеть – к территориям с критической экологической ситуацией [О состоянии..., 2007].

4. Низкая обеспеченность населения централизованным водоснабжением. Из децентрализованных источников водоснабжения обеспечивается питьевой водой 38,8 % населения Республики Алтай [Доклад о состоянии..., 2008], 30 % – Алтайского края [Материалы к ежегодному..., 2008], 30 % – Республики Хакасия [Состояние окружающей..., 2008], 23,8 % – Томской области [Экологический мониторинг..., 2007]. В 70 % населенных пунктов Курганской области отсутствует централизованное водоснабжение [Паспорт целевой программы области «Чистая вода на 2009–2013 годы», 2008]. По-прежнему в отдельных регионах бассейна для питьевого водоснабжения используют воду открытых водоемов без какой-либо водоподготовки: около 9 % сельского населения Республики Алтай и 2,4 % населения Курганской области.

Степень обеспеченности населения системами централизованного водоснабжения в значительной мере определяется уровнем социально-экономического развития регионов. На рис. 5.1.1 представлены результаты оценки существующего удельного хозяйственно-питьевого водопотребления в муниципальных образованиях Обь-Иртышского бассейна [Рыбкина, Стоящева, 2010].

При сравнении фактических показателей с законодательно установленными (СНиП 2.04.02–84) выявлено, что в индустриально ориентированных субъектах (ХМАО, Омской и Свердловской областях) объемы водоснабжения на 100 % соответствуют нормативам; в ЯНАО, Кемеровской, Новосибирской и Челябинской областях существующее удельное хозяйственно-питьевое водопотребление превышает утвержденные нормативные значения на 20–30 %. Недостаток в центральном водоснабжении отмечается на юге Тюменской (объем потребленной воды составляет 85 % от нормы) и в Томской (76 %) областях, Алтайском крае (75 %). Наиболее сложная ситуация сложилась в Курганской области (51 %) и Республике Алтай (47 %).

5. Недостаточная развитость канализационных систем, особенно в сельской местности. Хроническое отставание ввода в эксплуатацию канализационных систем и их техническое несовершенство являются сдерживающим фактором развития систем питьевого водоснабжения Республики Алтай [Доклад о состоянии..., 2008].

Эти две взаимозависимые проблемы – водоснабжение и водоотведение – решаются в большинстве случаев отдельно, что не способствует развитию систем централизованного водоснабжения. Сети канализации во многих сельских поселениях представляют собой отводящие трубопроводы и выгребные ямы, которые имеют высокий уровень износа. Во многих районных центрах Республики Хакасия канализационные очистные сооружения отсутствуют [Состояние окружающей..., 2008]. Сельские территории и других регионов (Алтайский край, Курганская, Новосибирская области и др.) также характеризуются крайне низким оснащением канализационных систем.

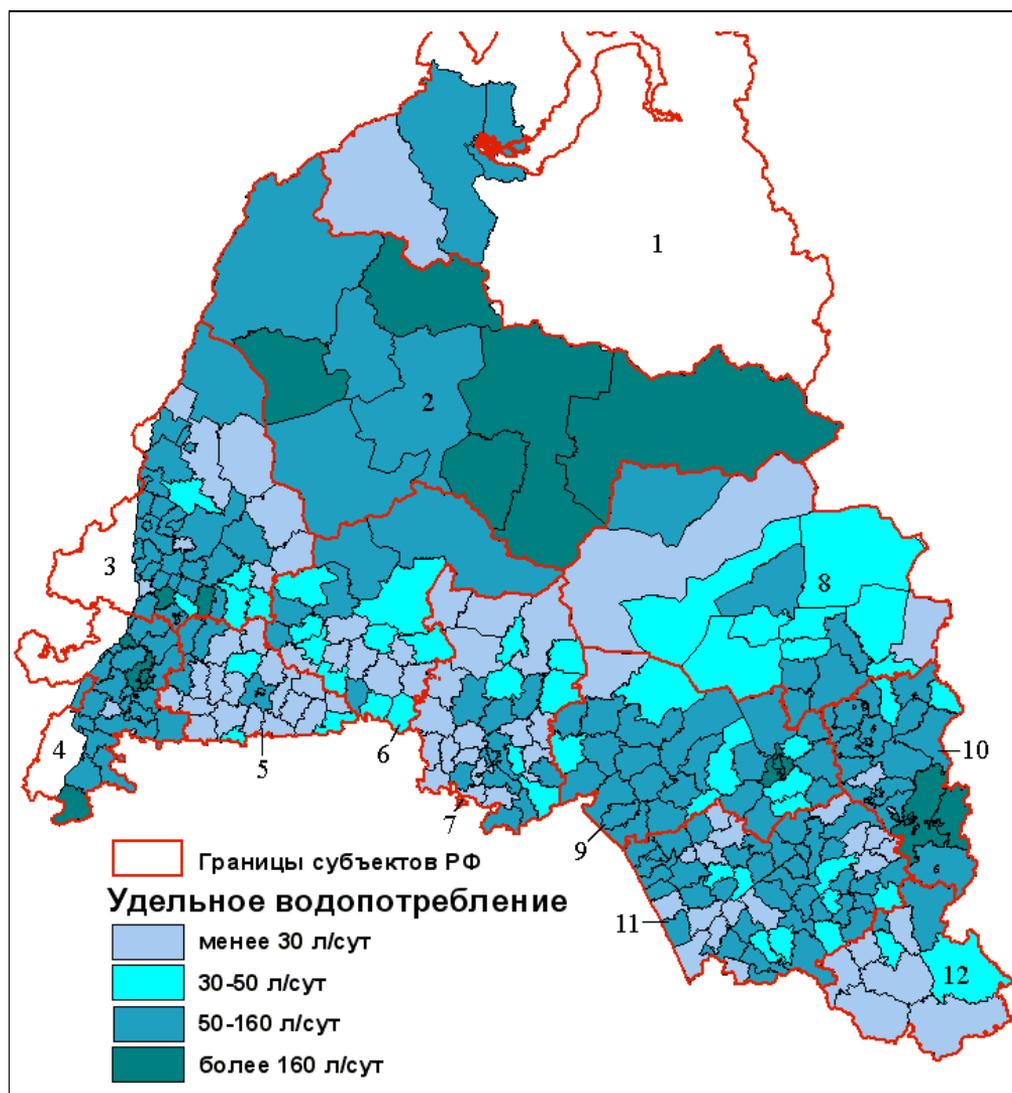


Рис. 5.1.1. Удельное хозяйственно-питьевое водопотребление в муниципальных образованиях субъектов РФ Обь-Иртышского бассейна (в расчете на чел.): 1 – ЯНАО, 2 – ХМАО; 3 – Свердловская, 4 – Челябинская, 5 – Курганская, 6 – Тюменская (юг), 7 – Омская, 8 – Томская, 9 – Новосибирская, 10 – Кемеровская области; 11 – Алтайский край, 12 – Республика Алтай

6. *Высокий уровень износа водопроводных систем и канализационных очистных сооружений* приводит к вторичному микробному загрязнению разводящей водопроводной сети и значительным потерям воды при транспортировке. В большинстве регионов бассейна уровень износа водопроводных и канализационных систем превышает 50 %, а в некоторых достигает 70–80 % и более. Например, в Республике Хакасия водопроводные системы и канализационные очистные сооружения изношены более чем на 70 % [Доклад о состоянии..., 2008], в Республике Алтай – на 70–80 % и более [Состояние окружающей..., 2008]. В Алтайском крае 25 % водопроводных сетей имеют полный износ, 58 % – свыше половины [Материалы к ежегодному..., 2008]. В Омской области изношено 65–70 % коммунально-транспортных систем водоснабжения [Целевая программа..., 2003], в Курганской области – 49 % очистных сооружений водопроводов и 62 % – водопроводных насосных станций. Из общего количества уличных водопроводных сетей Свердловской области 40,5 % находятся в ветхом состоянии. В Алтайском крае особую озабоченность вызывает состояние групповых водопроводов (Чарышский, Рубцовский, Тельмановский), техническое состояние которых ухудшается год от года, требуя дополнительных затрат на ремонт и реконструкцию. Так из 1166,9 км Чарышского группового водопровода по причине непригодности уже списано 499 км.

7. *Использование в водоподготовке технически и морально устаревших технологий, сооружений.* Из-за отсутствия оборудования по очистке и установок по обеззараживанию воды на сельских водопроводах Усть-Ишимского, Тевризского, Калачинского, Горьковского, Черлакского, Колосовского, Русско-Полянского, Седельниковского районов Омской области только 10 % населения обеспечены доброкачественной питьевой водой [Новости, 2007].

В Кемеровской области в связи с ухудшением качества воды в поверхностных источниках питьевого водоснабжения в результате сброса недостаточно очищенных или неочищенных сточных вод существующие технологии водоподготовки не обеспечивают удаление из воды химических загрязнений и органических соединений, поскольку рассчитаны на очистку природных вод с умеренным уровнем антропогенного загрязнения [Материалы к Государственному..., 2007].

В Республике Хакасия подготовка питьевой воды перед подачей населению ограничивается лишь обеззараживанием ее хлором, что проводится только на крупных городских водозаборах. В связи с этим 70 % водопроводных очистных сооружений требуют срочной модернизации [Состояние окружающей..., 2008].

Не справляются с существующей нагрузкой коммунальные очистные сооружения ХМАО, построенные в период бурного промышленного освоения [Прохорова, 2006]. В настоящее время 60 % из них эксплуатируются неэффективно – с перегрузкой, имеют неудовлетворительное техническое состояние, морально устарели или их технические параметры не соответствуют характеристикам сбрасываемых сточных вод.

Отсутствие необходимого комплекса очистных сооружений в населенных пунктах ЯНАО на 32 % водопроводов [Новости..., 2008] привело к тому, что 45,9 % исследованных проб питьевой воды в 2007 г. не отвечали санитарно-химическим нормативам, 5,5 % – по микробиологическим показателям.

8. *Нарушение границ и режима зон санитарной охраны (ЗСО) источников питьевого водоснабжения.* В Республике Алтай первый пояс ЗСО – 65 скважин в сельской местности – приурочен к жилой застройке [Доклад о состоянии..., 2008]. В Республике Хакасия до 60 %

источников водоснабжения не имеют зон санитарной охраны, а в 15 % случаев это не возможно из-за расположения в непосредственной близости от жилых зданий и других источников загрязнения [Состояние окружающей..., 2008]. В Томской области основной причиной нарушений режима ЗСО также является размещение скважин в черте населенных пунктов, в связи с чем на территории первого и второго поясов ЗСО имеются частные жилые дома, не обеспеченные централизованными системами удаления сточных вод [Экологический мониторинг..., 2007]. В Красноярском крае наблюдается отсутствие ЗСО у 27,6 % водоисточников, также нарушение границ и режима ЗСО [Доклад о санитарно-эпидемиологической..., 2010]. В ХМАО удельный вес источников централизованного водоснабжения, не отвечающих санитарным нормам из-за отсутствия ЗСО, составляет в настоящее время 72 % [Прохорова, 2006].

9. *Прочие нарушения правил эксплуатации нецентрализованных источников водоснабжения* (отсутствие своевременного технического ремонта, чистки и обеззараживания колодцев, загрязнение территории зон санитарной охраны). По этим причинам в пределах Обь-Иртышского бассейна отмечается наибольший удельный вес проб воды нецентрализованных источников водоснабжения, не отвечающих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, регистрируется в Томской области. В водоисточниках Александровского, Парабельского, Колпашевского, Чаинского, Первомайского районов доля таких проб достигает 50–100 %. Вода колодцев здесь содержит большое количество нитратов (до 10 ПДК).

В бассейне Чулыма нарушение правил эксплуатации децентрализованных источников водоснабжения, отсутствие своевременной чистки и обеззараживания колодцев [Доклад о санитарно-эпидемиологической..., 2010] привели к тому, что количество проб воды, не отвечающих санитарным требованиям по санитарно-химическим и микробиологическим показателям, наибольшее на территории Красноярского края. Высока доля проб, не отвечающих установленным требованиям по санитарно-химическим показателям, на территориях Боготольского (73,3 %), Бирилюсского (63,6), Большеулуйского (55,6), Балахтинского (33,3), Ужурского (28,9), Шарыповского (28,1) и Ачинского районов (26,3), а также в г. Ачинске (36,7) при среднем по краю значении 22,9 %; по микробиологическим показателям (при среднем – 7,7 %) – в г. Ачинске и Ачинском районе, на территории Богучанского и Большеулуйского районов (36,8), а также в Ужурском (17,6) и Назаровском (13,9 %) районах.

5.2. Рекомендации по обеспечению населения бассейна качественной питьевой водой

Проблема обеспечения населения качественной питьевой водой весьма актуальна для Обь-Иртышского бассейна. С целью ее решения разработаны и приняты региональные программы «Обеспечение населения качественной питьевой водой» в Алтайском крае, Новосибирской и Омской областях и других регионах, «Чистая вода» в Республике Алтай и Кемеровской области, а также Программы развития жилищно-коммунального хозяйства и поддержки АПК.

Наиболее перспективными направлениями водохозяйственной деятельности в целях обеспечения населения качественной питьевой водой являются:

- создание системы эффективного управления сектором водоснабжения и водоотведения, в частности за счет формирования модели государственно-частного партнерства в крупных городах;
- обеспечение развития систем водоснабжения и водоотведения в средних и малых населенных пунктах путем софинансирования региональных программ федеральными инвестициями;
- разработка системы экономического стимулирования снижения удельного водопотребления и непроизводительных потерь воды при транспортировке и внедрении водосберегающих технологий;
- обеспечение защиты существующих и потенциальных источников водоснабжения, охраны и восстановления водных объектов – источников питьевого и хозяйственно-бытового снабжения.

Существенно сократить дефицит водных ресурсов для нужд питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения населения возможно только путем рационализации и комплексности их использования. В регионах, испытывающих дефицит водных ресурсов в силу природных факторов, необходимо осуществить следующие мероприятия:

- строительство водохранилищ питьевого назначения, реконструкция существующих водохозяйственных систем с целью повышения их водоотдачи;
- проведение поисковых работ, постановка на государственный учет и вовлечение в хозяйственный оборот запасов пресных подземных вод;
- строительство (реконструкция) групповых водопроводов и ряд других мероприятий, направленных на повышение обеспеченности водными ресурсами.

Особенно остро данная проблема стоит для Курганской, Омской, Свердловской областей, юга Тюменской области, некоторых (степных) районов Алтайского края. В этих регионах ведутся работы по расчистке русел рек, имеющих водохозяйственное значение, очистке от донных отложений существующих и строительство новых водохранилищ, например, на Иртыше (выше г. Омска).

Устранение дефицита водных ресурсов предполагается также осуществить на основе проектных решений, основанных на достижении заданных (целевых) параметров водопользования, установленных Схемами комплексного использования и охраны (СКИОВО) рек Иртыш и Обь и их водохозяйственных балансов.

Большая роль отводится охране (обеспечению защиты) существующих и потенциальных источников водоснабжения, а также их восстановлению путем создания и поддержания в надлежащем состоянии ЗСО и водоохраных зон, усиления ответственности собственников скважин за соблюдением режимов эксплуатации и охраны подземных вод, проведения противоэрозионных мероприятий на землях сельскохозяйственного назначения и др.

Одной из мер по улучшению ситуации с обеспечением населения качественной питьевой водой может быть производство бутилированной воды. В Европе потребление бутилированной воды в год составляет более 100 л на человека, в США – около 50, в Канаде – более 20 л., а в России – лишь несколько литров. В Сибирском федеральном округе только 1 % на-

селения использует бутилированную воду для бытовых нужд и приготовления пищи [Дмитраш, 2008].

С учетом существующих реалий питьевое водоснабжение населения Сибири будет базироваться на традиционной схеме водоподготовки с привлечением новых технологий для обеспечения качества питьевой воды в соответствии с санитарно-гигиеническими и эпидемиологическими нормативами. Для обеспечения населения питьевой водой нормативного качества могут быть реализованы три модели:

- централизованная водоподготовка и подача воды населению, что требует высокотехнологичных решений очистки и подготовки воды на предприятиях «Водоканал» разного уровня и замены до 70 % водопроводных сетей;
- локальная очистка и подача качественной питьевой воды в рамках небольших населенных пунктов, микрорайонов или товариществ собственников жилья (ТСЖ);
- автономная водоочистка для жителей одного дома, квартиры.

Разновидностью третьей модели является переход на бутилированную воду или внедрение принципа «два крана». Последняя наиболее применима в урбанизированных регионах Кемеровской, Свердловской и Челябинской областей, уже сегодня испытывающих дефицит качественных питьевых вод. Выбор модели зависит от конкретных региональных особенностей – наличия водных ресурсов определенного качества, экономических и финансовых возможностей ее реализации.

5.3. Институциональные аспекты устойчивого водопользования в трансграничном бассейне Иртыша

Для трансграничных водных бассейнов, отдельные части которых находятся в пределах разных государств, проводящих собственную политику использования водных ресурсов и решающих свои стратегические задачи, институциональный фактор имеет важнейшее значение. Решение проблем водопользования реализуется через систему международных договоров, конвенций, соглашений; на национальном уровне – через конструирование форм ответственности на природные ресурсы и их разграничение между субъектами хозяйствования.

В СНГ вопросы трансграничного сотрудничества в области водопользования активно обсуждались с момента его создания, и в 1998 г. было достигнуто Соглашение об основных принципах взаимодействия в области рационального использования и охраны трансграничных водных объектов. Однако до сих пор на южных границах России остаются нерешенными проблемы использования водных ресурсов и правового регулирования количественных параметров их извлечения приграничными субъектами, а также связанные с ними аспекты управления экологическими рисками. Решение названных задач затрудняется различными причинами, в том числе несоответствием действующего на территории стран содружества водного законодательства и возникающей из-за этого сложностью проведения скоординированных межгосударственных мероприятий по управлению и охране трансграничных водных ресурсов.

Для усиления действенности политики в области водопользования на XXVII пленарном заседании Межпарламентской ассамблеи государств-участников СНГ (Азербайджан,

Армения, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан, Молдова, Россия, Таджикистан, Украина) принят «Модельный Водный кодекс» (Постановление № 27–10 от 16 ноября 2006 г.), согласно которому государства-участники устанавливают единые правовые основы и подходы в области водной политики и обеспечения устойчивого водопользования в рамках трансграничных бассейнов, с целью улучшения качества поверхностных вод в интересах населения и развития экономики государства, сохранения водных экосистем, а также предотвращения либо ослабления негативного воздействия трансграничных вод.

Иртыш как трансграничный водный объект начинается в горах Алтая в границах Монголии и пересекает территории трех государств – Китая, Казахстана и России. Он является важнейшим источником пресной воды не только для Восточного, но и Центрального Казахстана, обеспечивая питьевой водой по каналу Иртыш – Караганда население городов Астана, Караганда, Семипалатинск, Павлодар, Экибастуз, Темиртау, а также сельское хозяйство региона. На территории РФ Иртыш обеспечивает практически полностью водоснабжение Омской и частично Тюменской областей, а его притоки (Ишим, Тобол и др.) покрывают большую часть потребностей в водных ресурсах Курганской, Челябинской и Свердловской областей. За последние 30 лет, согласно экспертным оценкам, сток Иртыша значительно уменьшился, что усугубляется современными условиями водопользования [Винокуров, Чибилев и др., 2010].

Существующие проблемы водопользования в трансграничном бассейне Иртыша связаны с его высокой зарегулированностью на территории Казахстана (три крупных водохранилища и ГЭС – Усть-Каменогорская, Бухтарминская и Шульбинская; Лениногорский каскад малых ГЭС, канал Иртыш – Караганда и другие менее значимые ГТС), а также растущим изъятием водных ресурсов в верхней части бассейна (с 1,0–1,5 км³/год до 4,0–5,0 км³/год в перспективе из р. Кара-Иртыш на территории КНР через канал Иртыш–Карамай [Жоламанова, 2007]), высоким уровнем загрязнения речных вод тяжелыми металлами и нефтепродуктами функционирующими в верховьях Иртыша предприятиями горно-металлургического комплекса и теплоэнергетики Казахстана. Вызывают серьезные опасения и вероятность техногенных катастроф, прежде всего, в результате отсутствия должного контроля на территории Казахстана за техническим состоянием ГТС, переданных в концессию зарубежным инвесторам. Для российской стороны важно решить вопросы водоснабжения г. Омска и других промышленных городов, расположенных в бассейнах Иртыша, Ишима, Тобола.

Для решения проблем рационализации использования трансграничных водных ресурсов бассейна р. Иртыш необходима разработка стратегии интегрированного управления трансграничным речным бассейном и программы ее реализации под патронажем Международного Бассейнового Совета.

5.4. Рекомендации по совершенствованию системы мониторинга водных ресурсов

Уровень обеспеченности гидрометеорологической информацией в Обь-Иртышском бассейне зависит от охвата его территории сетью метеорологических станций и гидропостов. Бассейн находится в зоне ответственности четырех управлений гидрометеослужбы (УГМС): Западно-Сибирское УГМС (включает Томскую, Кемеровскую и Новосибирскую области, а также Алтайский край, Республику Алтай); Омское (преобразован в Обь-Иртышское) УГМС

(охватывает Омскую и Тюменскую области, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский АО); Уральское УГМС (включат Свердловскую, Челябинскую и Курганскую области); Среднесибирское УГМС (Красноярский край и Республика Хакасия).

Гидрологическая изученность. Сеть водомерных наблюдений на реках и озерах в бассейне Оби и Иртыша, действующих или когда-либо действовавших, состоит из 750 постов, в том числе в бассейне Оби – 460, в бессточной области Обь-Иртышского междуречья – 32 поста (рис. 5.4.1). Подавляющее большинство постов – речные, озерных – всего 32. Наблюдения организованы на водотоках от элементарно малых (с площадью 0,2–15 км²) до бассейнов размером более 2 млн км². По последним данным, в Обь-Иртышском бассейне действующими являются 402 гидрологических поста.

Метеорологические наблюдения проводятся на 66 гидрометстанциях в бассейне Иртыша, 155 – в бассейне Оби и 29 – в бессточных районах. Кроме того, температура воздуха и выпадающие осадки ежедневно измеряются почти на всех водомерных постах.

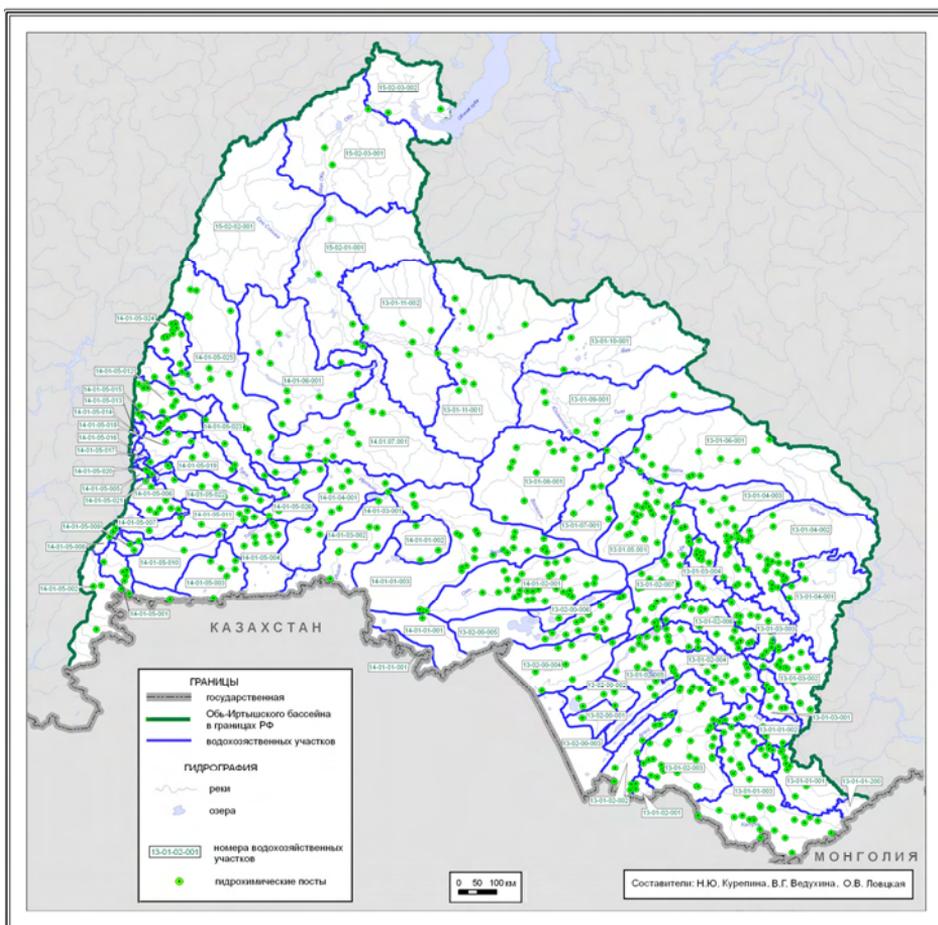


Рис. 5.4.1. Схема гидрологической изученности бассейна Оби и Иртыша (в пределах России) [Отчет о выполнении..., 2008]

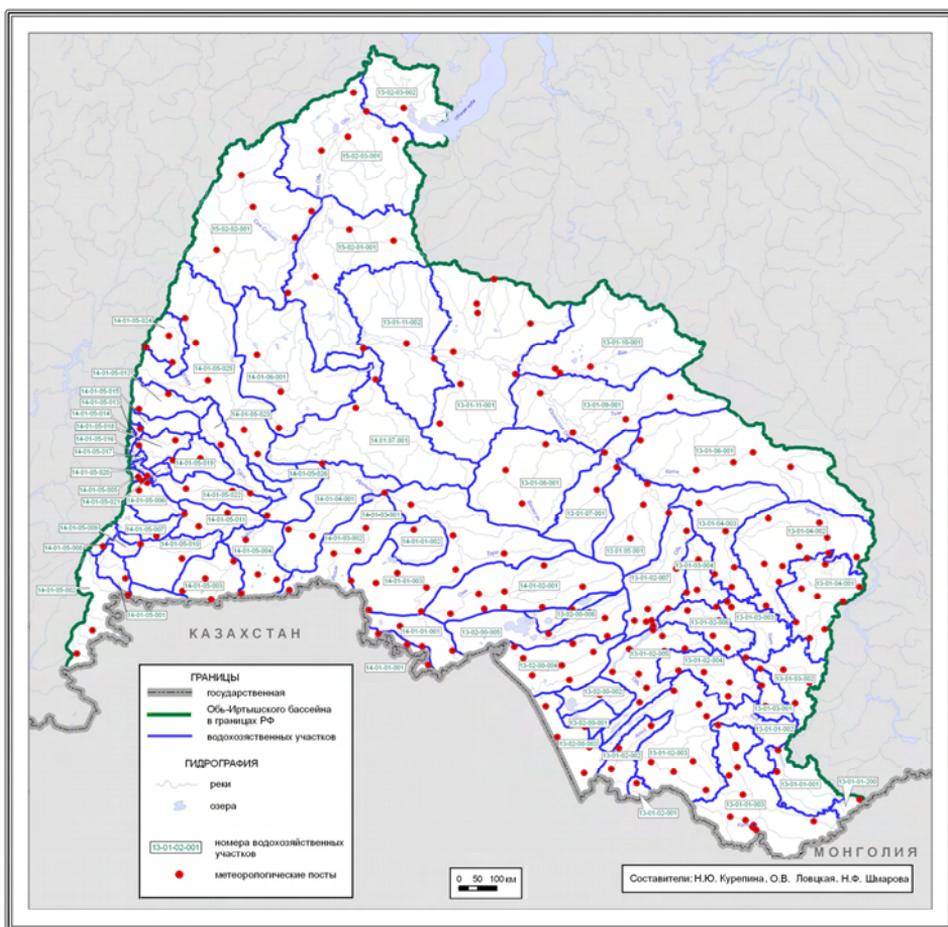


Рис. 5.4.2. Схема метеорологической изученности бассейна Оби и Иртыша (в пределах России) [Отчет о выполнении..., 2008]

На большей части территории Обь-Иртышского междуречья, отличающейся значительной заболоченностью, сеть метеорологических станций и постов очень редка. Севернее 66° с.ш. регулярные гидрометеорологические наблюдения практически не проводятся, за исключением сети «вековых» станций, расположенных в районе Обской губы (рис. 5.4.2).

Гидрохимическая изученность. Химический состав поверхностных вод в бассейне Верхней Оби изучается на 20 реках, в среднем и нижнем течении Оби и Иртыша – на 24 реках. До 1995 г. гидрохимическая сеть наблюдения насчитывала свыше 300 створов. В настоящее время общее число гидрохимических постов сократилось до 248, из них постоянно действующими являются 193 створа и временно закрытыми или не работающими – 55 створов (рис. 5.4.3). Наибольшее число гидрохимических показателей (до 25) определяется в створах, расположенных вблизи крупных промышленных городов и населенных пунктов. Наименьшая информационная обеспеченность по числу как определяемых показателей, так и отборов проб в течение года приходится на удаленные и труднодоступные участки изучаемого водосборного бассейна. Вместе с тем, качество и достоверность некоторых результатов определения биогенных элементов, общих показателей содержания органического вещества и тяжелых металлов могут быть

подвержены сомнению. Анализ доступных исходных данных показал, что для удаленных створов повсеместно, а для других створов в некоторых случаях анализ проб проводился спустя 10 дней и более (до 2-х мес.) после их отбора.

Если при определении минерального состава (кроме гидрокарбонат-ионов) такой промежуток времени между отбором и анализом пробы нежелателен, но возможен, то для тяжелых металлов, биогенных элементов и органических соединений подобная ситуация категорически недопустима. В случае длительного хранения проб биогенные элементы и органические соединения претерпевают трансформацию их форм нахождения в воде. Тяжелые металлы при отсутствии консервации частично или полностью сорбируются на стенках сосудов, может также происходить перераспределение растворенных и взвешенных форм металлов, если не проводилось фильтрование отобранных проб на месте отбора. Для тяжелых металлов длительное хранение (от 10 дней до 1 мес. в зависимости от металла) возможно только в случае фильтрования проб на месте отбора с последующей консервацией фильтрата [ПНД Ф 14.1:2:4.139–98; ПНД Ф 14.1:2:4.140–98].

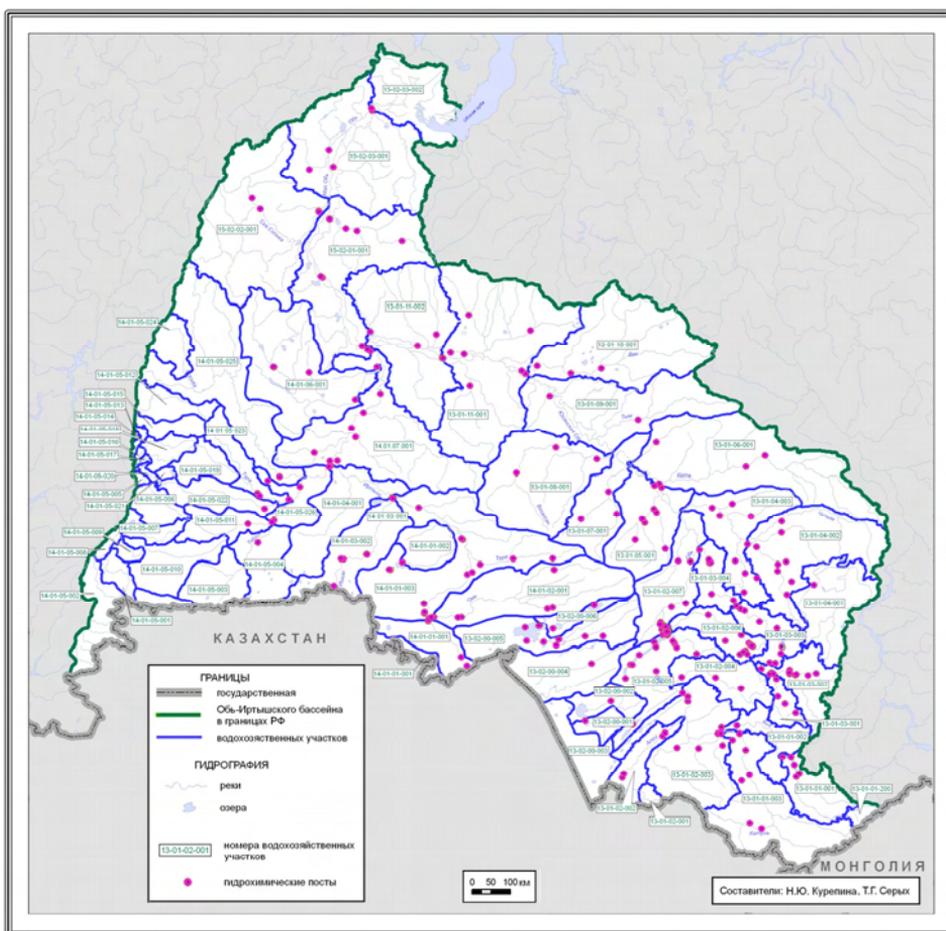


Рис. 5.4.3. Схема гидрохимической изученности Обь-Иртышского бассейна (основные гидрохимические посты Западно-Сибирского и Обь-Иртышского УГМС)

Гидробиологическая изученность. Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды регулярные гидробиологические наблюдения за состоянием водных объектов в зоне действия Верхне-Обского БВУ до 2006 г. проводились только на четырех водохозяйственных участках (13.01.03.004, 13.01.02.005, 13.01.02.006 и 13.01.02.007). В 10 точках исследования использовали методы биоиндикации, в 11 – методы биотестирования и лишь в 4-х точках применялись оба метода. С 2006 г. программа мониторинга усечена и не включает биоиндикационные методы.

В настоящее время оценка экологического состояния водных объектов по гидробиологическим показателям затруднена по ряду причин: нехватка специалистов, изучающие отдельные группы гидробионтов, отсутствие многолетнего ряда наблюдений по большинству водных объектов, значительная амплитуда сезонной динамики гидробиологических показателей, а также отсутствие методической базы для адаптации и верификации биоиндикационных методов, разработанных и утвержденных для европейской части России.

Таким образом, обеспеченность территории Обь-Иртышского бассейна гидрометеорологической информацией крайне недостаточна. Анализ размещения наблюдательных постов показывает, что существующая система мониторинга лишь на отдельных водохозяйственных участках соответствует минимально необходимому количеству постов (Р 52.24.309–2004). Природно-экологические особенности и социально-экономическая значимость отдельных водных объектов (например, потенциально опасных по паводку или заторно-зажорным явлениям) не учитываются, в связи с чем имеющийся список постов должен быть значительно расширен (табл. 5.5.1). При этом ряд имеющихся пунктов наблюдений целесообразно, на наш взгляд, переместить или даже закрыть.

Таблица 5.5.1

Фактическое и минимально необходимое количество пунктов наблюдения в бассейне рек Обь и Иртыш

Субъект федерации	Действующие	Необходимо
	<i>Западно-Сибирское УГМС</i>	
Алтайский край	19	33
Республика Алтай	9	15
Кемеровская область	8	60
Новосибирская область	28	40
Томская область	51	32
	<i>Обь-Иртышское УГМС</i>	
Омская область	33	37
Тюменская область	16	74
ХМАО	32	70
ЯНАО	49	38
	<i>Уральское УГМС</i>	
Курганская область	20	23
Свердловская область	16	89
Челябинская область	23	29
	<i>Среднесибирское УГМС</i>	
Республика Хакасия	25	19
Красноярский край	7	13
<i>Итого</i>	336	572

Кроме того, анализ видов наблюдений, проводимых действующими постами, показал их практически повсеместную недостаточность. Крайне бедна сеть станций, выполняющих гидрохимические наблюдения, как правило, они ограничиваются малым набором контролируемых показателей и устаревшими методиками химического анализа. Необходимо дополнение программы экологического мониторинга биологическими методами (биоиндикации и биотестирования), что особенно важно для участков водных объектов, находящихся под влиянием крупных промышленных центров и промышленных предприятий. Интегральность биологических показателей дает возможность для обоснованного выбора фоновых участков с целью разработки нормативов допустимого вредного воздействия на их экосистемы.

Основные пути совершенствования и развития системы мониторинга представляются следующими¹:

- повышение технологического уровня государственной наблюдательной сети, предполагающее внедрение автоматизированных полипараметрических измерительно-информационных комплексов, современных беспроводных коммуникаций, новых информационных технологий обработки и анализа данных с постов наблюдательной сети, а также методов дистанционного мониторинга;
- обеспечение в соответствии с требованиями международных стандартов сетевых подразделений Росгидромета передвижными гидрохимическими лабораториями, плавсредствами;
- развитие пунктов государственной наблюдательной сети, включая открытие новых, возобновление работ во временно нефункционирующих и закрытых пунктах наблюдений, совершенствование программ наблюдений, восстановление периодичности отбора проб до нормативного уровня;
- проведение токсикологического (биологического) мониторинга, предваряющего химический, особенно в регионах с интенсивным антропогенным воздействием;
- создание на основе ГИС-технологий унифицированных автоматизированных систем обработки, обобщения и представления данных о состоянии и загрязненности поверхностных водных объектов;
- расширение доступности информации о результатах государственного мониторинга водных объектов в Интернете, в том числе в понятных для населения формах.

Гарантиями высокого качества гидрохимической информации являются¹:

- правильный выбор приоритетных показателей, подлежащих определению;
- отбор представительных проб воды;
- использование аттестованных методик выполнения измерений (МВИ);
- соблюдение условий выполнения пробоподготовки и анализа, регламентированных МВИ, оформленных по ГОСТ 8.863 или другим нормативным документам;
- внутрилабораторный контроль качества результатов (ВЛК);
- внутрилабораторный контроль сбора, обработки и представления гидрохимической информации;
- участие в межлабораторных сравнительных испытаниях МВИ.

¹ На основе предложений А.М. Никонорова (2010)

5.5. Решение проблем водопользования программными методами¹

В настоящее время проблемы водопользования, которые являются актуальными практически во всех регионах Российской Федерации, занимают важное место в стратегических и программных документах национального, регионального и муниципального развития. Основными документами, направленными на их решение, призваны стать региональные программы «Обеспечение населения питьевой водой» и «Чистая вода», отраслевые в рамках деятельности ФАВР, а также программы развития села, модернизации объектов ЖКХ и др.

Однако эти документы не всегда вписываются в стратегии и учитывают только основные векторы социально-экономического развития регионов, чаще всего не согласованы между собой по срокам и этапам решения, исполнителям и бюджетным ресурсам. Водохозяйственные задачи ставятся, как правило, в отрыве от общих стратегических направлений регионального развития и/или одни и те же мероприятия переходят из одной программы в другую, не получая должного финансового обеспечения. Кроме того, следует отметить краткосрочность действия региональных программ, отсутствие их взаимосвязи и преемственности в реализации. Например, в большинстве регионов Обь-Иртышского бассейна программы обеспечения населения качественной питьевой водой разработаны на 2008–2010 гг.; срок их действия закончился, поэтому требуется их пролонгация либо разработка новых программ (табл. 5.5.1).

В регионах, расположенных в зоне ответственности Верхне-Обского БВУ, в рамках приоритетных направлений Водной стратегии предусмотрена реализация конкретных мероприятий со следующим объемом финансирования (табл. 5.5.2). Основные источники – средства федерального бюджета, субъектов РФ, местных бюджетов, водопользователей и другие.

В рамках обозначенных выше программ для гарантированного обеспечения населения и отраслей экономики водными ресурсами (первое направление Водной стратегии РФ) планируется: поиск и вовлечение в хозяйственный оборот новых источников водоснабжения (включая подземные); строительство и реконструкция водозаборных и водоочистных сооружений, водопроводных сетей; строительство и реконструкция систем водоотведения; обеспечение населения бутилированной водой.

Таблица 5.5.1

Сроки реализации программ регионов Верхней Оби, направленных на решение проблем водопользования, годы

Программы	Республика Алтай	Алтайский край	Кемеровская область	Новосибирская область	Томская область
По обеспечению населения питьевой водой («Чистая вода»)	2010–2012	2008–2010	2008–2011	2008–2012	2005–2011
По модернизации объектов ЖКХ	2003–2010	2007–2010	2008–2010	2011–2013	2006–2010
Направленные на развитие села	2009–2012	2003–2010	2008–2012	2008–2011	2004–2012
Работ Федерального агентства водных ресурсов	2010–2020	2010–2020	2010–2020	2010–2020	2010–2020

¹ Раздел содержит основные программные положения и направления, дальнейшая детализация которых требует специальных дополнительных работ на уровне административных районов.

**Объемы финансирования по основным направлениям деятельности
в регионах Верхней Оби, млн руб.**

Основные направления	Республика Алтай	Алтайский край	Кемеровская область	Новосибирская область	Томская Область	Итого*
Гарантированное обеспечение населения и отраслей экономики водными ресурсами	2020,8	4974,2	6039,0	2208,4	5023,0	<u>20265,4</u> 55,1
Охрана и восстановление водных объектов	11,1	246,3	60,7	23,7	176,0	<u>517,8</u> 1,4
Обеспечение защищенности от негативного воздействия вод	981,5	2291,8	6340,1	3376,6	2922,8	<u>15912,8</u> 43,3
Внедрение эффективного механизма рационального водопользования	1,4	–	61,0	–	2,6	<u>65,0</u> 0,2
<i>Всего</i>	3014,8	7512,3	12500,8	5608,7	8124,4	36761,0

Примечание: в числителе – млн руб., в знаменателе – доля от общего объема, %.

На решение задач в области охраны и восстановления водных объектов (второе направление) будут осуществлены мероприятия по инвентаризации водоемов и источников их загрязнения, предотвращению загрязнения и истощения водных объектов, мониторингу их состояния, проектированию водоохраных зон и прибрежных защитных полос, расчистке прибрежных территорий, русел рек и котловин озер, родников.

Для обеспечения защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод, обеспечения безопасности водохозяйственных сооружений (третье направление) предусмотрены строительство и ремонт ГТС, берегоукрепление, спрямление и углубление русел рек, предупредительные обследования и ледорезные работы, установка и модернизация гидропостов с целью предотвращения ЧС.

В разделе «Внедрение эффективного механизма рационального водопользования» (четвертое направление) предусмотрены мероприятия организационно-хозяйственного и научно-исследовательского характера, направленные на рационализацию использования водных ресурсов, внедрение водосберегающих технологий.

Анализ разработанных в регионах программных документов показал, что в настоящее время наибольшее внимание в них уделяется первому и третьему направлениям. В программе деятельности Федерального агентства водных ресурсов (ФА ВР) и его территориальных структурных подразделений включены главным образом мероприятия, направленные на обеспечение защищенности населения и объектов экономики от негативного воздействия вод, а также безопасности водохозяйственных сооружений. Второму и четвертому направлениям уделяется недостаточное внимание.

Перечень мероприятий программных документов напрямую зависит от природной обеспеченности территории водными ресурсами, уровня социально-экономического развития региона, степени антропогенной нагрузки на водные объекты, остроты проявления водно-экологических проблем. Так в регионах со значительной долей степных территорий (Алтайский край и Новосибирская область) большое внимание уделяется работам по строительству артезианских скважин, в индустриально развитой Кемеровской области с менее благоприятной экологической обстановкой предусматриваются мероприятия по обеспечению на-

селения бутилированной водой, приобретению снегоплавильных установок для предотвращения загрязнения водных объектов.

Сложность и многоаспектность проблем водопользования требует системного подхода и применения совокупности программных методов их решения – разработки научнообоснованной, регионально адаптированной программы устойчивого, экологически безопасного и экономически эффективного водопользования.

Программа обеспечения устойчивого водопользования в регионах Обь-Иртышского бассейна базируется на Конституции РФ, Водном кодексе РФ, федеральных законах и иных нормативных правовых актах, Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г. (далее – Концепция–2020), Водной стратегии РФ на период до 2020 года (далее – Водная стратегия), Стратегии социально-экономического развития Сибири до 2020 г. (далее – Стратегия Сибири), международных договорах РФ в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов, других документах стратегического планирования федерального и регионального уровня.

Цель данной программы – определение путей и способов обеспечения в долгосрочной перспективе (до 2020 г.) устойчивого водопользования. Приоритетные направления по достижению поставленной стратегической цели программы определены в Концепции–2020 и Водной стратегии РФ до 2020 г.

1. Гарантированное обеспечение населения и отраслей экономики водными ресурсами предусматривает решение следующих задач:

- *повышение рациональности использования водных ресурсов* – сокращение удельного водопотребления, непроизводительных потерь воды и внедрение водосберегающих технологий;
- *ликвидация дефицита водных ресурсов* – поиск, разведка, постановка на госучет и вовлечение в хозяйственный оборот запасов пресных подземных вод для создания альтернативных источников водоснабжения; строительство водохранилищ питьевого назначения, реконструкция существующих водохозяйственных систем с целью повышения их водоотдачи, а также строительство групповых водопроводов и другие мероприятия, направленные на повышение обеспеченности водными ресурсами;
- *обеспечение населения бассейна качественной питьевой водой* – реконструкция, модернизация и новое строительство водопроводных и канализационных сооружений, в том числе использование наиболее безопасных и эффективных реагентов для очистки воды, внедрение наилучших достигнутых технологий водоподготовки и водоочистки; развитие нормативно-правовой базы и хозяйственного механизма водопользования, стимулирующего экономию воды и направленного на повышение ответственности водопользователей (производителей (собственников) питьевой воды), осуществляющих добычу, подготовку, транспортировку питьевой воды надлежащего качества и обеспечивающих надежную эксплуатацию систем питьевого водоснабжения; формирование на бассейновом и региональном уровнях системы государственных обязательств в области обеспечения безопасности и достаточности питьевой воды, бесперебойности водоснабжения.

Диапазон прогнозируемых значений потребности в водных ресурсах в Обь-Иртышском бассейне, с учетом сценариев развития и темпов роста экономики, предусмотренных в Концепции развития РФ, Стратегии Сибири и ее регионов к 2020 г., с большой вероятностью останется на уровне докризисного 2008 г. и составит 9,6–10,0 км³.

Рост валового производства будет обеспечиваться снижением потерь при транспортировке более чем на 50 % (при сохранении тенденций за 2005–2008 гг. в пределах 2,5–3,0 % в год) и сокращением водоемкости ВРП в 1,4–1,5 раза с учетом макроэкономических показателей Стратегии Сибири (рост ВРП к 2021 г. в 1,6 раза по сравнению с 2008 г.).

2. Для охраны и восстановления водных объектов необходимо решение таких первоочередных задач, как:

- *снижение антропогенной нагрузки* – разработка и применение нормативов допустимого воздействия на водные объекты с учетом региональных особенностей, индивидуальных характеристик и целей использования водных объектов; внедрение систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, новых технологий очистки сточных вод; разработка методов оценки объемов и степени негативного влияния рассредоточенного (диффузного) стока с хозяйственно освоенных территорий; обустройство зон и округов санитарной охраны водных объектов и соблюдение их режима; реализация комплекса организационно-технических мероприятий по предупреждению, предотвращению, ограничению и сокращению трансграничного воздействия; внедрение действенных механизмов экономического стимулирования по сокращению антропогенной нагрузки на водные объекты;
- *охрана подземных вод* – проведение комплекса мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности водозаборов подземных вод и ликвидации бесхозных скважин; предотвращение загрязнения почвогрунтов сбросами и выбросами загрязняющих веществ от объектов экономики и населения, радиационного загрязнения;
- *реабилитация водных объектов и ликвидация накопленного экологического вреда* – разработка и реализация программ восстановления водных объектов (особенно малых рек) на территориях с неблагоприятной водно-экологической обстановкой; разработка и реализация программ реабилитации водных объектов, утративших способность к самоочищению для ликвидации накопленного экологического вреда.

В качестве целевых показателей данного направления следует рассматривать полное обеспечение разработки и вынесения на местность проектов водоохраных, прибрежных и санитарно-защитных зон всех водных объектов, имеющих питьевое и рыбохозяйственное значение, а также обеспечение высокого экологического статуса; инвентаризацию и мониторинг всех источников подземного водоснабжения; ликвидацию (тампонаж) бесхозных неиспользуемых скважин.

3. *Обеспечение защищенности населения и объектов экономики от наводнений и иного негативного воздействия вод* включает снижение рисков и минимизацию ущербов от негативного воздействия вод, обеспечение надежности гидротехнических сооружений, регулирование и регламентацию хозяйственного использования территорий, подверженных периодическому затоплению и воздействию других опасных гидрологических явлений, развитие технологий мониторинга опасных гидрологических явлений. Особое внимание нужно уде-

лить созданию ГИС информационно-прогностического типа, обеспечивающую принимающих решения лиц необходимой оперативной и прогнозной информацией по регулированию режимов водохранилищ, управлению инженерными сооружениями и иных мер, направленных на предупреждение и смягчение последствий наводнений и других водохозяйственных ситуаций; по разработке и внедрению регламента хозяйственной деятельности, например, на территориях, расположенных в нижних бьефах гидроузлов, предусматривая законодательное определение паводкоопасных территорий как земель с особыми условиями использования в интересах градостроительной деятельности.

Важная роль в обеспечении устойчивого водопользования отводится *совершенствованию системы управления*, которое предлагается в качестве самостоятельного направления программы обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса Обь-Иртышского бассейна. К основным задачам в этой области относятся: развитие принципов интегрированного управления водными ресурсами; установление государственно-частного партнерства и сотрудничества по совместному использованию и охране трансграничных водотоков; оптимизация структуры органов управления ВХК; выработка эффективных рычагов и механизмов регулирования инвестиционного процесса и обеспечения устойчивого финансирования водохозяйственных и водоохраных программ и мероприятий; развитие информационного, нормативно-правового и научно-технического обеспечения всей деятельности.

Наполнить данные направления конкретными мероприятиями предлагается в соответствии с приведенным выше анализом природных особенностей территорий Обь-Иртышского бассейна, в том числе с учетом целевых показателей водно-ресурсного потенциала и экологического состояния водных объектов. Основой планируемых мероприятий должны стать научные представления о таких природных особенностях территорий и водных объектов, как их уязвимость и способность к самоочищению, гидрохимические и гидробиологические характеристики качества. Предложенные выше целевые показатели качества вод позволят учесть зонально-обусловленное разнообразие природных вод Обь-Иртышского бассейна, для которых, на наш взгляд, неправомерно применять единые критерии оценки их водно-ресурсного и экологического состояния. Формализацию программных задач и их наполнение конкретными мероприятиями также следует осуществлять в зависимости от целевого использования водных объектов и уровня антропогенных нагрузок.

Для территорий с преобладанием вод I и II типа качества, приуроченных к водным объектам высокогорно-таежной, горно-тундровой и нивально-гляциальной, равнинной тундровой и лесотундровой зон, первоочередными должны стать мероприятия по соблюдению режима водоохраных зон водных объектов; совершенствованию административно-хозяйственных и правовых методов охраны водных объектов и реализации других мероприятий, связанных с поддержанием качества вод, полноценной очисткой стоков хозяйствующих субъектов, расположенных в верховьях рек – в зоне особой водно-экологической ответственности и важного стокоформирующего значения.

Территория распространения III типа вод включает горно-таежную зону Алтая, Салаира и Кузнецкого Алатау. Водные объекты представлены здесь в основном малыми реками с низким и средним уровнями антропогенной нагрузки. Требуется мероприятия по расчистке русел рек, установлению водоохраных зон и прибрежных защитных полос; обустройству родников, которые являются источниками питьевого водоснабжения (особенно в пределах

Кемеровской области); развитию, в том числе модернизации существующих систем коммунальной инфраструктуры; совершенствованию систем водоподготовки и водоотведения.

Водные объекты, отнесенные к IV типу вод, расположены в пределах значительной по площади зоны тайги (в частности, в Томской области). В связи с природной спецификой и очаговым освоением региона требуются мероприятия по специальной водоподготовке, очистке вод от железа, марганца для использования в питьевых целях; строительству новых и реконструкция существующих очистных сооружений; сравнительной оценке экономической целесообразности водоподготавливающих процессов (в случае высоких затрат и неэффективности современных технологий водоподготовки возможен завоз бутилированной воды).

Территории с V типом вод, приуроченные к лесостепной зоне – это самые высоко освоенные и антропогенно нагруженные в бассейне. Здесь требуются такие мероприятия, как устранение высокой степени износа систем водоснабжения; замена и внедрение новых технологий водоподготовки и водоочистки; усиление контроля за экологическим состоянием водных объектов, расширение сети мониторинга, в том числе по гидробиологическим показателям; разработка и внедрение норм допустимого воздействия на водные объекты (в зависимости от объемов и лимитов забора и сброса сточных вод, самоочищающей способности экосистем); внедрение водосберегающих технологий, в том числе систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, установки приборов учета; совершенствование законодательной базы в области водных отношений в регионах с учетом вида использования объекта и др.

Современное экологическое состояние водных объектов VI типа вод, приуроченных к степной и горно-степной природным зонам, требует проведения следующих мероприятий: поиск и разведка месторождений подземных вод, установка и соблюдение режима санитарно-защитной охраны скважин; улучшение работы систем водоподготовки с целью снижения минерализации и жесткости вод; разграничение водных объектов по видам использования с последующим формированием групп-аналогов для разработки и применения экологически обоснованных норм водопользования; жесткая экономия воды и установка приборов учета; развитие систем коммунальной инфраструктуры, в том числе строительство и реконструкция групповых водопроводов.

Территории с преобладанием VII типа вод соответствуют бессточной области Обь-Иртышского бассейна. Здесь требуется решение водохозяйственных проблем путем проведения специфических мероприятий. Среди них – привлечение ресурсов поверхностных вод других речных бассейнов, переброска речного стока для целей орошения, ограничение использования подземных вод на ирригационные цели; улучшение систем водоподготовки; развитие коммунальной инфраструктуры; строительство групповых водопроводов на питьевые нужды; восстановление рекреационно значимых водоемов; охрана водных объектов, имеющих важное средоформирующее и экологическое значение (например, водно-болотные угодья).

6. Информационно-моделирующие комплексы и системы поддержки принятия решений для задач интегрированного управления водными ресурсами

Системы поддержки принятия решений по управлению водными объектами базируются на общих принципах теории управления организационно-техническими системами. Особенности этих систем для управления водными ресурсами связаны с пространственным распределением водных и водохозяйственных объектов, множественными связями и отношениями между процессами и явлениями природной среды. СППР по управлению водными ресурсами должна обеспечивать:

- хранение, аккумуляцию, корректировку имеющейся информации о состоянии рассматриваемых водных объектов, в том числе натуральных измерений прошлых лет и текущего мониторинга, топографических данных, справочно-информационных материалов и так далее;
- возможность прогнозирования изменения состояния исследуемой водной системы в целом и отдельных составляющих ее экосистем при тех или иных сценариях внешнего (в том числе антропогенного) воздействия на нее;
- хранение и пополнение экспертной информации о системе;
- получение информации в удобном для пользователя виде;
- предоставление оперативной информации лицам, осуществляющим подготовку и принятие решений в области управления водными ресурсами в виде конкретных рекомендаций или результатов анализа разнообразных данных, которые позволяет получить по тому или иному вопросу.

В выполненном исследовании используется следующая классификация задач управления ВР¹, связанных с:

- гидрологическими и гидродинамическими характеристиками водной системы;
- вопросами качества воды;
- экономическими и социально-экономическими аспектами водопользования;
- с управлением водоохранной деятельностью;
- управлением регулируемым водным объектом.

Методы решения вышеперечисленных задач существенно зависят от времени, отводимого на выработку соответствующих решений и их реализацию. В связи с этим принято классифицировать их по следующим временным параметрам:

- долгосрочное (стратегическое) управление;

¹ По: [Интегрированное управление..., 2001]

- оперативное (текущее) управление;
- управление в условиях чрезвычайных гидроэкологических ситуаций.

Общая структура СППР представлена на рис. 6.1.

Информационно-моделирующая система (рис. 6.1) определяется как класс информационных систем, предназначенных для аналитической обработки и преобразования больших объемов детализированных данных в обобщенную выверенную информацию, пригодную для принятия обоснованных управленческих решений. ИМС является основой СППР, ориентированных на решение вопросов долгосрочного и оперативного управления, и включает совокупность информационно-моделирующих комплексов для решения отдельных задач управления ВР. Следует отметить, что концептуальная структура информационного комплекса практически определяется спецификой предметной области и принятой выше классификацией задач.

Пакет ИМК в существенной степени зависит от специфики тех или иных задач, решаемых для объекта управления. В целом информационный комплекс представляет собой базу данных, в которой хранится вся имеющаяся информация о каждом из водных объектов в отдельности и всей системе в целом. Кроме того, здесь также содержатся справочные данные, необходимые для работы ИМК и экспертной системы. При формировании состава и структуры базы данных учитывались:

- Государственный водный реестр;
- информационная модель ГИС Росводресурсов;
- Методические указания по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов [2007].



Рис. 6.1. Укрупненная схема Системы поддержки принятия решений

Обобщить и проанализировать значительные объемы информации в условиях географической, структурной и ведомственной разобщенности ее источников практически невозможно без создания единой системообразующей основы, в качестве которой выступают проблемно-ориентированные ГИС как инструмент решения комплексных задач, требующего учета пространственного характера определяющих природных и антропогенных факторов. ГИС являются также информационным инструментом управления территориальным развитием, обеспечивающим исследователей и специалистов служб управления комплексной аналитической информацией для обоснованного и оперативного принятия управленческих решений.

Применение ГИС в области управления ВР имеет свои особенности, обусловленные спецификой рассматриваемой предметной области. Главной для большинства гидрологических задач является наличие в них временной составляющей, что оказывает существенное влияние на структуру данных и моделирующих комплексов, используемых для их решения. Вследствие этого значительный объем информации для гидрологических ГИС занимают временные ряды измеряемых и расчетных величин (расходы, уровни, метеопараметры и т.п.), относимые к конкретным пространственным точкам (створам, метеостанциям и т.п.).

В каждом ИМК выделяются информационная и моделирующая составляющие. В общем случае используемая информация для того или иного ИМК представляет собой реплику¹ базы данных ИМС и методов доступа к ней в соответствии со спецификой ИМК. Поскольку при этом внутренняя структура информационной составляющей ИМК может быть произвольной, то в системе методов доступа к ней предусмотрены конверторы форматов данных.

Структура ИМК и связанных с ним потоков данных представлена на рис. 6.2. На входе и выходе моделирующего блока данные представлены в унифицированном формате. На входе они адаптируются к формату и структуре исходных данных модели, далее попадают в рабочий цикл программы расчета и преобразуются в результаты расчета. При экспорте из моделирующего блока результаты конвертируются в унифицированный формат и могут быть использованы вне блока.

Блок экспорта данных должен поддерживать передачу:

- данных простой структуры относительно небольшого размера (значения основных переменных задачи в другие расчетные блоки);
- данных сложной структуры и большого размера (передача значений основных переменных и их комбинаций в основную базу данных или ГИС-системы).

Принятое содержание информационного блока представлено на рис. 6.3. Цифровая модель рельефа используется в гидравлических расчетах (в том числе, в расчетах зон затопления) в качестве:

- основы моделирования гидродинамики течений;
- исходных данных для расчета геометрических характеристик водотоков и водоемов.

¹ Реплика – копия базы данных для размещения на локальном компьютере с целью автономной работы пользователей с согласованными данными общего пользования. Основная идея реплицирования заключается в том, что пользователи работают автономно с общими данными, растражированными по локальным базам данных.

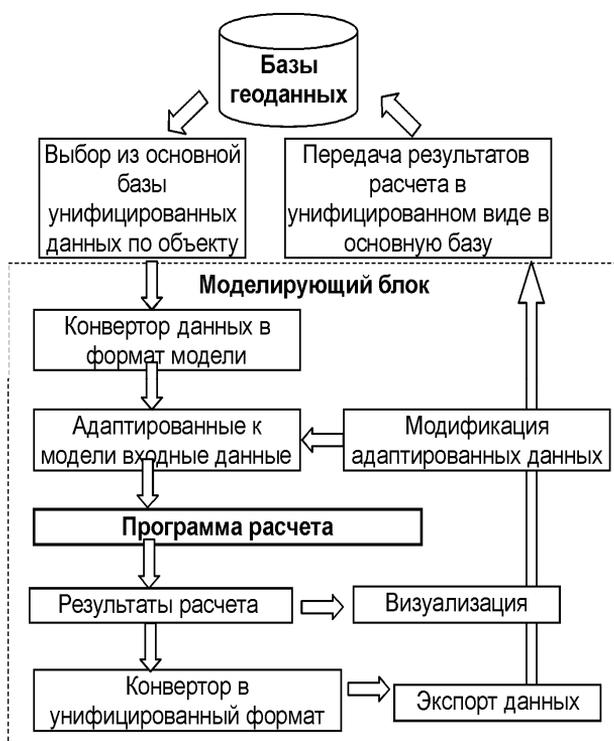


Рис. 6.2. Общая структура моделирующего блока и связанных с ним потоков данных

Под данными ГИС понимается информация о пространственных объектах, используемая для визуализации в ГИС-системах. Показатели по расходам воды в створах рассматриваются как граничные условия при моделировании течений в реках, а результаты наблюдений по метеопостам могут использоваться для оценки объема осадков (при гидрологических расчетах величины стока в речной сети), качества воды и т. д. Отметим, что формально гидросооружения могут интерпретироваться как створы гидрологических наблюдений.

База данных моделируемых объектов содержит следующую информацию о комплексных водных объектах:

- по отдельным фрагментам водных объектов (участки речной сети, водоемы, водосливы);
- группы атрибутивных данных, привязанных к фрагментам водных объектов;
- сведения о топологии сети фрагментов водных объектов.

В базах данных результатов расчета сохраняются результаты моделирования водных объектов, в том числе распределение рассчитанных переменных:

- по пространству при фиксированном значении времени;
- по времени при фиксированном значении координат.

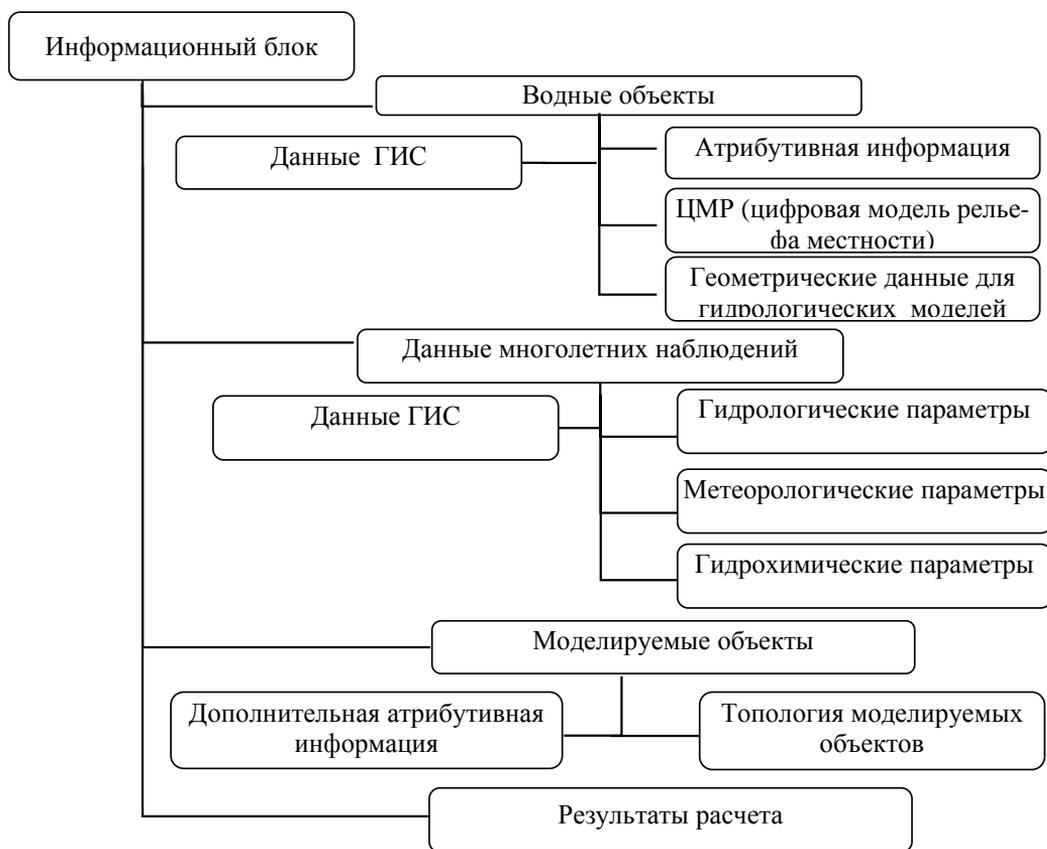


Рис. 6.3. Содержание информационного блока

Результаты выполненных расчетов отображаются в ГИС. Управляющим блоком в СППР является ГИС «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна». Блок обеспечивает интерфейс доступа пользователя к базам данных, интерфейс управления библиотекой моделирующих комплексов, интерфейс визуализации и анализа данных с целью выработки необходимых решений. Для вызова необходимого ИМК необходимо выбрать объект расчета на карте, необходимый ИМК (рис. 6.4) и произвести его запуск (рис. 6.5).

ИМК имеют специализированные интерфейсы управления и ввода-вывода данных, позволяющие (рис. 6.6 и 6.7) осуществлять:

- подготовку входных данных моделей;
- контроль хода расчета;
- вывод данных в графической или текстовой форме;
- экспорт данных.

Ниже приведены ГИС-проекты, реализованные с использованием вышеприведенных принципов построения ИМК и СППР.

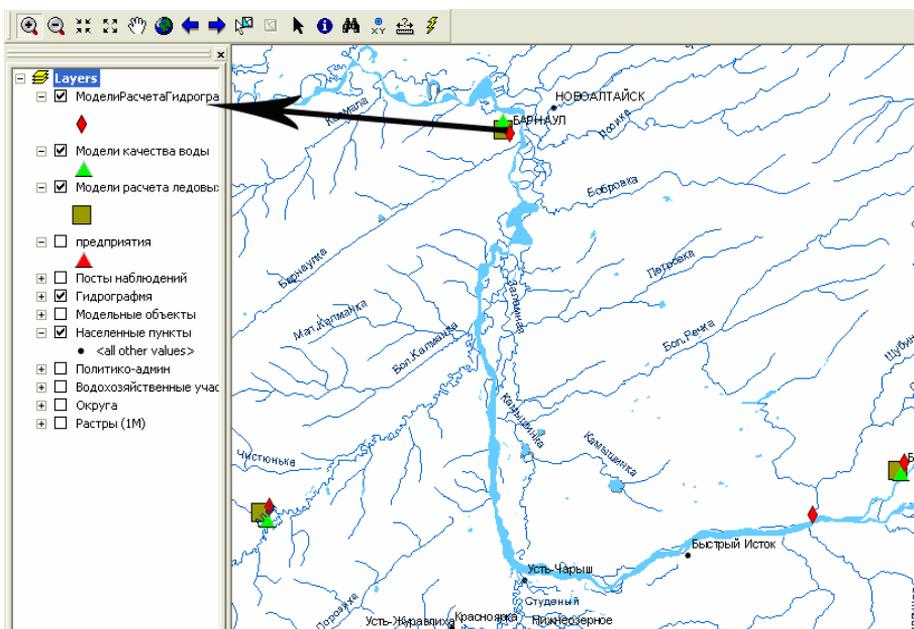


Рис.6.4. Выбор объекта расчета и ИМК

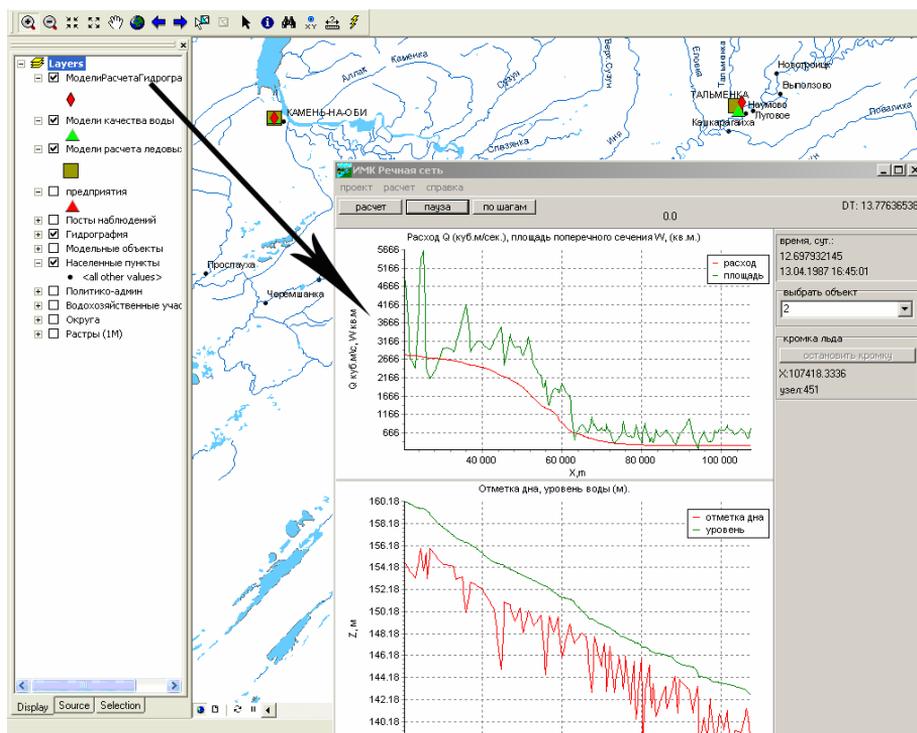


Рис. 6.5. Запуск ИМК

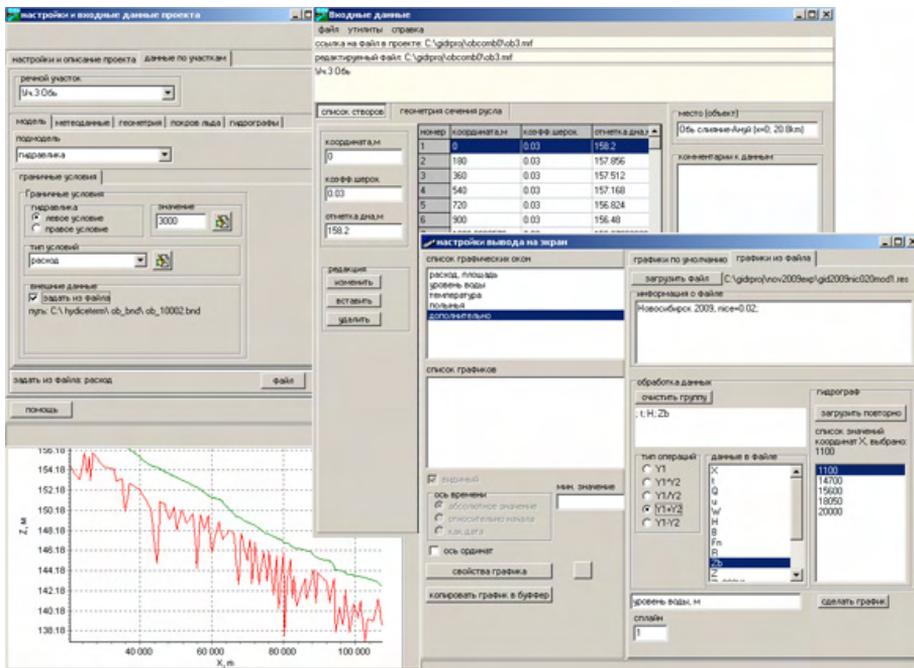


Рис. 6.6. Интерфейсы управления и ввода данных

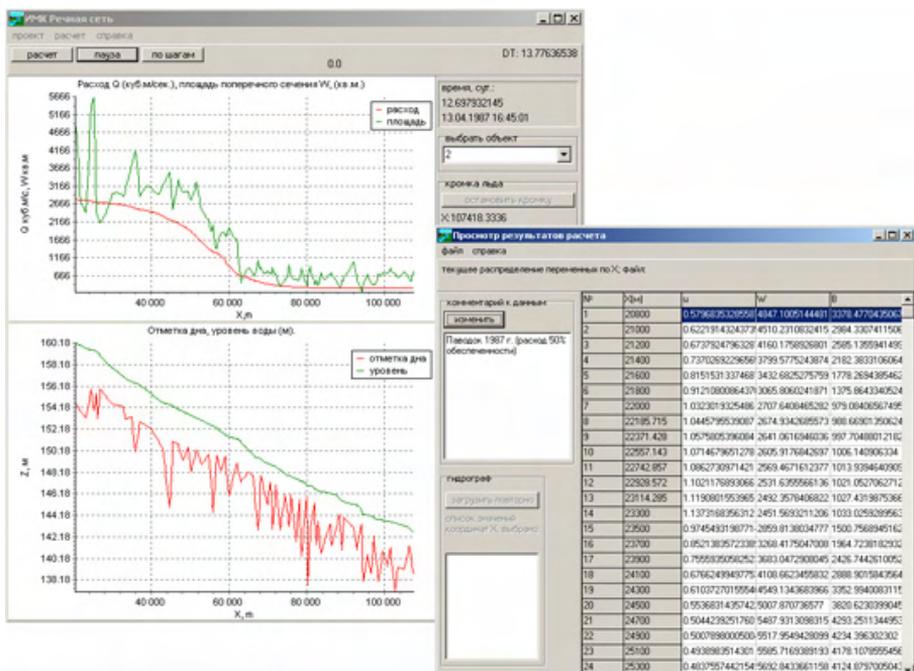


Рис. 6.7. Интерфейсы вывода данных

6.1. ГИС-проект для принятия решений при затоплении территории

Задача. Весеннее повышение уровней воды в результате половодий или их подъем вследствие летне-осенних дождевых паводков часто приводят к затоплению освоенных пойменных территорий. Научное обоснование проектов строительства защитных инженерных сооружений, эффективность мер для защиты населения от затопления во многом зависят как от своевременности прогнозов опасных уровней воды, так и точности прогнозов масштабов затопления пойменной территории при расходах малой обеспеченности. В ряде случаев для русел рек со сложной морфологической структурой оценку последствий опасных гидрологических явлений таких, как затопление или подтопление пойменных территорий, можно выполнить только с использованием ИМК на основе сложных математических моделей течений в открытых водотоках. В настоящее время для расчета течений в пространственной области до 1000 км² наиболее совершенной из практически реализуемых является плановая 2ДН-модель (в рамках приближения теории «мелкой воды»). В данном разделе представлены результаты работ по созданию ГИС-проекта для оценки последствий выбранных решений (при затоплении территории). Основой этого проекта является разработанный ИМК на основе 2ДН-модели течения.

При выборе репрезентативного модельного объекта принималось во внимание следующее. Сосредоточение населения и материальных ресурсов на пойменной территории р. Обь у г. Барнаула создает постоянную угрозу безопасности жизнедеятельности в условиях максимального стока. Поселки Затон и Ильича являются типичными примерами регулярно подтапливаемых и затапливаемых пойменных территорий Обь-Иртышского бассейна.

Негативная гидрологическая ситуация на Оби в районе г. Барнаула обусловлена характером водного режима реки как в течение года, так и в многолетних периодах. Ежегодные весенне-летние половодья и связанное с ними временное затопление прибрежных и пойменных территорий формирует частые (раз в 10–15 лет) экстремальные наводнения, имеющие каждые 30–50 лет катастрофический характер (1937 и 1969 гг.). Весеннее половодье 2010 г. с максимальным уровнем подъема воды 643 см над нулем графика водомерного поста вновь остро подняло проблему затопления п. Затон, в том числе вопросы по защите территории от наводнения, а также влияние строительства нового автомобильного моста на увеличение ущербов от прохождения волны половодья и так далее

Входные данные. Ниже на примере решения задачи о затоплении пойменных территорий у г. Барнаула рассмотрим необходимые исходные данные для ГИС-проекта. Для 2ДН-моделирования нужны морфометрические данные о рельефе речной долины, гидрологическая информация о наблюдаемых расходах различной обеспеченности, сведения о коэффициенте шероховатости участков поймы, затапливаемых водой.

Важным этапом подготовки входных данных является создание цифровой модели рельефа поверхности земли (ЦМР). Наиболее точной является ЦМР, полученная при использовании крупномасштабной карты и лоции или проведения соответствующих геодезических изысканий. Однако для предварительных расчетов можно брать данные космических измерений. Открытым источником является информация Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). В частности, соответствующую ЦМР можно получить с помощью системы Google

Earth. В дальнейшем, используя ее как базовую и привлекая вышеуказанные методы, можно проводить последовательное уточнение рельефа затопляемой местности.

На рис. 6.1.1 представлена ЦМР фрагмента речной долины р. Обь около г. Барнаула размером 15,55 км x 9,33 км с шагом 10 м с уровнями поверхности земли менее 140 м. Этот рельеф соответствует времени до строительства нового автомобильного моста через Обь. Окружностью выделена зона п. Затон, овалом – зона нового автомобильного моста. Гидрологическая информация о расходах различной обеспеченности, особенно в период паводка (с апреля по июль) для р. Оби у г. Барнаула приведена в таблице 6.1.1.

Эмпирический коэффициент шероховатости для крупных рек часто полагают равным в основном русле – 0,025, а на пойме – 0,05. Эти же значения использованы в разрабатываемом ГИС-проекте.

Пример расчета. Для описания процесса затопления территории поселков Затон и Ильича применена 2ДН-модель течения, так как влияние поймы на структуру течения заведомо является значительным. Для расчетов около п. Затон использовалась ЦМР по данным SRTM размером 15,55 км x 9,33 км с шагом 10 м. Моделирование участка реки вблизи п. Ильича проводилось с применением ЦМР, полученной путем оцифровки карты 1:25000 и лоции в области размером 12,66 км x 8,29 км с шагом 10 м.

Разработанный ГИС-проект позволил рассчитать затопление пойменных территорий при половодьях и паводках различной обеспеченности и оценить влияние изменения рельефа поверхности земли вследствие строительства нового автомобильного моста через р. Обь на увеличение зоны затопления в районе п. Затон. На рис. 6.1.2 показаны линии тока и глубины течения при расходе воды 3000 м³/с для рельефа поверхности земли до и после строительства моста. Видно, что площадь затопления поймы при наличии моста значительно больше, а уровень волновой поверхности в районе Затона приблизительно на 1 м превышает таковой при аналогичных расходах до строительства моста.

Ниже приведен пример применения разработанного ГИС-проекта для другой рассматриваемой пойменной территории в долине р. Обь. На рис. 6.1.3 представлена картина течения для участка р. Обь у г. Барнаула ниже железнодорожного моста. Выполнены расчеты течения реки около п. Ильича для меженного и максимального ежедневного расходов воды по данным за 1972 г. При меженном расходе рельеф дна определяется исключительно по данным лоции.

Таблица 6.1.1

Расходы воды различной обеспеченности р. Обь у г. Барнаула

Обеспеченность, %	Максимальный уровень воды, м	Максимальный расход в период половодья, м ³ /с
1,0	8,00	9963
2,0	7,57	9224
3,0	7,31	8505
10,0	6,83	7019
25,0	5,89	5903
50,0	5,33	4974
70,0	5,00	4412
90,0	4,66	3776
99,0	4,25	3131

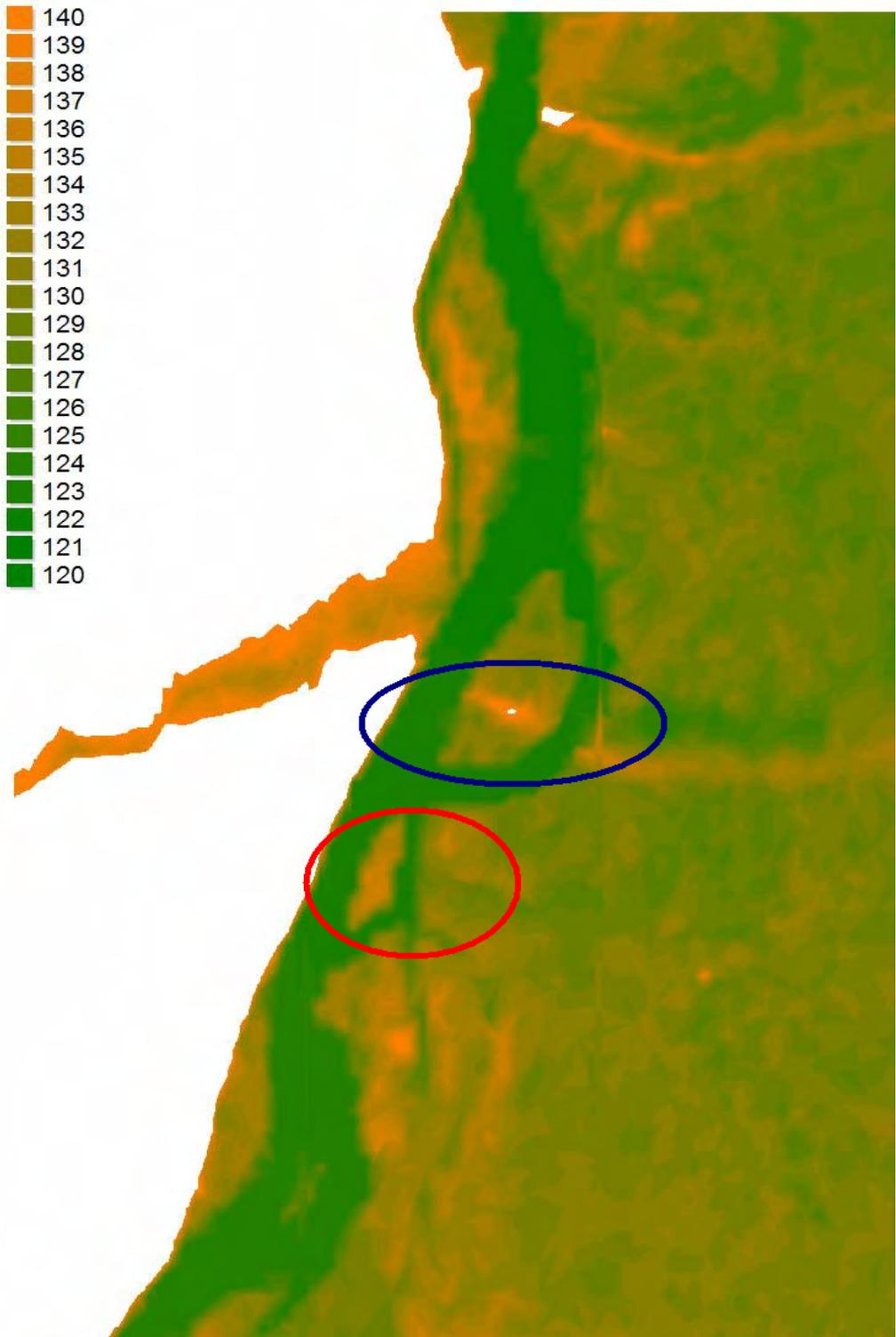


Рис. 6.1.1. ЦМР участка р. Обь около г. Барнаула (от речного водозабора № 2 до железнодорожного моста)

Расчеты выявили довольно большую разницу в расчетном и измеренном уровнях поверхности воды в районе водомерного поста при малых расходах воды. Она составила почти 1 м, что свидетельствует о недостаточности использования только данных лоции для создания ЦМР при малых расходах в целях определения реального объема воды на данном участке реки.

Для максимального же ежедневного расхода разница в расчетном и измеренном уровнях поверхности воды в районе водомерного поста составила менее 0,3 м. Необходимо отметить, что данные лоции были достаточно подробными только вблизи фарватера. В среднем же пространственный шаг изолиний был порядка 200–300 м, причем ближайшее значение глубины к глубине судоходной линии зачастую менялось в три раза. Для уточнения прогноза необходимо иметь данные о рельефе не только в районе фарватера, но и по всему сечению русла так, чтобы верно оценивать объем, занимаемый водой на данном участке реки. Уменьшение ошибки при больших расходах обеспечат только более точные картографические данные в пойменной части этого участка реки.

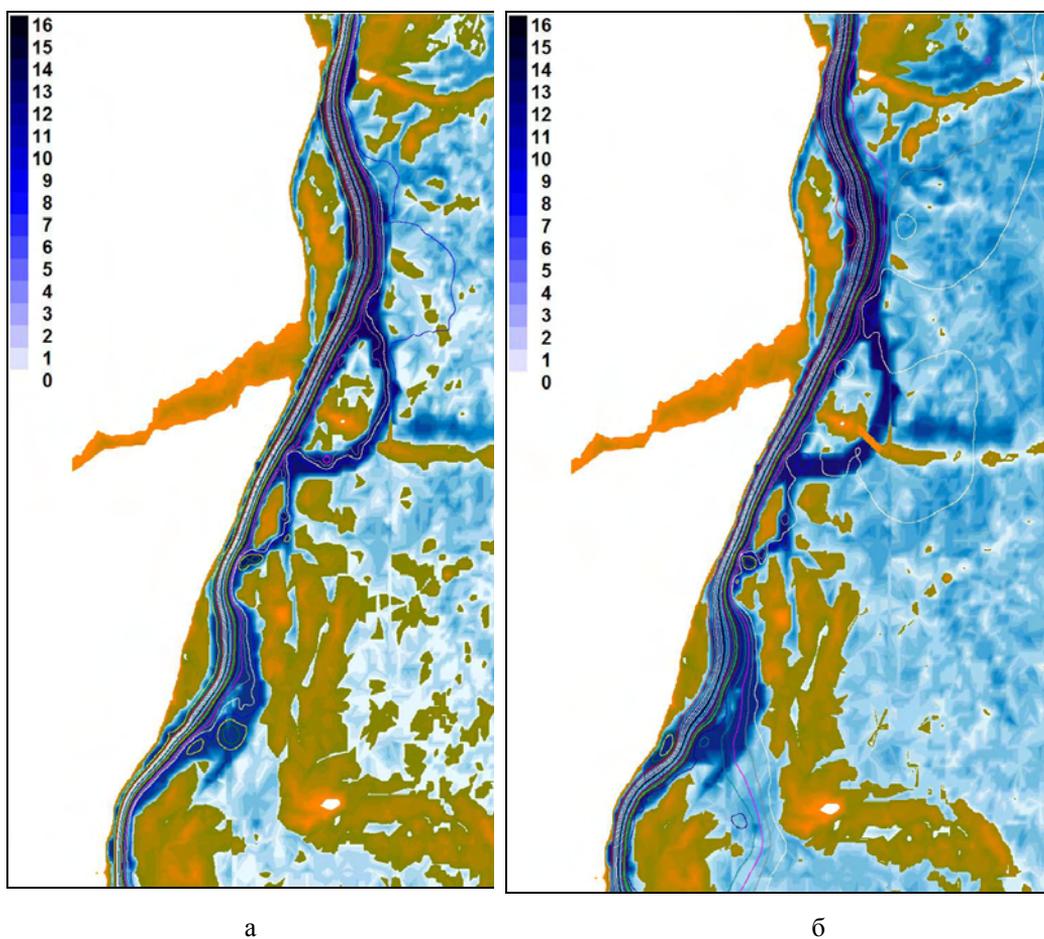
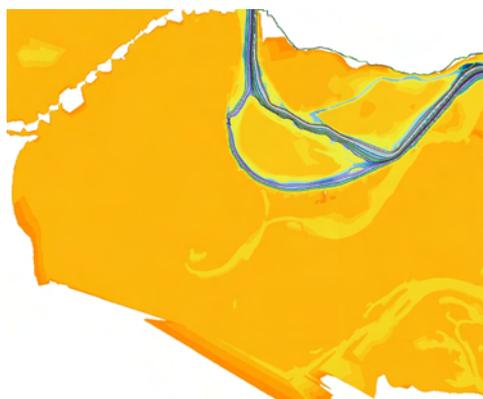
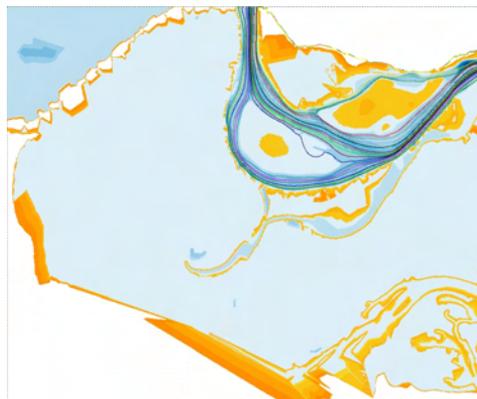


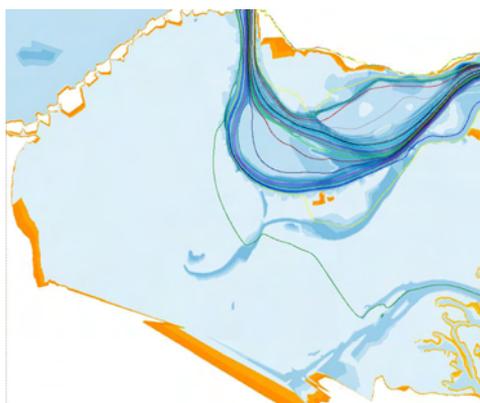
Рис. 6.1.2. Рассчитанные линии тока и глубина воды участка р. Обь в районе п. Затон при расходе $3000 \text{ м}^3/\text{с}$: до строительства автомобильного моста (а) и после (б).



а



б



в

Рис. 6.1.3. Рассчитанные линии тока и глубина воды участка р. Обь около г. Барнаула вблизи п. Ильича при расходах: 843 м³/с (а), 4390 м³/с (б), 7200 м³/с (в).

6.2. ГИС-проект для расчета течений в системах русел

Задача. В гидрологическом режиме крупных рек зачастую важную роль играет наличие большого количества притоков, формирование стока которых происходит в различное время и с различной интенсивностью. При этом особенно существенны пространственная и временная неоднородности в период половодья. Эти особенности нередко являются определяющими при решении ряда важных водно-экологических и водохозяйственных задач. В данном разделе представлены результаты работ по созданию ГИС-проекта для расчета течений в системах русел. Основой этого проекта является разработанный ИМК на основе нестационарной продольно-одномерной модели течения (в приближении теории «мелкой воды») в системе русел, характеризующейся достаточной общностью решений в классе одномерных моделей. Математическая постановка этой задачи представлена в разделе 4.5.1.

Созданный ГИС-проект можно использовать при решении следующих гидрологических задач:

- расчет течений в системе русел в период паводка;
- определение границ затопления пойменных территорий;
- краткосрочный прогноз гидрологического стока.

В качестве модельного водного объекта с целью отработки ГИС-проекта для расчета течений в системе русел был выбран участок р. Обь от г. Бийска до г. Камень-на-Оби. Река типично равнинная, однако большинство ее притоков берут начало в горах. Пространственная неоднородность природных условий формирования стока в бассейне Верхней Оби является отражением влияния высотной зональности, определяющей сложный характер водного режима реки.

Существенную роль при весеннем половодье Верхней Оби играет наличие большого количества притоков, формирование весеннего стока которых также происходит в различное время. Здесь отмечаются две волны половодья: одна – в начале, другая – в конце периода высоких вод. Максимальный расход и уровень воды совпадают то с одним, то с другим из этих подъемов. Первая волна обусловлена таянием снега на равнинной части и в предгорьях Алтая и получает значительное пополнение за счет впадающих в Обь рек Песчаная, Ануй, Чарыш, Алей, Чумыш и др. Ее максимум приходится на середину апреля – начало мая. Вторая волна является следствием таяния горных снегов и ледников, она образуется преимущественно за счет вод Катуня, Бии, Чарыша и наблюдается в июне-июле. В верхнем течении Оби до г. Барнаула вторая волна обычно превышает по высоте первую, но не получая пополнения при движении вниз по реке, постепенно сглаживается. Вследствие этих особенностей весенне-летний гидрограф стока Верхней Оби имеет пилообразный характер с преобладанием двух выраженных максимумов (так называемый алтайский тип весеннего половодья).

Входные данные. На примере решения задачи о прохождении волн паводка и половодья рассмотрим исходные данные, необходимые для созданного ГИС-проекта. Построение гидравлической модели течения в системе русел требует наличия морфометрической информации, в том числе по геометрии поперечных сечений русел и сведений о топологии речной сети; гидрологии (данные гидрологических постов), включая значения расходов воды как на основных притоках, так и на основном русле, а также уровней воды для настройки гидравлической модели.

Схематизация расчетной области Верхней Оби представлена на рис. 6.2.1. В отмеченных кружками створах задаются расходы воды по данным гидрологических постов. В замыкающем створе с. Малышево использовано условие свободного протекания.

При моделировании волн паводка в речной системе Верхней Оби учитывается существенная пространственно-временная изменчивость процессов, определяющих гидрологический режим рассматриваемого участка реки. В качестве первого приближения выделены бассейны наиболее крупных притоков. Сток с площади этих бассейнов в виде интегральной величины включен в расход самих притоков. Следуя этой схеме и используя информацию по гидрологическим постам, дается пространственно-временная оценка водного стока (расхода) крупных притоков Оби.

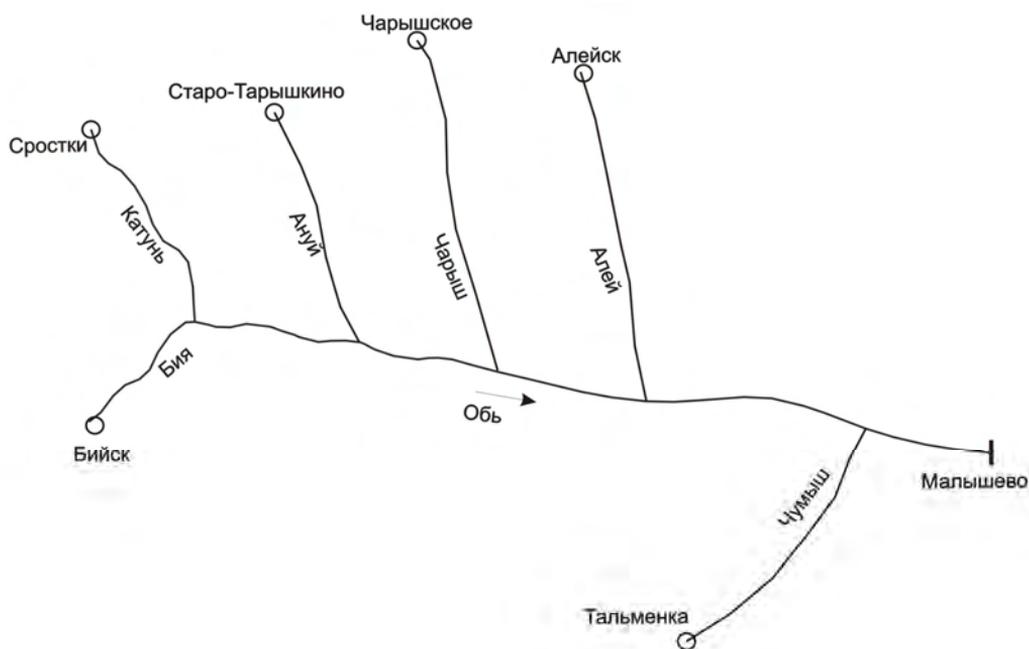


Рис. 6.2.1. Схематизация расчетной области

Пример расчета. Гидрологический режим Верхней Оби и ее крупных притоков рассчитан с использованием созданного ГИС-проекта для расчета течений в системе русел. На данном модельном участке для ряда створов рассчитаны гидрографы половодья для нескольких лет с максимальными расходами различной обеспеченности. На рис. 6.2.2 и 6.2.3 представлены результаты расчета гидрографа в районе Барнаула для весенне-летнего периода 1988 и 1969 гг., соответственно (максимальные расходы при 50 и 0,3 % обеспеченности).

Результаты расчета подтвердили пилообразный характер весенне-летнего гидрографа стока с преобладанием двух выраженных максимумов. Получаемые с использованием разработанного ГИС-проекта значения уровней воды могут использоваться для решения различных водно-экологических задач, в частности для определения границ зон затопления при расходах различной обеспеченности. При дальнейшем уточнении модели гидрологического режима верхнего течения р. Обь необходимо решение следующих задач:

- уточнение геометрии русла;
- разработка и реализация численной модели боковой приточности в периоды снеготаяния и интенсивных дождевых осадков.

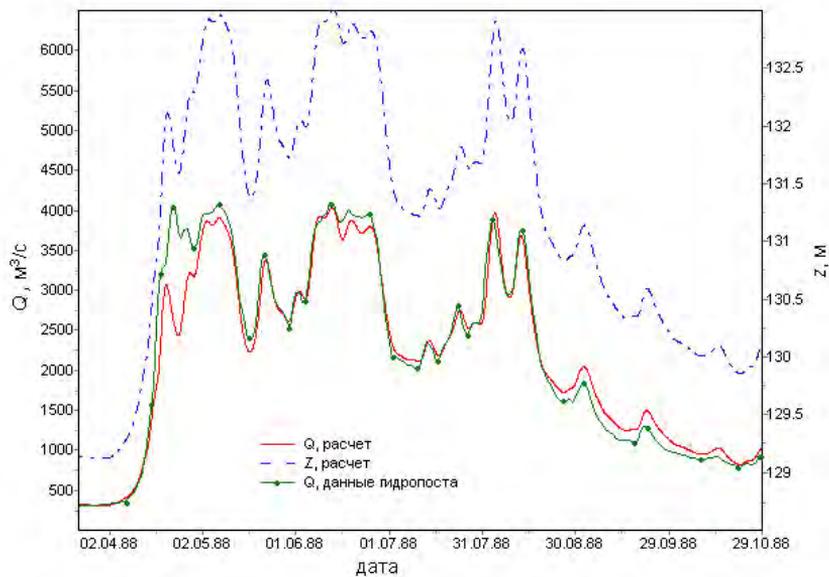


Рис. 6.2.2. Динамика расхода и уровня воды в районе г. Барнаула, весна-лето 1988 г. Максимальный расход при 50 % обеспеченности

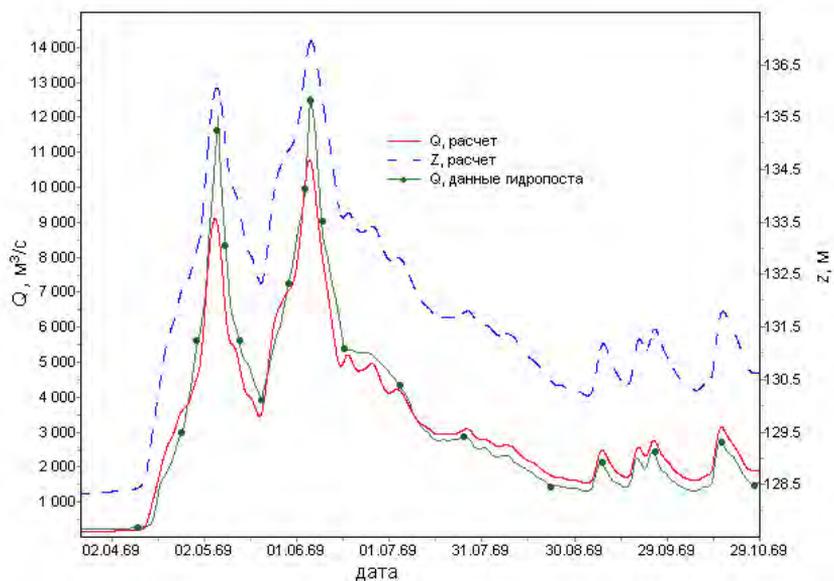


Рис. 6.2.3. Динамика расхода и уровня воды в районе г. Барнаула, весна-лето 1969 г. Максимальный расход при 0,3 % обеспеченности

6.3. ГИС-проект для расчета показателей качества воды в водных объектах

Задача. ГИС-проект для определения качества воды построен на основе ИМК, реализующего 1ДН-модель качества воды, воспроизводящих временное и пространственное распределение содержания в реке химических компонентов (загрязнителей) и основанную на следующих допущениях:

- точечные и распределенные сбросы полагаются заданными;
- течение в реках принимается квазиодномерным с ограничениями, позволяющими моделировать движение воды уравнениями Сен-Венана;
- химические процессы в реках моделируются равновесными реакциями;
- процессы в реке не влияют на процессы, происходящие в притоках.

В качестве модельного водного объекта для отработки ИМК расчета показателей качества воды выбран участок р. Обь от г. Бийска до г. Камень-на-Оби. Структура входных данных этого ИМК близка к рассмотренному выше ИМК, разработанному для расчета течений в системе русел. Потому ограничимся подробным описанием моделирующего блока и приведем пример использования разработанного ГИС-проекта.

Моделирующий блок Математическая постановка задачи о расчете неустановившихся течений в произвольной системе речных русел на основе одномерных уравнений типа Сен-Венана приведена в разделе 4.5.1: уравнения (4.5.1) и (4.5.6).

Уравнения переноса для каждого химического компонента (загрязнителя) имеют вид:

$$\frac{\partial(\omega C_j)}{\partial t} + \frac{\partial(Q \cdot C_j)}{\partial x} = \omega \cdot H_j + G_j, \quad 6.3.1$$

где H_j – член, характеризующий неконсервативность рассматриваемого j -го соединения; G_j – путевая нагрузка на единицу длины водотока (удельная боковая приточность неточечных источников j -го загрязнения).

Химическими компонентами C_j здесь являются для следующих значений j : 1 – БПК; 2 – дефицит растворенного кислорода; 3 – взвешенное вещество; 4 – ХПК; 5 – аммоний; 6 – нитриты; 7 – нитраты и 8 – фосфаты, которые связаны между собой в реакциях трансформации химических соединений:

$$H_j = -K_j \cdot C_j, \text{ для } j=3,4,8;$$

$$H_1 = -(K_1 + K_3) \cdot C_1;$$

$$H_2 = -K_2 \cdot C_2 + K_1 \cdot C_1 + P_1 \cdot K_5 \cdot C_5 + P_2 \cdot K_6 \cdot C_6 + J \cdot \frac{B}{\omega},$$

где K_3 – коэффициент седиментации; P_1 и P_2 – коэффициенты пересчета потерь кислорода при нитрификации; J – плотность потока кислорода, обусловленная поглощением донными отложениями и фотосинтезом.

При расчете трансформации азотных соединений ($j=5 \div 7$) используется следующая схема нитрификации:

$$H_5 = -K_5 \cdot C_5 + P_3 \cdot K_4 \cdot C_4;$$

$$H_6 = -K_6 \cdot C_6 + K_5 \cdot C_5;$$

$$H_7 = -K_7 \cdot C_7 + K_6 \cdot C_6;$$

где P_3 – коэффициент пересчета для процесса аммонификации.

Зависимость коэффициентов трансформации от гидрологических условий определяется при параметризации математической модели. Величины P_j оцениваются в соответствии с реальными стехиометрическими соотношениями. Величина G_j может быть определена следующим образом:

$$G_j = C_{jb} \cdot q,$$

где C_{jb} – концентрация j -го соединения в притоках, характеризующихся расходом боковой приточности q .

Чтобы решить систему уравнений для расчета показателей качества воды требуется определенный набор эмпирической информации. Зависимости площади сечений и отметки дна $\omega = \omega(x)$, $\delta = \delta(x)$ определяются посредством обработки картографической информации и лоций. Коэффициент шероховатости $n = n(x)$ в русле крупных рек принят равным 0,025. Натурное определение боковой приточности является чрезвычайно сложной задачей. В данном случае она оценивается как разница расходов в двух соседних водпостах с учетом точечных источников (притоков) и расстояния между данными водпостами.

Граничные условия для уравнений Сен-Венана можно получить из анализа материалов гидрологических ежегодников. Начальные условия определяются нахождением стационарного решения исходной системы уравнений.

Эмпирические коэффициенты для уравнений переноса химических компонентов K_j были получены в процессе калибровки модели. Путевая нагрузка на единицу длины водотока G_j полагалась равной нулю. Температура воды задавалась интерполяцией данных на водпостах по гидрологическим ежегодникам. Начальные и граничные условия для концентраций компонентов, а также значения этих концентраций в притоках принимались равными значениям ПДК для рассматриваемых загрязнителей.

Пример расчета. С использованием разработанного ГИС-проекта выполнены расчеты показателей качества воды для участка р. Обь от с. Фоминское до г. Камень-на-Оби при условиях, соответствующих безледоставному периоду с 21 апреля по 8 ноября 1972 г.

Использование системы квазиодномерных уравнений позволяет на основе информации с гидрологических постов у с. Фоминское и на р. Алей прогнозировать с приемлемой точностью уровни водной поверхности в районе г. Барнаула. Даже полученные на основе сравнительно грубой ЦМР, построенной на основе современной лоцманской карты, результаты расчетов по 1ДН-модели показывают ошибку в определении достижения максимального уровня воды менее суток, а погрешность расчета значения уровня – не более 0,5 м. Применение более точной ЦМР русла и поймы реки, безусловно, увеличит точность решения задачи. Распределение расхода воды и уровня поверхности воды по руслу р. Обь в момент паводка у г. Барнаула приведено на рис. 6.3.1 и 6.3.2.

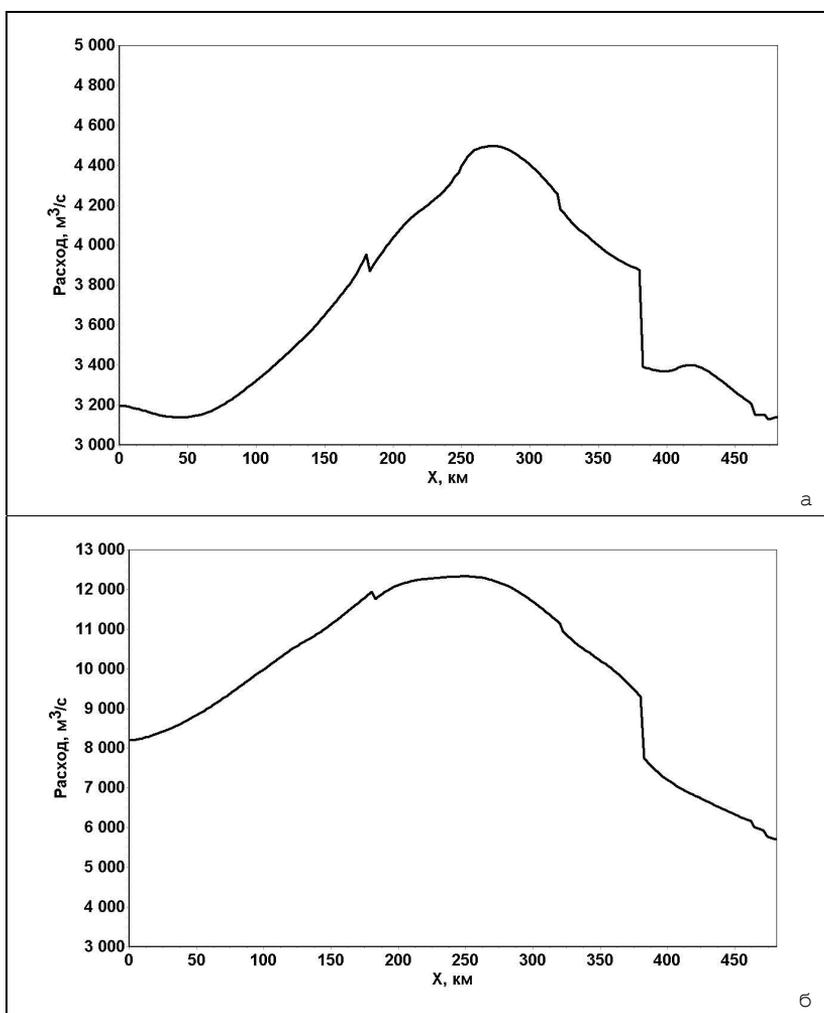


Рис. 6.3.1. Рассчитанное распределение расхода по руслу р. Обь в момент максимального уровня воды у г. Барнаула по данным 1972 (а) и 1969 гг. (б). Значения координаты X соответствуют: 0 – г. Камень-на-Оби; 239 – г. Барнаул; 481 – с. Фоминское

Одной из важнейших характеристик качества воды является концентрация растворенного кислорода. На рис. 6.3.3 показано изменение его концентрации у г. Барнаула. Видно, что дефицита кислорода не наблюдается.

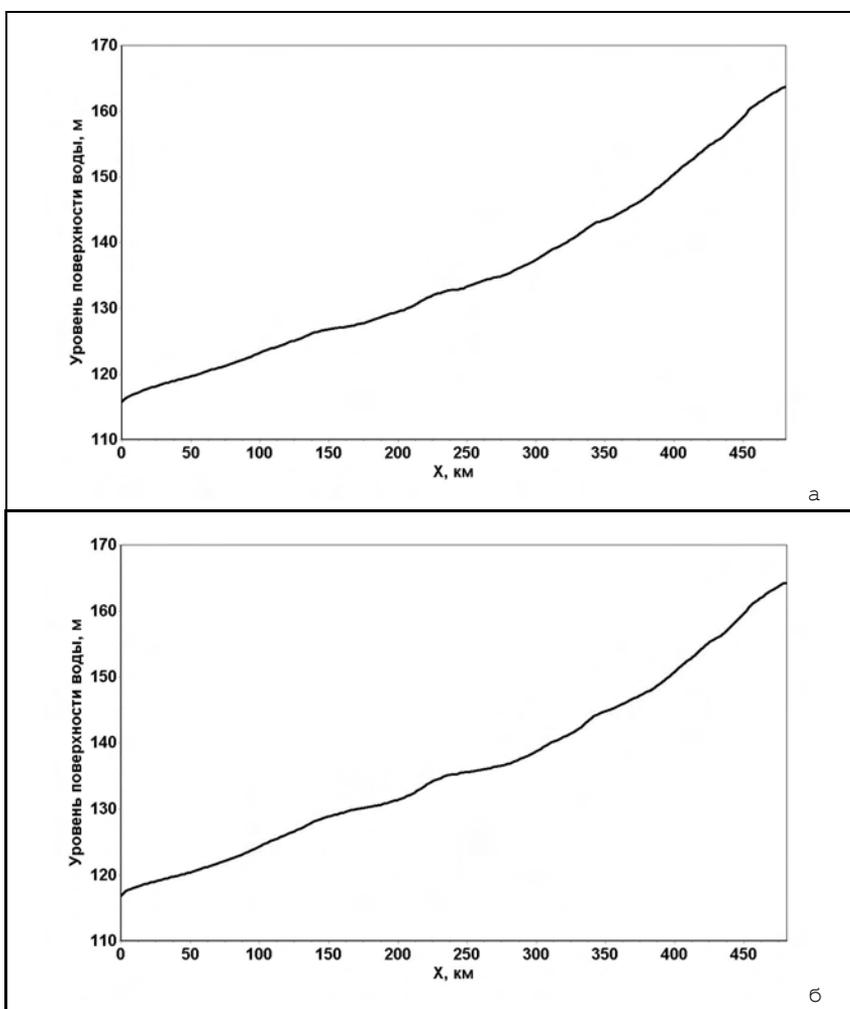


Рис. 6.3.2. Рассчитанное распределение уровня поверхности воды по руслу р. Обь в момент максимального уровня воды у г. Барнаула по данным 1972 (а) и 1969 гг. (б). Значения координаты X соответствуют: 0 – г. Камень-на-Оби; 239 – г. Барнаул; 481 – с. Фоминское

Другой важной характеристикой является БПК. На рис. 6.3.4 проиллюстрировано изменение значений БПК по руслу реки. Как видно из графика, ситуация с величиной БПК вверх по течению почти всегда улучшается. Исключение могут составлять участки вблизи устьев крупных притоков.

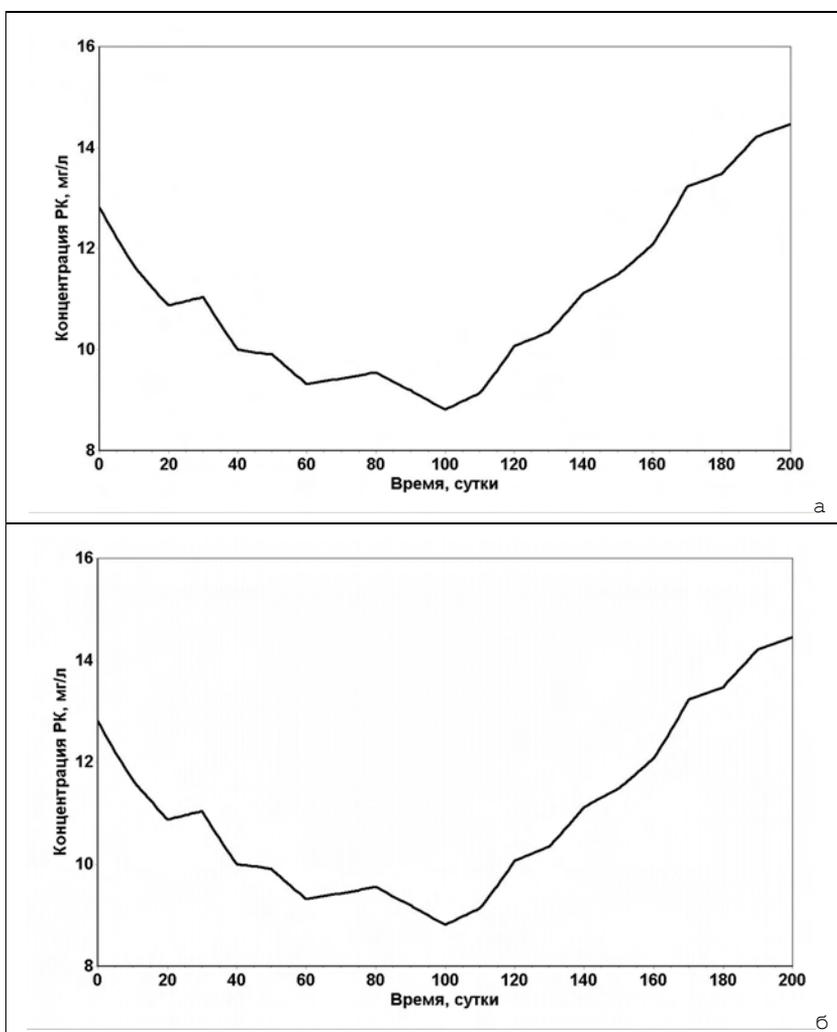


Рис. 6.3.3. Рассчитанное распределение концентрации растворенного кислорода у г. Барнаула по летнему периоду 1972 (а) и 1969 гг. (б). Значения координаты абсцисс 0 соответствует 21 апреля рассматриваемого года

6.4. ГИС-проект «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна»

Согласно Водному кодексу РФ [2006] основным источником информации о водных объектах и ресурсах является Государственный водный реестр. Это систематизированный свод документированных сведений о водных объектах, находящихся в федеральной собственности, собственности субъектов РФ, собственности муниципальных образований, собственности физических лиц, юридических лиц. Он содержит информацию об использовании этих объектов, о речных бассейнах, о бассейновых округах, о государственной регистрации договоров водопользования (ст. 31).

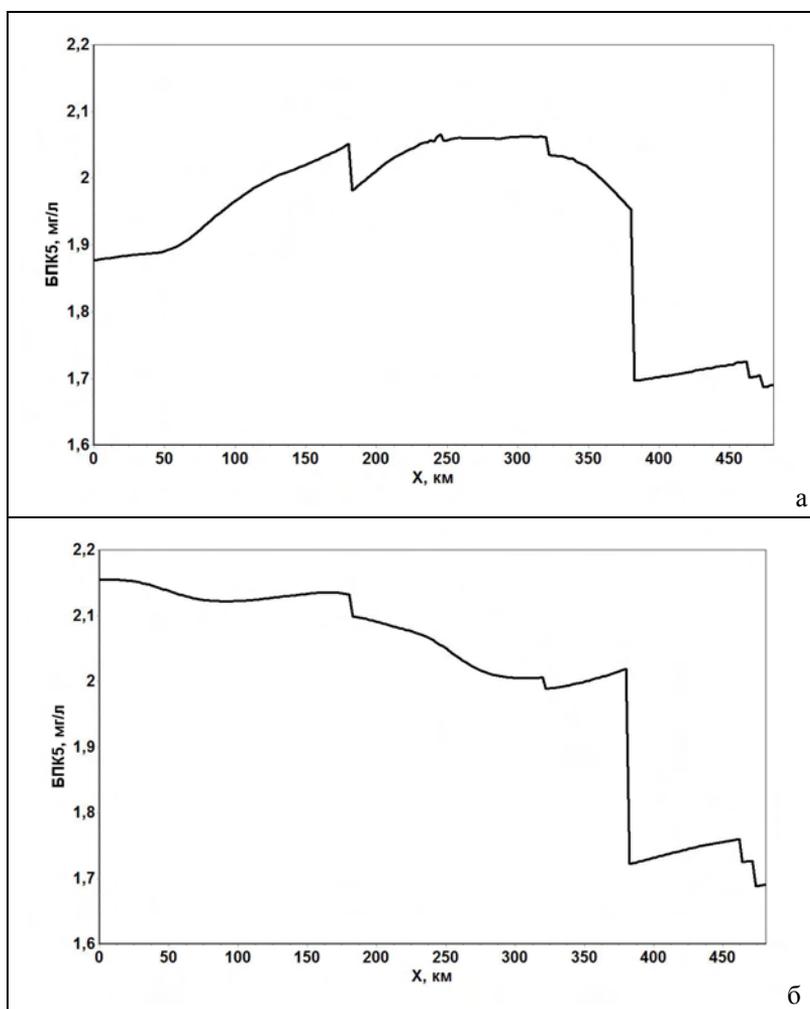


Рис. 6.3.4. Рассчитанное распределение величины БПК по руслу р. Обь в момент максимального уровня воды у г. Барнаула по данным 1972 (а) и 1969 гг. (б). Значения координаты X соответствуют: 0 – г. Камень-на-Оби; 239 – г. Барнаул; 481 – с. Фоминское

В рамках разработки ГИС Росводресурсов создана единая информационная модель, которая применяется при проектировании территориальных систем ранга БВУ и территорий. Обмен пространственными данными территориальных органов с центральным аппаратом Росводресурсов предполагается организовать на основе реализованной в ArcGIS технологии репликации баз геоданных (БГД).

Одним из важнейших инструментов информационной поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами и водохозяйственным комплексом является реестр водных объектов, создаваемый как самостоятельная геоинформационная система.

ГИС-проект «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна» разработан с использованием картографических фондовых материалов, а также на основе полевых исследований. Информационный блок содержит совокупность баз данных, в которых хранится вся имеющаяся информация о каждом из водных объектов в отдельности и системе в целом. База

данных формируется на основе данных ежегодных гидрологических и гидрохимических наблюдений сети Гидрометслужбы России, мониторинга государственных служб, отчетности водопользователей по форме 2-ТП(водхоз), расчетных данных и др.

При проектировании ГИС «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна» использован опыт разработки и успешной эксплуатации ГИС «Реестр водных объектов Алтайского края». Данная ГИС расширена территориально (охватывает Обь-Иртышский бассейн) и функционально в связи с возникновением новых задач.

Принципы проектирования ГИС «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна». Система обеспечивает:

- решение задач для удовлетворения простых регламентированных запросов на поиск и отображение необходимой информации (информационно-управленческий характер);
- информацией сложные прогнозные и аналитические задачи (аналитический характер);
- накопление информации, представленной в виде карт, тематических фактографических (атрибутивных) данных, а также текстового материала нормативно-правового, методического, регламентирующего и контрольного характера;
- совместную обработку различных исходных материалов как по представленным пространственным, так и по атрибутивным данным независимо от применяемой технологии их ввода;
- интеграцию пространственных и атрибутивных данных, которая осуществляется в одной геоинформационной оболочке, обеспечивая прямые и обратные связи между системами их управления.

ГИС строится на базе картографической основы масштаба 1:1 000 000 и содержит следующие группы слоев:

- государственная граница,
- границы административных районов,
- гидрография, в том числе: корректная гидрографическая сеть (для модельных участков)¹, устьевые точки², участки рек, представленные полигональными объектами, озера, осевые линии для Оби и Иртыша, их основные притоки, водосборные бассейны рек и озер;
- физико-географические характеристики Обь-Иртышского бассейна, в том числе: его границы, физико-географические области и провинции, высотная поясность Алтайских и Уральских гор, зональность в равнинной части, типы минерализации в границах природных зон;
- антропогенная нагрузка, в том числе границы водохозяйственных участков; населенные пункты, степень антропогенной нагрузки, показатели водопользования (по 2-ТП(водхоз)), включая источники сбросов в водные объекты (водоотведение), источники забора из водных объектов (водопотребление), объемы сброса и забора воды;
- паводковая опасность, прежде всего в населенных пунктах, подверженных затоплению, превышение уровня начала затопления, вероятность превышения уровней начала затопления (%);

¹ Под корректной гидрографической сетью понимается ориентированный граф, образующий простую геометрическую сеть (в терминологии ArcGIS).

² Точки слияния притоков с основной рекой.

- пункты наблюдения (метеостанции, гидрологические посты, гидрохимические пункты);
- модели¹ течений в системе русел (в том числе расчета гидрографа), расчета зон затопления, качества воды, расчета ледовых явлений;
- модельные объекты, включая модельные водохозяйственные участки и модельные бассейны;
- дополнительные слои (пункты отбора проб).

В состав проекта включены также растровые изображения планшетов карт масштаба 1:1 000 000 для территории Обь-Иртышского бассейна, служащие дополнительным источником информации об объектах карты.

Атрибутивная база данных отражает состав и взаимосвязи количественных и качественных параметров системы в виде логически скомпонованных показателей, привязанных к картографическим объектам. Такая БД состоит из двух взаимосвязанных частей. *Основная база данных* является ядром системы и содержит данные о современном состоянии, природных и антропогенных факторах формирования и функционирования водных объектов. *Динамическая база данных* формируется по мере необходимости в результате выборки показателей из основной БД.

В связи с необходимостью корректировки системы используется унифицированный подход, позволяющий обеспечивать ее:

- единую структуру;
- независимость структуры от количества учитываемых параметров;
- единообразную привязку данных к объектам окружающей среды на основе ГИС-технологий.

В представленной версии ГИС площадные и линейные размеры водных объектов указаны в соответствии с Перечнем водных объектов, зарегистрированных в Государственном водном реестре, на основе данных гидрологической изученности Государственного водного кадастра. Дополнительно эти характеристики определяются с помощью ГИС-технологий.

Пространственные данные, отображаемые в ArcReader, могут иметь гиперссылки на дополнительную информацию по определенным объектам. Дополнительной информацией с переходом по гиперссылкам обеспечены гидрохимические посты, гидрологические пункты наблюдений, источники сбросов в водные объекты, модельные водохозяйственные участки, водные объекты и их подбассейны.

По гиперссылке могут быть получены документы в текстовой, графической или табличной формах как результаты выборки из сформированной базы данных либо запущен информационно-моделирующий комплекс или специализированный ГИС-проект. Рис. 6.4.1-6.4.2 иллюстрируют результаты, полученные с помощью разработанной системы.

На рис. 6.4.3-6.4.6 отражена связь ГИС «Реестр водных объектов...» со специализированными ГИС-проектами.

¹ Указываются точечные объекты, связанные с информационно-моделирующими комплексами.

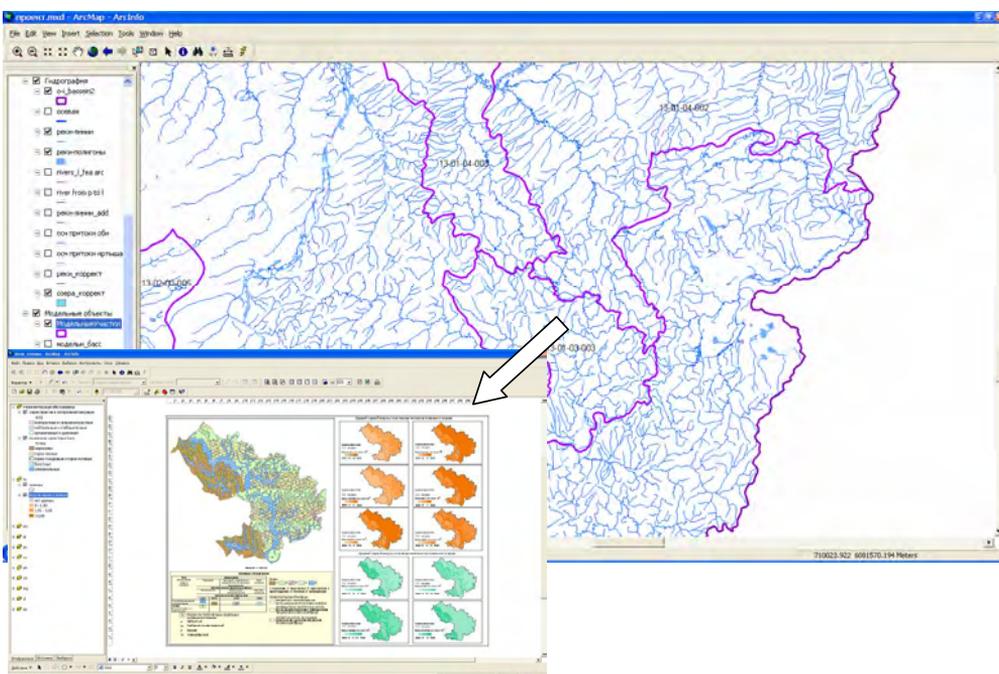


Рис. 6.4.3. Связь с ГИС-проектом «Природное загрязнение поверхностных вод»

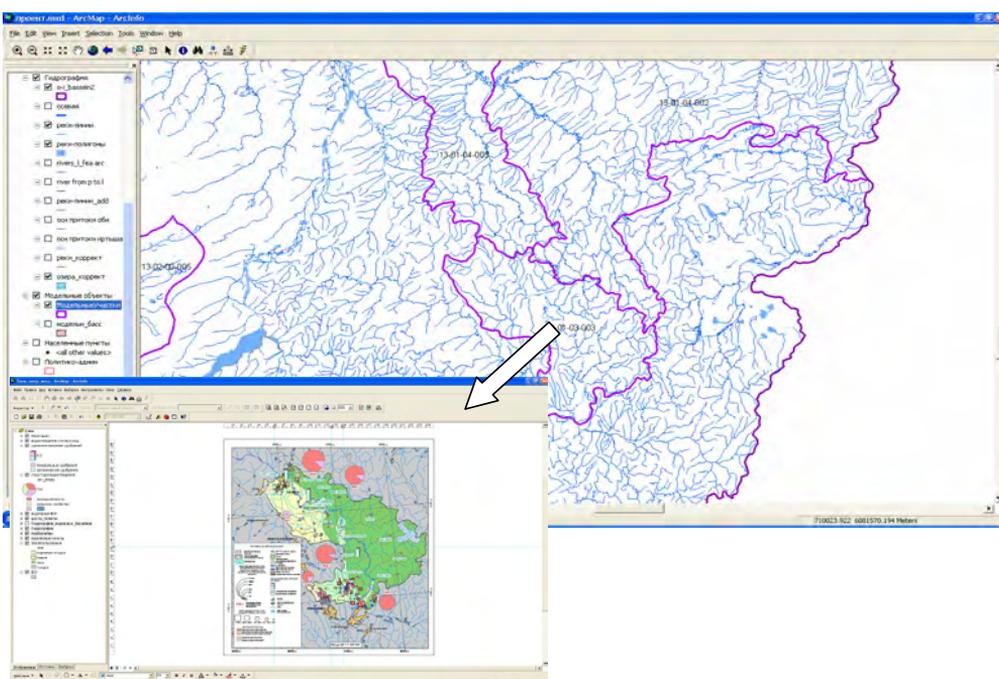


Рис. 6.4.4. Связь с ГИС-проектом «Техногенное загрязнение поверхностных вод», блок «Техногенные источники загрязнения»

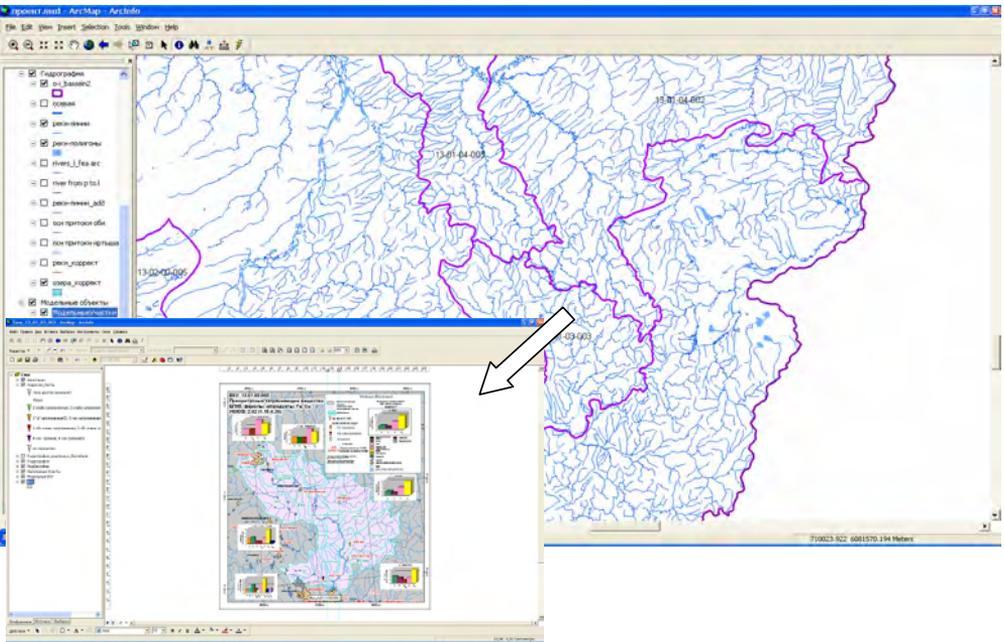


Рис. 6.4.5. Связь с ГИС-проектом «Техногенное загрязнение поверхностных вод», блок «Качество воды»

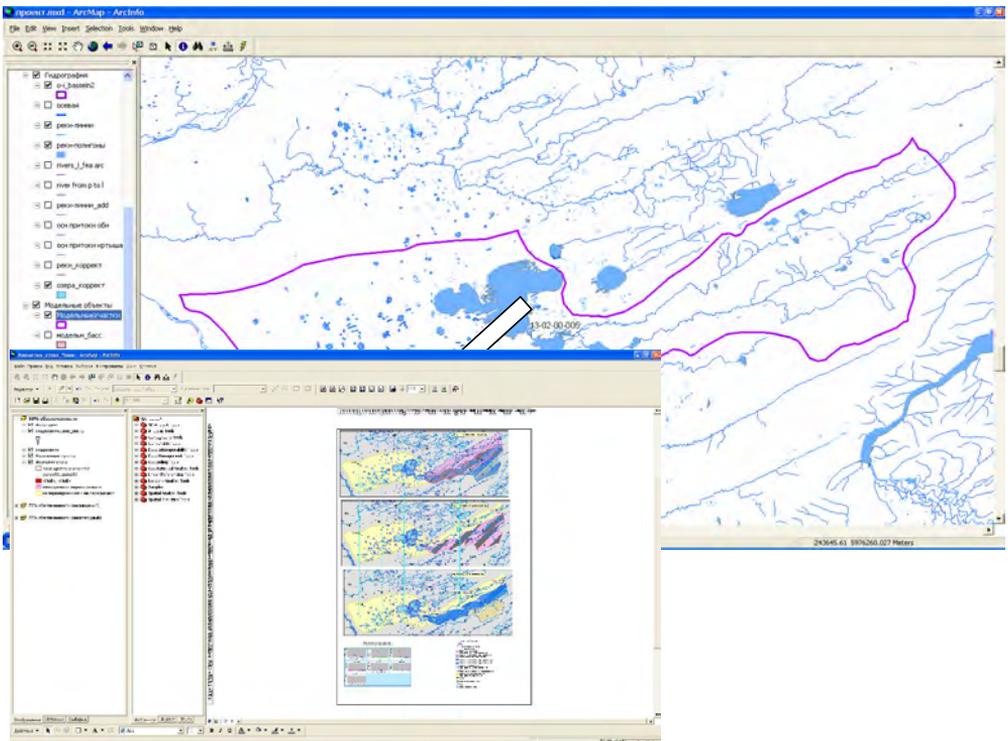


Рис. 6.4.6. Связь с ГИС-проектом «Аномалии стока»

Разработанная ГИС конвертирована в приложение ArcReader для визуализации созданных карт и выполнения простых запросов. Пакет ArcReader входит в семейство программных продуктов ArcGIS. ArcReader создан на основе тех же компонентов среды ArcObjects, что и продукты ArcGIS Desktop (ArcView, ArcEditor, ArcInfo). Он обеспечивает удобные средства массового просмотра, анализа и распечатки файлов публикуемых карт (print published map files, PMF), созданных с использованием настольных пакетов ArcGIS.

Основные функции ArcReader:

- увеличение/уменьшение;
- перемещение по карте;
- переход к полному экстенду;
- предыдущий/следующий экстенд;
- инструмент идентификации;
- переключение между отображением карты и компоновки;
- просмотр пространственных закладок;
- инструмент поиска;
- просмотр и распечатка выставленных компоновок карты;
- открытие/закрытие файлов публикуемых карт;
- показ недавно открытых карт;
- инструмент измерения объектов;
- инструмент обращения к гиперссылкам.

Заключение

Обь-Иртышский бассейн – один из крупнейших на земном шаре. Он в основном принадлежит к Западно-Сибирской физико-географической стране, объединяет территории с различной орографией и широким биоклиматическим диапазоном. Такая сложность строения водосборной поверхности требует дифференцированного подхода к изучению и оценке условий формирования стока и учету всех особенностей региональной ландшафтной структуры территории.

Существенное влияние на формирование водных ресурсов бассейна оказывают климатические условия и их изменения. Особенно заметно изменился климат рассматриваемой территории за последние десятилетия: на различных участках бассейна скорость увеличения температуры менялась от 0,2–0,6°С/10 лет до 0,7–0,9°С/10 лет. Наблюдаемое изменение увлажнения территории также неоднородно: на фоне в целом положительного тренда отмечается отрицательная динамика в степной и сухо-степной природных зонах. При таких климатических трендах межгодовая изменчивость стока рек Обь и Иртыш и их притоков за период с 1981 по 2006 гг. менялась незначительно или вообще не отличалась от изменчивости за предыдущий период наблюдений. Рассчитанные среднемноголетние характеристики речного стока Оби составляют порядка 400 км³/год, потенциальные ресурсы пресных подземных вод Обь-Иртышского бассейна – не менее 1 км³/сутки, эксплуатационные – 316 млн км³/сутки.

Выявленные особенности гидрологического режима рек позволили оценить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций в бассейне как наиболее высокую для наводнений, вызванных половодьями и паводками, равную 40 % для левых притоков р. Тобол и р. Чулым. Для рек Томь, Вах (в верхнем течении), Тобол (остальные притоки), Тавда (в среднем течении) характерна вероятность наводнений 30–40 %. Вероятность наводнений 20–30 % характерна для р. Иртыш (ниже устья Ишима), р. Обь (район Новосибирского водохранилища), р. Вах (в среднем течении), р. Сев. Сосьва. Для остальных рек Обь-Иртышского бассейна характерна вероятность наводнений менее 20 %. Русловые процессы, выражающиеся в изменении плановых очертаний русла, вертикальных отметок дна, смещении аллювиальных форм руслового рельефа также могут сопровождаться частыми опасными проявлениями, особенно характерными для рек юга Западной Сибири.

Прогноз изменения водности на основе метода линейных трендов показал, что изменение водности отдельных участков реки Обь по отношению к 2010 году составит к 2020 и 2030 гг. от –6,2 % до 5,7 % и от –12,3 % до 11,5 %, соответственно.

Современный водоотбор в бассейнах рек Обь и Иртыш в пределах РФ превышает 9,0 км³/год. За последние десятилетия в Обь-Иртышском бассейне, как и в целом по России объемы забранной воды снизились. Основные потребители воды расположены в бассейнах рек Иртыш и Томь на территории Кемеровской и Тюменской областях, на которые приходится более 60 % общего водозабора.

Основные объемы водоотведения также приходятся на бассейны рек Иртыш и Томь. При общем объеме сбросов сточных вод в Обь-Иртышском бассейне на уровне 7,0 км³/год, на территории бассейнов рек Иртыш и Томь образуется около 65 % сточных вод всех категорий, 84 % загрязненных стоков и 80 % сточных вод, не прошедших очистку. В целом объемы

водоотведения сокращаются, исключение составляет бассейн Томи.

По объемам сточных вод в Обь-Иртышском бассейне лидируют предприятия, занимающиеся сбором и очисткой сточных вод, в том числе жилищно-коммунальное хозяйство, далее следуют: угледобыча, производство, передача и распределение электроэнергии, металлургическое и химическое производство, добыча металлических руд, производство машин и оборудования.

Существующие источники загрязнения вод Обь-Иртышского бассейна определяют спектр приоритетных загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные и подземные воды данного бассейна. Приоритетными загрязняющими веществами рек Обь-Иртышского бассейна являются фенолы, нефтепродукты, ионы аммония, фосфаты, нитраты, легкоокисляемая органика, определяемая по показателю БПК₅, трудноокисляемая органика, определяемая по показателю ХПК.

Существенное значение в формировании качества вод р. Иртыш имеет трансграничное поступление загрязняющих вещества из Казахстана. Для воды р. Иртыш и ее притоков элементами-индикаторами промышленного загрязнения являются медь, цинк, свинец, хром. Содержание указанных тяжелых металлов превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов практически на всем протяжении реки и ее правых притоков.

Ландшафтно-геохимические, биогеохимические условия и степень хозяйственного освоения водосборных бассейнов отражаются на величине среднегодового модуля стока загрязняющих веществ из почвенного покрова. В условиях низкой антропогенной нагрузки качество поверхностных вод формируется за счет поступления веществ из почвенного покрова и почвенно-грунтовых вод.

Экосистема реки Обь обладает значительной способностью к самоочищению. Происходящие в ней изменения по характеру обратимы, однако существует угроза перехода в кризисное состояние на наиболее загрязненных участках. Такие участки отмечаются ниже по течению крупных городов и промышленных центров. Вместе с тем загрязнение проявляется здесь локально и не имеет повсеместного распространения. Поэтому в целом выполненная оценка состояния водных объектов бассейна по гидробиологическим и гидрохимическим показателям свидетельствует о благополучной экологической обстановке.

Неравномерное обеспечение населения и экономики водными ресурсами предопределило разработку в 1970-х годах многочисленных проектов внутрибассейновых и межбассейновых перераспределений речного стока. К ныне существующим внутрибассейновым переброскам водного стока относятся Кулундинский канал и Чарышский групповой водопровод. Среди других существующих межбассейновых перераспределений водного стока переброска части стока р. Камы в бассейн Тобола, Обь-Енисейский судоходный канал (в настоящее время заброшенный), а также каналы Иртыш-Караганда и Черный Иртыш – Карамай.

Время от времени возвращаются к рассмотрению ряда проектов внутрибассейновой и межбассейновой переброски. В настоящее время однозначного мнения по этим проектам не существует. Для оценки всех возможных последствий этих перебросок необходимо проведение комплексных исследований.

С целью проведения комплексной оценки современного состояния водных объектов бассейна Оби и Иртыша разработаны методологические подходы с учетом природно-климатических условий формирования качества воды и специфики химического состава вод,

которые позволили разделить все воды Обь-Иртышского бассейна на семь типов и типизировать по этому признаку водохозяйственные участки. На основании анализа уровня антропогенной нагрузки на водные объекты выделены фоновые участки для каждого типа вод. Выбраны природно-климатические, ландшафтно-экологические, гидрогеологические, гидрологические, гидрохимические, гидробиологические и водохозяйственные показатели для интегральной оценки экологического состояния и водно-ресурсного потенциала Обь-Иртышского бассейна. Обоснован выбор физических, химических и биологических показателей самоочищения. Предложены методики оценки поступления загрязняющих веществ из рассредоточенных источников. Сформулированы рекомендации по совершенствованию системы мониторинга водных объектов бассейна Оби и Иртыша.

В качестве модельного объекта было исследовано Новосибирское водохранилище. Его близкое расположение к горной части водосборного бассейна определяет значительные амплитуды сезонных и межгодовых колебаний притока, что в совокупности с его малой полезной емкостью снижает возможность управления его водным режимом. Значительная интенсивность внешнего водообмена, течения и ветро-волновые процессы на большей части акватории, значительные колебания уровня, длительный период ледостава определяют значительную пространственную неоднородность и высокую интенсивность переработки его берегов, гидрохимических, гидробиологических процессов и процессов самоочищения воды, создает проблемы для нормального функционирования ихтиофауны.

Выявлено, что территория в целом водообеспеченного Обь-Иртышского бассейна имеет ряд регионов с существенным дефицитом вод питьевого качества. К ним относятся муниципальные районы Алтайского края, Омской и Курганской областей, расположенные в пределах области внутреннего стока бассейна, и индустриально нагруженные территории бассейнов рек Тобола и Томи (Свердловская и Челябинская, Кемеровская области). В связи с низким уровнем развития водохозяйственной инфраструктуры очень низка обеспеченность качественной питьевой водой населения Республики Алтай.

В целях обеспечения населения Обь-Иртышского бассейна качественной питьевой водой необходимо создать систему эффективного управления сектором водоснабжения и водоотведения, в частности за счет формирования модели государственно-частного партнерства в крупных городах; обеспечить развитие систем водоснабжения и водоотведения в средних и малых населенных пунктах с помощью государственных инвестиций путем софинансирования региональных программ; разработать систему экономического стимулирования снижения удельного водопотребления, непроизводительных потерь воды при транспортировке и внедрения водосберегающих технологий; обеспечить защиту существующих и потенциальных источников водоснабжения и восстановление водных объектов – источников питьевого и хозяйственно-бытового снабжения.

Для решения проблем более рационального использования трансграничных водных ресурсов бассейна р. Иртыш предложена разработка Стратегии интегрированного управления трансграничным речным бассейном и Программы ее реализации под патронажем Международного Бассейнового Совета.

Для нужд оперативного управления водными ресурсами Обь-Иртышского бассейна в ИВЭП СО РАН разработана ГИС «Реестр водных объектов Обь-Иртышского бассейна». ГИС-проект является информационным блоком Системы поддержки принятия решений, предназначенной для обеспечения сложных аналитических и прогнозных расчетов, а также

моделирующих комплексов для задач интегрированного управления водными ресурсами бассейна.

На основе разработанной методики геоинформационного картографирования проведен комплексный пространственный анализ водно-ресурсной и водно-экологической обстановки Обь-Иртышского бассейна на региональном и локальном уровнях. Подготовлены картографические модели: аномалий стока для различной обеспеченности; зонирования водосборной территории по степени антропогенной нагрузки на водные объекты; по степени паводковой опасности; природного и техногенного загрязнения поверхностных вод; прогнозного изменения водности речного бассейна на период 20 лет с учетом влияния природно-климатических и антропогенных факторов; прогнозного изменения антропогенной нагрузки на водные объекты речного бассейна на период до 2020 года. Отдельные картографические материалы использованы в монографии в качестве иллюстраций.

Библиографический список

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 443 с.
2. *Архангельский В.А.* Расчеты неустановившегося движения в открытых руслах. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947.
3. *Атавин А.А.* Расчет неустановившегося течения воды в разветвленных системах речных русел или каналов // Динамика сплошной среды. – Новосибирск, Институт гидродинамики СО АН СССР, 1975. – Вып. 22. – С. 25–36.
4. *Атавин А.А., Васильев О.Ф., Воеводин А.Ф., Шугрин С.М.* Численные методы решения одномерных задач гидравлики // Водные ресурсы. – 1983. – Т.10. – № 4. – С. 38–47.
5. *Атавин А.А., Готовцев А.В., Никифоровская В.С.* Расчет неустановившегося течения воды по программе «STREAM» с идентификацией морфометрических параметров по данным натурных наблюдений на участке реки Тиса в нижнем бьефе Кешкере-ГЭС (суточное регулирование турбинами ГЭС на фоне дождевого паводка). Контракт по научно-техническому сотрудничеству № 30/1726-31 между ВО «Внештехника» и ВТП «Теско» (Венгрия). – М.; Будапешт, 1987.
6. *Атавин А.А., Кошелев К.Б., Марусин К.В., Прокопьев С.И., Семчуков А.Н.* Математическое моделирование изменения качества воды в водохранилище под влиянием затопленных почв и растительности (на примере проектируемого Эвенкийского водохранилища) // Устойчивость водных объектов, водосборов и прибрежных территорий, риски их использования: сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. (Калининград, 25–30 июля 2011 г.) – Калининград: Капрос, 2011. – С. 10–16.
7. *Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации [Карты].* – М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2005. – 271 с.
8. *Ашимбаева А.Т.* Достижения и проблемы казахстанско-китайских экономических отношений. 16.03.2007 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ia-entr.ru/archive/publicdetails56c8.html?id=376>.
9. *Балдаков А.Н., Галахов В.П., Зиновьев А.Т., Марусин К.В., Шибких А.А.* Гидрологические исследования при установлении границ водоохранных зон и прибрежных защитных полос рек Республики Алтай // Мир науки, культуры и образования. – 2007. – № 4. – С. 4–7.
10. *Баринова С.С.* Методические аспекты анализа биологического разнообразия водорослей. Ч. I // Водоросли – индикаторы в оценке качества окружающей среды. – М: Изд-во ВНИИприроды, 2000. – С. 6–50.
11. *Булатов В.И.* Карта типов местности юго-востока Западно-Сибирской низменности и принципы ее составления // Науч. зап. Воронеж. отд. ВГО. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1966а. – С. 17–21.
12. *Булатов В.И.* Типы местности и природное районирование юго-востока Западно-Сибирской равнины (в границах Томской области): автореф. канд. дисс. – Воронеж, 1966б. – 24 с.

13. *Васильев О.Ф.* Математическое моделирование гидравлических и гидрологических процессов в водоемах и водотоках (обзор работ, выполненных в Сибирском отделении Российской Академии наук) // Водные ресурсы. – 1999. – Т. 26. – № 5. – С. 600–611.
14. *Васильев О.Ф., Атавин А.А., Пичугина С.В.* Гидрологические особенности эксплуатации Новосибирского гидроузла в зимний период // VI Всерос. гидролог. съезд, СПб., 28 сентября – 1 октября 2004 г. - М.: Метеоагентство Росгидромета, 2008. – С. 131–136.
15. *Васильев О.Ф., Воеводин А.Ф.* Математическое моделирование качества воды в системах открытых русел // Динамика сплошной среды. – Новосибирск, 1975. – Вып. 22.– С. 73–88.
16. *Васильев О.Ф., Гладышев М.Т.* О расчете прерывных волн в открытых руслах // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. – 1966. – № 6. – С. 184–189.
17. *Васильев О.Ф., Гладышев М.Т., Судобичер В.Г.* Численное решение задач о течениях с прерывными волнами в открытых руслах // Численные методы механики сплошной среды. – 1970. – Т. 1. – № 5. – С. 3.
18. *Васильев О.Ф., Годунов С.К., Притвиц Н.А., Темноева Т.А.* Численный метод расчета распространения длинных волн в открытых руслах и приложение его к задаче о паводке // Докл. АН СССР. – 1963. – Т. 151. – № 3.
19. *Васильев О.Ф., Лятхер В.М.* Гидравлика // Механика в СССР за 50 лет. – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – С. 709.
20. *Васильев О.Ф., Савкин В.М., Двуреченская С.Я. и др.* Экологическое состояние Новосибирского водохранилища // Сиб. экол. журн. – 2000. – Т. 7. – № 2. – С. 149–163.
21. *Васильев О.Ф., Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Попов П.А.* Водохозяйственные и экологические проблемы Новосибирского водохранилища // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 2 – № 5. – С. 581–589.
22. *Васильев О.Ф., Темноева Т.А., Шугрин С.М.* Численный метод расчета неустановившихся течений в открытых руслах // Изв. АН СССР. Механика. – 1965. – № 2. – С. 17–25.
23. Вендров С.Л., Маккавеев Н.И., Мельникова Г.Л., Широков В.М. Эволюция берегов и дна водохранилищ // Инженерно-географические проблемы проектирования и эксплуатации крупных равнинных водохранилищ. – М.: Наука, 1972. – С. 7–49.
24. *Верхне-Обское бассейновое управление ФАВР: Официальный сайт.* [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vobvunsk.ru/>.
25. *Визер А.М.* Питание леща Новосибирского водохранилища в зависимости от многолетней динамики донных сообществ // Трофические связи в водных сообществах и экосистемах. – Борок, 2003. – С. 12–14.
26. *Винокуров Ю.И., Зиновьев А.Т.* Математическое моделирование русловых процессов с использованием ГИС-технологий для повышения социальной, экономической и экологической безопасности // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2008. – № 3. – С. 82–89.
27. *Винокуров Ю.И., Цимбалей Ю.М.* Региональная ландшафтная структура Сибири: монография. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2006. – 96 с.

28. *Винокуров Ю.И., Чибилев А.А., Красноярова Б.А., Павлейчик В.М., Платонова С.Г., Сивохин Ж.Т.* Региональные экологические проблемы в трансграничных бассейнах рек Урал и Иртыш // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2010. – № 3. – С. 95–104.

29. *Водная стратегия* Российской Федерации на период до 2020 года и план мероприятий по ее реализации (утв. распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 г. № 1235-р) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.government.ru/content/governmentactivity>.

30. *Водный кодекс* Российской Федерации (от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru/popular/waternew/>.

31. *Воеводин А.Ф., Никифоровская В.С., Остапенко В.В.* О численном моделировании неустановившихся течений в руслах с поймами // Тр. VI конф. «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». – М., 2004. – С. 30–32.

32. *Воробьев Е.К., Жоров В.А., Ловцкая О.В., Яковченко С.Г.* О некоторых алгоритмах расчета кривых обеспеченности и их программной реализации // *Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия: Материалы междунар. науч. конф. 3–7 сентября 2000 г.* – Томск: НТЛ, 2000. – С. 386–388.

33. *Воробьев Е.К., Жоров В.А., Ловцкая О.В., Яковченко С.Г.* О некоторых проблемах численной реализации расчета кривых обеспеченности // *Современные проблемы стохастической гидрологии: Тр. конф. (22–25 января 2001).* – М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2001. – С. 37–39.

34. *Галимханова Р.* ГУП «Южуралгеологоразведка» намерено всерьез заняться поисками и разведкой экологически чистой питьевой воды // Челябинск – новости города и Челябинской области. Экономика. Новости за 14 августа 2001 [Электронный ресурс]. – URL: <http://uralpress.ru/index.php/art14365.htm>.

35. *Гигиенические основы* решения территориальных проблем (на примере КАТЭЖа) / А.А. Добринский, Н.Р. Косибород, В.М. Пивкин, Е.М. Трофимович, и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987. – 249 с.

36. *Гидробионты* Обского бассейна в условиях антропогенного воздействия: сб. науч. тр. – СПб.: ГОСНИРХ, 1995. – 199 с.

37. *Гидрогеология СССР.* – М.: Изд-во Недра, 1970. – Т. XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская, Томская Области). – 365 с.

38. *ГОСТ 27065-86.* Качество вод. Термины и определения.

39. *ГОСТ Р 8.563-96.* Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений.

40. *Государственный водный кадастр.* Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – Т. 1, вып. 10. Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. – 492 с.

41. *Государственный водный кадастр.* Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – Том 6, вып. 4–6, 8–9. Бассейн Карского моря (западная часть). – 476 с.

42. *Готовцев А.В.* Агрегированная эколого-экономическая модель «ВсеВолга» и ее реализация для бассейна Волги // Государственное управление в XXI веке. Традиции и инно-

вации. Материалы 7-й междунар. конф. фак. гос. управления МГУ им. М.В. Ломоносова (27–29 мая 2009 г.). – М.: МАКС Пресс, 2009. – С. 813–823.

43. *Готовцев А.В.* Модификация системы Стритера-Фелпса с целью учета обратной связи между концентрацией растворенного кислорода и скоростью окисления органического вещества // *Водные ресурсы*. – 2010. – Т. 37. – № 2. – С. 125–256.

44. *Готовцев А.В., Атавин А.А., Овчинникова Т.Э., Теленкова А.И.* Имитационное моделирование водоохраных мероприятий на примере Верхнеобского бассейна // *Устойчивость водных объектов, водосборов и прибрежных территорий, риски их использования: сб. науч. тр. Всерос. науч. конф. (Калининград, 25–30 июля 2011 г.)* – Калининград: Капрос, 2011. – С. 136–143.

45. *Грушевский М.С.* Неустановившееся движение воды в реках и каналах. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 288 с.

46. *Гудилин И.С., Боголюбская Н.А., Гаврилюк А.Е., Герасимова Л.В., Запорожец В.А., Пармузин И.Ю., Сыпачева К.С.* Объяснительная записка к ландшафтной карте СССР масштаба 1:2 500 000. – М., 1987. – 102 с.

47. *Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С.* Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты. – М.: Наука, 2006. – 221 с.

48. *Двуреченская С.Я.* Исследование изменчивости гидрохимического режима по акватории Новосибирского водохранилища // *География и природные ресурсы*. – 2007. – №4. – С. 74–79.

49. *Дмитраш М.* Какую воду мы пьем? // *Известия в России*. 13 мая 2008 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.izvestia.ru/russia/article3112289/>.

50. *Доклад «Состояние окружающей среды в Новосибирской области в 2006 году»*. – Новосибирск, 2007.

51. *Доклад о состоянии и об охране окружающей природной среды Республики Алтай в 2007 году*. – Горно-Алтайск, 2008.

52. *Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведения водоохраных мероприятий по территории деятельности Западно-Сибирского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2002 год*. – Новосибирск, 2003.

53. *Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведения водоохраных мероприятий по территории деятельности Западно-Сибирского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2005 год*. – Новосибирск, 2006. – Ч. 1. – 94 с.

54. *Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведения водоохраных мероприятий по территории деятельности Западно-Сибирского межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2007 год*. – Новосибирск, 2008. – Ч. I. – 144 с.

55. *Жадин В.И.* Жизнь в реках // *Жизнь пресных вод СССР*. – М.-Л.: АН СССР, 1950. – Т. 3.

56. *Жерелина И.В., Стоянцева Н.В., Поляков А.А., Кормаков В.И.* Проектирование водоохраных зон и прибрежных защитных полос водных объектов // *Экологический вестник России*. – 2007. – № 2. – С. 2–10.

57. *Жоламанова Г.* Роль ШОС в урегулировании трансграничных рек между Казахстаном и Китаем. Sunday, May 13, 2007 // *Analytic*. – 2007. – № 1. [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.analitika.org/article.php?story=2007050701005068&mode=print>.

58. *Заключительный отчет* ИВЭП СО РАН по теме «Уточнение морфометрических показателей Новосибирского водохранилища» (гос. контракт № 20/08 от 08 июля 2008 г.). – Барнаул, 2009.

59. *Зарубина Е.Ю., М.И. Соколова, Л.М. Киприянова.* Продуктивность доминирующих растительных сообществ Новосибирского водохранилища в 2011 году // *Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Тр. Всерос. науч. конф. с международным участием, г. Барнаул, 20-24 августа 2012 г.* – Барнаул, 2012. – Т. 2. – С. 85–88.

60. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 711 с.

61. *Зиновьев А.Т., А.В. Кудишин, Атавин А.А.* Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2006611428 «Гидроледотермика-1ДН (Польня»)» // Заявка № 2006610634. Дата поступления 03.03.06. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.04.06.

62. *Иванов В.В., Котрехов Е.П.* Опыт численного моделирования неустановившегося движения воды в многорукавной дельте реки // *Тр. ААНИИ*. – 1976. – Т. 314. – С. 16–35.

63. *Израэль Ю.А., Гасилина Н.К., Абакумов В.А.* Гидробиологическая служба наблюдения и контроля поверхностных вод в СССР. – М.: Гидрометеиздат, 1979. – 11 с.

64. *Интегрированное управление водными ресурсами Санкт-Петербурга и Ленинградской области* // Опыт создания системы поддержки принятия решений. – СПб.: Vorey Print, 2001. – 419 с.

65. *Исаченко А.Г.* Экологическая география России. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та. 2001. – 328 с.

66. *Исследование современного состояния и научное обоснование методов и средств обеспечения устойчивого функционирования водохозяйственного комплекса в бассейнах рек Оби и Иртыша: Отчет о НИР (промежуточ.): ЦС 0816900 ВР012, 1-й этап. ИВЭП СО РАН.* – Барнаул, 2010. – 313 с.

67. *Киприянова Л.М., Зарубина Е.Ю.* Особенности формирования растительного покрова Новосибирского водохранилища // *Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, г. Барнаул, 20–24 августа 2012 г.* – Барнаул, 2012. – Т. 2. – С. 100–103.

68. *Киприянова Л.М., Зарубина Е.Ю., Соколова М.И.* О современном состоянии высшей водной растительности Новосибирского водохранилища // *Мир науки, культуры и образования*. – 2009. – № 5. – С. 19–22.

69. *Кириллов В.В.* Воздействие на водные экосистемы Сибири: определяющие факторы, экологические эффекты, оценка экологического риска // *Экологический менеджмент, основанный на понятии риска*. – Барнаул: Изд-во «Азбука», 2001а. – С. 44–60.

70. *Кириллов В.В.* Разнообразие водных экосистем бассейна Оби // *Введение в экологическое моделирование*. – Барнаул: Изд-во «Азбука», 2001б. – С. 9–43.

71. *Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Яныгина Л.В., Третьякова Е.И., Кириллова Т.В. Котовщиков А.В., Ермолаева Н.И.* Факторы и показатели самоочищения реки Оби // *Фунда-*

ментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы III Всерос. конф. с междунар. участием (Барнаул, 24–28 августа 2010 г.). – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. – С. 137–140.

72. *Кириллов В.В., Ковалевская Н.М., Котовщиков А.В., Ловцкая О.В., Дьяченко А.В.* Информационные аспекты экологической безопасности Новосибирского водохранилища // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посв. 25-летнему юбилею ИВЭП СО РАН. – Барнаул, 2012. – Т. 2. – С. 233–239.

73. *Кириллова Т.В., Котовщиков А.В.* Растительные пигменты как показатели экологического состояния Новосибирского водохранилища // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 1(13). – С. 26–30.

74. *Кириллова Т.В., Митрофанова Е.Ю.* Индикация качества воды реки Оби по составу и количеству планктонных водорослей // Тез. докл. науч.-практ. семинара, г. Барнаул, 27–29 марта 2002 г. – Барнаул, 2002а. – С. 46–49.

75. *Кириллова Т.В., Митрофанова Е.Ю.* Состав и структура фитопланктона Средней Оби // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. – Томск, 2002б. – С. 200–219.

76. *Китаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. – М.: Наука, 1984. – 207 с.

77. *Ковалевская Н.М., Кириллов В.В., Кириллова Т.В., Ловцкая О.В.* Сравнительные оценки качества воды в Новосибирском водохранилище на основе лимнологических MERIS-моделей и данных высокого разрешения Worldview-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 176–186.

78. *Ковалевская Н.М., Кириллов В.В., Ловцкая О.В., Кириллова Т.В.* Компьютерное моделирование полей концентрации хлорофилла для лимнологических объектов на основе спутниковых MERIS-данных (на примере Новосибирского водохранилища) // Проблемы мониторинга окружающей среды (ЕМ-2009): отд. вып. Горного информационно-аналитического бюллетеня (науч.-техн. журн.). № ОВ17. – М.: Изд-во «Горная книга», 2009. – С. 175–179.

79. *Комлев А.М.* Исследования и расчеты зимнего стока рек (на примере Западной Сибири) // Тр. ЗСРНИГМИ. – 1973. – Вып. 9. – 199 с.

80. *Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2007 году* // Официальный сайт Министерства по радиационной и экологической безопасности Челябинской области [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ecol.ural-ecol.uu.ru/doklad/2007_2/index.htm.

81. *Конституция Российской Федерации.* – М., 1993.

82. *Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года* (утв. распоряжением Правительства РФ от 17.11.2008 г. № 1662-п) [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.consultant.ru/>.

83. *Кормаков В.И., Жерелина И.В., Стоянцева Н.В., Поляков А.А.* Методические подходы к проектированию водоохраных зон и прибрежных защитных полос на урбанизированных территориях (на примере г. Барнаула) // Использование и охрана природных ресурсов в России: бюл. МПР. – 2004. – № 2. – С. 55–60.

84. *Котрехов Е.П.* Особенности расчета неустановившегося движения воды на устьевых участках крупных рек Сибири // Тр. ААНИИ. – 1972. – Т. 297. – С. 6–20.
85. *Котрехов Е.П.* Численное моделирование гидравлического режима сложных озерно-речных систем (на примере р. Вуоксы) // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27. – № 3. – С. 273–285.
86. *Критерии* оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утверждено Приказом Минприроды РФ от 30 ноября 1992 г. // Зеленый мир. – 1994. – № 11.
87. *Куприянова Е.И.* Водный баланс Западно-Сибирской равнины. – М.: Наука, 1967. – 63 с.
88. *Ландшафтная карта СССР* масштаба 1:2 500 000 / ред. И.С. Гудилин. – М., 1980.
89. *Ландшафтное планирование: принципы, методы, европейский и российский опыт.* – Иркутск, 2002. – 141 с.
90. *Максимов А.А.* Природные циклы. Причины повторяемости экологических процессов – Л.: Наука, 1989.
91. *Материалы* к Государственному докладу «О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2006 году». – Кемерово, 2007.
92. *Материалы* к ежегодному изданию доклада «О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2007 году». – Барнаул, 2008. – 168 с.
93. *Методические указания № 169* по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов / Утв. приказом МПР России от 4 июля 2007 г.
94. *Минеева Н.М.* Пигментные характеристики планктона водохранилищ и их изменчивость в водах разной трофии // Биология внутренних вод. – 2000. – № 3. – С. 24–34.
95. *Модельный* Водный кодекс для государств-участниц Содружества Независимых Государств (принят на 27-м пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества. Постановление № 27-10 от 16.11.2006 г.).
96. *Моисеенко А.* Лужков поворачивает реки // Комсомольская правда. – 2003. – 5 янв.
97. *Московченко Д.В.* Геохимия ландшафтов севера Западно-Сибирской равнины: структурно-функциональная организация вещества геосистем и проблемы экодиагностики: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – СПб., 2010. – 33 с.
98. *Национальный атлас России.* Общая характеристика территории. – М.: ЦКГФ, 2004. – Т. 1. – 495 с.
99. *Нечаева Е.Г.* Ландшафтно-геохимические черты зональных подразделений долино-таежного Обь-Иртышья // География почв и геохимия ландшафтов Сибири. – Иркутск: Ин-т географии СО АН СССР, 1988. – С. 3–17.
100. *Нечаева Е.Г.* Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. – Иркутск: Ин-т географии СО АН СССР, 1985. – 210 с.
101. *Никаноров А.М.* Качество водных ресурсов Российской Федерации и совершенствование системы наблюдений // Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России. – Краснодар: ООО «Авангард плюс», 2010. – С. 360–369.

102. *Новости* // Агентство новостей «Тюменская линия». 12.03.2008. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.t-l.ru/news/120531166629795.shtml>.

103. *Новости* // Федеральное агентство по недропользованию. Омский филиал ФБУ «ТФГИ по Сибирскому федеральному округу». – 2007. – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.omsktfi.ru/cgi-bin/first.cgi?d=4_1_2_1.

104. *О состоянии* окружающей природной среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения в Свердловской области в 2006 году: Государственный доклад. – Екатеринбург, 2007. – 299 с.

105. *Об утверждении* Положения о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах: Постановление Правительства РФ от 23.11.1996 г. № 1404 // Рос. газ. – 1996. – 11 дек.

106. *Областная целевая программа* «Питьевая вода Томской области». – Томск, 2005.

107. *Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62–76.

108. *Отчет* о выполнении работ по теме «Подготовка и анализ исходных материалов по гидрометеорологической изученности Обь-Иртышского бассейна» // Фондовые материалы ЗАО «Центр инженерных технологий». – Барнаул, 2008. – 76 с.

109. Папина Т.С., Третьякова Е.И., Эйрих А.Н. Оценка поступления биогенных элементов из донных отложений в воду Новосибирского водохранилища // Вода: химия и экология. – 2012. – № 6. – С. 3–9.

110. *Паспорт* целевой программы Курганской области «Чистая вода на 2009–2013 годы». Приложение к постановлению Курганской областной думы от 23 декабря 2008 г., № 3701.

111. *Печеркин И.А., Печеркин А.И., Каченов В.И.* Теоретические основы прогнозирования экзогенных геологических процессов на берегах водохранилищ. – Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1980. – 85 с.

112. *Питьевое водоснабжение населения* // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии РФ. Сибирский федеральный округ. Территориальный фонд информации. Филиал по Омской области [Электронный ресурс]. – URL: http://www.omsktfi.ru/cgi-bin/first.cgi?d=4_1_2_1.

113. ПНД Ф 14.1:2:4.140-98. Методика выполнения измерений массовых концентраций бериллия, ванадия, висмута, кадмия, кобальта, молибдена, мышьяка, никеля, олова, свинца, селена, серебра, меди, сурьмы и хрома в питьевых, природных, сточных водах методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

114. ПНД Ф 14.1:2:4.139-98. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

115. *Подлитский Ю.И.* К вопросу организации и некоторые итоги комплексных исследований Новосибирского водохранилища // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. Тр. Зап.-Сиб. регион. науч.-исслед. Ин-та. – 1985. – Вып. 70. – С. 3–16.

116. *Понько В.А.* Методология космогеопрогноза // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2005. – № 4. – С. 88–95.
117. *Понько В.А.* Система «Экопрогноз». – Новосибирск, 1996. – 95 с.
118. *Пособие* по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 447 с.
119. *Предельно* допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03. – М., 2003.
120. *Природа* Ямала / отв. ред. Л.Н. Добринский. – Екатеринбург: Наука, 1995. – 436 с.
121. *Природные* опасности России. – М.: Изд-во «КРУК», 2002. – Т. 3 «Экзогенные геологические опасности». – 345 с.
122. *Проблемы Байкала* // Тр. АН СССР. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1978. – Т. 16 (36). – С. 124-144.
123. *Проблемы* территориального перераспределения водных ресурсов. – М.: ИВП АН СССР, 1985. – 504 с.
124. *Прокаев В.И.* Физико-географическое районирование: учеб. пособ. – М.: Просвещение, 1983. – 176 с.
125. *Прохорова Н.* Вода – это жизнь! // Публикации.12.04.2006: Инновационный портал Уральского Федерального округа [Электронный ресурс]. – URL: <http://river.invur.ru/index.php?id=17>.
126. Р 52.24.309-2004. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета.
127. *Расчет* аналитических кривых обеспеченности («Гидростатистика»): свидетельство № 200060667 Российской Федерации / В.А. Жоров, Е.К. Воробьев, О.В. Ловцкая, С.Г. Яковченко; правообладатель Ин-т водных и экологических проблем СО РАН. Заявка № 2000610563; дата поступления 13 июня 2000 г.; зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 20.07.2000.
128. *Ревякин В.С., Галахов В.П., Голецихин В.П.* Горноледниковые бассейны Алтая. – Томск: ТГУ, 1979. – 309 с.
129. *Результаты* работ по изучению уровня остаточного загрязнения пестицидами прибрежной зоны и акватории Телецкого озера: отчет НИР. ГНУ РА «АРИ «Экология». – Горно-Алтайск, 2007.
130. *Рекомендации* по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / ФГУП НИИ «ВОДГЕО». – М., 2006.
131. *Робертус Ю.В., Пузанов А.В., Любимов Р.В., Архипов И.А.* Уровни присутствия и особенности поведения ртути в природных средах и техногенных объектах района Акташского ГМП (Республика Алтай) // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы междунар. симп. (Москва, 7-9 сент. 2010 г.). – М., 2010. – С. 144–149.

132. *Рогунович В.П.* Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 264 с.
133. *Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 421 с.
134. *Руководство по гидробиологическому мониторингу поверхностных экосистем / под ред. В.А. Абакумова.* – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
135. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. А.Д. Семенова.* – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 354 с.
136. *Рыбкина И.Д.* Территориальная и отраслевая структура водопользования в Обь-Иртышском бассейне // Водные проблемы крупных бассейнов и пути их решения. – Барнаул, 2009. – С. 557–566.
137. *Рыбкина И.Д., Стояцева Н.В.* Оценка антропогенной нагрузки на водосборную территорию Верхней и Средней Оби // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – № 6. – Ч. 2. – С. 295–299.
138. *Рыбкина И.Д., Стояцева Н.В.* Проблемы водопользования в регионах Сибири // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Материалы Третьей всерос. конф. с междунар. участием. – Барнаул: Изд-во АРТ, 2010. – С. 612–615.
139. *Рыбкина И.Д., Стояцева Н.В., Курепина Н.Ю.* Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Водное хозяйство России. – 2011. – № 4. – С. 42–52.
140. *Савкин В.М.* Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 2000. – 152 с.
141. *Самойлова Г.С.* Типы местностей Горного Алтая: автореф. канд. дис. – М., 1963. – 23 с.
142. *Севастьянов В.И.* Экологическое районирование акваторий водохранилищ энергокомплексов // Водные ресурсы. – 1987. – №4. – С. 59–64.
143. *Сецко Р.И.* Изменение численности рыб Новосибирского водохранилища за 36 лет его существования // Биологическая продуктивность водоемов Западной Сибири и их рациональное использование. – Новосибирск, 1997. – С. 100–103.
144. *Скорняков В.А., Даценко Ю.С., Масленикова В.В.* Картографирование условий самоочищения природных вод // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. – 1997. – № 5. – С. 62–66.
145. СНиП 2.04.02-84. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».
146. *Состояние окружающей среды Республики Хакасия в 2007 году / Государственный комитет по охране окружающей среды и природопользованию Республики Хакасия.* – Абакан, 2008. – 72 с.
147. СП 33-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России [Электронный ресурс]. – URL: www.vptp.ru/file/SP33-101-2003.doc.
148. *Стебаев И.В., Пивоварова Ж.Ф., Смоляков Б.С., Неделькина С.В.* Биогеосистемы лесов и вод России. – Новосибирск: Наука, 1993. – 347 с.

149. *Стокер Дж. Дж.* Волны на воде. – М.: Изд-во иностр. лит., 1959. – 618 с.
150. *Стояцева Н.В.* Современное использование водных ресурсов крупных речных бассейнов Обь-Иртышья // Водные проблемы крупных бассейнов и пути их решения. – Барнаул, 2009. – С. 580–589.
151. *Стратегия* социально-экономического развития Сибири до 2020 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 5 июля 2010 г № 1120-р) [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.consultant.ru/>.
152. *Стурман В.И.* Основы экологического картографирования. – Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1995. – 221 с.
153. *Тарасенко С.Я., Варламова И.Е., Охалин С.Н.* Гидрохимический режим и качество воды основных притоков Новосибирского водохранилища // География и природные ресурсы. – 1998. – №4. – С. 38-44.
154. *Утечка воды* из водопроводов Свердловской области. Лента новостей за 19.04.2007. [Электронный ресурс]. – URL:<http://www.urbc.ru/daynews.asp?ida=157410>.
155. *Тризно А.К., Хабидов А.Ш., Савкин В.М., Кусковский В.С.* Береговые процессы и проблемы берегозащиты (на примере Новосибирского водохранилища) // Водное хозяйство России. – 2000. – Т. 2 – № 4. – С. 356–368.
156. *Уиттекер Р.* Сообщества и экосистемы. – М.: Мир, 1980. – 328 с.
157. *Финаров Д.П.* Динамика берегов и котловин водохранилищ гидроэлектростанций СССР. – Л.: Энергия, 1974. – 244 с.
158. *Формирование* береговой зоны Новосибирского водохранилища. – Новосибирск, 1968. – 196 с.
159. *Фортуатов М.А.* О проточности и водообмене водохранилищ // Тр. Ин-та биологии внутр. вод АН СССР. – Л.; Наука, 1974. – С. 111–116.
160. *Хабидов А.Ш.* Динамика берегов крупных водохранилищ. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 124 с.
161. *Хабидов А.Ш., Жиндарев Л.А., Кусковский В.С., Овчинников Г.И., Савкин В.М., Тржицинский Ю.Б.* Геоморфология береговой зоны и побережий крупных водохранилищ Сибири. – Новосибирск: Наука, 2001. – 120 с.
162. *Хабидов А.Ш., Леонтьев И.О., Марусин К.В., Шлычков В.А., Савкин В.М., Кусковский В.С.* Управление состоянием берегов водохранилищ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009 – 239 с.
163. *Христианович С.А.* Неустановившиеся движения в каналах и реках. Некоторые вопросы механики сплошной среды. – М., 1938. – С. 13–153.
164. *Целевая программа* Омской области «Обеспечение населения Омской области питьевой водой на 2004-2010 годы». Прилож. № 1 к Закону Омской области от 9 июля 2003 г. № 460-ОЗ.
165. *Чан Тхань Чай.* Численный расчет системы каналов для сбора и отвода ливневых вод с территории рисоводческого хозяйства // Численные методы механики сплошной

среды. – Новосибирск, Вычислительный центр, Институт теоретической и прикладной механики СО АН СССР, 1978. – Т. 9. – № 2. – С. 134–146.

166. *Шутиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

167. *Шлычков В.А.* Математическая модель динамики водотоков в областях со сложной геометрией. Материалы конференции «Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов». – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2005. – С. 248–250.

168. *Шугрин С.М.* Численный расчет неустановившегося движения воды в системах речных русел или каналов // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. – 1969. – Вып. 1. – № 3. – С. 25–31.

169. *Экологический мониторинг.* Состояние окружающей среды Томской области в 2006 году. – Томск: Графика, 2007. – 148 с.

170. *Ямало-Гыданская область* (физико-географическая характеристика). – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 309 с.

171. *Яныгина Л.В.* Роль *Viviparus viviparus* (L.) (Gastropoda, Viviparidae) в формировании сообществ макрозообентоса Новосибирского водохранилища // Рос. Журн. биологических инвазий. – 2011. – № 7. – С. 98–107.

172. *Atavin A.A., Vasiliev O.F., Vojvodin A.F.* Numerical methods for the calculation of unsteady flow in system of open channels and canals // International symposium on unsteady flow in open channels. – England, 1976 (april). – P. E2.

173. *Atavin A.A., Kudishin A.V., Zinoviev A.T.* Mathematical modelling of hydrotechnical impact on hydrothermal and ice cover behavior of rivers // Advances in Hydro-Science and Engineering. Vol. 1, Part A. – Washington, 1993. – P. 1019–1024.

174. *Boussinesq J.* Theorie des ondes et des remous etc. // J. Math. Pure et Applique. – 1872. – Ser. 17. – P. 55–108.

175. *Entekhabi D., Asrar Ch., Betts A.K. et al.* An Agenda for Land Surface Hydrology Research and Call for the Second International Hydrological Decade // Bul. Amer. Meteorol. Society. – 1999. – Vol. 80. – N 10. – P. 2043–2058.

176. *Preissmann A., Cunge J.A.* Calcul des intumescences sur machines électroniques, Proceedings 9th Congress IAHR, Dubrovnik (1961). – P. 656–664.

177. *Rayan R. J., Harleman D. R., Stolzenbach F.* Surface heat loss from cooling ponds // Water resources research. – 1974. – Vol. 10. – N 5. – P. 930–938.

178. *Saint V.B.* Theorie du mouvement non permanent des eaux // Comptes Rendus de l'Ac. des Sciences. – 1871. – N 68. – P. 147–237.

179. *Wake A., Rumer R.R.* Modeling ice regime of lake Eria // J. of the Hydr. Division. – 1979. – Vol. 105. – N HY7. – P. 824–844.

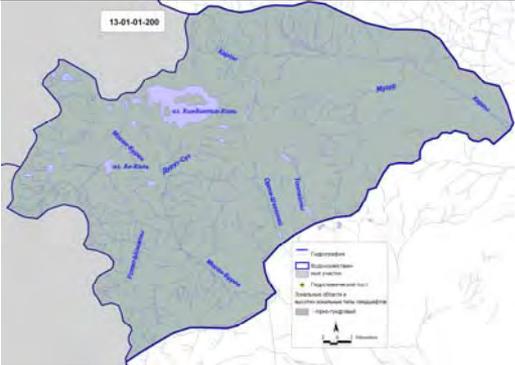
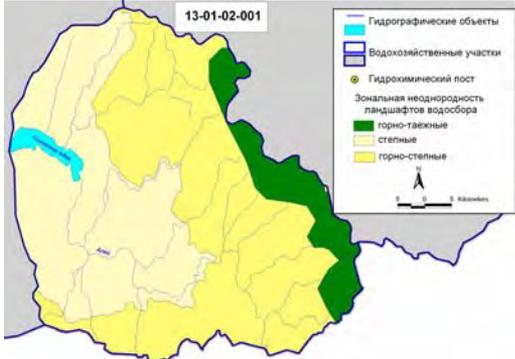
180. *Wetzel R.G., Likens G.E.* Limnological Analyses. – N.Y.: Springer-Verlag Inc., 1991. – P. 153–165.

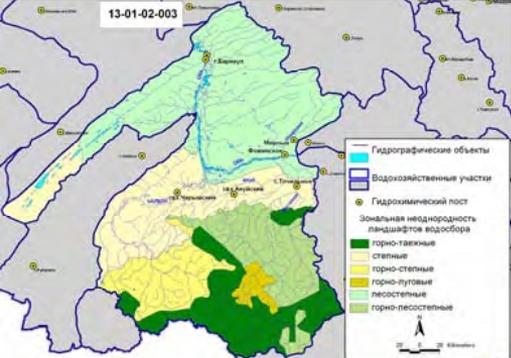
Приложение

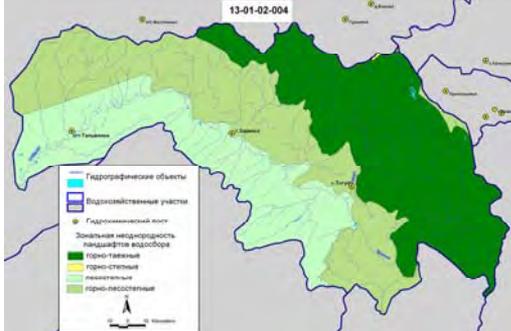
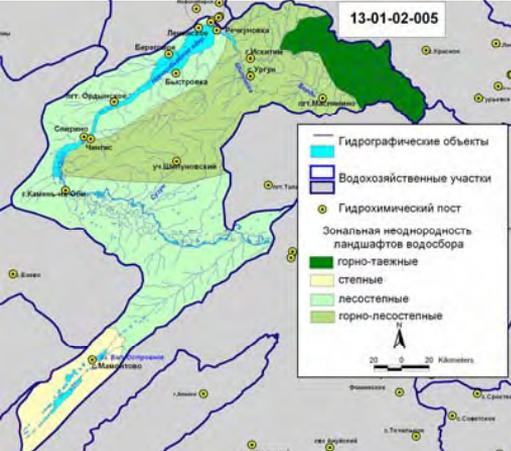
Характеристика водохозяйственных участков (ВХУ) Обь-Иртышского бассейна

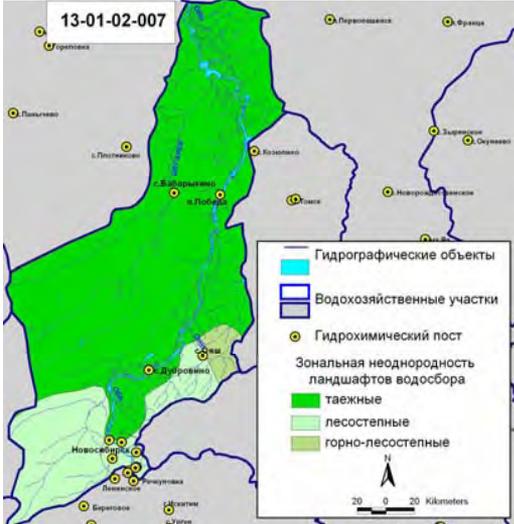
№ п/п	Код ВХУ	Наименование, основные водные объекты	Сведения об участке: а) площадь водосбора; б) площадь ВХУ; в) территория субъекта РФ	Карта-схема водохозяйственных участков	Зональная неоднородность ландшафтов водосбора, %*	Тип поверхностных вод с учетом природно-климатических и гидрохимических условий и их доля, %	Степень антропогенной нагрузки, балл
1	13.01.01.001	бассейн оз. Телецкое	а) 19,5 тыс. км ² б) 19,5 тыс. км ² в) Республика Алтай		горно-тундровая и нивально-гляциальная – 35,8; горно-таежная – 58,2 (очень малая); горно-степная – 0,02; горно-луговая – 6,0	I – 94,0 VI – 6,0	1

2	13.01.01.002	р. Бия	<p>а) 37 тыс. км² б) 17,5 тыс. км² в) Республика Алтай, Алтайский край</p>		<p>горно-тундровая и нивально- гляциальная – 5,3; горно-таежная – 70,2; лесостепная – 8,8 (малая); горно-лесостепная – 15,7</p>	<p>I – 75,5 V – 24,5</p>	2
3	13.01.01.003	р. Катунь	<p>а) 60,9 тыс. км² б) 60,9 тыс. км² в) Республика Алтай, Алтайский край</p>		<p>горно-тундровая и нивально- гляциальная – 25,7; высокогорно- таежная – 49,9 (очень малая); степная – 0,9; горно-степная – 5,9; горно-луговая – 8,2 лесостепная – 2,3 (средняя); горно-лесостепная – 7,1</p>	<p>I – 75,6 V – 15,0 VI – 9,4</p>	2

4	13.01.01.200	бессточная территория между бассейнами рек Обь, Енисей и границей РФ с Монголией	а) 3,7 тыс. км ² б) 3,7 тыс. км ² в) Республика Тыва		горно-тундровая – 100, 0**	I – 100,0	1
5	13.01.02.001	верховья р. Алей до Гилевского г/у	а) 3,1 тыс. км ² б) 2,8 тыс. км ² в) Алтайский край		горно-таежная – 10,1; степная – 40,6; горно-степная – 49,3 (г/х постов нет)	III – 10,1 VI – 89,9	2

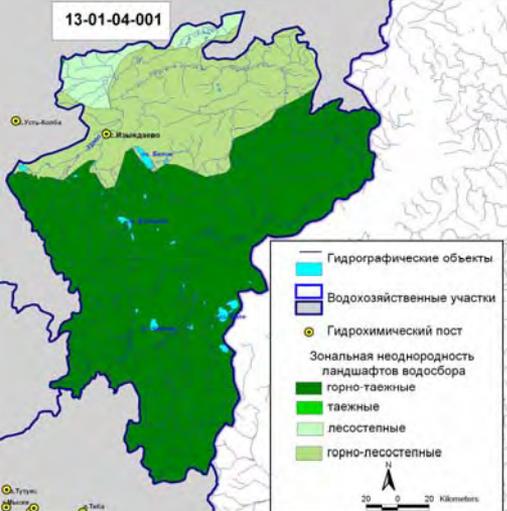
6	13.01.02.002	р. Алей от Гилевского г/у до устья	<p>а) 21,1 тыс. км² б) 18,0 тыс. км² в) Алтайский край</p>		<p>степная – 88,7 (средняя); горно-степная – 0,6; лесостепная – 10,7</p>	<p>V – 10,7 VI – 89,3</p>	2
7	13.01.02.003	р. Обь от слияния рек Бия и Катунь до г. Барнаул без р. Алей	<p>а) 169 тыс. км² б) 50 тыс. км² в) Республика Алтай, Алтайский край</p>		<p>горно-таежная-14,5; степная – 23,5 (средняя); лесостепная – 38,2 (средняя); горно-степная – 9,3 горно-луговая – 2,0; горно-лесостепная – 12,6</p>	<p>III – 14,5 V – 50,8 VI – 34,7</p>	2

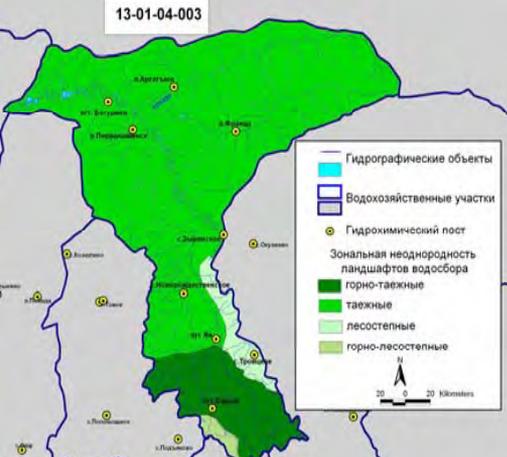
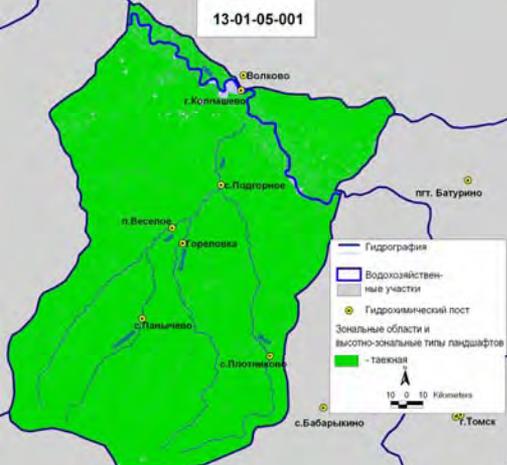
8	13.01.02.004	р. Чумыш	<p>а) 23,9 тыс. км² б) 23,9 тыс. км² в) Алтайский край, Новосибирская, Кемеровская обл.</p>		<p>лесостепная – 28,0; горно-степная – 0,1; горно-лесостепная – 34,5 (средняя); горно-таежная – 37,4</p>	<p>III – 37,4 V – 62,5 VI – 0,1</p>	2
9	13.01.02.005	р. Обь от г. Барнаул до Новосибирско-го г/у без р. Чумыш	<p>а) 232 тыс. км² б) 39,1 тыс. км² в) Алтайский край, Кемеровская обл.</p>		<p>степная – 8,3 (повышенная); лесостепная – 50,5 (средняя); горно-лесостепная – 31,7 (средняя); горно-таежная – 9,5</p>	<p>III – 9,5 V – 82,2 VI – 8,3</p>	2

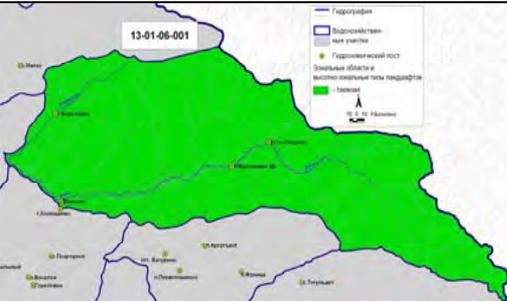
10	13.01.02.006	р. Иня	<p>а) 17,6 тыс. км² б) 17,6 тыс. км² в) Кемеровская, Новосибирская обл.</p>		<p>лесостепная – 9,1; степная – 35,7 (повышенная); горно-лесостепная – 46,2 (средняя); горно-таежные – 9,0</p>	<p>III – 9,0 V – 55,3 VI – 35,7</p>	3
11	13.01.02.007	р. Обь от Новосибирского г/у до впадения р. Чулым без рек Иня и Томь	<p>а) 343 тыс. км² б) 31,4 тыс. км² в) Новосибирская, Томская обл.</p>		<p>лесостепная – 19,4 (средняя); таежная – 78,4 (малая); горно-лесостепная – 2,2</p>	<p>IV – 78,4 V – 21,6</p>	2

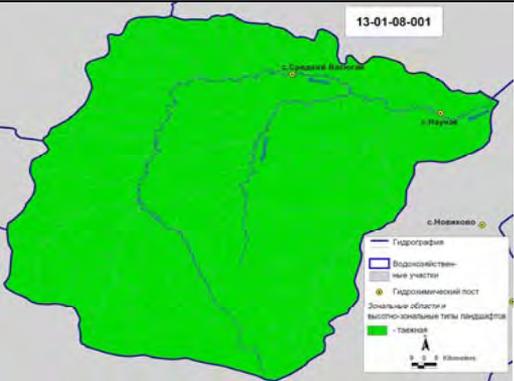
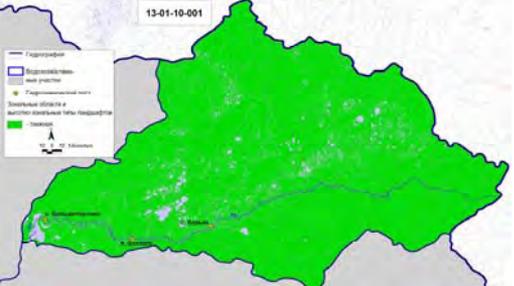
12	13.01.03.001	р. Кондома	<p>а) 585 тыс. км² б) 8,3 тыс. км² в) Кемеровская обл., Алтайский край, Республика Алтай</p>		<p>горно-лесостепная – 09; горно-таежная – 99,1 (малая)</p>	<p>III – 99,1 V – 0,9</p>	2
13	13.01.03.002	р. Томь от истока до г. Новокузнецк без р. Кондома	<p>а) 29,8 тыс. км² б) 21,5 тыс. км² в) Кемеровская обл., Республика Хакасия, Республика Алтай</p>		<p>горно-лесостепная – 9,3 (малая); горно-таежная – 90,7 (очень малая);</p>	<p>III – 90,7 V – 9,3</p>	3

14	13.01.03.003	р. Томь от г. Новокузнецк до г. Кемерово	а) 47,4 тыс. км ² б) 17,6 тыс. км ² в) Кемеровская обл.		горно-лесостепная – 34,5 (средняя); горно-таежная – 52,7	III – 37,5 V – 62,5	2
15	13.01.03.004	р. Томь от г. Кемерово до устья	а) 62 тыс. км ² б) 14,6 тыс. км ² в) Кемеровская обл.		горно-таежная – 4,5; таежная – 67,0 (малая); горно-лесостепная – 28,5 (средняя)	III – 4,5 IV – 67,0 V – 28,5	3

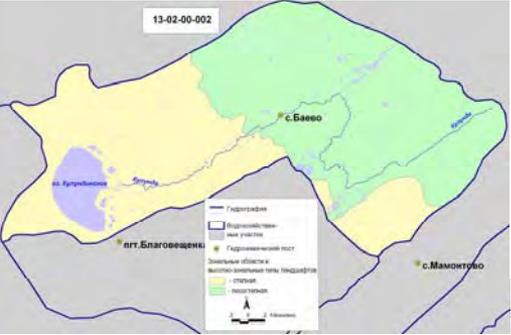
16	13.01.04.001	р. Чулым от истока до г. Ачинск	<p>а) 34,2 тыс. км² б) 34,2 тыс. км² в) Красноярский край, Республика Хакасия, Кемеровская обл.</p>		<p>лесостепные – 4,5**; горно-лесостепные – 26,18**; горно-таежные – 69,27**; таежная – 0,03**</p>	<p>III – 69,27 IV – 0,03 V – 30,7</p>	2
17	13.01.04.002	р. Чулым от г. Ачинск до в/п с. Зырянское	<p>а) 92,5 тыс. км² б) 58,3 тыс. км² в) Кемеровская, Томская обл., Красноярский край</p>		<p>лесостепная – 17,9 (малая); таежная – 64,4 (малая); горно-лесостепная – 3,9; горно-таежная – 13,8 (малая)</p>	<p>III – 13,8 IV – 64,4 V – 21,8</p>	2

18	13.01.04.003	р. Чулым от в/п с. Зырянское до устья	а) 134 тыс. км ² б) 41,5 тыс. км ² в) Томская, Кемеровская обл.		лесостепная – 3,8 (средняя); таежная – 82,2 (средняя); горно-лесостепная – 1,2; горно-таежная – 12,8 (средняя)	III – 12,8 IV – 82,2 V – 5,0	2
19	13.01.05.001	р. Обь от впадения р. Чулым до впадения р. Кеть	а) 515 тыс. км ² б) 38 тыс. км ² в) Томская, Новосибирская обл.		таежная – 100,0 (средняя)	IV – 100,0	2

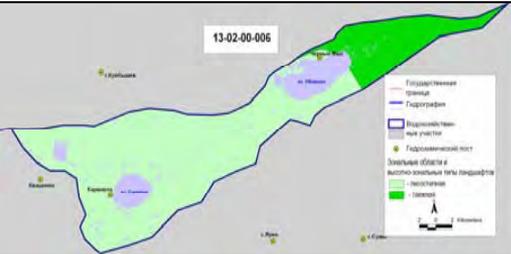
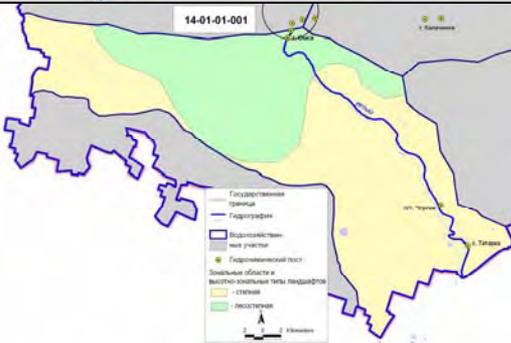
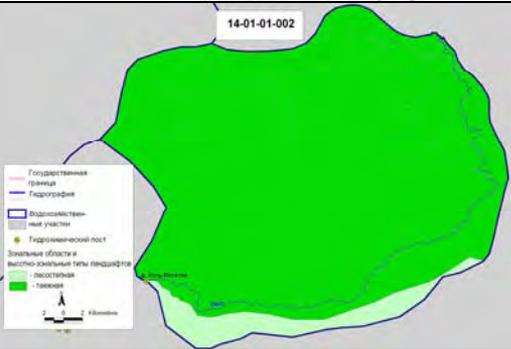
20	13.01.06.001	р. Кеть	<p>а) 94,2 тыс. км² б) 94,2 тыс. км² в) Томская обл., Красноярский край</p>		таежная – 100,0 (малая)	IV – 100,0	1
21	13.01.07.001	р. Обь от впадения р. Кеть до впадения р. Васюган	<p>а) 641 тыс. км² б) 31,8 тыс. км² в) Новосибирская, Томская обл.</p>		таежная – 100,0 (средняя)	IV – 100,0	2

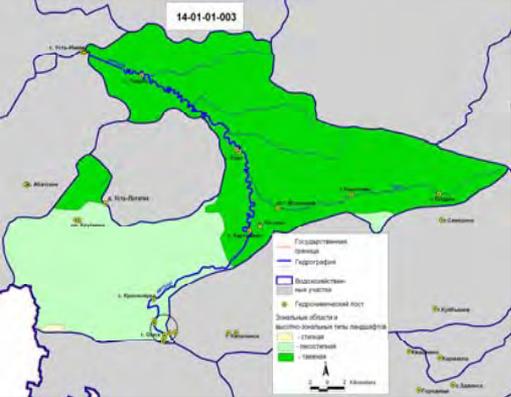
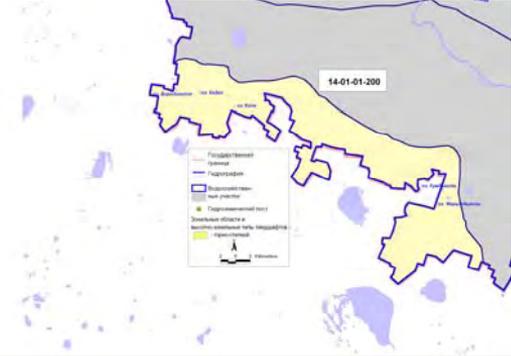
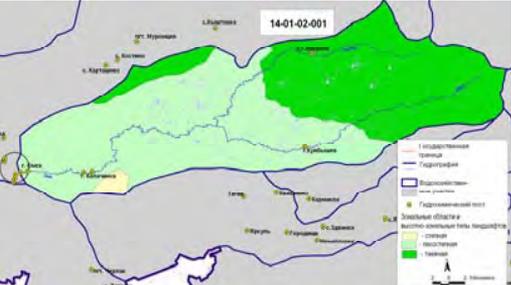
22	13.01.08.001	р. Васюган	а) 61,8 тыс. км ² б) 61,8 тыс. км ² в) Томская, Омская, Новосибирская обл.		таежная – 100,0 (малая)	IV – 100,0	1
23	13.01.09.001	р. Обь от впадения р. Васюган до впадения р. Вах	а) 776 тыс. км ² б) 73,2 тыс. км ² в) Томская обл., Красноярский край, Ханты-Мансийский АО		таежная – 100,0 (малая)	IV – 100,0	1
24	13.01.10.001	р. Вах	а) 76,7 тыс. км ² б) 76,7 тыс. км ² в) Ханты-Мансийский АО		таежная – 100,0 (малая)	IV – 100,0	1

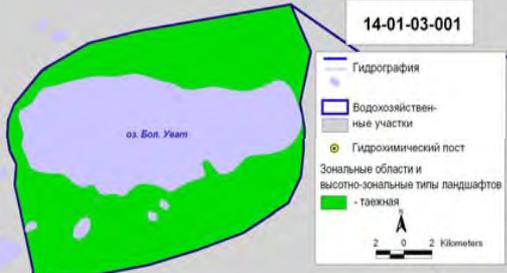
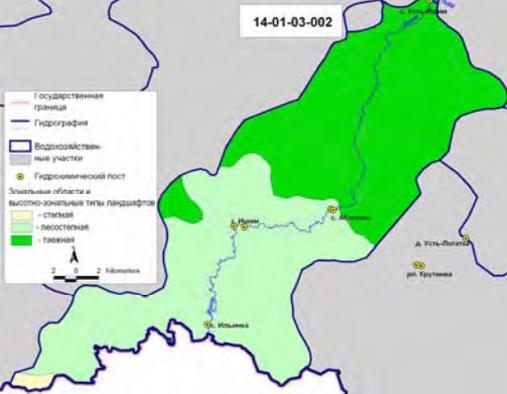
25	13.01.11.001	р. Обь от впадения р. Вах до г. Нефтеюганск	<p>а) 971 тыс. км² б) 118,3 тыс. км² в) Ханты-Мансийский АО</p>		таежная – 100,0 (малая)	IV – 100,0	2
26	13.01.11.002	р. Обь от Нефтеюганска до впадения р. Иртыш	<p>а) 1040 тыс. км² б) 69 тыс. км² в) Ханты-Мансийский АО</p>		таежная – 100,0 (малая)	IV – 100,0	2

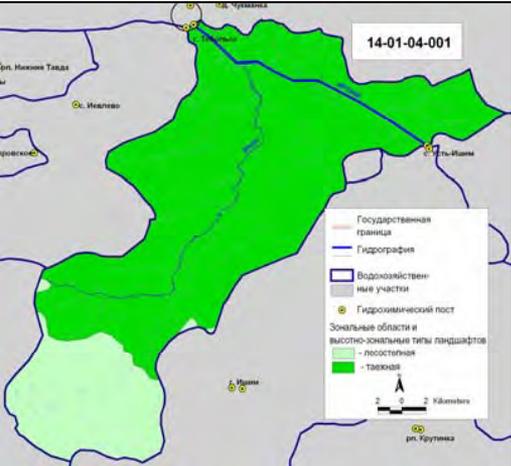
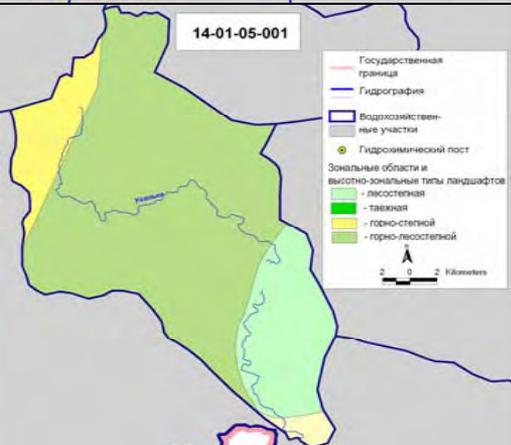
27	13.02.00.001	бассейн оз. Кучукского	а) 7 тыс. км ² б) 7 тыс. км ² в) Алтайский край		степная – 99,0 (высокая); лесостепная – 1,0	VII – 100,0	2
28	13.02.00.002	бассейн оз. Кулундинского	а) 12,8 тыс. км ² б) 12,8 тыс. км ² в) Алтайский край		степная – 47,8; лесостепная – 52,2 (высокая)	VII – 100,0	2

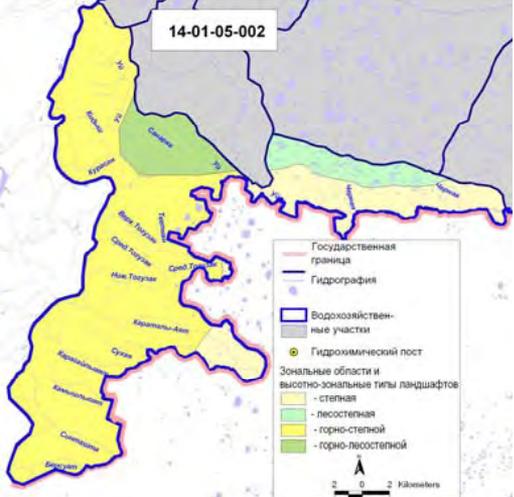
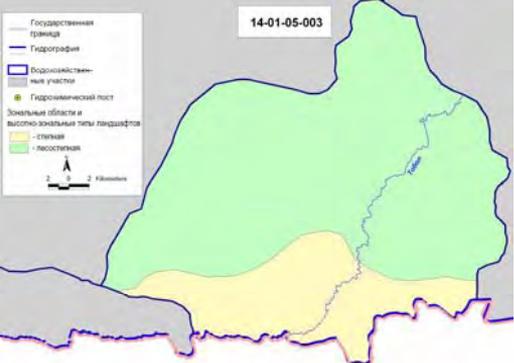
29	13.02.00.003	водные объекты южнее бассейна р. Бурла без бассейнов озера Кучукско-го и Кулундинского	а) 23 тыс. км ² б) 23 тыс. км ² в) Алтайский край		степная – 100,0 (г/х постов нет)	VII – 100,0	2
30	13.02.00.004	бассейн оз. Б. Топольное и р. Бурла	а) 33 тыс. км ² б) 33 тыс. км ² в) Алтайский край, Новосибирская обл.		степная – 39,7; лесостепная – 60,3 (высокая)	VII – 100,0	2
31	13.02.00.005	бассейн оз. Чаны и водные объекты до границы с бассейном р. Иртыш	а) 39 тыс. км ² б) 39 тыс. км ² в) Новосибирская, Омская обл.		степная – 15,6; лесостепная – 73,1 (высокая); таежная – 11,3	IV – 11,3 VII – 88,7	2

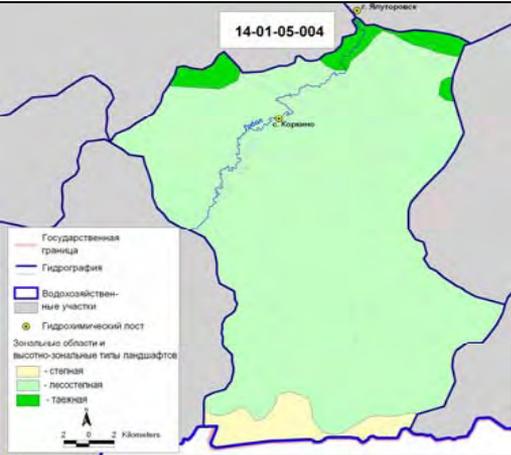
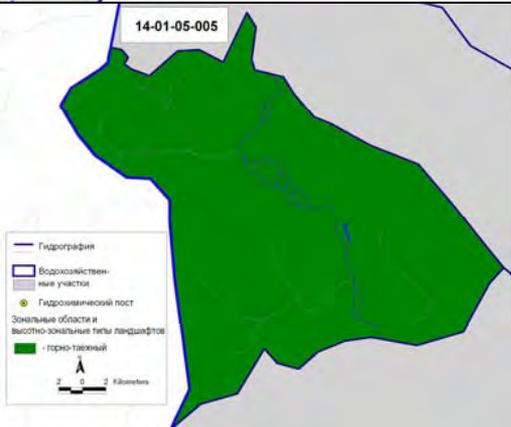
32	13.02.00.006	водные объекты между бассейнами оз. Чаны и р. Омь	а) 7,5 тыс. км ² б) 7,5 тыс. км ² в) Новосибирская обл.		лесостепная – 8 2,1 (высокая); таежная – 17,9	IV – 17,9 VII – 82,1	2
33	14.01.01.001	р. Иртыш от границы с Республикой Казахстан до впадения р. Омь	а) 716 тыс. км ² б) 19 тыс. км ² в) Омская обл.		степная – 65,2**; лесостепные – 34,8**	V – 65,2 VI – 34,8	2
34	14.01.01.002	р. Оша	а) 21,3 тыс. км ² б) 21,3 тыс. км ² в) Омская обл.		лесостепная – 6,6**; таежная – 93,4**	IV – 93,4 V – 6,6	1

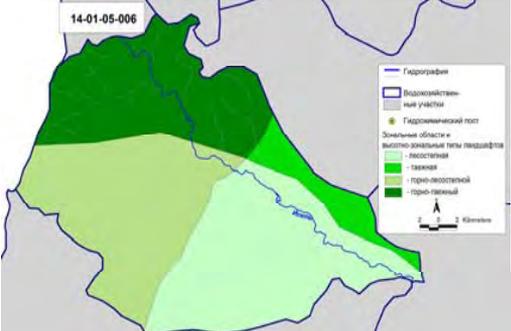
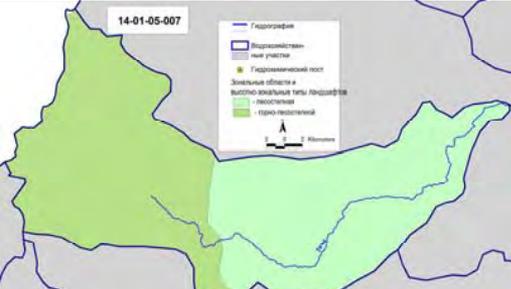
35	14.01.01.003	р. Иртыш от впадения р. Омь до впадения р. Ишим без р. Оша	а) 878 тыс. км ² б) 88,1 тыс. км ² в) Омская, Новосибирская, Тюменская обл.		<p>степная – 0,3**; лесостепная – 35,2**; таежная – 64,5**</p>	<p>IV – 64,5 V – 35,2 VI – 0,3</p>	2
36	14.01.01.200	бессточные приграничные территории междуречья Иртыша и Ишима	а) 3,7 тыс. км ² б) 3,7 тыс. км ² в) Республика Тыва		<p>степная – 100,0**</p>	<p>VII – 100,0</p>	2
37	14.01.02.001	р. Омь	а) 52,6 тыс. км ² б) 52,6 тыс. км ² в) Омская, Новосибирская обл.		<p>степная – 1,2**; лесостепная – 55,2**; таежная – 43,6**</p>	<p>IV – 43,6 V – 55,2 VI – 1,2</p>	2

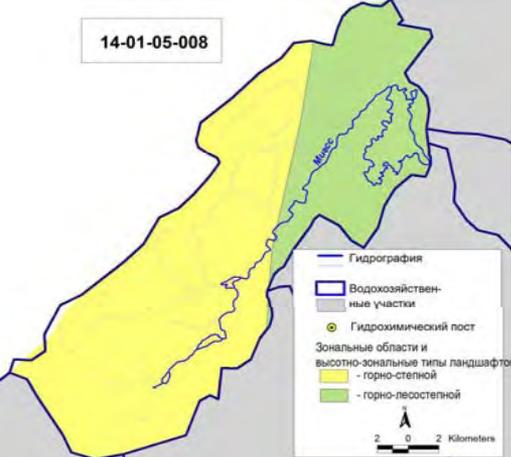
38	14.01.03.001	р. Ишим, бассейн оз. Б. Уват до г/у Б. Уват	а) 0,4 тыс. км ² б) 0,4 тыс. км ² в) Тюменская обл.		таежная – 100,0**	IV – 100,0	1
39	14.01.03.002	р. Ишим от границы РФ с Республикой Казахстан до устья без оз. Б. Уват	а) 162 тыс. км ² б) 34,3 тыс. км ² в) Омская, Курганская, Тюменская обл.		степная – 0,9; лесостепная – 48,9 (повышенная) таежная – 50,2 (средняя)	IV – 50,2 V – 48,9 VI – 0,9	2

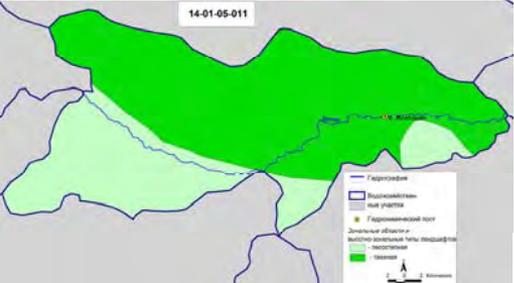
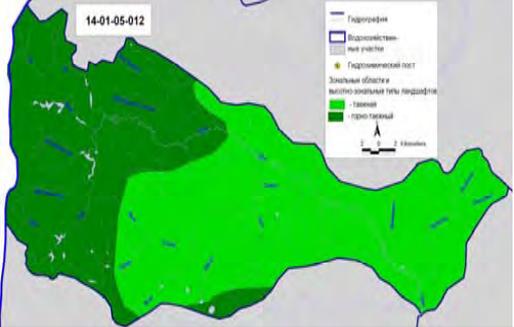
40	14.01.04.001	р. Иртыш от впадения р. Ишим до впадения р. Тобол	а) 1075 тыс. км ² б) 35 тыс. км ² в) Тюменская, Курганская, Омская обл.		лесостепная – 18,7; таежная – 81,3 (средняя)	IV – 81,3 V – 18,7	2
41	14.01.05.001	р. Увелька	а) 5,8 тыс. км ² б) 5,8 тыс. км ² в) Челябинская обл.		степная – 1,9**; лесостепная – 17,8**; горно-степная – 9,5**; горно-лесостепная – 70,8**	V – 88,6 VI – 11,4	2

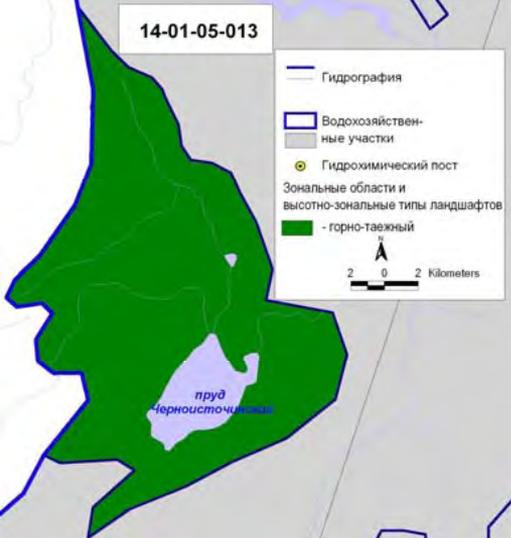
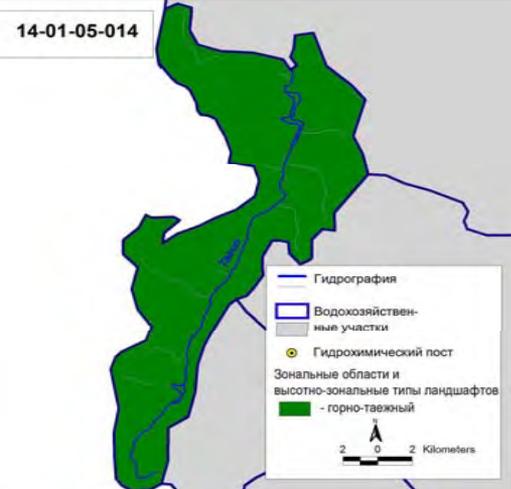
42	14.01.05.002	<p>верховья р. Тобол до впадения р. Уй без р. Увелька (российская часть бассейна)</p>	<p>а) 38,7 тыс. км² б) 32,9 тыс. км² в) Челябинская, Оренбургская, Курганская обл., Республика Башкортостан</p>		<p>степная – 16,0**; лесостепная – 6,6**; горно-степная – 69,0**; горно-лесостепная – 8,4**</p>	<p>V – 15,0 VI – 85,0</p>	2
43	14.01.05.003	<p>р. Тобол от впадения р. Уй до г. Курган</p>	<p>а) 159 тыс. км² б) 19 тыс. км² в) Курганская обл.</p>		<p>степная – 23,1**; лесостепная – 76,9**</p>	<p>V – 76,9 VI – 23,1</p>	2

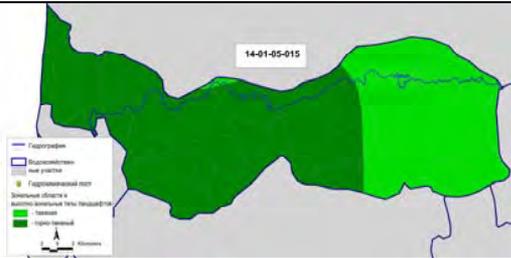
44	14.01.05.004	р. Тобол от г. Курган до впадения р. Исеть	а) 182 тыс. км ² б) 23 тыс. км ² в) Тюменская, Курганская обл.		<p>степная – 5,1**; лесостепная – 90,8**; таежная – 4,1**</p>	<p>IV – 4,1 V – 90,8 VI – 5,1</p>	2
45	14.01.05.005	р. Исеть от истока до г. Екатеринбург	а) 1,1 тыс. км ² б) 1,1 тыс. км ² в) Свердловская обл.		<p>горно-таежная – 100,0**</p>	<p>III – 100,0</p>	3

46	14.01.05.006	р. Исеть от г. Екатеринбург до впадения р. Теча	а) 13 тыс. км ² б) 11,9 тыс. км ² в) Свердловская, Челябинская, Курганская обл.		лесостепная – 34,6**; таежная – 6,4**; горно-лесостепная – 31,2**; горно-таежная – 27,8**	III – 27,8 IV – 6,4 V – 65,8	3
47	14.01.05.007	р. Теча	а) 7,6 тыс. км ² б) 7,6 тыс. км ² в) Челябинская, Курганская обл.		лесостепная – 49,5**; горно-лесостепная – 50,5**	V – 100,0	2

48	14.01.05.008	р. Миасс от истока до Аргазинского г/у	<p>а) 2,8 тыс. км² б) 2,8 тыс. км² в) Челябинская обл., Республика Башкортостан</p>		<p>горно-степная – 67,2**; горно-лесостепная – 32,8**</p>	<p>V – 32,8 VI – 67,2</p>	3
49	14.01.05.009	р. Миасс от Аргазинского г/у до г. Челябинск	<p>а) 5,6 тыс. км² б) 2,8 тыс. км² в) Челябинская обл.</p>		<p>горно-лесостепная – 100,0**</p>	<p>V – 100,0</p>	3

50	14.01.05.010	р. Миасс от г. Челябинск до устья	а) 21,8 тыс. км ² б) 16,2 тыс. км ² в) Курганская, Челябинская обл.		лесостепная – 89,7**; горно-лесостепная – 10,3**	V – 100,0	2
51	14.01.05.011	р. Исеть от впадения р. Теча до устья без р. Миасс	а) 58,9 тыс. км ² б) 39,6 тыс. км ² в) Курганская, Тюменская обл.		лесостепная – 33,2**; таежная – 66,8**	IV – 66,8 V – 33,2	2
52	14.01.05.012	р. Тура от истока до впадения р. Тагил	а) 12,9 тыс. км ² б) 12,9 тыс. км ² в) Свердловская, Пермская обл.		таежная – 56,2**; горно-таежная – 43,8**	III – 43,8 IV – 56,2	2

53	14.01.05.013	р. Черная от истока до Черноисточинского г/у	а) 0,3 тыс. км ² б) 0,3 тыс. км ² в) Свердловская обл.		горно-таежная – 100,0**	III – 100,0	2
54	14.01.05.014	р. Тагил от истока до г. Нижний Тагил без р. Черная	а) 2 тыс. км ² б) 1,7 тыс. км ² в) Свердловская обл.		горно-таежная – 100,0**	III – 100,0	3

55	14.01.05.015	р. Тагил от г. Нижний Тагил до устья	<p>а) 10,1 тыс. км² б) 8,1 тыс. км² в) Свердловская обл.</p>		<p>таежная – 38,0**; горно-таежная – 62,0**</p>	<p>III – 62,0 IV – 38,0</p>	2
56	14.01.05.016	р. Нейва от истока до Невьянского г/у	<p>а) 0,8 тыс. км² б) 0,8 тыс. км² в) Свердловская обл.</p>		<p>горно-таежная – 100,0**</p>	<p>III – 100,0</p>	3

57	14.01.05.017	р. Аяць от истока до Аятского г/у	а) 0,5 тыс. км ² б) 0,5 тыс. км ² в) Свердловская обл.		горно-таежная – 100,0**	III – 100,0	2
58	14.01.05.018	р. Реж (без р. Аяць от истока до Аятского г/у) и р. Нейва (от Невьянского г/у) до их слияния	а) 10 тыс. км ² б) 8,7 тыс. км ² в) Свердловская обл.		таежная – 18,8**; горно-таежная – 81,2**	III – 81,2 IV – 18,8	2
59	14.01.05.019	р. Ница от слияния рек Реж и Нейва до устья	а) 22,3 тыс. км ² б) 12,3 тыс. км ² в) Свердловская обл.		таежная – 93,1**; горно-таежная – 6,9**	III – 6,9 IV – 93,1	2

60	14.01.05.020	р. Пышма от истока до Белярского г/у	а) 1,4 тыс. км ² б) 1,4 тыс. км ² в) Свердловская обл.		горно-таежная – 100,0**	III – 100,0	3
61	14.01.05.021	р. Рефт от истока до Рефтинского г/у	а) 1,2 тыс. км ² б) 1,2 тыс. км ² в) Свердловская обл.		горно-таежная – 100,0**	III – 100,0	3
62	14.01.05.022	р. Пышма от Белярского г/у до устья без р. Рефт	а) 19,7 тыс. км ² б) 16,9 тыс. км ² в) Свердловская, Тюменская, Курганская обл.		таежная – 92,4**; горно-таежная – 7,6**	III – 7,6 IV – 92,4	2

63	14.01.05.023	р. Тура от впадения р. Тагил до устья без рек Тагил, Ница и Пышма	а) 80,4 тыс. км ² б) 15,4 тыс. км ² в) Свердловская, Тюменская обл.		таежная – 100,0**	IV – 100,0	2
64	14.01.05.024	р. Сосьва от истока до водпоста д. Морозково	а) 11,5 тыс. км ² б) 11,5 тыс. км ² в) Свердловская обл.		таежная – 22,7**; горно-таежная – 77,3**	III – 77,3 IV – 22,7	2

65	14.01.05.025	р. Тавда от истока до устья без р. Сосьва	<p>а) 88,1 тыс. км² б) 76,6 тыс. км² в) Свердловская, Тюменская обл.</p>		<p>таежная – 83,9**; горно-таежная – 16,1**</p>	<p>III – 16,1 IV – 83,9</p>	1
66	14.01.05.026	р. Тобол от впадения р. Исеть до устья без рек Тура и Тавда	<p>а) 426 тыс. км² б) 16,6 тыс. км² в) Тюменская обл.</p>		<p>таежная – 100,0**</p>	<p>IV – 100,0</p>	2

67	14.01.06.001	р. Конда	<p>а) 72,8 тыс. км² б) 72,8 тыс. км² в) Ханты-Мансийский АО</p>		таежная – 100,0**	IV – 100,0	1
68	14.01.07.001	р. Иртыш от впадения р. Тобол до г. Ханты-Мансийск без р. Конда	<p>а) 1650 тыс. км² б) 76,2 тыс. км² в) Тюменская, Омская обл.</p>		таежная – 100,0 (малая)	IV – 100,0	1

69	15.02.01.001	р. Обь от впадения Иртыша до впадения р. Северная Сосьва	а) 2760 тыс. км ² б) 87 тыс. км ² в) Ханты-Мансийский АО		таежная – 100,0 (малая)	IV – 100,0	1
70	15.02.02.001	р. Северная Сосьва	а) 98,3 тыс. км ² б) 98,3 тыс. км ² в) Ханты-Мансийский АО		таежная – 82,5 (малая); горно-таежная – 15,8; горно-тундровая и нивально-гляциальная – 1,7	I – 1,7 III – 15,8 IV – 82,5	1

71	15.02.03.001	р. Обь от впадения р. Северная Сосьва до г. Салехард	а) 2950 тыс. км ² б) 91,7 тыс. км ² в) Ханты-Мансийский АО		таежная – 85,4 (малая); лесотундровая и тундровая – 4,2 (очень малая); горно-таежная – 1,8; горно-тундровая и нивально-гляциальная – 8,6	I – 8,6 II – 4,2 III – 1,8 IV – 85,4	1
72	15.02.03.002	р. Обь от г. Салехард до устья	а) 2990 тыс. км ² ; б) 40 тыс. км ² ; в) Ямало-Ненецкий АО		горно-тундровая и нивально-гляциальная – 23,4**; лесотундровая и тундровая – 76,6**;	I – 23,4 II – 76,6	1

Примечание: * – в скобках указан тип минерализации, ** – данных по минерализации нет.

Список сокращений

- БПК – биологическое потребление кислорода, т. е. количество кислорода, необходимое для аэробного биохимического окисления содержащихся в воде органических соединений
- БПК₅ – биохимическое потребление кислорода за 5 суток
- БПК₁₀ – биохимическое потребление кислорода за 10 суток
- ВР – водные ресурсы
- ВХК – водохозяйственный комплекс
- ВХУ – водохозяйственный участок
- ГИС – геоинформационная система
- ЗВ – загрязняющие вещества
- ИМК – информационно-моделирующий комплекс
- ИМС – информационно-моделирующая система
- ПДК_{вр} – предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей
- СППР – система поддержки принятия решений
- УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязнения вод
- УМО – уровень мертвого объема
- ХПК – химическое потребление кислорода, т.е. количество кислорода, потребляемое при химическом окислении содержащихся в воде органических и неорганических веществ под действием различных окислителей
- 2-ТП(водхоз) – форма федерального государственного статистического наблюдения «Сведения об использовании воды»

Научное издание

**Современное состояние водных ресурсов
и функционирование водохозяйственного комплекса
бассейна Оби и Иртыша**

Редактор В.И. Смирнова

Подписано в печать 17.12.2012. Формат 70x108/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л.

Уч.-издат. л. 13,0

Тираж 500 экз. Заказ

Издательство СО РАН

630090, Новосибирск, Морской просп., 2,
e-mail: psb@sibrscn.ru, тел. (383)330-81-50

Отпечатано в типографии «Колорит»

656037, Барнаул, ул. Карагандинская, 6А,
e-mail: colorit5@yandex.ru, Тел. (385-2) 77-44-11