

ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

ЗАДАНИЯ ПРОГРАММ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приоритетное направление СО РАН – 24.

Природные процессы в криосфере, гидросфере, атмосфере и ландшафтной оболочке Земли и их эволюция с учетом антропогенного воздействия.

Программа 24.2. Процессы формирования гидросферы, водных ресурсов и лимнических систем Сибири

Координаторы программы: ак. О.Ф. Васильев, ак. М.А. Грачев

Проект 24.2.1. Гидрологические и экологические процессы в речных системах и их водосборных бассейнах в различных природных зонах Сибири

Научные руководители: ак. О.Ф. Васильев, д.ф.-м.н. И.А. Суторихин

Ответственные исполнители: к.г.н. В.А. Жоров, д.ф.-м.н. В.А. Шлычков

Блок 1. Исследование процессов формирования речного стока на водосборах с использованием ландшафтно-гидрологических моделей и ГИС-технологий

Разработаны научные основы учета пространственного распределения гидрологических характеристик водосборного бассейна, заключающиеся в совместном использовании приближенных методов ландшафтно-гидрологического моделирования гидрологических процессов и ландшафтно-индикационного подхода к определению гидрологических параметров водосбора (Яковченко, Жоров, 2004; Бураков и др., 2004).

Ландшафтно-гидрологические комплексы различной иерархической соподчиненности, являясь интегральной системой, отражают пространственное распределение факторов климата и подстилающей поверхности.

Элементарный стокооднородный участок располагается в пределах одной структурной единицы ландшафта. Параметры достаточно общей для региона модели дифференцируются с учетом ландшафтно-гидрологической структуры водосборных бассейнов.

Гидрологические параметры водосбора определяются с использованием физиономических характеристик ландшафтов (рельеф, почвы, растительность, структура гидрографической сети) и экстраполируются на территории с подобными ландшафтными условиями, что позволяет создавать и реализовывать региональные приближенные модели формирования стока с распределенными параметрами при отсутствии или недостаточности исходной информации о пространственно-временном распределении гидрологических характеристик.

Учет пространственного распределения гидрологических характеристик (Zhorov et al., 2006; Lovtskaya et al., 2006) при совместном использовании методов ландшафтной индикации и ландшафтно-гидрологического моделирования позволяет устранить основные недостатки, присущие приближенным моделям с сосредоточенными параметрами (Жоров, 2004; Бураков и др., 2004).

Разработана и адаптирована к условиям бассейна Верхней Оби концептуальная ландшафтно-гидрологическая модель с распределенными параметрами. Проведение массовых расчетов с ее использованием для бассейнов, находящихся в различных природно-климатических условиях, позволяет оценить элементы водного баланса водосборных бассейнов при отсутствии наблюдений, что является основой для разработки новых методов инженерной гидрологии и гидрологических прогнозов (Яковченко, Жоров, 2004; Бураков и др., 2004).

С использованием ландшафтно-гидрологического подхода, ГИС-технологий и данных спутникового зондирования проведено районирование модельного бассейна р. Кондомы (приток р. Томи).

Фрагмент карты с выделенными стокооднородными участками приведен на рис. 1.

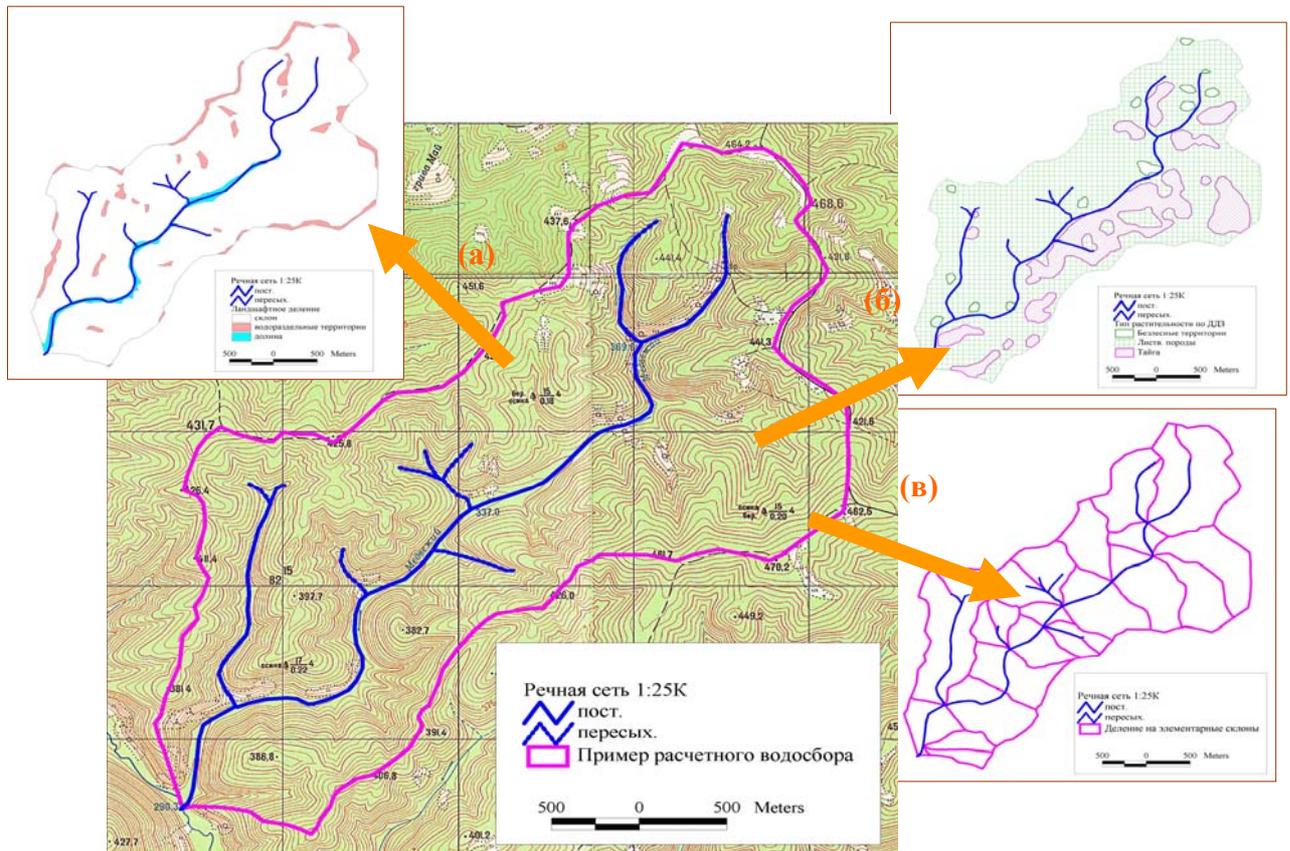


Рис. 1. Пример расчетного водосбора на фоне карты 1:25:000. (а) – ландшафтная структура участка (по рельефу ДДЗ SRTM), (б) – типы растительности по данным ДДЗ, (в) – расчетные элементы территории

Блок 2. Гидродинамическое моделирование течений, переноса веществ и их биохимической трансформации в бассейнах рек и русловых системах

Проведен анализ отечественных и зарубежных литературных источников по проблеме моделирования гидрологических процессов на водосборе. С разной степенью детальности освещены следующие вопросы.

1. Классификация компьютерных моделей поверхностного стока
2. Области применения моделей водосбора
3. Отдельные модели тало-дождевого стока
4. Оценка эффективности расчетных методов
5. Специальные гидрологические модели
6. Универсальные программные пакеты
 - 6.1. Европейская гидрологическая система SHE
 - 6.2. Система компьютерного моделирования MIKE
 - 6.3. Компоненты системы EPA (Environmental Protection Agency)
 - 6.4. Комплексная модель почвы и воды SWIM
 - 6.5. Двухмерная поперечно-усредненная модель гидродинамики и качества воды CE-QUAL-W2

Рассмотрено более 20 компьютерных моделей и интегрированных систем для решения гидрологических задач на водосборах. Список литературы содержит 120 наименований.

Основная цель работы состояла в определении роли, возможностей и места детерминированных физико-математических моделей в обширном спектре гидрологических методов описания водосборных бассейнов для условий Западной Сибири. Вывод, следующий из критического анализа современных средств моделирования, состоит в следующем. Гидродинамические модели

водосборных бассейнов весьма капризны, требуют больших объемов натурной информации (в том числе, калибровочной) и детальной настройки на объект исследования. Более или менее успешно численные модели апробированы на небольших водосборах порядка сотен квадратных километров. По этим причинам физико-математическое моделирование водосборов не может иметь самостоятельного значения для практических расчетов бассейнов крупных сибирских рек. Вместе с тем, такие модели могут применяться в целях детализации отдельных небольших субводосборов со сложными физико-географическими условиями в пределах крупного водосбора.

В рамках разработки второго этапа проблемы сформулирована математическая модель продвижения волны паводка по руслу с поймами. Модель предназначена для описания пойменной аккумуляции речного стока и получена на базе уравнений мелкой воды с привлечением априорных предположений о поперечной структуре потока.

В качестве целей работы ставилось разработка математической модели для описания течений в руслах и поймах применительно к крупным рекам Обь-Иртышского бассейна. Последнее обстоятельство обуславливает целесообразность использования одномерных модельных представлений как эффективного подхода для описания речных систем большой протяженности.

В настоящее время не решен ряд вопросов гидравлики пойм – таких, как методы расчета пропускной способности русел с поймами, динамики затопления и опорожнения пойм, регулирующая и аккумулирующая роль пойм при пропуске паводков, оценка эффектов взаимодействия руслового и пойменного потоков, построение кривых расходов с петлями, расчет скоростей и уклонов свободной поверхности. В гидрологической практике используют главным образом эмпирические методы, основанные на статистической обработке натурных измерений. Следует отметить малое количество публикаций по этой проблеме и трудности получения натурной информации

При постановке задачи в качестве исходной принята система плановых уравнений Сен-Венана для однослойного водотока в горизонтально неоднородном ложе. Численное решение плановых уравнений требует значительных вычислительных ресурсов и применяется обычно для расчета течений сложной структуры в сравнительно небольших областях с характерными размерами 1-10 км и на короткие времена. На практике для изучения длиннопериодной и сезонной динамики водотоков применяют одномерные аппроксимации русел в виде канала, а вариациями скорости в поперечном направлении пренебрегают. Однако, при изучении взаимодействия русла с поймами поперечный обмен как раз и является ведущим. В связи с этим появляется необходимость постановки задачи с учетом наличия пойменных емкостей.

Вывод уравнений совместного движения русловых и пойменных вод основан на разбиении области на три отсека: русло, лево- и правобережные поймы. На рисунке 2 представлена схематизация поперечной структуры потока в виде русла (область 0) и затопленных пойм (области 1,2). Там же дано распределение базовых компонентов течения – расходов в направлениях «русло-поймы» $P_1^{(y)}, P_2^{(y)}$, продольных расходов в областях 0,1,2 $Q_0^{(x)}, Q_1^{(x)}, Q_2^{(x)}$, и искомых уровней h_0, h_1, h_2 .

Интегрирование исходных 2-мерных уравнений по этим отсекам с применением интегро-интерполяционного метода позволяет получить взаимосвязанную систему из 8 дифференциальных уравнений для упомянутых компонентов течения. Таким образом, результирующая система уравнений является обобщением уравнений Сен-Венана в одномерном приближении на случай неравных уровней воды в русле и поймах а также наличия поперечных расходов, обуславливающих передачу массы и импульса в пойменные емкости.

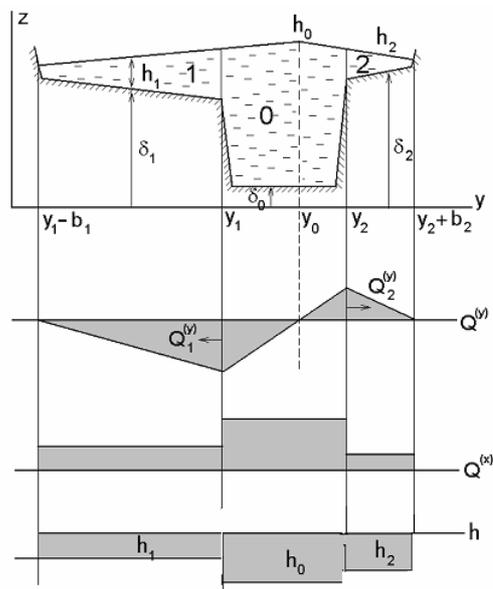


Рис. 2. Схематизация русла и пойм в поперечнике.

Большие пространственные масштабы русловых течений в Обь-Иртышском бассейне обуславливают при численном моделировании применения сеток с крупными шагами и невысоким разрешением, которые могут привести к появлению заметных ошибок в расчетах. Для уменьшения схемных погрешностей желательно использование численных методов повышенного порядка точности. С этой целью для линейного уравнения переноса и диффузии сравнивались между собой различные разностные схемы от 1-го до 4-го порядка аппроксимации - как по пространству, так и по времени. Рассматривались в основном схемы с использованием не более 3-х точек по пространству и по времени. Для монотонизации схем использовались TVD-конструкции для построения неосциллирующих интерполянтов и введение искусственной вязкости. Сравнивались следующие схемы: двухслойная неявная с противопотоковой разностью по пространству, TVD- модификация схемы Лакса- Вендрофа, двухслойная явная схема Ошера – Чакраварти, двухслойные неявная компактные схемы с искусственной вязкостью и без нее, трёхслойная неявная компактная схема. Базовый алгоритм расчета адвекции основан на обобщении схемы Ошера-Чакраварти на неявный способ аппроксимации согласно подходу Хартена. Применяемые схемы имеют 2-ой порядок точности по пространству и времени.

Выведенные уравнения для расчета расходов и уровней в системе "река-пойма" являются незамкнутыми, т.к. содержат неизвестные параметры поперечного обмена импульсом. Для целей определения этих параметров рассматривается задача мелкомасштабного взаимодействия модельных течений в речном русле и пойме с различными скоростями. Тангенциальный разрыв скорости обуславливает развитие неустойчивости, связываемой с именами Кельвина, Гельмгольца. Сформулирована математическая постановка задачи исследования неустойчивости на основе двумерных плановых уравнений гидродинамики турбулентных течений. При построении численной модели используется конечно-разностная сетка высокого пространственного разрешения, обеспечивающая возможность прямого описания крупных вихрей в поле турбулентности, генерируемых на линии раздела. Прямой расчет характеристик турбулентного взаимодействия позволяет в явном виде вычислить напряжения Рейнольдса и найти необходимые замыкающие связи в системе уравнений для русла и поймы. Рис. 3 иллюстрирует пространственное распределение продольной скорости вблизи границы раздела. Поле поверхности уровня показано на рис. 4 в виде трехмерной поверхности (начальное положение уровня отмечено точечной линией на продольной боковой грани, положение поймы выделено черной полосой на торцевой грани). Возвышения поверхности более отчетливо выражены на пойме, для русловой части характерны глубокие минимумы уровня.

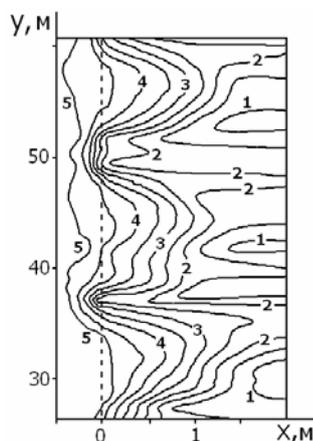


Рис. 3. Структура поля продольной скорости на границе раздела "русло-пойма"

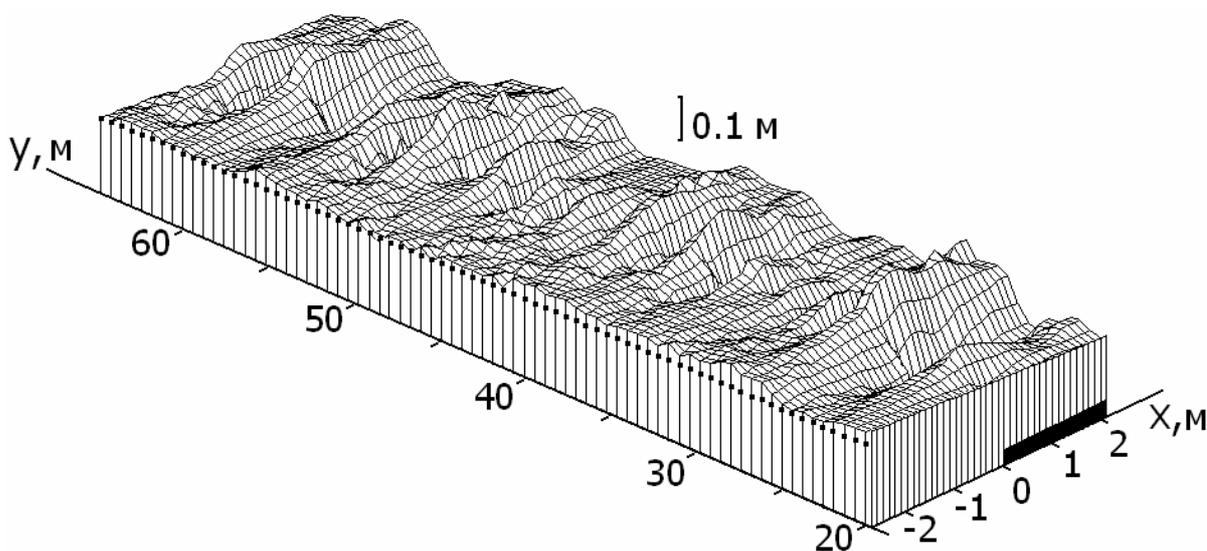


Рис. 4. Рельеф свободной поверхности при развитом взаимодействии русла и поймы

Возвращаясь к рассмотренной выше трехкомпонентной модели (русло и две поймы), зададим морфометрические функциональные зависимости, связывающие ширину водного зеркала и живое сечение с глубиной потока. С этой целью рассмотрим русло в виде прямоугольного канала длиной 150 км и шириной 500 м, глубину потока примем равной 4,5 м. Эти параметры близки к характеристикам течения р. Обь в районе Новосибирска в весенний предпаводочный период. В средней части области зададим пойменные понижения в обеих сторон русла, имеющие размеры в поперечнике до 2 км при повышении уровня до 9 м. Рис. 5 показывает положение уреза воды на пойме при различных положениях уровня воды. Введенные представления позволяют задать необходимые функциональные зависимости и провести тестовые расчеты по изучению регулирующей роли пойм.

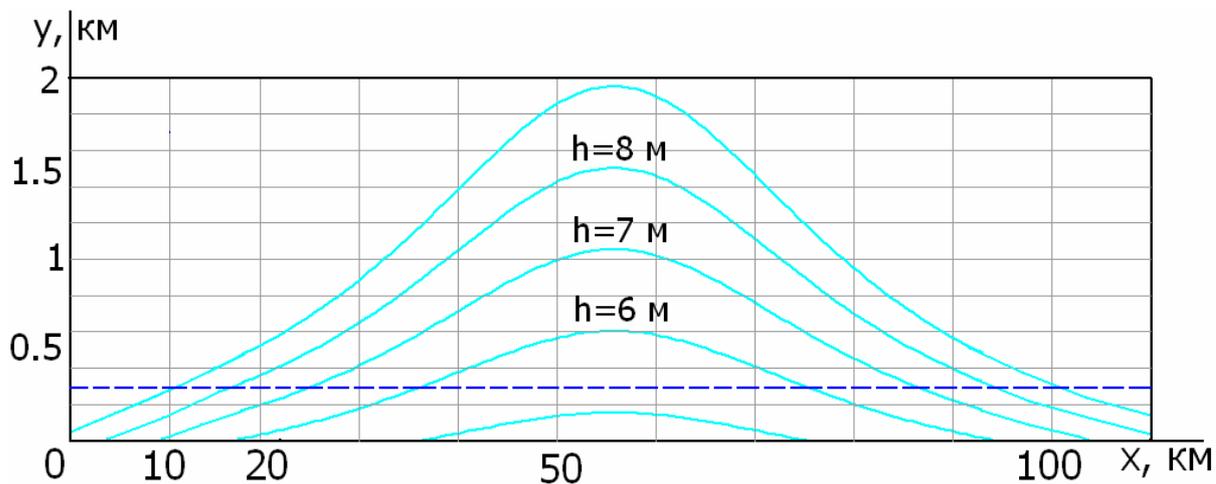


Рис. 5. Контуры затопления поймы в плане при различных уровнях наполнения. Пунктир показывает полуширину основного русла.

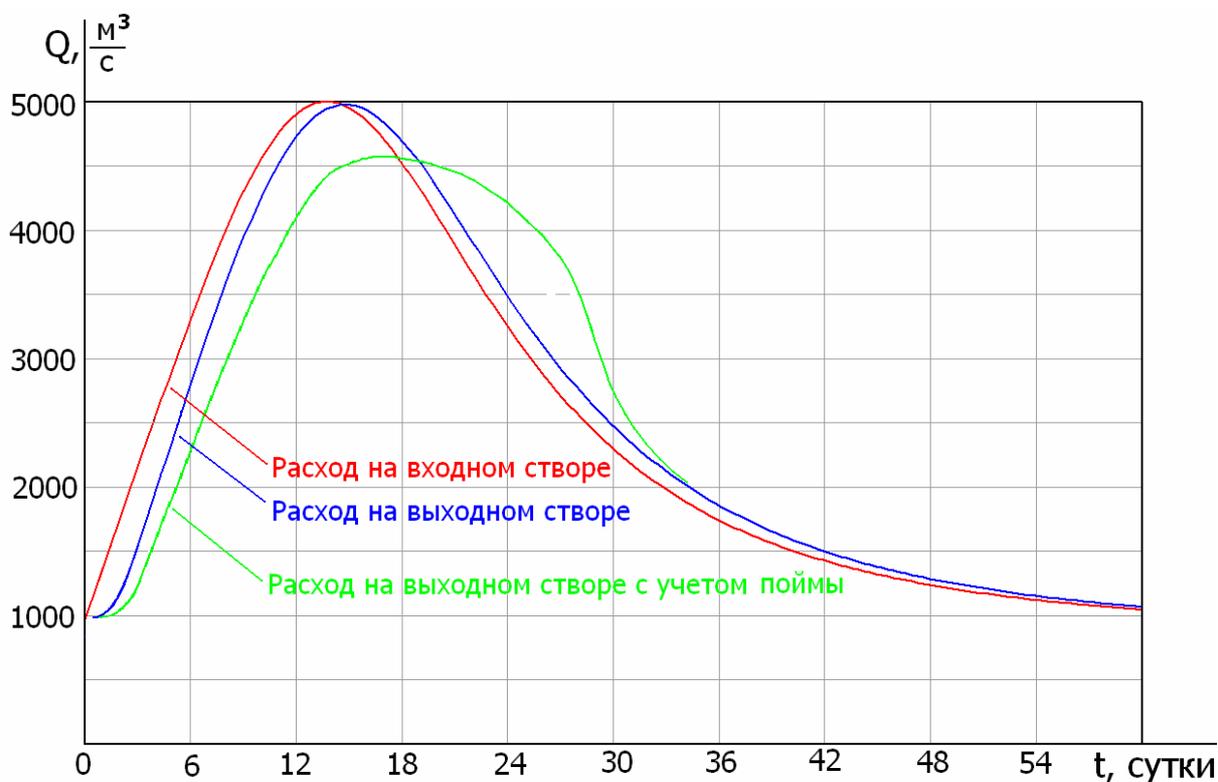


Рис. 6. Гидрограф весеннего паводка и роль поймы в регулировании стока

Моделировалось продвижение паводковой волны в течение 60 суток, начиная с 15 апреля. Исходные данные примерно отражают паводок 1995 г., когда в течение 15 дней расход в реке увеличивался до значения $5000 \text{ км}^3/\text{с}$, а затем постепенно убывал. Изменение модельного расхода со временем на входном створе показывает красная кривая на рис. 6. Кривая синего цвета отражает расчетный расход на выходном створе (150 км ниже по течению) в численном эксперименте без учета влияния пойм, т.е. при схематизации русла в виде канала с вертикальными стенками. Разница между кривыми отражает время продвижения волны паводка по руслу от входного створа к замыкающему и составляет около 40 часов в начальный период, монотонно уменьшаясь к концу расчетного периода.

Кривая зеленого цвета показывает гидрограф паводка в эксперименте с учетом пойм. Подходя к участку пойменных понижений, вода начинает переливаться в боковые емкости, что приводит к торможению русловой волны и ослаблению ее интенсивности. Характер заполнения пойм сильно зависит от шероховатости ложа и в целом приводит к отставанию максимума в выходном створе примерно на 2 суток в данном эксперименте.

На ветви спада проявляется аккумулирующее свойство пойм за счет постепенной отдачи воды основному потоку и в этот период выходной расход превышает значений расход, полученного в расчете без пойм. Процесс опорожнения пойм со временем идет на убыль, но с меньшей скоростью, чем происходил процесс заполнения. Это обстоятельство подтверждается данными наблюдений.

Таким образом, сформулированная численная модель для описания совместного движения воды в русле и поймах позволяет получать количественные характеристики течений в руслах больших пространственных масштабов. Численные эксперименты показывают способность модели правильно воспроизводить качественную сторону взаимодействия русла и пойм.

Блок 3. Исследование процессов формирования гидрохимического стока на водосборах (на примере р. Обь)

Процедура отбора представительной пробы воды имеет первостепенное значение при проведении экологического мониторинга для оценки загрязненности водного потока реки загрязняющими веществами. На основании проведенных исследований было показано, что для отбора представительной пробы при определении в ней минеральных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , общая минерализация) и общих гидрохимических показателей (рН, Eh, O₂) в створе реки достаточно отобрать единичную пробу с любого участка створа. Тогда как при определении тяжелых металлов (растворенные и взвешенные формы), биогенных элементов группы азота (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), галогенов (бромид, йодид) и общих показателей содержания Сорг (БПК₅, ПО, ХПК) необходимо отбирать средневзвешенную по створу реки пробу. Тем самым характеризовать “среднюю” концентрацию вещества в створе средневзвешенной величиной, равной математическому ожиданию случайной величины:

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

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

На примере р. Обь установлено, что для крупных Сибирских рек донные отложения (ДО) играют важную роль в формировании гидрохимического стока веществ, как в зимний, так и в летний период:

- показано, что объем поступления тяжелых металлов (ТМ) из верхнего поверхностного 10-ти см слоя донных отложений (ДО) на изучаемом участке Оби за два летних месяца (с 15 июля по 15 сентября) превышает суммарный объем (растворенных и взвешенных форм) их поступления с площади водосборного бассейна этого участка реки за снеговую волну паводка. Здесь общий объем поступления вещества с водосбора можно оценить как разность стока этого вещества в замыкающем и входном створе реки (табл. 1). Так как за снеговую волну паводка рекой Обь транспортируется до 70 % всего годового химического стока веществ, то вклад донных отложений в годовой сток ТМ является весьма существенным.

Таблица 1

Сравнение объемов поступления ТМ из верхнего слоя ДО (с 15.07 по 15.09) с разностью стока суммы растворенных и взвешенных форм ТМ за снеговую волну паводка (тонны)

	Cd	Co	Cu	Hg	Pb	Zn
Входной створ	3,6	72	104	0,25	3,1	307
Замыкающий створ	4,8	85	126	0,30	17,4	393
Разность стоков	1,3	13	22	0,05	14,2	86
Поступление из ДО	2,0	41	37	0,11	2,5	80

- По изменению градиента концентраций в системе поровый раствор - придонный слой водного потока – центральная его часть – поверхностный слой было определено направление градиента концентраций веществ в различные периоды летнего сезона. По полученным данным резкий скачок концентраций в поровой воде прослеживается для биогенных элементов (нитрит- и фосфат-ионы); органического вещества, определяемого по ХПК и сульфат-ионов (рис. 7).

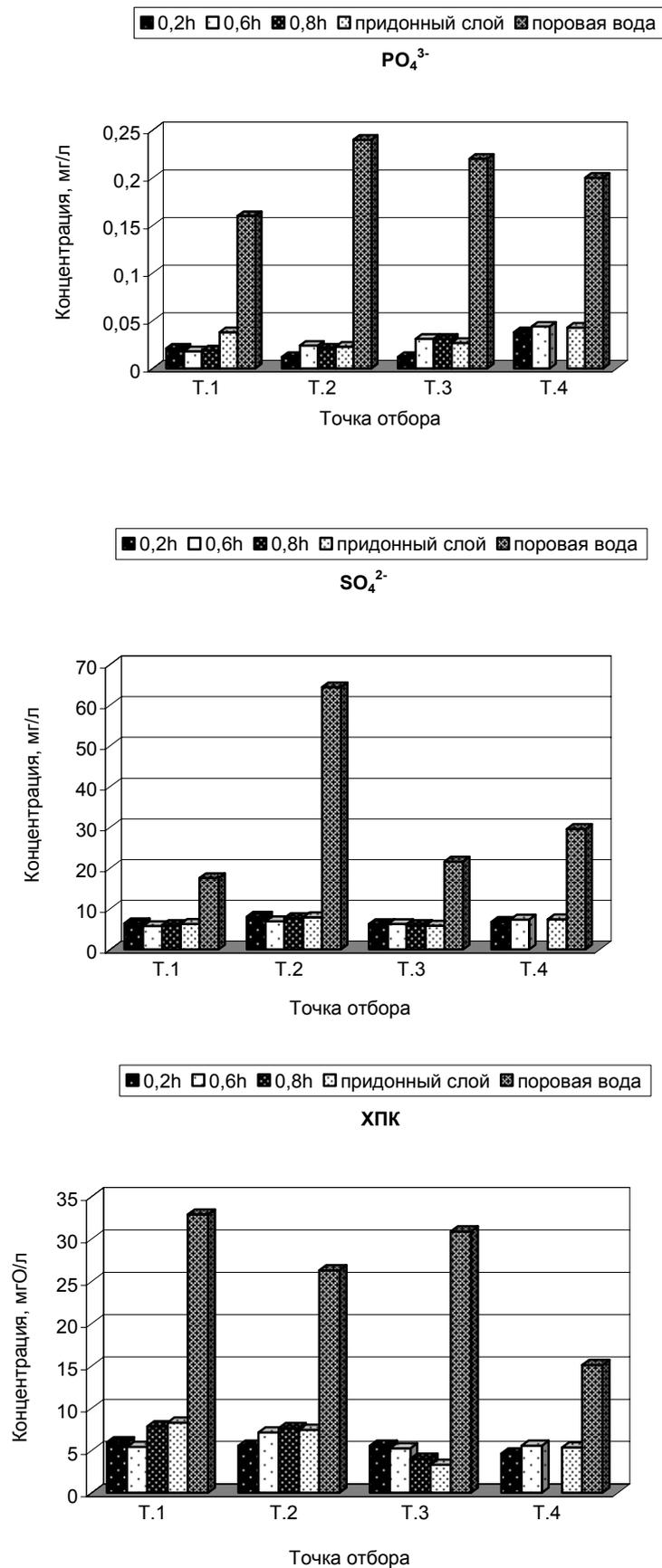


Рис. 7.

- Биодоступность ТМ для бентосных организмов, представленных хирономидами и олигохетами (Chironomidae, Oligochaeta), прямо пропорциональна концентрации металлов в поровой воде и увеличивается в несколько раз с июля по сентябрь. Коэффициент парной корреляции между содержанием металла в поровой воде и бентосных организмах составляет 0,91; 0,89; 0,61; 0,45 и 0,98 для Cd, Cu, Ni, Pb и Zn соответственно.

За время длительного зимнего периода за счет образования плотного ледового покрова в донных отложениях крупных сибирских рек происходит повсеместное формирование восстановительных условий, что приводит к накоплению тяжелых металлов и органических веществ в донных отложениях. За период открытой воды за счет насыщения воды кислородом к осенне-меженному сезону в донных отложениях происходит смена восстановительных условий на окислительные. При этом происходит окисление части органических веществ и высвобождение накопленных за зимне-весенний период металлов из донных отложений в воду. Тем самым было показано, что внутригодовое распределение и баланс веществ в системе ДО - поровый (водный) раствор в Сибирских реках существенно отличается от баланса веществ в аналогичной системе крупных рек умеренного климата (Европа, Северная Америка). Вследствие длительного ледового периода донные отложения крупных Сибирских рек играют важную роль в формировании гидрохимического стока веществ, как в зимний, так и в летний период. Поэтому результаты проекта (и его продолжение) могут иметь большое значение при разработке водоохранных мероприятий для сибирских рек.

Блок 4. Исследование биогеохимических процессов на водосборах и их влияния на гидрохимический сток

Для горно-лесных почв, образующих основу структуры почвенного покрова в бассейне Верхней Оби и определяющих рассредоточенный сток, установлено четыре типа внутрипрофильного распределения химических элементов, обусловленных проявлением основных барьеров (табл. 2).

Пространственное распределение удельной активности Cs-137 в системе высотной поясности характеризуется значительной пятнистостью, обусловленной как контрастностью исходных выпадений, так и последующим перераспределением в сопряженных каскадных ландшафтно-геохимических системах.

Cs-137 аккумулируется, как правило, в верхней части гумусовых горизонтов почв при всех типах почвообразования (рис. 8) (Балыкин и др., 2006).

В горно-лесных почвах наблюдается слабовыраженная миграция Cs-137 до иллювиальных горизонтов (Балыкин, Ельчиногова, 2005; Балыкин, Пузанов, 2006).

В настоящее время гумусосфера горно-лесного пояса бассейна Верхней Оби практически не нарушена и обладает высокой буферностью к загрязнениям различной степени интенсивности тяжелыми металлами и радионуклидами, предотвращает загрязнение поверхностных и грунтовых вод, что подтверждается фоновым содержанием тяжелых металлов и уровнем искусственных радионуклидов ниже предела обнаружения в поверхностных водах.

Таблица 2

Типы внутрипрофильного распределения микроэлементов и радионуклидов в горно-лесных почвах

Тип распределения	Тип почвы			
	Дерново-подзолистые	Серые	Бурые	Черноземовидные
Аккумулятивный	Mn, Zr, ²³⁸ U, ¹³⁷ Cs	Mn, ¹³⁷ Cs	Mn, ¹³⁷ Cs	Mn, Zn, Nb, Cu, ²³⁸ U, ¹³⁷ Cs
Аккумулятивно-иллювиальный	—	—	⁴⁰ K, ²³⁸ U, ²³² Th, Zn	Zr, Ni, Sn, Mo
Элювиально-иллювиальный	Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Sn, ²³² Th, ⁴⁰ K	Zr, Zn, Pb, Cu, Ni, Sn, ⁴⁰ K	Zr, Pb, Cu, Sn	⁴⁰ K
Равномерный	Mo, Nb	Co, Nb, Mo, ²³⁸ U, ²³² Th	Ni, Nb, Co, Mo	Pb, Co, ²³² Th
Преобладающие барьеры	Сорбционный	Биогеохимический, сорбционный	Сорбционный	Биогеохимический, щелочной

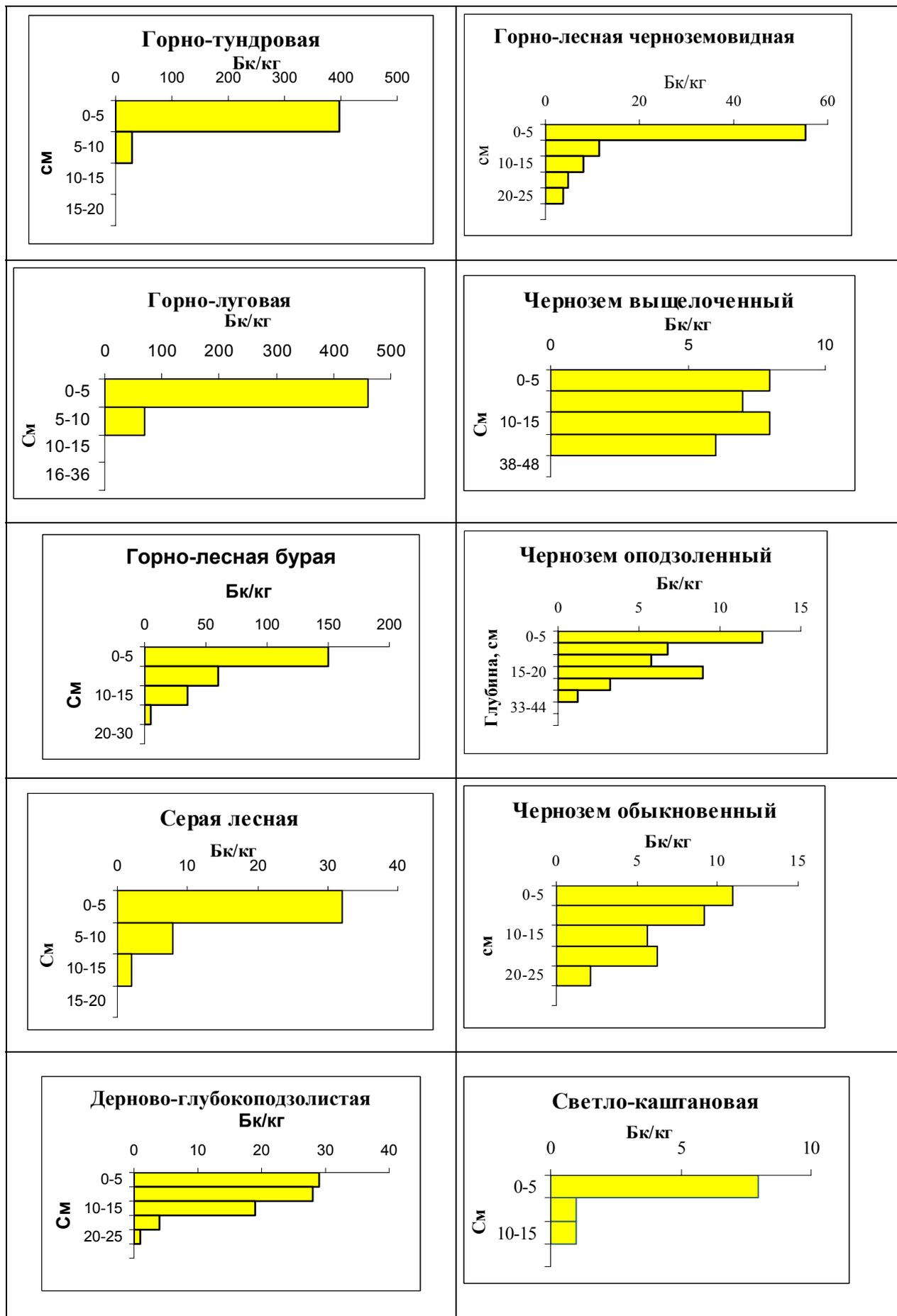


Рис. 8. Распределения цезия-137 по профилю почв в бассейне Верхней Оби

Блок 5. Исследование процесса переноса атмосферных примесей для оценки загрязнения почвенного и снежного покрова на водосборных бассейнах сибирских рек

В соответствии с постановкой проблемы по исследованию распространения атмосферных примесей на территорию водосборных бассейнов сибирских рек рассматривались процессы переноса двух типов частиц: природных и антропогенных.

Природный аэрозоль.

Источниками формирования частиц в атмосфере над континентом обычно служат ветровая эрозия верхнего слоя почвы, пыльца растительности и разрывы воздушных пузырьков на поверхности рек, озер и болот.

Для получения сведений о физико-химических характеристиках источников аэрозоля - минерального состава почвенного покрова и примесей в водоемах - были проведены лабораторные эксперименты по измерениям диэлектрических элементов природных сред (Романов, 2004-2006). Для оценки ветрового переноса солей с акватории соленых озер разработана методика дистанционного определения массовой концентрации (S) соли в воде, основанная на измерении интенсивности радиоволнового излучения водной поверхности.

Для возможности адаптации методики к геохимическим условиям равнинной части Алтайского края впервые разработана диэлектрическая модель водно-солевого раствора, учитывающая изменение диэлектрических свойств растворов за счет образования гидратных оболочек вокруг ионов растворенной соли (Романов, 2004).

Установлено, что при дистанционном зондировании содовых озер, характерных для равнинной части Алтайского края, возможно однозначное определение массовой концентрации с помощью радиометрических измерений в диапазоне $S < 0.1$. Для озер, содержащих $NaCl$, устойчивое определение массовой концентрации по данным дистанционного радиометрического зондирования возможно до значения $S < 0.21$ (Романов, 2004).

Для оконтуривания территорий выпадения аэрозольных частиц на земную поверхность в результате ветрового переноса солей с акватории соленых озер разработана методика дистанционного определения засоленности почвы, основанная на измерении интенсивности излучения почвенного покрова в микроволновом диапазоне (Романов, 2004-2006).

Вторая часть раздела посвящена изучению динамики природных примесей в атмосфере. Получены данные об изменениях счетной концентрации частиц аэрозоля с высотой над аридными азиатскими регионами. Обнаружено систематическое наличие пиков грубодисперсного аэрозоля в условиях отсутствия антропогенного загрязнения и пылевых бурь (Kim et al., 2004; Iwasaka et al., 2004). Методами рентгеновской и инфракрасной спектроскопии исследован состав индивидуальных частиц в пробах, отобранных с аэростатов в тропосфере. Они имеют в основном пылевую природу, и их минеральный состав зависит от высоты (Yamada et al., 2005; Трошкин, 2006). Величины концентраций и потоков аэрозоля определяются такими параметрами, как влажность, давление и скорость ветра (рис. 9). Именно подобные частицы в результате западного переноса и последующего осаждения попадают в водосборные бассейны рек.

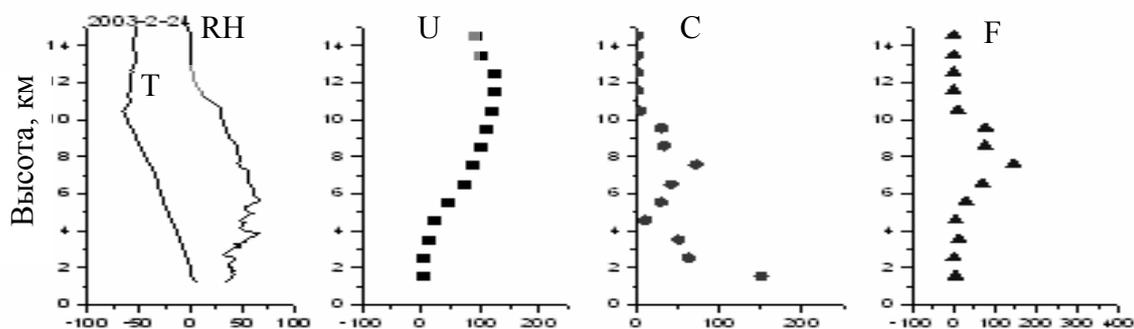


Рис. 9. Пример стратификации температуры (T , °C), относительной влажности (RH , %), скорости западного ветра (U , м/с), концентрации частиц (C , $\text{мкг}/\text{м}^3$) и потока аэрозоля (F , $\text{тонн} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{день}^{-1}$) по результатам аэростатных измерений в аридной зоне.

Исследованы процессы трансформации пылевых частиц при их переносе в тропосфере и в условиях городов (Matsuki et al., 2005; Kojima et al., 2005). Они обусловлены протеканием гетерогенных химических реакций на их поверхности, причем в реакциях принимают участие такие антропогенные загрязнители, как окислы серы и азота. Основными параметрами, определяющими

скорость трансформации, являются влажность воздуха и минеральный состав частиц. Скорость оседания трансформированных частиц на территории водосборных бассейнов существенно выше, чем нетрансформированных.

Антропогенный аэрозоль.

Исследования были в основном направлены на изучение загрязненности аэрозолем снежного покрова. Они носили как теоретический, так и экспериментальный характер.

Для учета особенностей загрязнения снежного покрова территории со сложной орографией - водосборного бассейна верхней Оби- осуществлена модификация трехмерной нестационарной численной модели переноса и осаждения примеси на подстилающую поверхность без использования пристенных функций. Разработана трехмерная разностная схема 2-го порядка аппроксимации для расчета адвективных членов в уравнении переноса примеси; при этом учтены коэффициенты горизонтальной диффузии и взаимодействия примеси с подстилающей поверхностью. В расчетах поля концентрации применяется сетка с переменным шагом (Суковатов и др., 2004; Безуглова и др., 2004, 2005).

Выполнены расчеты концентрации золы, выпавшей на территорию водосборного бассейна Оби за зимний период 11.2004-03.2005 от ТЭЦ-2 г. Барнаула (рис. 10) и ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ (рис. 11) (Безуглова и др., 2006). Как видно из рис. 10, основная масса золы выпадает в непосредственной близости от предприятия на расстоянии 300-600м и достигает 500-750г/м². На остальную территорию промышленной зоны, включая пойму Оби, приходится 100-400 г/м². На жилые кварталы в среднем выпадает 50-300 г/м². Рис. 11 показывает, что наибольшее количество примеси (240-400 г/м²) в степных условиях выпадает на подстилающую поверхность на расстоянии 500 - 1000м от источника. В таблицах 3 и 4 приведены экспериментальные данные по концентрациям, измеренным методом эмиссионного спектрального анализа, и их вычисленные значения на различных расстояниях от ТЭЦ-2 и ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ (Букатый и др., 2004).

Проведенные численные расчеты показывают хорошее соответствие с имеющимися экспериментальными данными (таблицы 3 и 4). Ореол рассеяния соответствует преобладающим направлениям ветра. Расхождение модельных и экспериментальных данных не превышает 28%. Пункт отбора 2 в таблице 3 находится под высоким берегом Оби (40м), что, по-видимому, и дает основной вклад в погрешность вычислений концентрации. Приведенные данные свидетельствуют о широких возможностях практического использования разработанных программ в расчетах переноса примеси в реальных условиях.

Таблица 3

Расчетные и экспериментальные значения массы золы, выпавшей на единицу площади на различных расстояниях от ТЭЦ-2г. Барнаула

№ точки отбора пробы	Расстояние от источника (км)	Измеренная масса аэрозоля на ед. площади (г/м ²)	Расчетная масса аэрозоля на ед. площади (г/м ²)	Относительная погрешность %
1	1(ЗСЗ)	500	500	0
2	1(ССЗ)	653	550	23,4
3	2(ССЗ)	255	250	1,9
4	3(ССЗ)	123	125	1,6

Расчетные и экспериментальные значения массы золы, выпавшей на единицу площади на различных расстояниях от ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ

№ точки отбора пробы	Расстояние от источника (км)	Измеренная масса аэрозоля на ед. площади (г/м ²)	Расчетная масса аэрозоля на единицу площади (г/м ²)	Относительная погрешность %
1	0,8(ССЗ)	425	360	15,3
2	1,5(ССЗ)	193	240	24,4
3	3(ССЗ)	78	100	28,2

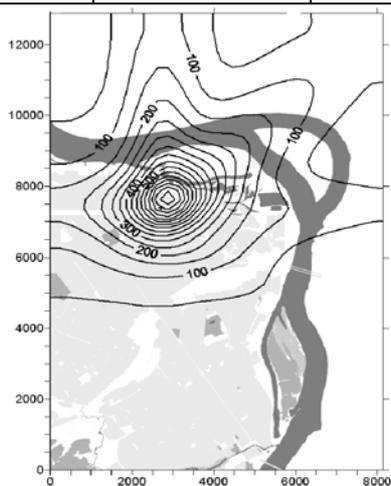


Рис. 10. Схема рассчитанного распределения содержания золы угля (ТЭЦ-2 г. Барнаул)

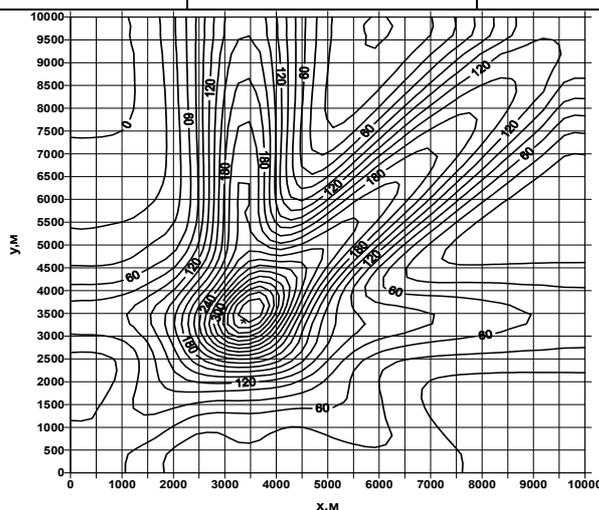


Рис. 11. Схема рассчитанного распределения содержания золы угля (ТЭЦ ЗАО КУЧУКСУЛЬФАТ)

Установлено повторяющееся из года в год (2002-2005гг.) распределение концентраций ряда химических элементов в аэрозоле, загрязняющем снеговой покров на территории водосборного бассейна Верхней Оби (~450×500км). Отбор проб выполнялся в 55 пунктах Алтайского края в поймах рек. Определение концентраций элементов в нерастворимом осадке талого снега осуществлялось рентгено-флуоресцентным методом. Согласно полученным данным, распределение концентраций элементов носит явно выраженный нормально-логарифмический характер (Павлов и др., 2006). На рис. 12 сопоставлены средние значения логарифмов концентраций 10 элементов, рассчитанных на килограмм сухого остатка (мг/кг), по измерениям в указанные годы. Среднеквадратические отклонения связаны с вариациями содержания элементов в пробах. Последние определяются условиями отбора: близостью промышленных предприятий, орографическими особенностями местности, господствующим направлением ветров и др. Коэффициенты корреляции во всех трех случаях равны 0,98. Отмечено существенное отличие (иногда в десятки раз) среднегеометрических концентраций от кларков в земной коре, о чем свидетельствуют данные приводимой ниже таблицы. Оно вызвано доминирующей ролью антропогенного фактора в формировании элементного состава исследуемого аэрозоля: активность процессов эрозии частиц с поверхности почвы существенно снижена из-за смерзания ее верхнего слоя и наличия экранирующего слоя снега (Павлов и др., 2006). Антропогенная природа зимнего аэрозоля в окружении городов хорошо подтверждается данными анализа снеговых проб в Кемеровской области в 2006 году (Павлов и др., 2007). Соответствующие средние значения логарифмов концентраций 28 элементов (в мг/кг) приведены на рис. 13. Из таблицы 5 видно, что имеет место еще более значимое отличие концентраций элементов от кларков. Из рисунков отчетливо следует явно выраженная мезомасштабная (сотни километров) устойчивость в распространенности ряда химических элементов в зимнем аэрозоле, имеющем преимущественно антропогенную природу

Среднегеометрические концентрации элементов для Алтайского края, окраин городов Кемеровской области и кларки земной коры (мг/кг)

Элемент	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Br	Pb
Алтайский край	110	563	1 027	244	223	3 050	119	135	110	74
Кемеровская область	510	6 011	12 990	634	9 360	69 349	598	1 147	751	321
Кларки земной коры	450	24 000	33 900	6 200	900	50 800	100	50	1,6	16

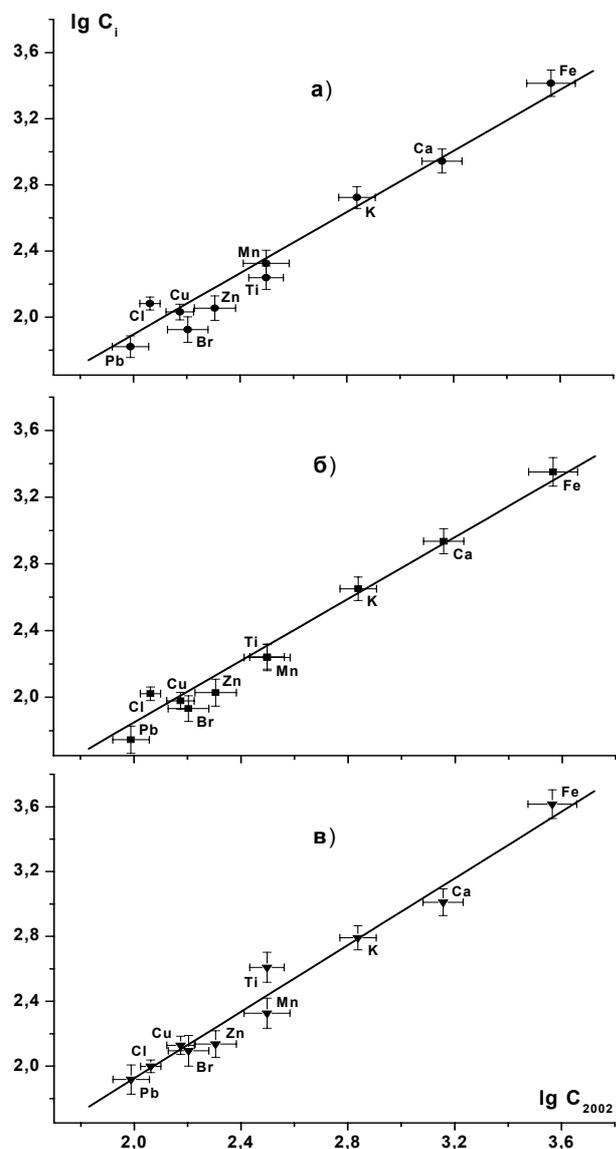


Рис. 12. Сопоставление средних логарифмов концентраций (в мкг/кг) 10 элементов в снеговых пробах, отобранных в 2002-2003 гг. (а), в 2003-2004 гг. (б) и в 2003-2005 гг. (в) в Алтайском крае

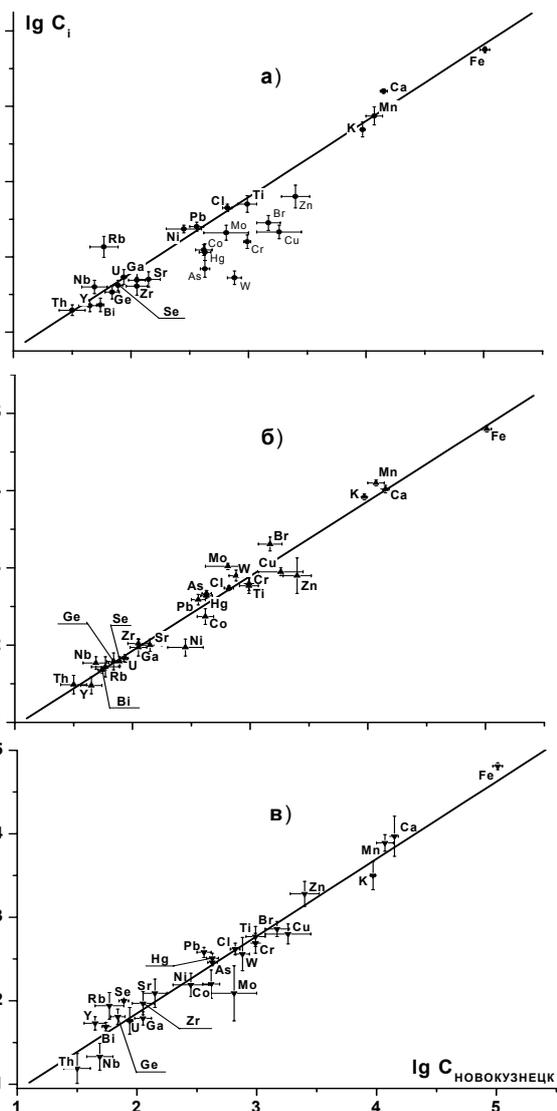


Рис. 13. Сопоставление средних логарифмов концентраций (в мкг/кг) 28 элементов в снеговых пробах, отобранных в 2006 г в окрестностях Новокузнецка с аналогичными величинами для Кемерово (а), Гурьевска (б) и Салаира (в)

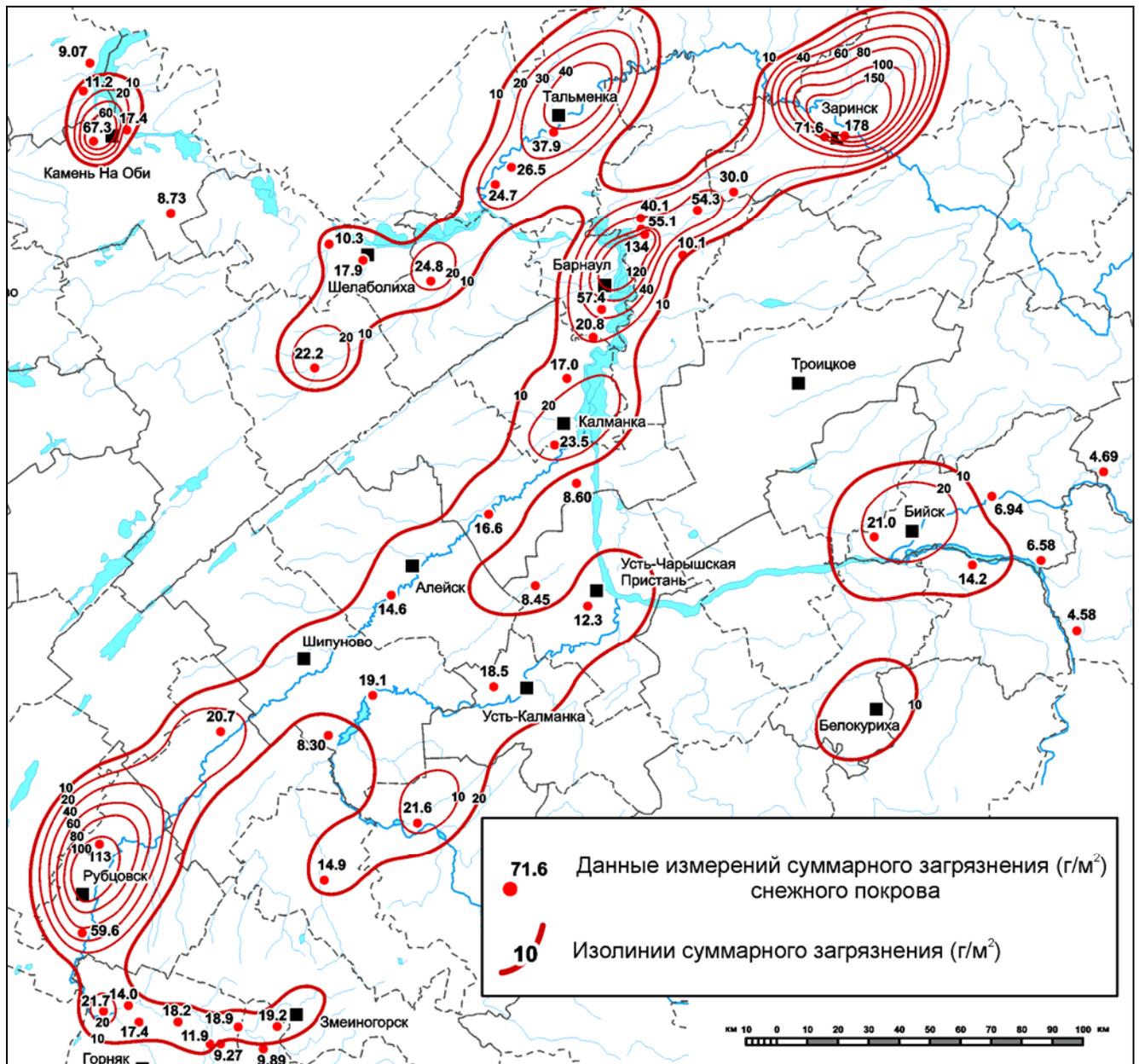


Рис. 14. Карта загрязнения снежного покрова водосборного бассейна Верхней Оби

Данные таблицы 5 использованы в оценке антропогенного загрязнения территории водосборного бассейна Верхней Оби отдельными элементами. На рис. 14 представлена карта бассейна с изолиниями суммарных концентраций загрязнителей снежного покрова с учетом розы ветров. Их пространственное интегрирование на выделенных площадях (27 тысяч км²) дает результат 790 тысяч тонн. Поэлементное загрязнение составляет: Cl – 86,9; K – 444,8; Ca – 811,3; Ti – 192,8; Mn – 176,2; Fe – 2409,5; Cu – 94,0; Zn – 106,7; Br – 86,9; Pb – 58,5 (тонн).

Блок 6. Исследование пространственно-временной организации биоценозов речных систем

На начальном этапе работ были выявлены закономерности изменения структурных характеристик гидробиоценозов предгорных водотоков бассейна Верхней Оби вниз по течению (на примере р. Бия). Вниз по всему течению р. Бия отмечено снижение уровня развития зоопланктона и зообентоса (по олигохетам) на верхнем участке и постепенное повышение этих показателей в нижнем течении (рис. 15). Максимальное обилие гидробионтов и макрофитов характерно для устья р. Бии и связано со снижением скорости течения и заилием грунта. Влияние Телецкого озера прослеживается преимущественно для зоопланктонных организмов и выражается в постепенном снижении доли Copepoda, доминировавших в Телецком озере у истока р. Бия. Значения индекса сапробности по зоопланктону свидетельствуют об олиго-бета-мезосапробных условиях. Средние

величины концентрации хлорофилла «а» соответствуют олиготрофному типу водоемов с чертами мезотрофии.

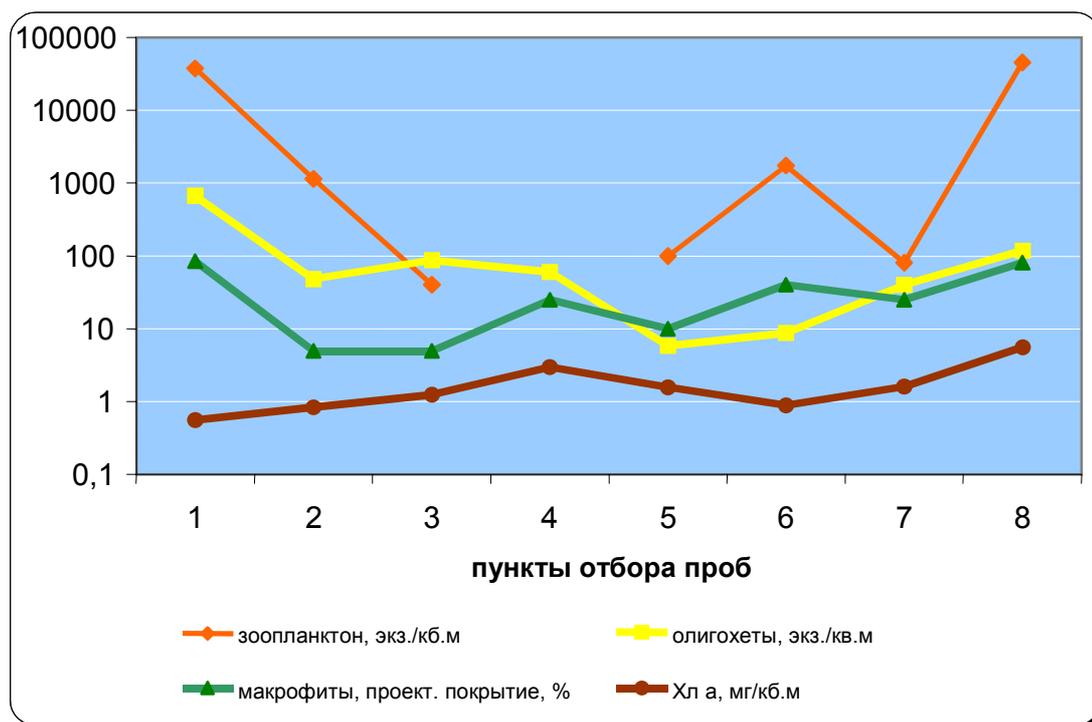


Рис. 15. Гидробиологическая характеристика р. Бии (сентябрь 2002 г.): Пункты отбора проб: 1 - оз. Телецкое, п. Артыбаш; 2 – исток р. Бии; 3 – р. Бия, ниже с. Верхбийское (45 км от истока); 4 – р. Бия, п. Турочак (72 км от истока) 5 – р. Бия, п. Сайдып (138 км от истока); 6 – р. Бия, выше впадения р. Неня (205 км от истока); 7 – р. Бия, г. Бийск (274 км от истока); 8 – р. Бия, с. Сорокино (298 км от истока).

Следующим этапом работ являлась **оценка пространственного распределения гидробионтов в бассейне Верхней Оби** с использованием эмпирико-статистических моделей (расчет мер включения) как основа для разработки комплексной типизации водотоков бассейна Верхней Оби (Безматерных, Яныгина, 2006).

На основе исследования зообентоса средних и малых рек среднегорий Западного Алтая (бассейн р.Чарыш), р.Катуни, Телецкого озера и равнинных рек бассейна Верхней Оби оценено сходство таксономического состава бентосных беспозвоночных отдельных бассейнов (рис. 16). Выявлено высокое видовое разнообразие гидробионтов при низком уровне сходства таксономического состава отдельных бассейнов. Показано, что в формировании зооценозов исследованных рек первоочередную роль играют гидрологические и гидрофизические факторы среды, а не пространственная удаленность. Выявленные особенности пространственного распределения гидробионтов создают основу для разработки региональных методик биоиндикации загрязнения речных вод.

На основе полученных результатов выполнена **типизация отличающихся по гидрологическим и гидрохимическим характеристикам рек бассейна Верхней Оби по таксономической структуре макрофитов, макрозообентоса, рыб и количеству фитопланктона** (рис. 17). Показано, что изменения таксономической структуры и увеличение уровня развития биоценозов вниз по течению большинства исследованных водотоков соответствуют принципам теории функционирования речных экосистем и связаны с высотой расположения их водосборов и уклоном их русла. Аномальное снижение продукции биоценозов отдельных рек может быть связано как с естественными причинами (устье Чулышмана и Катуни), так и высоким уровнем антропогенной трансформацией (устье Барнаулки и Абы). Полученные данные использованы для разработки нормативов воздействия и как информационная основа экологического мониторинга водотоков бассейна Верхней Оби.

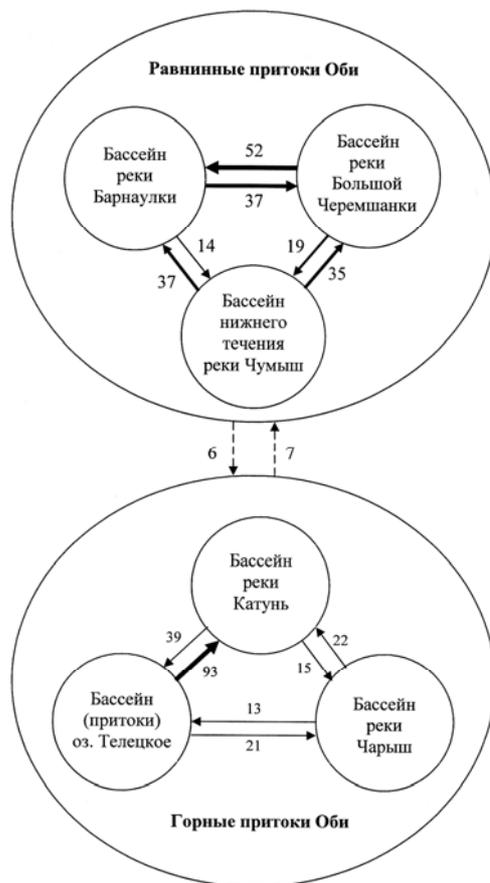


Рис. 16. Ориентированный мультиграф бинарных отношений на множестве мер включения описания зообентоса рек бассейна Верхней Оби по наличию видов



Рис. 17. Типизация речных экосистем бассейна Верхней Оби

Проект 24.2.2. Комплексные исследования водохранилищ, крупных озер и озерных провинций Сибири

Научные руководители: ак. О.Ф. Васильев, д.г.н. В.М. Савкин

Ответственный исполнитель: к.б.н. В.В. Кириллов

Блок 1. Провести комплексный анализ формирования, функционирования и экологического состояния озер Обь-Иртышского междуречья и Новосибирского водохранилища

Озера Обь-Иртышского междуречья

В пределах бассейна Оби и области замкнутого стока Обь-Иртышского междуречья располагаются озера четырех лимнологических областей: Арктической, Сибирской, Барабинско-Кулундинской и Алтае-Саянской. На юге Обь-Иртышского бассейна насчитывается около 38855 озер с суммарной площадью до 31400 кв. км. По солевому составу воды озера самые разнообразные, от пресных до горько-соленых. На долю соленых озер приходится около 10% общей площади зеркала, при этом наибольшее их количество находится в Прииртышской части бассейна. Отличительная особенность озер этого региона – малая глубина озерных котловин. Основная масса озер относится к средним и малым озерам с площадью от 200 до 2000 га, но имеются и крупные озера – Чаны, Убинское, Сартлан, Кулундинское. Озера региона используются как источники водных, минеральных и биоресурсов, в них поступают сточные воды от промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных объектов, загрязняющие вещества с поверхностным и подземным стоком из диффузных источников. Наибольшее значение имеет загрязнение водоемов биогенами и органическими веществами.

Завершен цикл работ по исследованию гидрологического и экологического состояния оз. Чаны – уникального природного объекта Обь-Иртышского междуречья, включенного в список Рамсарской конвенции, – с целью разработки мер по рациональному использованию ресурсов озера и его бассейна. Работа выполнялась, в частности, в рамках грантов РФФИ и российско-голландского проекта "Сохранение водно-болотных угодий и видового состава их обитателей на Юге Западной Сибири". В результате получены данные по морфометрии и температуре, прозрачности и минерализации воды, составу и уровню развития биоценозов озера. Особенность гидрохимического режима озера - неоднородность минерализации и ионного состава воды по акватории, что объясняется сложной конфигурацией озера, слабым водообменом между его частями и распресняющим действием вод питающих его рек. Впервые составлены карты минерализации озера и содержания хлорофилла «а» (рис. 18 и 19).

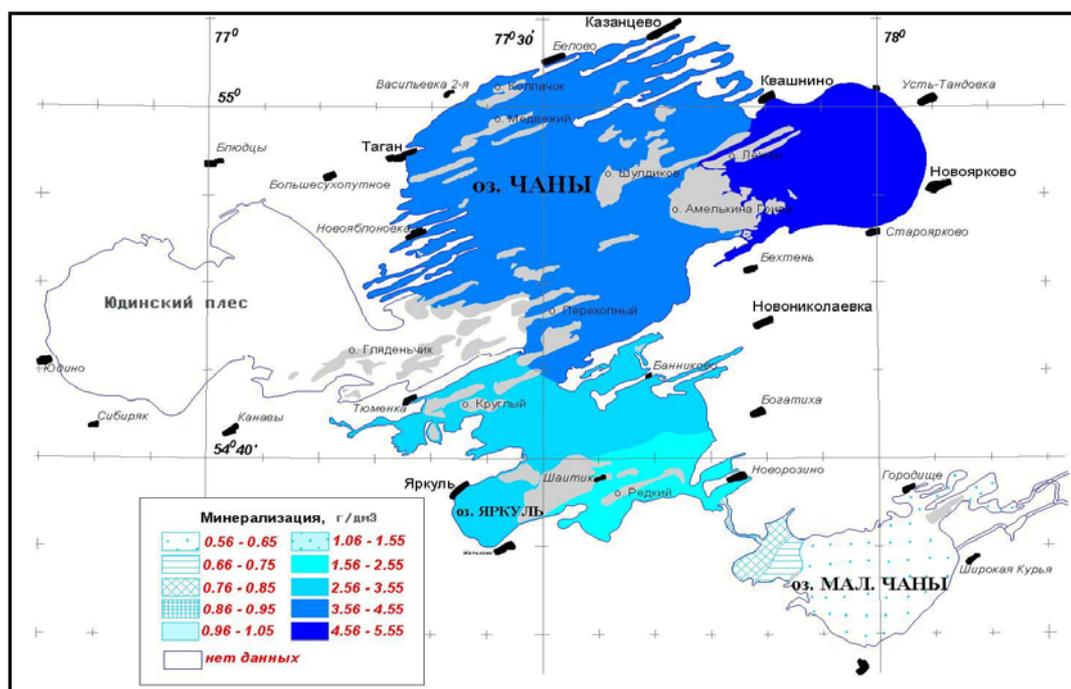


Рис. 18. Карта минерализации воды озера Чаны в июле 2004 г.

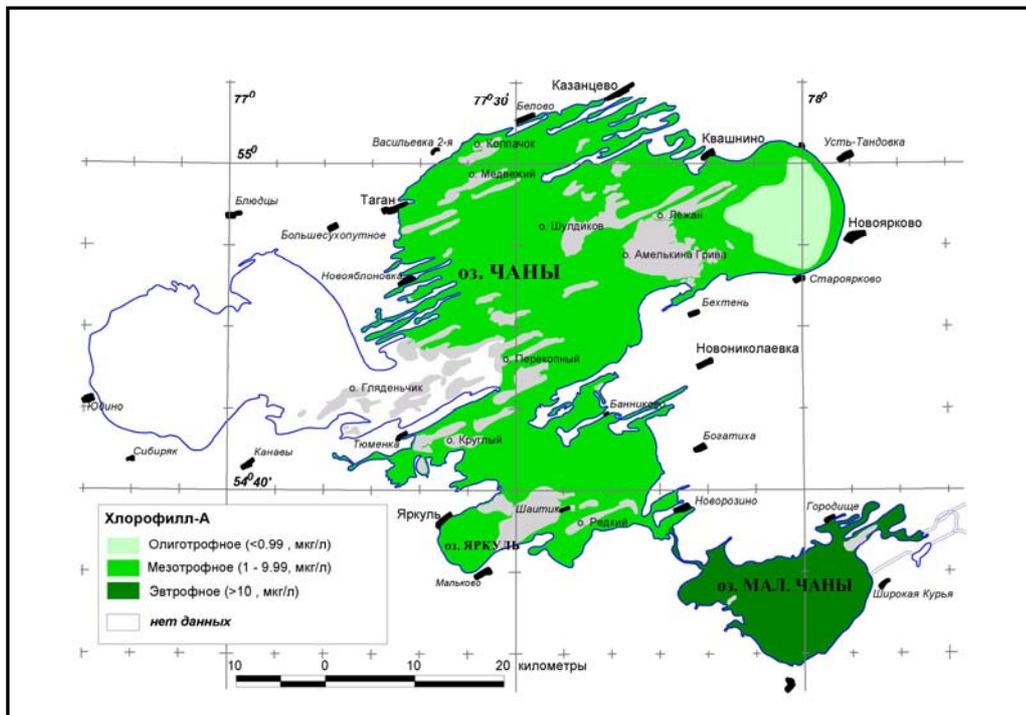


Рис. 19. Карта концентрации хлорофилла «а» в озере Чаны в июле 2004 г.

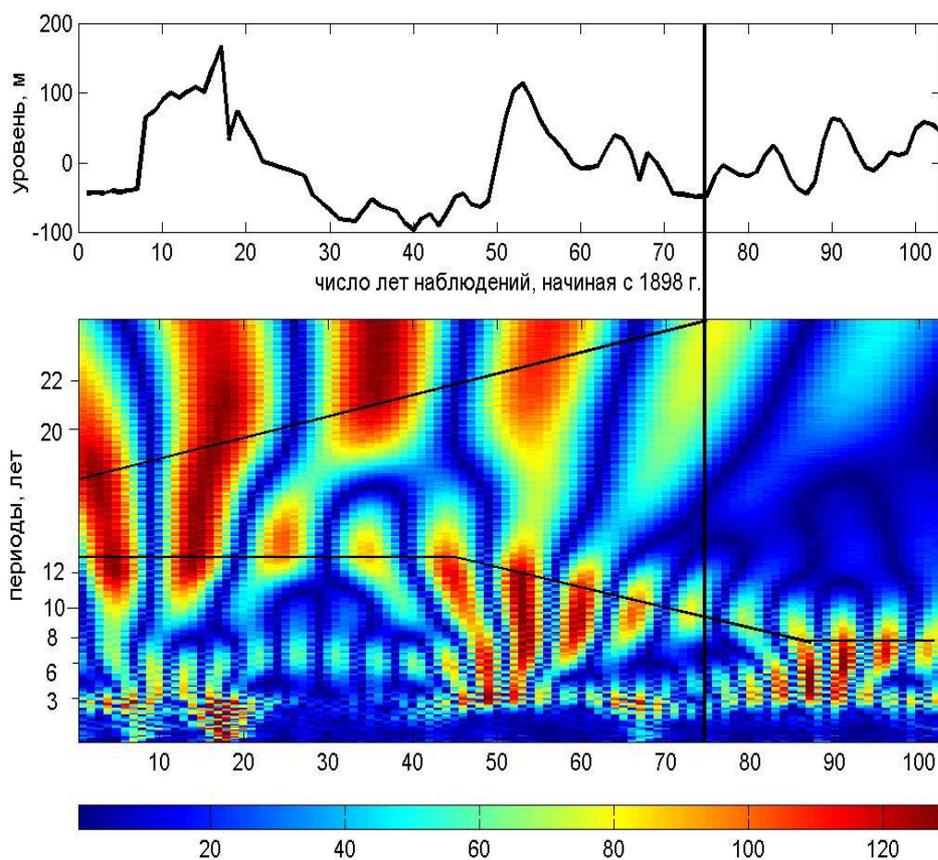


Рис. 20. Колебания уровня оз. Чаны и его вейвлет преобразование.
Вертикальная черта - год строительства дамбы и отделения Юдинского плеса
Прямыми линиями показан линейный тренд колебаний

Анализ уровня режима озера за столетний период позволил идентифицировать учащение ритма многолетних колебаний уровня после отделения Юдинского плеса (рис. 20).

Уровеньный режим и минерализация – главные факторы, оказывающие прямое и опосредованное влияние на все стороны жизнедеятельности гидробионтов оз. Чаны – таксономический состав и пространственно-временную организацию биоценозов. Уникальность озера Чаны – наличие экологически значимого, но плавного градиента минерализации в пределах одной озерной системы – дает возможность для исследования экологического аспекта галинности как комплексного природного фактора формирования и функционирования биогидроценозов.

Гетерогенность водных масс озера Чаны по минерализации позволила получить статистически достоверные степенную и экспоненциальную зависимости количества фитопланктона (концентрации хлорофилла «а») от минерализации в диапазоне олиго- и мезогалинных озер (0,5–5,5 г/л) (рис. 21).

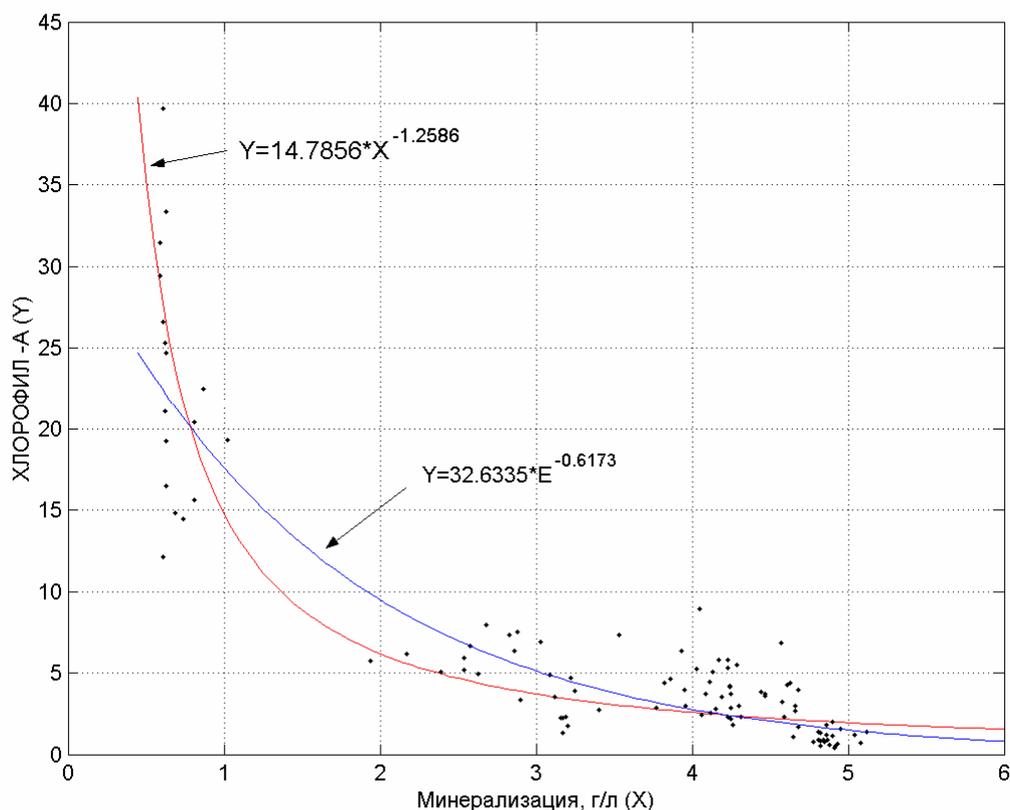


Рис. 21. Зависимость концентрации хлорофилла «а» (мкг/л), от минерализации воды в оз. Чаны

Исследованы таксономический состав и структура популяций низших и высших растений, беспозвоночных животных 65 озер лесостепной и степной зон юга Обь-Иртышского междуречья, которые различаются по генезису, размеру, водному режиму, минерализации воды (от пресных до гипергалинных – от 0,148 до 307 г/л). Выявлено таксономическое и ценоотическое разнообразие водной и прибрежно-водной растительности, таксономическое разнообразие и уровень развития фитопланктона, зоопланктона и зообентоса.

Установлено, что видовое богатство гидробионтов в соленых (мезогалинных и гипергалинных) озерах определяется, прежде всего, уровнем минерализации. Увеличение минерализации воды приводит к снижению видового разнообразия зоопланктона и макрофитов (рис. 22 и 23).

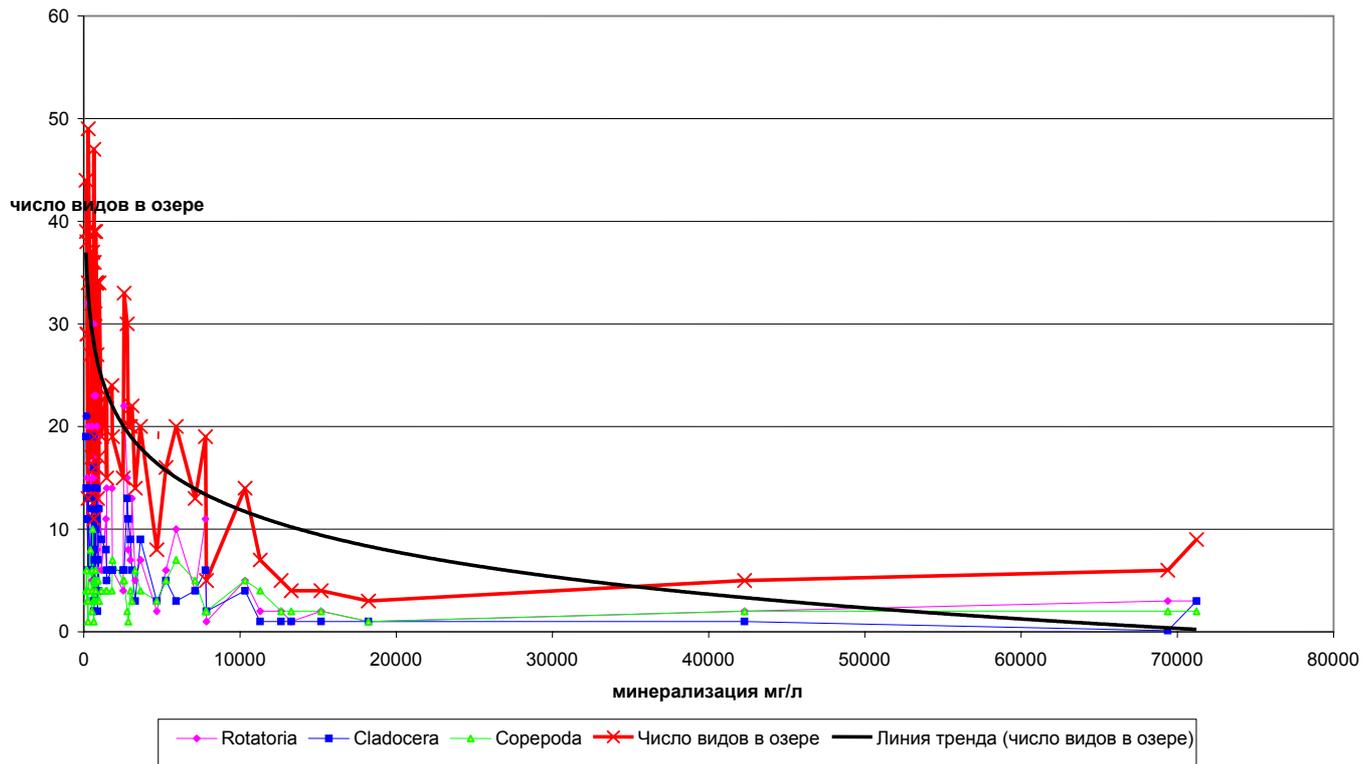


Рис. 22. Зависимость таксонов зоопланктона от минерализации воды озер

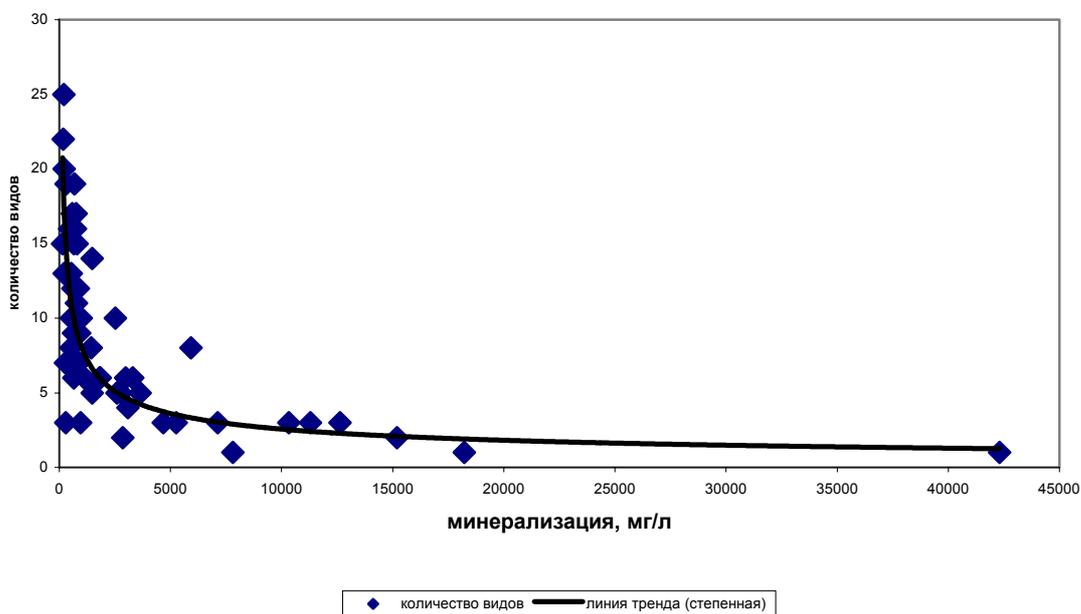


Рис. 23. Зависимость количества таксонов макрофитов от минерализации воды озер

Для беспозвоночных животных, обитающих на дне озер, определена зона критической солености (хорогалинная зона) в диапазоне 7-13 г/л, которую пересекают только 4 из 11 таксономических групп зообентоса (рис. 24). После пересечения этой границы существенно меняется состав и структура водных сообществ.

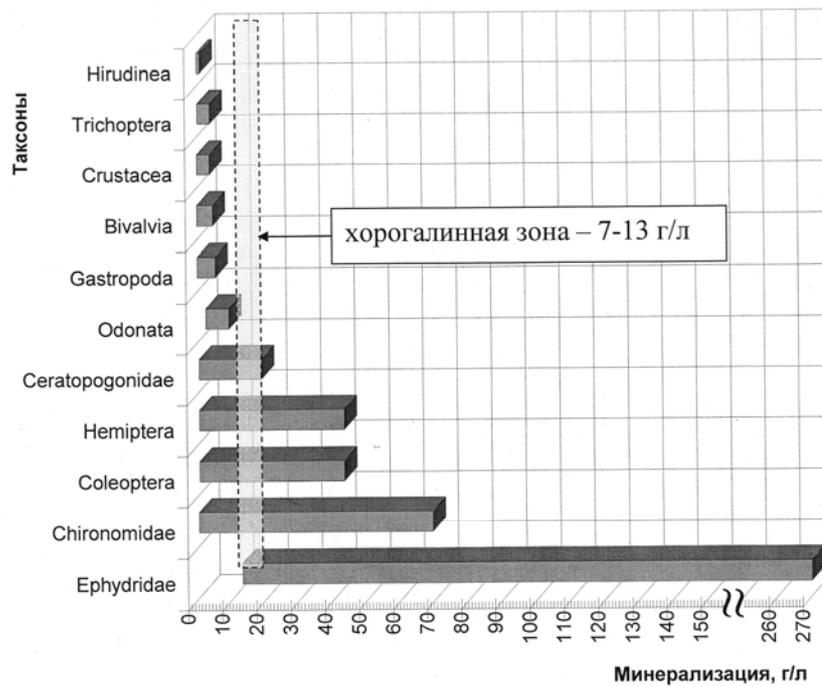


Рис. 24. Встречаемость основных групп зообентоса на градиенте минерализации в озерах степной и лесостепной зон юга Обь-Иртышского междуречья

К эвригалинным организмам, можно отнести личинок мух-береговушек, хирономид и частично мокрецов. К стеногалинным организмам относятся многие ракообразные, стрекозы, брюхоногие и двусторчатые моллюски, пиявки и личинки ручейников, встречающиеся в олигогалинных, и частью в мезогалинных озерах.

Установлено, что после пересечения хорогалинной зоны методики биологического анализа качества вод, основанные на индикаторных таксонах, не дают достоверных результатов. То же отмечено при индикации по более крупным таксонам – олигохетам – индекс Гуднайта и Уитлея, хирономидам – индекс Балушкиной. Использование продукционных характеристик для индикации эвтрофирования соленых водоемов также затруднительно, т.к. при возрастании минерализации эти показатели, как правило, сильно меняются. Для биоиндикации экологического состояния солоноватых и особенно соленых водоемов юга Западной Сибири необходимо создание новой системы на основе достижений факториальной экологии в области построения пространства экологических факторов и выявления функции отклика организмов на совокупное действие экологических факторов.

Новосибирское водохранилище

Продолжен гидролого-гидрохимический и гидробиологический мониторинг Новосибирского водохранилища. Методом сравнительного анализа динамики водноресурсных характеристик водохранилища за период 2004-2006 гг и в многолетнем разрезе установлено следующее.

За время существования водохранилища (1959-2006 гг) двадцать один год для реки Оби были маловодными. В течение 1990-2006гг с водностью выше средней были два года, средними по водности было семь лет, в том числе два года с водностью ниже средней, а маловодными было также семь лет. В многолетнем разрезе наблюдается увеличение повторяемости маловодных лет и появление маловодных циклов с продолжительностью 2-3 и даже 4 года. В ряду наблюдений прослеживается снижение водности весеннего сезона от 1,24 до 0,80 от нормы, а среднегодовой величины водности от 1.48 до 0,82. Происходит уменьшение коэффициентов водообмена в водохранилище за весенние сезоны и в целом за год. Среднегодовой коэффициент водообмена за 1990-2006 гг. составил 6,43 при среднемноголетнем за 1959-2006 гг. – 6,62. Аналогично изменение и коэффициентов водообмена в весенние сезоны – 3,03 и 3,11 соответственно за указанные периоды лет. Как показывает анализ многолетнего режима уровней воды водохранилища основные их фазы по годам различаются как по продолжительности, так и по срокам начала и окончания. В 1990-2006 гг. наблюдалось значительное сокращение продолжительности стабилизации уровня воды на отметке НПУ, которая в отдельные годы была в 2 раза меньше среднемноголетней величины (в 2005 г. НПУ имел продолжительность 43 суток). Среднемноголетняя продолжительность стабилизации НПУ за

1959-2005 гг. составила 102 суток и сократилась в сравнении с периодом 1959-1975 гг. на 25 суток. За период эксплуатации водохранилища в 1959-2006 гг. сработка уровня воды ниже УМО перед весенним наполнением водохранилища наблюдалась в 32 годах из 47. Однако, если в начальный период существования водохранилища понижение уровня воды ниже УМО (кроме 1981 г.) носило эпизодический характер и его величина не превышала 0,15 м., то в последние 15 лет снижение уровня воды в водохранилище ниже УМО происходит практически ежегодно, в 1998 г. понижение составило 1,53 м. Особенности изменения характеристик водно-ресурсного режима Новосибирского водохранилища за 2004-2006 гг. (рис. 25) и ранее в сравнении со среднемноголетними за период его существования повлияли на геодинамику побережий и вызвали вспышки абразии берегов, определили специфику гидрохимического режима его вод и формирование их качества, обусловили процессы эвтрофирования водоема, его биопродуктивность в различных частях водохранилища как в отдельные годы, так и в гидрологические сезоны.

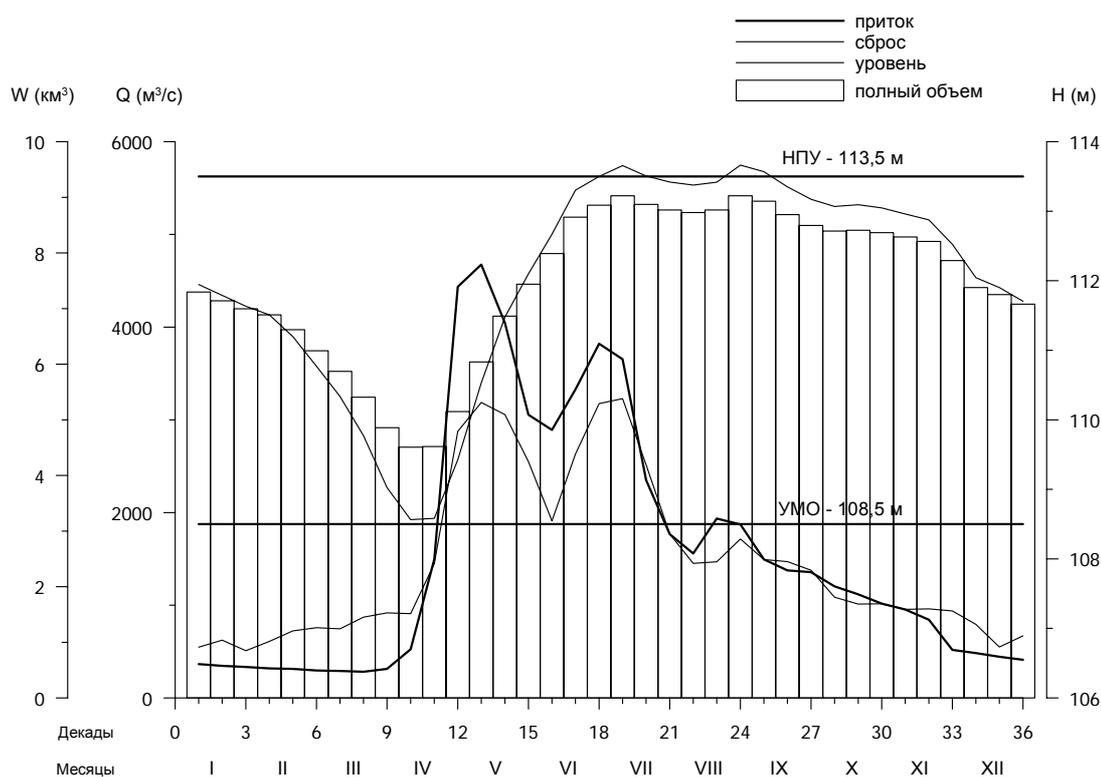


Рис. 25. Динамика гидрологических характеристик Новосибирского водохранилища в 2005 г.

На Новосибирском водохранилище, ставшем уникальным полигоном для выполнения комплексных исследований водных экосистем, изучены многолетние изменения гидрохимического режима. Эти изменения могут служить примером формирования химического состава воды в крупной природно-техногенной системе под влиянием природных и антропогенных факторов. Проведен анализ изменения качества воды по акватории равнинного искусственного водоема с целью выявления роли временного и пространственного фактора в формировании химического состава воды водохранилища. Этот анализ включает в себя изучение изменения показателей качества воды во времени (по сезонам года, годам различной водности) и по акватории водоема (по продольной оси водохранилища). Исследована многолетняя динамика основных химических показателей качества воды Новосибирского водохранилища за период 1990-2005 гг. по его протяженности (верхняя, средняя и нижняя части и нижний бьеф). В целом, изменение концентраций изученных показателей гидрохимического стока р. Оби на участке Новосибирского водохранилища характеризуется относительной стабильностью в пространственном (по акватории) и во временном (в течение ряда лет) аспектах.

С использованием кластерного анализа выявлена зависимость химического состава воды от гидрологического сезона, характеризующего приток воды и изменение объема водохранилища (рис. 26)

С помощью дисперсионного анализа установлены конкретные химические показатели, определяющие формирование химического состава воды в разные по водности годы. Так, для

маловодного года определяющую роль в формировании химического состава воды оказывают, в основном, вещества, которые могут поступать от антропогенных источников: аммонийные соединения, нитраты; для многоводного года — вещества как природного, так и антропогенного происхождения: кислород, гидрокарбонат-ионы, нитраты, сульфаты, хлориды, ионы кальция.

Изучена пространственная изменчивость химического состава воды по акватории водохранилища (верхняя, средняя и нижняя части водохранилища). Установлено, что пространственные изменения концентраций химических ингредиентов наиболее часто наблюдаются в гидрологические сезоны с более низкими коэффициентами водообмена: зимой (среднегодовой коэффициент водообмена, $k=1,04$), летом ($k=1,3$), осенью ($k=1,08$). В меньшем числе случаев эти изменения происходят во время весенних паводков ($k=3,1$). Наблюдаемые изменения в химическом составе воды могут быть обусловлены трансформацией химических веществ вследствие внутриводоемных процессов, осаждением веществ, биохимическими процессами.

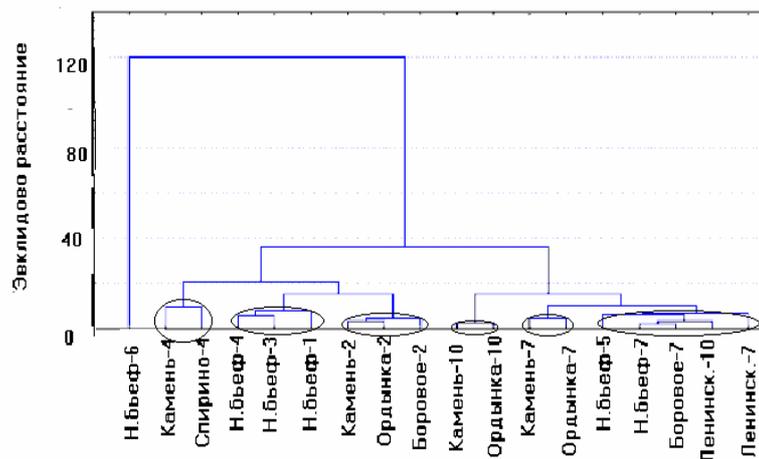


Рис. 26. Результаты кластерного анализа химического состава воды Новосибирского водохранилища для типично маловодного года: Анализ по совокупности всех химических ингредиентов. Цифрами указаны месяцы в годовом цикле

В результате комплексных гидрохимических и гидробиологических исследований экосистемы Новосибирского водохранилища выявлено влияние химического состава воды (биогеохимических элементов и загрязняющих веществ) на формирование и функционирование зоопланктоценозов в водоеме. По длине водохранилища выделено 3 основные зоны влияния гидрохимического и гидрологического режимов на зоопланктон. Показано, что в верхней части водохранилища (а), где сохраняется влияние течения практически по всей ширине водоема, химический состав воды является определяющим фактором для развития зоопланктона. В средней части водохранилища (б) начинают преобладать внутриводоемные процессы наряду с локальным антропогенным влиянием на качественный и количественный состав зоопланктонных сообществ в районе населенных пунктов. В нижней (озерной) части (в), определяющую роль в функционировании зоопланктона начинают играть гидрологические параметры. В застойных зонах планктон развивается активнее, чем в транзитном потоке на затопленном русле (рис. 27).

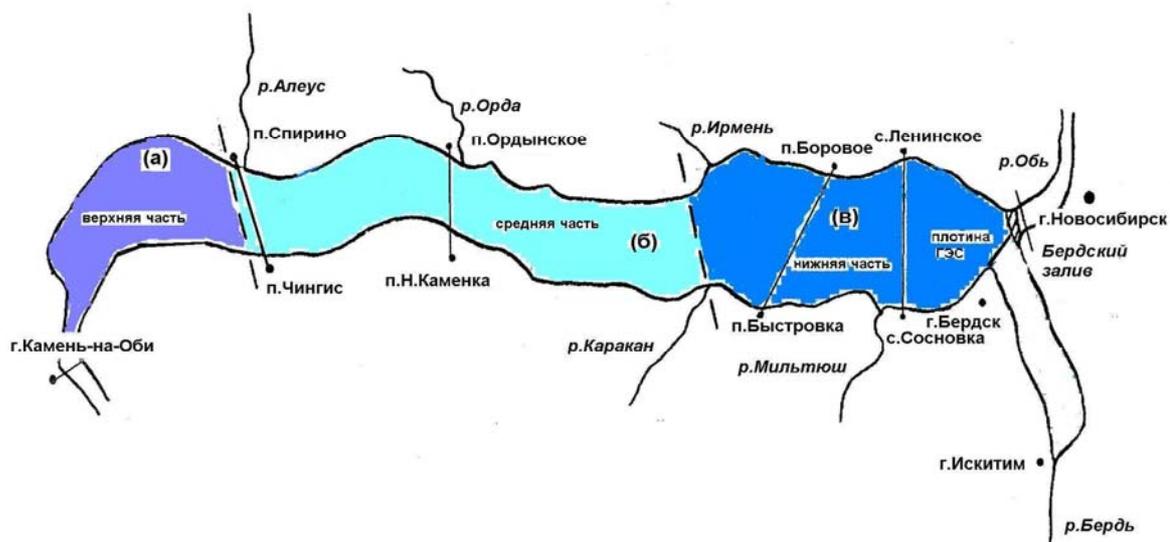


Рис. 27. Карта влияния гидрохимического и гидрологического режимов на развитие зоопланктона Новосибирского водохранилища.

Содержание в органах и тканях рыб водохранилища тяжелых металлов (в т. ч. ртути, свинца, кобальта, кадмия) сравнительно невысокое и не превышает в мышечной ткани принятые в России допустимые остаточные концентрации в свежих рыбопродуктах. Содержание металлов в органах здорового и больного (зараженного лигулами *L. Intestinalis*) леща, заметно различается (рис. 28), что объясняется спецификой метаболизма химических элементов у больных рыб.

Видовой состав рыб водохранилища за последние 15 лет не изменился, соотношение рыб по численности (и ихтиомассе) претерпело некоторые изменения. В частности, в результате интенсивного вылова произошло омоложение стада и снижение общей численности судака. Промысловый вылов рыб в водохранилище сократился с 10 тыс. ц в период с 1988 по 1996 г. до 5,8 тыс. ц – в 2005 г.. По совокупности ихтиологических параметров (видовой состав рыб, особенности их экологии, содержание в органах и тканей рыб ТМ, состояние иммунной системы) Новосибирское водохранилище следует характеризовать как умеренно загрязненное (β -мезотрофное).

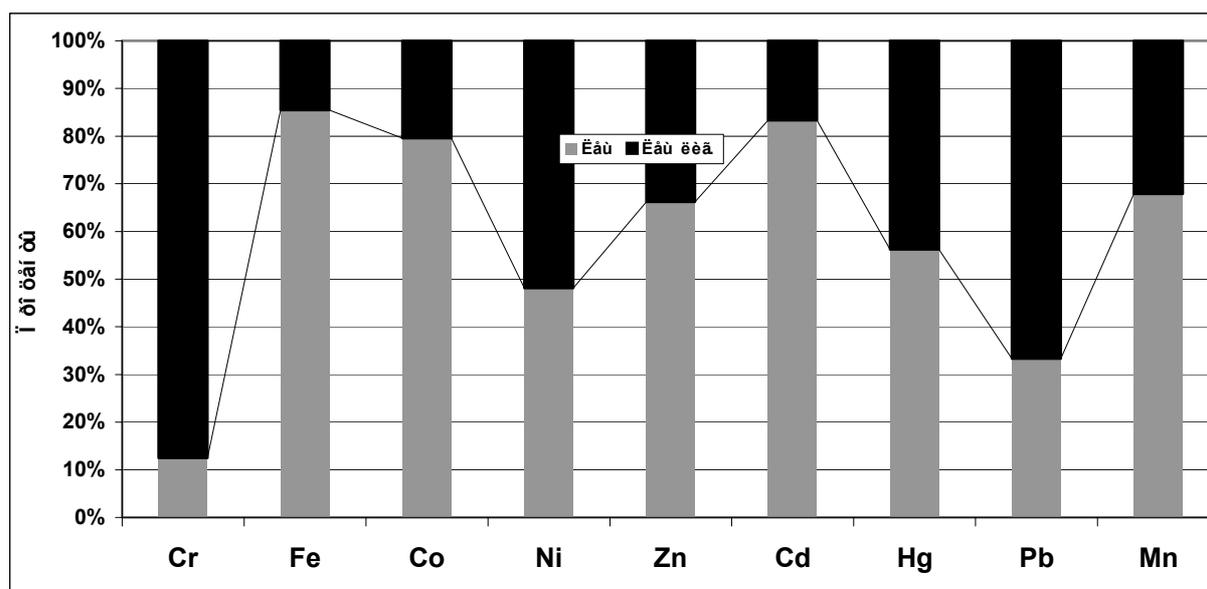


Рис. 28. Соотношение концентраций металлов в мышцах здорового и зараженного леща в Новосибирском водохранилище (август 2005 г.)

Экспериментальным путем в области преимущественно волнового морфолитогебеза водохранилища выявлены условия, способствовавшие развитию береговых потоков наносов с мощностью до 180-200 тыс.м³/год. Установлено, что при движении люминесцентных меченых песков

(цвет: желто-зеленый, зеленый, сине-фиолетовый, оранжево-красный и красный; медианный диаметр частиц $0.1 \text{ мм} \leq M_d \leq 0.5 \text{ мм}$), основная трасса продольного переноса рыхлого материала приурочена к интервалу глубин, меньших глубины первого обрушения волн по наиболее характерному для водоема типу «spilling». Обосновано, что при действии господствующего волнения (направление: ЮЮЗ-ЮЗ; диапазон высоты волн: $0.25 \leq H_{\text{sig}} \leq 1.2 \text{ м}$) на участках, где возведенные для решения задач инженерной защиты берегов искусственные песчаные пляжи ограждены сквозными бунами и каменно-набросными прерывистыми волноломами, вдольбереговое перемещение наносов замещается выносом частиц с $M_d \geq 0.20-0.25 \text{ мм}$ в нижнюю часть подводного склона, а более тонкие частицы практически полностью изымаются из бюджета наносов береговой зоны. Эти явления обусловлены тем, что созданная система Т-образных бун стала аналогом береговых линий с мелкобухтовым расчленением, а при воздействии волн на берега в искусственных бухтах возникают разрывные течения, создающие предпосылки для транспорта наносов по схеме рис. 29.

а)



б)

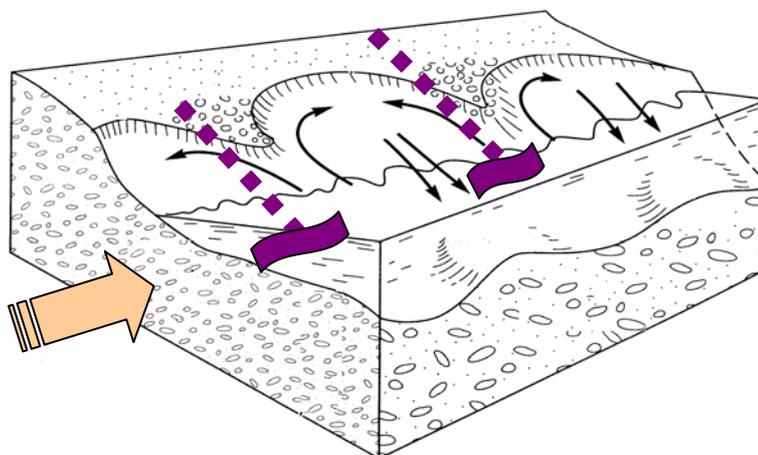
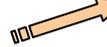


Рис. 29. Транспорт наносов в прибрежной зоне экспериментального участка, Пос. Морской, Новосибирское водохранилище:

а) Общий вид участка в 2006 г.;

б) фрагмент схемы транспорта наносов:

 - продольный транспорт наносов, кармане;
  - миграции наносов в межбунном;
  прерывистый волнолом;
  - свайные буны

Блок 2. Определить роль природных и антропогенных факторов в формировании и функционировании экосистемы Телецкого озера

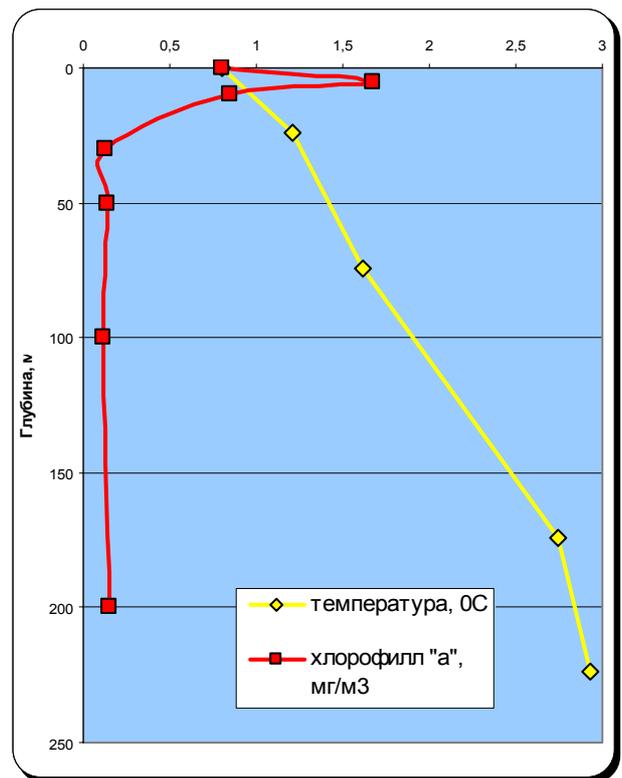
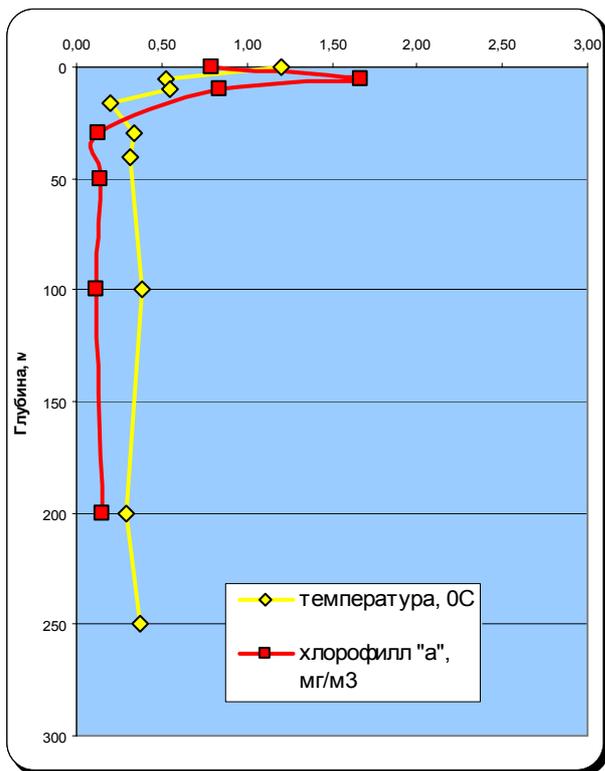
Распределение гидробионтов по акватории и глубинам Телецкого озера обусловлены специфическими морфометрическими (площадь дна с глубинами до 50 м составляет 18,3% (Ремезова, 1934)) и гидрологическими (высокая интенсивность внешнего водообмена – 5,3 года) особенностями данного водоема, а также особым лимноклиматом (средняя температура воды 4,6 °С (Селегей, Селегей, 1978)). Гидрохимический режим этого глубокого водоема отличается постоянством как в литорали (количество растворенного в воде O₂ составляет 9,11-13,69 мг/дм³), так и пелагиали (7,94 - 11,42 мг/дм³), как в р. Чулышман (5,37 -13,60 мг/дм³), так и истоке р. Бии (5,53 -12,54 мг/дм³).

Незначительные по площади литоральные биоценозы с более разнообразным составом и большей интенсивностью продукционных процессов (биомасса фитопланктона – до 1 г/м³, фитоперифитона - до 8 г/м², зоопланктона – до 86 г/м³, зооперифитона – до 11 г/м², зообентоса – до 58 г/м²) не оказывают существенного влияния на общую продукцию озера. Основными продуцентами органического вещества в озере являются водоросли эпипитического перифитона (до 14 г/м²), формирующие основу автотрофного звена трофической цепи. Развитие пелагического планктона лимитируется в большей степени устойчивостью водного столба (обилие фито- и зоопланктона подо льдом сравнимо с таковым в летне-весенние месяцы).

Пространственно-временная организация, состав и уровень развития гидробионтов в озере, неоднородность их распределения по водной массе являются результатом взаимодействия физических, химических и биологических процессов в озере при значительном вкладе водосборного бассейна (отношение площади озера к площади бассейна - 1:91). При расчете баланса биомассы фитопланктона в этой открытой системе (на примере октября 2001 г.) выявлено, что с водосборного бассейна озера поступает большее количество водорослей (283 т), чем выносятся с единственно вытекающей из озера р. Бией (207,8 т). Благодаря большому объему (41,1 км³), интенсивному внешнему водообмену и сосредоточению основной антропогенной нагрузки на севере озера (пос. Иогач и Артыбаш) данный водоем был и остается олиготрофным.

В результате исследования пелагиали Телецкого озера у п. Яйлю установлено, что количество и вертикальное распределение авто- и гетеротрофного диатомово-криптофитового фитопланктона при прямой (в августе 2005 г.) и обратной (подо льдом в марте 2006 г.) стратификации по температуре практически совпадают (рис. 30). Это свидетельствует о том, что в Телецком озере развитие пелагического сообщества водорослей при сохранении лимитирующего значения биогенов и света определяется, в первую очередь, устойчивостью водного столба, как зимой, так и летом. По составу и структуре зимнего фитопланктона Телецкое озеро сходно не только с крупными и глубокими озерами умеренной зоны, но и арктическими и антарктическими водоемами временно или постоянно находящимися подо льдом.

На основании анализа многолетней динамики пигментных характеристик фитопланктона в истоке реки Бия установлена близость модальных классов и отсутствие статистически достоверных отличий состава, количества и физиологического состояния водорослей в поверхностном слое воды Телецкого озера и в истоке р. Бии, что является обоснованием выбора этого пункта для мониторинга экосистемы Телецкого озера. Пределы колебаний концентрации растительных пигментов и их межгодовая динамика достаточно стабильны. Сезонные колебания содержания хлорофилла *a* характеризуются слабо выраженными пиками с весенним максимумом в марте-апреле и летне-осенним во второй половине лета-начале осени, подобно другим ультраолиготрофным и большим олиготрофным озерам умеренной зоны. Особенности погодных и гидрологических условий года влияли на начало и продолжительность основных фаз развития фитопланктона (рис. 31).



А

Б

Рис. 30. Распределение хлорофилла «а» и температуры воды в пелагиали Телецкого озера у п. Яйлю 29 августа 2005 г. (А) и 10 марта 2006 г. (Б).

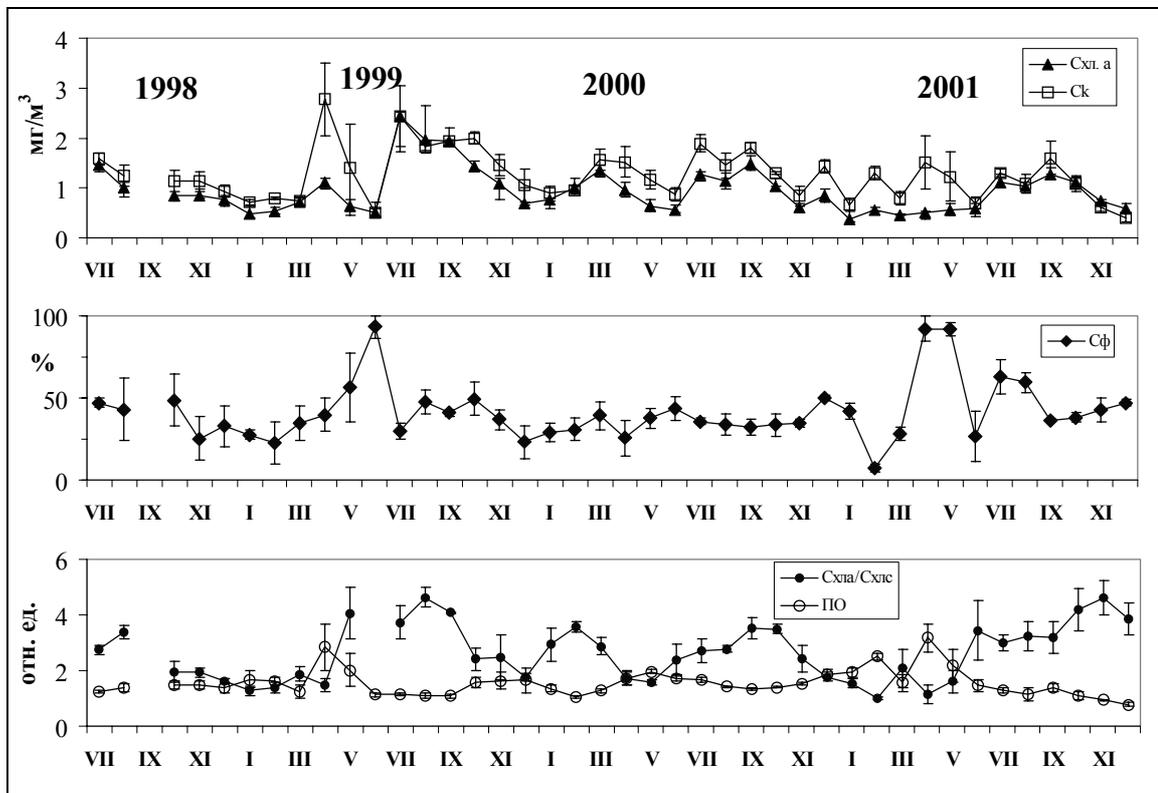


Рис. 31. Многолетняя динамика концентрации хлорофилла *a* (Схл.а), каротиноидов (Ск), феопигментов (Сф), соотношения концентраций хлорофиллов *a* и *c* (Схл.а/Схл.с) и пигментного отношения (ПО) в истоке р. Бии

Блок 3. Выполнить математическое моделирование характерных процессов и функционирования экосистем водных объектов

Вертикальная одномерная модель гидротермодинамических процессов

Разработана вертикальная одномерная модель гидротермодинамических процессов, объектом применения которой являются пресные и минерализованные водоемы. Теоретические основы: гидродинамические уравнения, уравнения водного, теплового и солевого балансов. Учитывается плотностная стратификация. Процессы тепло- и массообмена моделируются с использованием двухпараметрической модели турбулентности. Гидрометеорологические факторы, принимаемые во внимание: ветровое воздействие на поверхность воды, тепло- влагообмен с атмосферой, формирование ледового покрова. Термодинамические характеристики: зависимость плотности от температуры и минерализации, зависимость температуры замерзания и интенсивности испарения от минерализации.

Предложенная гидротермодинамическая модель уже нашла применение для изучения процессов, происходящих сейчас в **Аральском море**. В сотрудничестве с гидрологами Межреспубликанского научно-координационного центра государств Центральной Азии и гидробиологами Академии наук Узбекистана была выполнена важная работа по изучению возможности реабилитации уникальной экосистемы юго-западной, наиболее глубокой части моря. Для этого нужно воссоздать экологически приемлемые гидрофизические условия в ней. Единственной возможностью восстановить прежний гидрофизический и гидрохимический режим является прямая подача части остаточного стока р. Амударьи в этот водоем.

Выполненные расчеты показали, что при периодической подаче достаточно больших объемов речной воды, что возможно в годы повышенной водности Амударьи, можно осуществить опреснение вод рассматриваемой части моря путем "вымыва" избытка солей в восточную часть. Расчетные оценки показывают, что этого можно достичь через 10-15 лет после начала подачи воды, снизив соленость вод до экологически приемлемого уровня (рис. 32, 33).

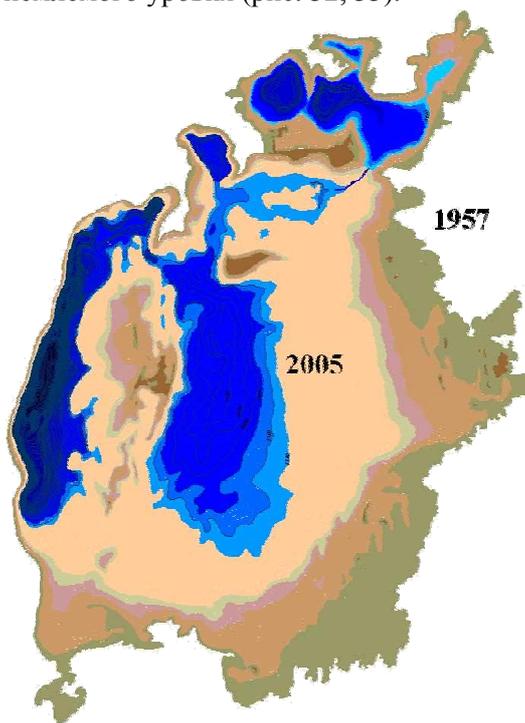


Рис. 32. Изменение береговой линии Аральского моря

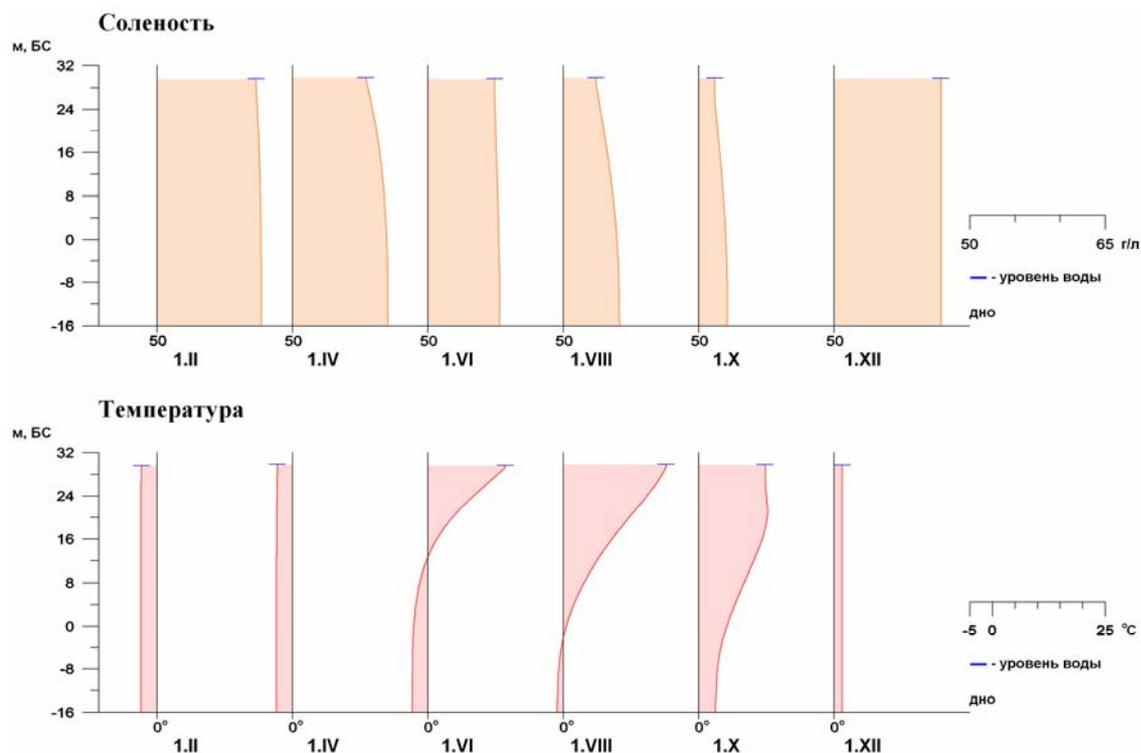


Рис. 33. Профили солености и температуры по глубине Аральского моря

Разработан метод численного решения термодиффузионной задачи Стефана о кристаллизации раствора на примере замерзания солевого раствора. В результате нарастания пресного льда перед фронтом кристаллизации формируется слой с высоким содержанием примеси, который существенно влияет на температуру фазового перехода, а также на плотность воды. Сложность задачи заключается в образовании погранслоя с большими градиентами температуры и солености при устойчивой плотностной стратификации. Численно задача решается с помощью неявной разностной схемы, что приводит к абсолютно устойчивому счету при использовании постоянных шагов по времени и по пространству. Реализация алгоритма основана на методе встречной прогонки с точным разрешением нелинейного условия сопряжения на границе «вода-лед».

Разработанный метод положен в основу созданной математической и численной модели, описывающие динамику роста снежно-ледового покрова водоема. Распределение температуры в трех слоях (вода, лед, снег) описывается уравнениями теплопроводности. Положение подвижных границ между областями определяется в процессе решения на каждом временном слое из условий сопряжения на границах: условия Стефана (вода – лед), условия идеального контакта (лед – снег), по натурным данным (снег – атмосфера). Для решения используется метод "спрямления фронта", позволяющий решать уравнения в регулярных областях, соответствующих жидкой и твердой фазам воды и слою снежного покрова. Разработан алгоритм, позволяющий осуществлять решение задачи Стефана с нулевым начальным слоем льда.

На основе решения описанных выше задач разработана обобщенная модель, описывающая процесс льдообразования в мелких водоемах Западной Сибири различной минерализации. Проведено тестирование модели по метеоданным для различных участков Новосибирского водохранилища. Для расчетов были выбраны теплый, холодный, мало- и многоснежные года. Модель была верифицирована также при моделировании процесса льдообразования в соленом водоеме (оз. Яркуль из Чановской системы озер). Расчеты выполнены с использованием натуральных метеоданных и показали хорошее совпадение результатов расчетов с данными наблюдений (рис. 34). Проведен сравнительный анализ результатов расчетов с общепринятыми инженерными методиками (О. Дэвик, В.В. Пиотрович) и с натурными данными по Новосибирскому водохранилищу и озерам Чановской системы, показавший хорошую точность и эффективность расчетов по созданной модели.

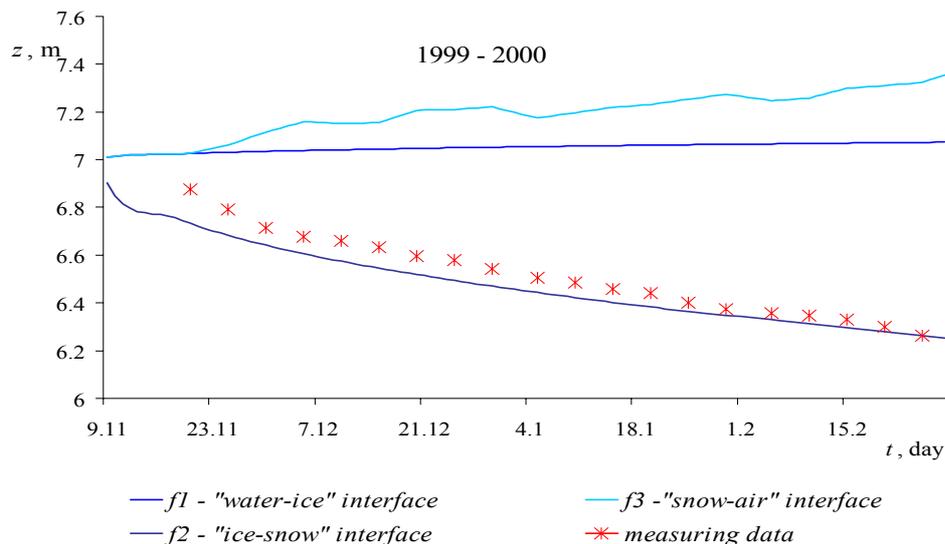


Рис. 34. Динамика снежно-ледового покрова оз. Яркуль в 1999-2000 г.

Численное моделирование водообменных процессов в озере Байкал

Водообмен между Южной и Центральной котловинами озера Байкал. Рассмотрено продольное сечение озера протяженностью 266 км, захватывающее большую часть Южного Байкала, Селенгинское мелководье и половину Центрального Байкала. В реальных морфометрических и метеорологических условиях были промоделированы две ситуации.

1. *Распространение более минерализованных вод, сконцентрированных на Селенгинском мелководье.* Для расчетов использовалась двумерная вертикальная поперечно осредненная гидростатическая модель. Показано, что минерализованные воды достаточно интенсивно стекают вдоль склонов в придонные области обеих котловин (продолжительность расчетного периода составляла 7 суток).

2. *Водообмен между котловинами, вызванный различной температурой и минерализацией (а, следовательно, плотностью) вод.* Выполнены расчеты с использованием полной гидродинамической модели (двумерной вертикальной поперечно осредненной) для двух периодов: июнь (весенне-летнее прогревание) и октябрь (осеннее охлаждение). Продолжительность периодов составляла 30 суток. По характеру возникающих конвективных течений можно предположить, что они развиваются, главным образом, как результат термической горизонтальной неоднородности, а минерализация в переходной мелководной зоне изменяется уже под воздействием этих перетоков. Распределение изохалин (рис. 35) демонстрирует направления перетоков между котловинами.

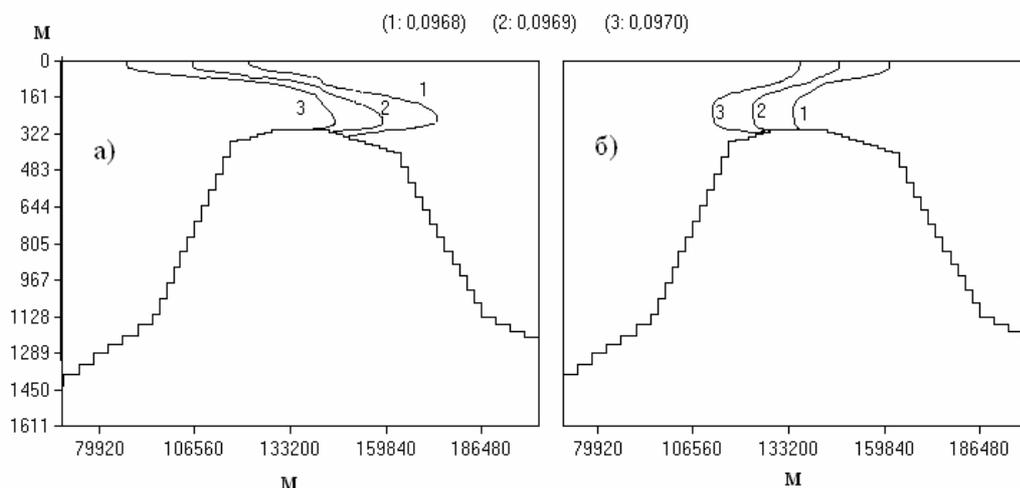


Рис. 35. Картина изохалин в районе Селенгинского мелководья на 30-е расчетные сутки а) в июне, б) в октябре. Концентрации даны в г/л

Влияние приточности на вертикальный водообмен в озере в районе впадения р. Селенги. Рассмотрено поперечное сечение озера в мелководной зоне (рукав Харауз—Красный Яр). С помощью двумерной вертикальной гидродинамической модели выполнено три серии расчетов в условиях весенне-летнего прогрева (июнь), осеннего охлаждения (октябрь) и зимнего подледного периода (декабрь). Продолжительность расчетных периодов составляла 30 суток. Показано, что в первом случае формируются преимущественно приповерхностные течения, осенью речные воды проникают на глубины порядка 100-130 м, а зимой образуется лишь очень слабая поверхностная струя (рис. 36).

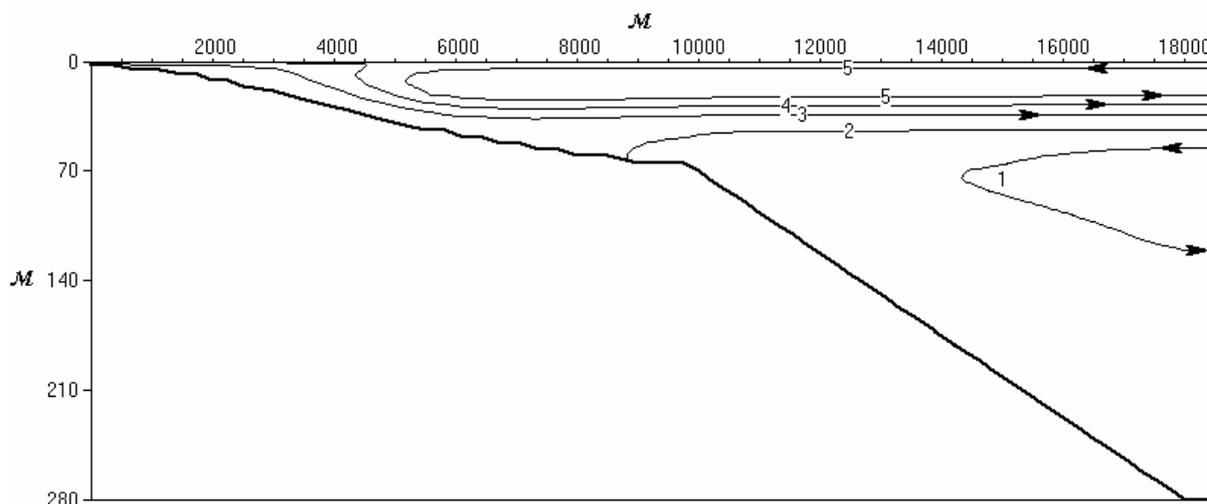


Рис. 36. Картина течений на 30-е расчетные сутки в условиях весенне-летнего прогрева

От северо-восточной части дельты р. Селенги в направлении центральной котловины по дну озера проходит разлом – Кукуйский каньон. С помощью той же двумерной модели были выполнены расчеты распространения вод Селенги вдоль склона каньона. Расчеты показали, что в подледные периоды весной (апрель–начало мая) и зимой (декабрь) формируется поверхностная струя, осеннее охлаждение сопровождается погружением речных вод на глубину порядка 150 м, а в июне (весенне-летнее прогревание) минерализованные воды достигают глубин около 600 м и распространяются на расстояние до 25 км. Эти расчеты согласуются с данными натурных наблюдений, которые показывают, что часть вод Селенги по Кукуйскому каньону распространяется в придонные области.

Выполнен анализ гидростатической устойчивости вод озера в расчетной области в эти периоды, который показал, что в условиях апреля и декабря столб воды в озере практически всюду устойчив на протяжении всего месяца. В июне и в октябре в начале месяца в верхних слоях наблюдается неустойчивость, а в конце месяца октябрьский профиль становится в основном устойчивым, в то время как июньский остается неустойчивым в зоне длиной около трех километров. Глубина неустойчивого слоя в конце июня достигает 50 м

В рамках работы по теме была предложена квадратичная по температуре формула для уравнения состояния воды в окрестности температуры максимальной плотности с учетом минерализации (обобщение уравнения состояния Марковски – Харлемана), которая существенно облегчает теоретический анализ и проста в вычислительном отношении. Формула использовалась при выполнении численных экспериментов по полной гидродинамической модели.

Приоритетное направление СО РАН – 28.

Экология и рациональное природопользование. Мониторинг окружающей среды. Снижение риска и уменьшение последствий природных и техногенных катастроф

Программа 28.3. Методика мониторинга водных объектов Сибири, рационального природопользования и прогноза чрезвычайных ситуаций

Координатор программы: д.г.н. Ю.И. Винокуров

Проект 28.3.1. Территориальная организация региональных систем природопользования в Сибири

Научный руководитель: к.г.н. Б.А. Красноярова

Ответственный исполнитель: к.г.н. И.В. Жерелина

Блок 1. Разработка систем регионального природопользования. Методы адаптации региональных систем к меняющимся условиям окружающей среды

В рамках разрабатываемой в ИВЭП СО РАН методологии, основанной на экокультурном императиве и каркасно-иерархической модели территориальной организации природопользования, предложен механизм адаптации региональных систем к изменяющимся природно-климатическим и социально-экономическим условиям.

На основе оригинальной методики формирования экологического каркаса (рис. 37) разработана схема рационализации территориальной организации природопользования региональных систем разного иерархического уровня (рис. 38).

Схема рационализации ТО предусматривает трансформацию природопользования методами активной и пассивной адаптации. Для природных систем – элементов природного каркаса – предложен регламент природопользования щадящего характера – вывод из хозяйственного оборота, залужение или облесение ранее обрабатываемых земель, внедрение органического и др. видов земледелия; для межкаркасного пространства допустимы более интенсивные технологии, создание индустриальных локальных или точечных, линейных объектов. Схема реализована на территориальных единицах разного иерархического уровня и доведена до органов местного самоуправления в виде конкретных мероприятий.

Разработана методика и проведена оценка уровня развития сельского хозяйства сибирских регионов, учитывающая как совокупный потенциал ресурсов для экономического развития, так и уровень интенсивности сельскохозяйственного освоения территории (рис. 39). Методика построена на основе расчета и сопоставительного анализа двух интегральных показателей: индекса аграрного развития территории (Лопатников, Эстеров) и величины абсолютного аграрно-экономического потенциала (Красноярова) регионов. Оригинальность методики заключается в том, что она позволяет оценить не только наличие ресурсов развития сельского хозяйства, но и характер их развития. При расчетах учитывалось количество и качество вовлеченных в сельскохозяйственный оборот природных и материальных ресурсов и характер их использования, оценки произведены в единицах условной массы, которые введены для удобства приведения разнокачественных ресурсов к сопоставимому виду. В результате данной оценки выделены четыре группы сибирских регионов:

- 1) Высоко развитое сельское хозяйство, преимущественно, экстенсивного характера (Алтайский и Красноярский края, Новосибирская и Омская области);
- 2) Средне развитое сельское хозяйство, преимущественно, интенсивного характера (Тюменская, Иркутская, Кемеровская, томская области);
- 3) Низко развитое сельское хозяйство горных и высокогорных областей (Республики Хакасия, Алтай, Бурятия, Тыва, Читинская область);



Рис. 37. Алгоритм формирования экологического каркаса территории

4) Практически неразвитое сельское хозяйство северных областей с охотничье-оленоводческими типами природопользования (Таймырский, Эвенкийский, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий а.о.).

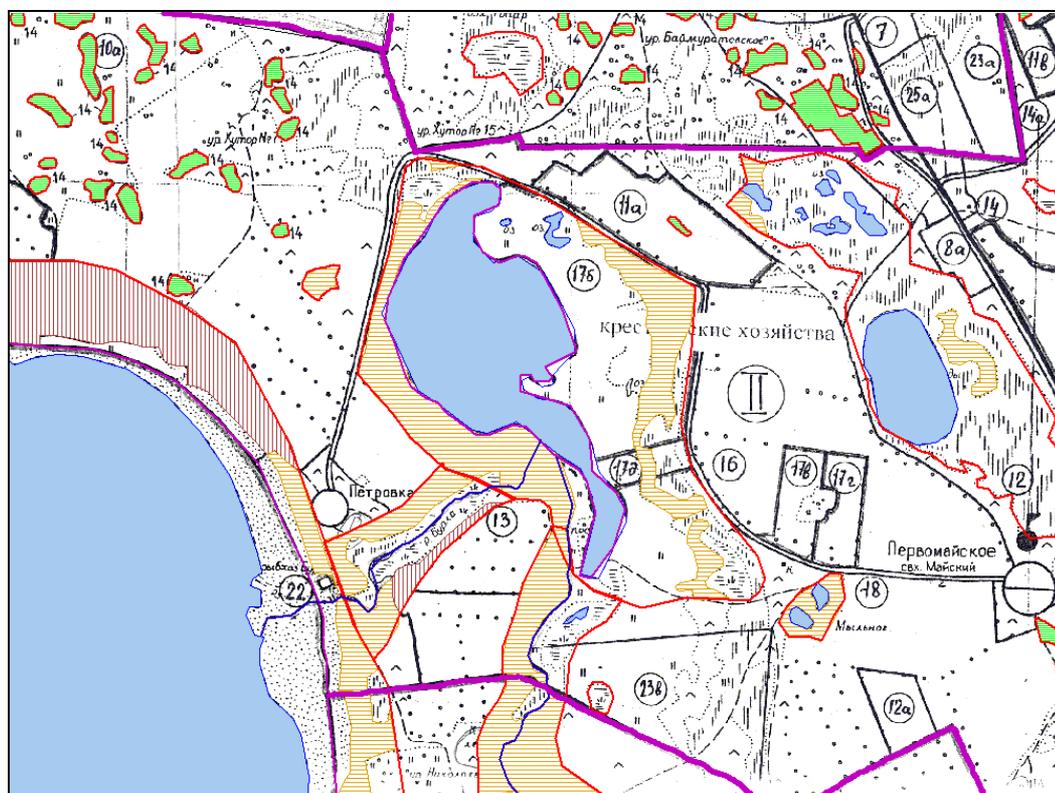
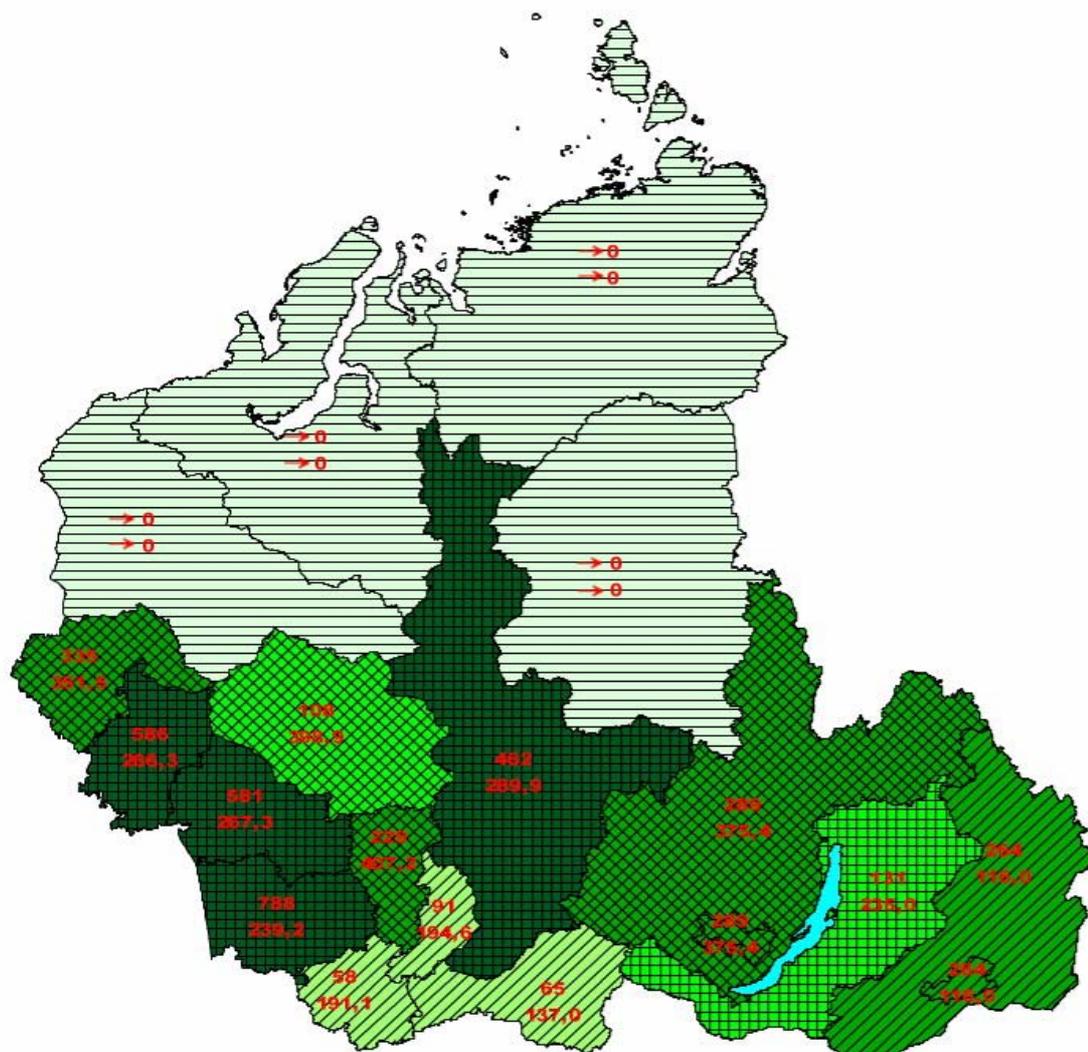


Рис. 38. Экологический каркас и трансформация землепользования (фрагмент карты Бурлинского района, Алтайский край)



Индекс аграрного развития территории

- ☒ высокий уровень развития >300
- ▨ средний уровень развития 200-300
- ▧ низкий уровень развития 1-200
- ▩ крайне низкий уровень развития <1

Абсолютный агро-экономический потенциал региона

- высокий >400
- средний 200-400
- ниже среднего 100-200
- низкий 1-100
- крайне низкий

Абсолютный агро-экономический потенциал региона

Индекс аграрного развития территории

Рис. 39. Уровень развития сельского хозяйства в Сибири

Блок 2. Территориальная организация природопользования в горных системах в целях паритетного функционирования природных, экономических, этнокультурных систем в Алтайском горном регионе

На основе расчетно-оценочного подхода путем сопоставления и генерализации крупномасштабных тематических карт, официальных статистических данных и материалов многолетних экспедиционных исследований, выполнена комплексная оценка природных ресурсов и составлены картосхемы природно-ресурсного и производственного потенциалов административных районов Республики Алтай (рис. 40, 41). Полученные картосхемы отражают мозаичность в пространственном распределении производственного потенциала. В то время как распределение природно-ресурсного потенциала подчинено широтной зональности: северные районы Республики (Майминский, Чойский, Турочакский) обладают высоким природно-ресурсным потенциалом. Остальные районы характеризуются низким природно-ресурсным потенциалом. Благоприятность климатических условий, умеренно-расчлененный рельеф, обилие водных и биологических ресурсов позволяют оценить их природно-ресурсный потенциал как высокий.

Автоматизированное сопоставление этих двух массивов позволило составить картосхему соответствия (рис. 42) и выявить ряд закономерностей:

- современный характер природопользования обусловлен природными условиями и в значительной мере соответствует возможностям природных экосистем обеспечивать необходимый набор «продуктов»;
- степень «амортизации» ПТК в ряде административных районов приближается к максимально допустимой;
- геоэкологическая стабильность в районах, где уровень хозяйственного освоения приближается к максимальному значению природно-ресурсного потенциала, приближается к критической отметке;
- минимальный уровень технической оснащенности отмечается в районах моноструктурного природопользования (прослеживается приоритетная роль одного - двух видов ресурсов).

Проведенный анализ позволил выявить степень соответствия уровня современного производственного развития административных районов Республики Алтай их природно-ресурсному потенциалу и предложить три основные модели развития.

Первая модель - районы с преобладанием производственного над природным потенциалом и наличием экологической напряженности - рационализация природопользования и региональное развитие по пути ресурсосбережения и интенсификации производства.

Вторая модель объединяет районы с преобладанием природного потенциала над производственным и низким уровнем использования природно-ресурсного потенциала и строится путем формирования инвестиционной политики, направленной на привлечение капитала в производство, с учетом экологического статуса региона и национально-этнических традиций местного населения.

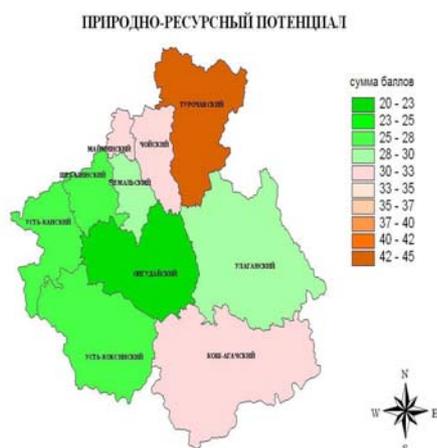


Рис. 40.

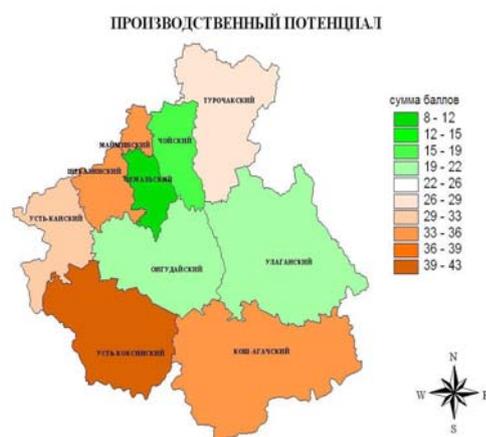


Рис. 41.

Карта-схема соответствия ресурсного потенциала производственному

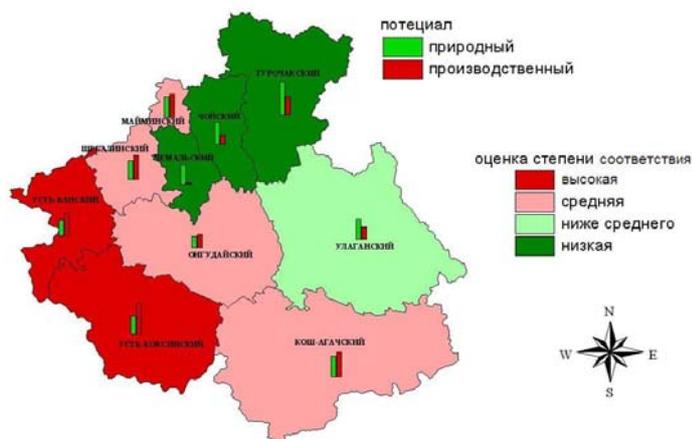


Рис. 42.

Третья модель – для районов, современный уровень использования природных ресурсов в которых соответствует реальному производственному потенциалу территорий - сохранение и развитие сложившейся системы природопользования, в т.ч. традиционной для региона системы «Коба», и обеспечение, таким образом, наметившегося сбалансированного и экологоприемлемого развития.

Основные характеристики модели устойчивого развития Республики Алтай: достижение соответствия между природным и производственным потенциалами; выравнивание уровней социально-экономического развития административных районов; экологизация основных производств; применение традиционных форм использования природно-ресурсного потенциала.

Рис. 3. Анализ природных и антропогенных факторов возникновения чрезвычайных ситуаций и разработка мероприятий их предотвращения

Для Западной Сибири проведена оценка влияния факторов природного и техногенного характера на возникновение негативных природных процессов, включающая: исследование проявлений отдельных опасностей и определяемых ими чрезвычайных ситуаций (ЧС); анализ территориальных систем по возникновению и проявлению ЧС природного характера; оценку рисков актуальных опасностей для различных районов региона; ранжирование территории Западной Сибири по рискам природного и техногенного характера.

Систематизированы сведения и установлены пространственно-временные закономерности проявления опасных природных процессов и явлений, как не связанных между собой, так и образующих парагенетические ряды, определены их интенсивность и направленность.

На основе систематизации основных видов опасных процессов, определяющих ЧС, и общей классификации природных и техногенно – природных процессов и явлений (Осипов, Мамаев, 1999) разработана классификация региональных чрезвычайных ситуаций. В предложенной классификации выделено более 80 видов природных и техногенных процессов и явлений, сгруппированных по классам, типам, подтипам и видам.

Составлена оригинальная синтезированная схема ранжирования территории Западной Сибири по опасности и риску развития природных процессов и явлений на основе схемы физико-географического районирования Сибири (Винокуров, Цимбалай, Красноярова, 2004) (рис. 43). Впервые опасные природные процессы рассмотрены с учётом особенностей ландшафтной структуры территории. На схеме нашли отражение, во-первых, ареалы распространения ведущих негативных процессов различного генезиса с учётом степени пораженности ими территории и возможного проявления эффекта синергизма и, во-вторых, зоны рисков, определяемых распространением опасных процессов на фоне сложившихся систем расселения.

Для отдельных территорий Западной Сибири исследованы наиболее характерные для них виды природных и техногенных опасностей, обусловленные климатическими, экзогенными и эндогенными процессами. При оценке опасности того или иного природного процесса использовался набор параметров, характеризующих вероятность, повторяемость развития, масштабы (размеры), продолжительность, интенсивность и отдельные динамические характеристики их воздействия на окружающую среду.

Разработана карта-схема опасности проявления экзогенных процессов для долинных ландшафтов Среднего Приобья (масштаба 1:200 000). На карте-схеме на основании режимных наблюдений на полевых стационарах за комплексом экзогенных процессов (термогенных, гидрогенных, криогенных, поверхностно и подземно - водных, аэрогенных, фитозоогенных) и коэффициентов пораженности, изучаемая территория ранжирована по четырём степеням опасности на: безопасную (Б), минимально опасную (МО), умеренно опасную (УО), допустимо опасную (ДО).

Сделан долгосрочный прогноз развития геосистем в долине р. Оби на примере города Нижневартовска и иных населенных пунктов Нижневартовского района, где в условиях потепления климата прогнозируется затопление долинных ландшафтов и усугубление процессов заболачивания. На основе прогноза определены границы оптимального функционирования территорий, подверженных активному нефтегазовому освоению.

Систематизированы статистические данные по проявлениям ЧС техногенного характера и на примере ХМАО оценён материальный ущерб. Установлено, что основные ЧС техногенного характера возникают в результате аварий на транспортных коммуникациях. Основные виды ЧС определяются технологическими (физический и моральный износ основных производственных фондов) и социальными (снижение производственной и технологической дисциплины, отсутствие современных систем управления опасными процессами) причинами.

Установлены статистически значимые корреляционные связи между изменением климатических параметров и проявлением опасных ситуаций техногенного характера, выявлен факт «сезонности» аварий при нефтедобыче в зависимости от сезона года. На основе расчёта предложенного индекса сезонности разработана и апробирована методика прогноза количества аварий для конкретного месяца в конкретном году.

Произведена оценка рисков возникновения типичных чрезвычайных ситуаций для отдельных регионов Западной Сибири. Используя показатель среднего риска, рассчитан риск возникновения лесных пожаров и аварий на нефтепроводах ХМАО, составивший, соответственно, 0,38 и 3,76 единиц в год.

Для сейсмически активного юга Западной Сибири сформулированы основные пространственные, временные, структурные закономерности проявления сейсмичности, выделены очаговые зоны и определены параметры основных сейсмогенерирующих структур, рассмотрены вероятности проявления синергетически связанных с землетрясениями оползней и просадочных деформаций грунтов.

Предложена методика оценки сейсмического риска для урбанизированных территорий с площадным развитием просадочных лёссовых грунтов и линейным развитием оползневых деформаций (на примере г. Барнаула, рис. 44). Сейсмический риск (СР) определялся как вероятность разрушений зданий и сооружений, человеческих жертв на рассматриваемой территории от опасного сейсмического воздействия. Расчёт СР производился на основе оценки сейсмической опасности (вероятности сейсмических событий определённой силы на заданной площади в течение заданного интервала времени) и уязвимости (меры потери свойств объектов – элементов риска – от действия негативных процессов). При определении показателей риска использовался вероятностный подход, т. е. учитывалось, что объём повреждений и разрушений в основном определяется тремя факторами: сейсмическим воздействием, реакцией грунтов на это воздействие и сопротивлением этому воздействию элементами риска – зданиями разного типа.

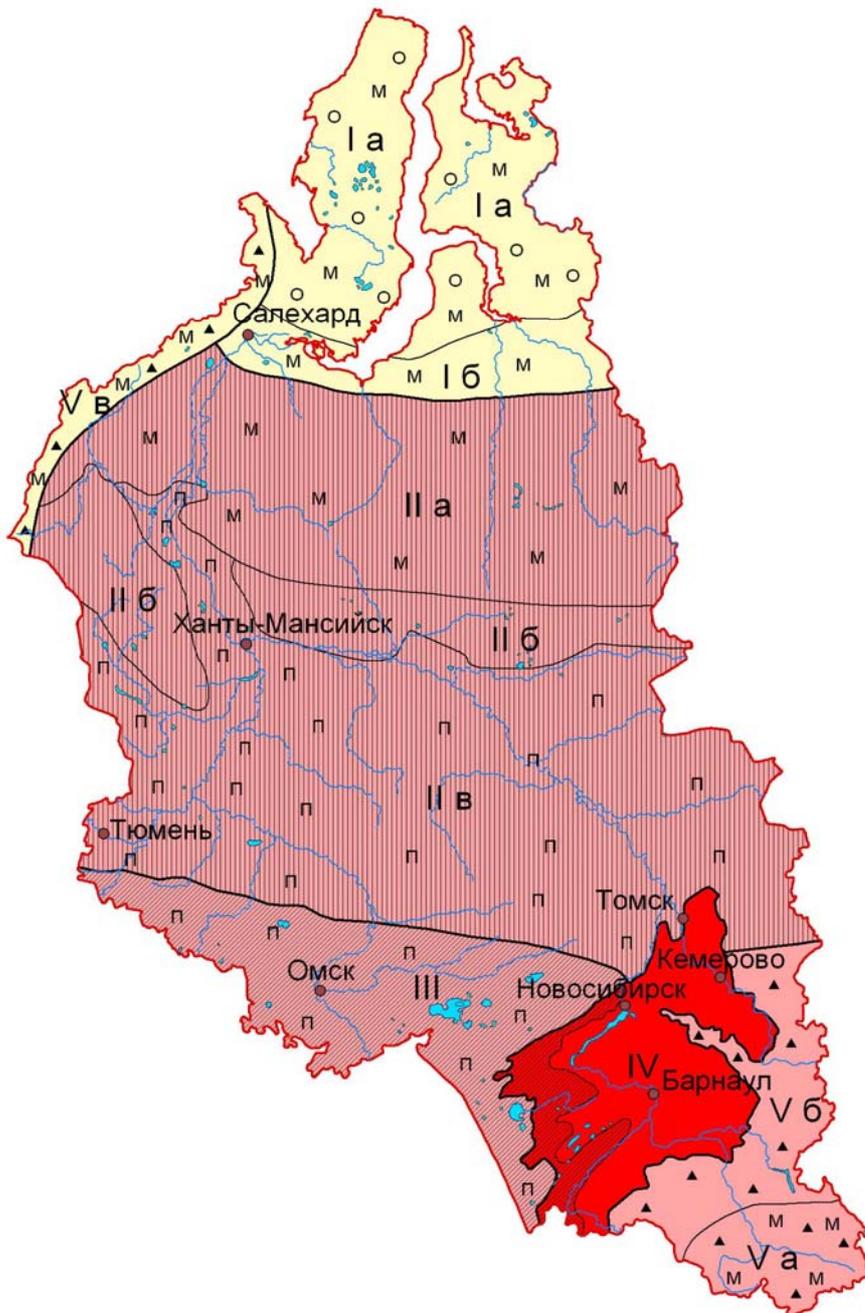
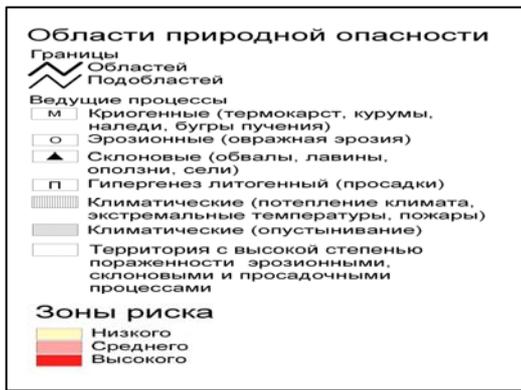


Рис. 43. Схема ранжирования территории Западной Сибири по опасности и риску развития природных процессов и явлений на основе схемы физико-географического районирования Сибири

Для определения показателей риска были реализованы следующие этапы:

– Оценка количественных характеристик сейсмической опасности (интенсивности, в баллах) проведена на основе информации, взятой с карт общего сейсмического районирования ОСР-97 А, В и С, соответствующих 10%-й (А), 5%-й (В) и 1%-й (С) вероятности превышения расчётной интенсивности для фиксированного интервала времени $t=50$ лет. Сейсмическая опасность для г. Барнаула определяется в 6, 7, 8 баллов.

– Ранжирование территории на основе инженерно-геологической карты г. Барнаула (масштаба 1:100000) по четырём типам грунтов по их реакции на сейсмическое воздействие в зависимости от литологического состава, типа просадочности (для лёссовидных отложений), обводнённости и приуроченности к элементу рельефа (в т. ч. к оползнеопасным склонам). Реакция грунтов оценивалась с использованием Шкалы интенсивности INQUA–2003.

– Оценка устойчивости зданий к сейсмическому воздействию определялась функциями уязвимости для зданий разного класса (по этажности, свойствам материалов и конструкций), т. е. распределением степеней повреждений зданий для каждого значения интенсивности по методикам, предложенным в «Сборнике методик...» (1994) и А.В. Бариновым (2003).

– Оценка возможных социальных потерь, рассматриваемая через распределение числа пострадавших людей по городским кварталам для усреднённого сезона и времени суток. Город разбивался на элементарные площадки – кварталы, а их координаты представлялись точкой, расположенной в центре площадки. Показатели, полученные для отдельных площадок, суммируются.

На основе моделирования в программной среде ArcView показателей риска для землетрясений интенсивностью 6, 7 и 8 баллов составлена схема ранжирования территории г. Барнаула с выделением зон слабого, среднего и высокого уровней сейсмического риска.

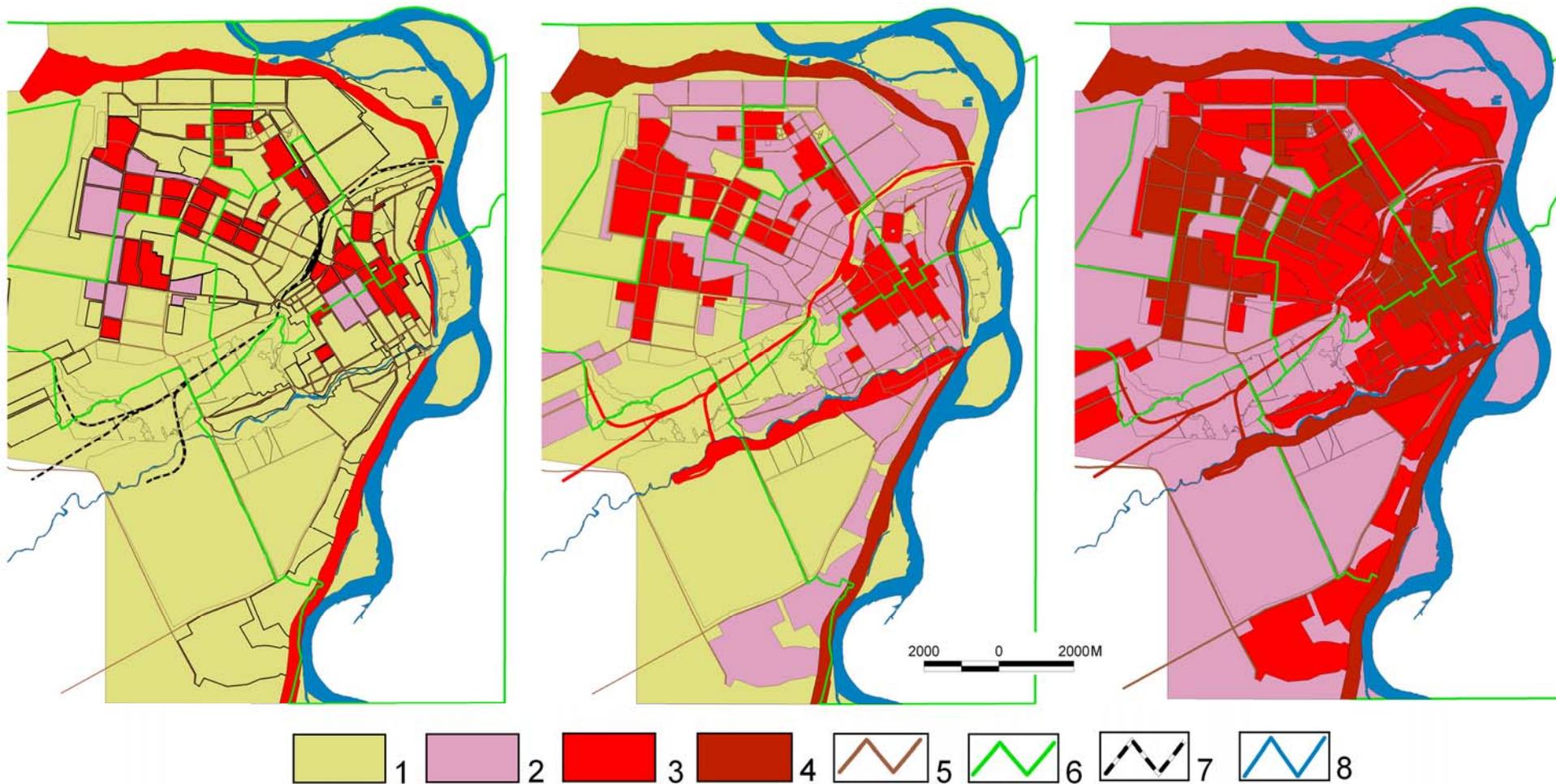


Рис. 44. Схема ранжирования территории г. Барнаула по сейсмическому риску для землетрясений интенсивностью 6, 7, 8 баллов. Зоны риска: 1 – риск отсутствует, 2 – слабого, 3 – среднего, 4 – высокого. 5 – улицы города; 6 – границы административных районов; 7 – железная дорога; 8 – гидросеть.

Продолжен *анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями* населения Сибирского федерального округа Российской Федерации (1995-2004 гг.) Злокачественные новообразования (ЗНО) занимают ведущее место в сложном комплексе проблем современного общества в России и выводят эту патологию за рамки сугубо медицинских. Расходы на лечение онкологических больных в России составляют 10% всех затрат на здравоохранение.

Сибирский федеральный округ занимает лидирующее место в Российской Федерации по уровню и динамике онкологической заболеваемости населения. В 1995-2004 гг. в СФО отмечается устойчивая тенденция роста заболеваемости ЗНО, и самые высокие темпы прироста, причем прирост заболеваемости среди женского населения в три раза выше, чем мужского (рис. 45).

Для анализа заболеваемости злокачественными новообразованиями населения СФО был сформирован банк данных по 43 локализациям за период 1995-2004 гг., структура заболеваемости с выделением ведущих локализаций приведена на рис. 46.

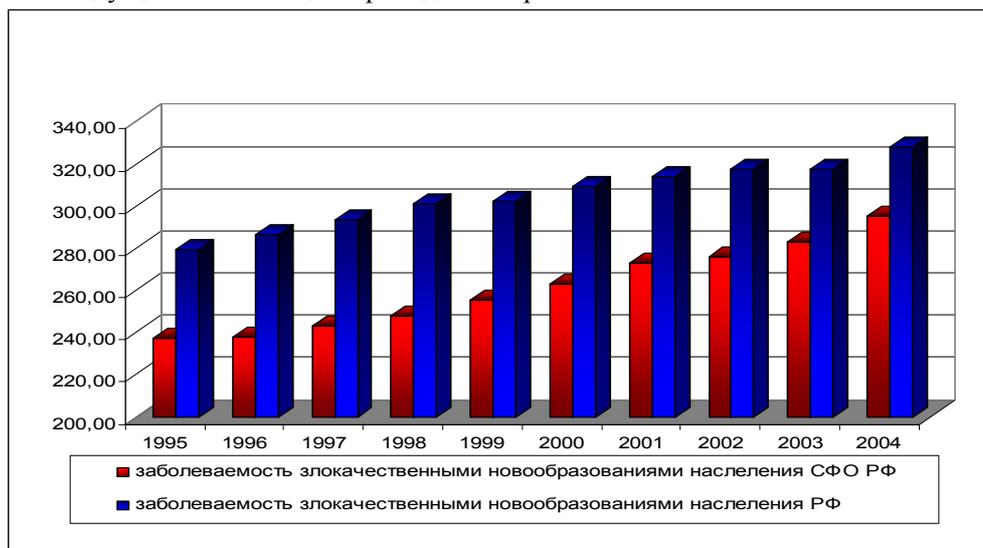


Рис. 45. График динамика заболеваемости злокачественными новообразованиями

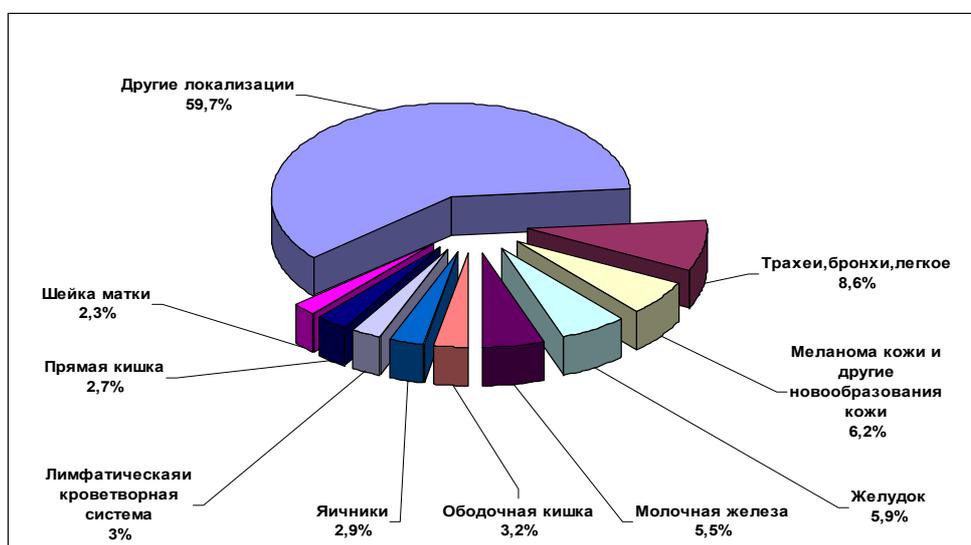


Рис. 46. Структура заболеваемости злокачественными новообразованиями

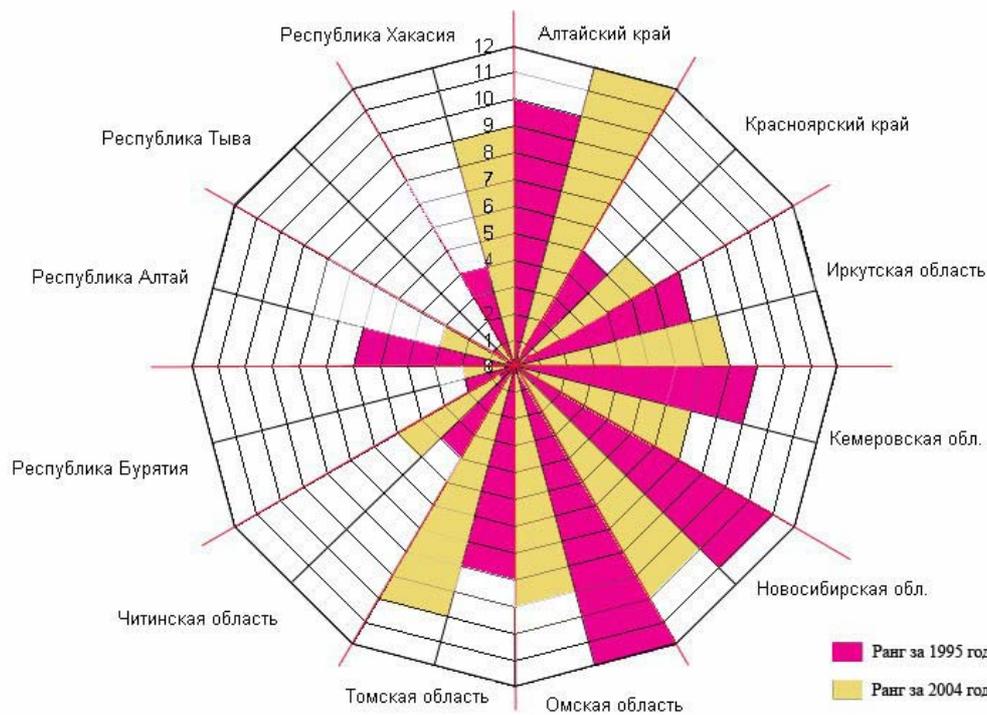


Рис. 47. Сравнительные ранги по заболеваемости злокачественными новообразованиями населения регионов СФО РФ

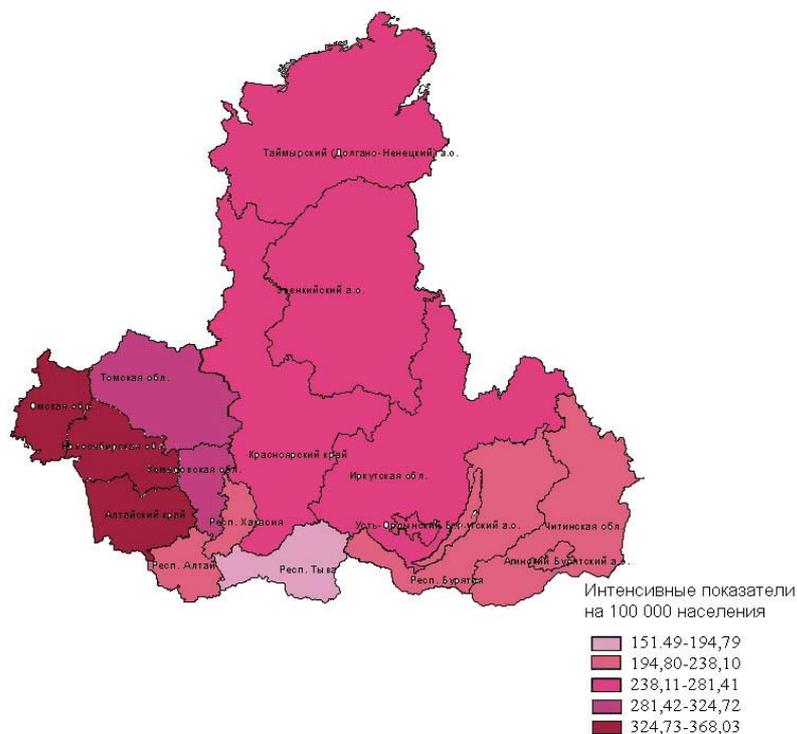


Рис. 48. Территориальный анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями населения СФО РФ за период 1995 – 2004 гг.

Регионы СФО весьма дифференцированы и по уровню, и по структуре заболевания. Проведенный ранговый анализ показал, что наибольшее число онкологических больных отмечается в четырех регионах – Алтайском крае, Новосибирской, Омской и Томской областях; наименьшее – в

республиках Тыва, Алтай, Бурятия. На диаграмме (рис. 47) приведено изменение рангов в субъектах СФО по ЗНО за 1995 – 2004 гг., а их территориальное распределение – на рис. 48.

Блок 4. Формирование и изменение естественных и искусственных экосистем, процессы опустынивания и рациональное природопользование в условиях субаридных территорий юга Западной Сибири.

В процессе проведения исследований, обобщения фондового и опубликованного материала составлены:

➤ карта проявления негативных процессов на юге Западной Сибири (Омская, Новосибирская, Кемеровская, Томская области, Алтайский край, Ханты-Мансийский автономный округ – Югры) в масштабе 1:25 000 000.

➤ карта-схема агропроизводственного зонирования аграрно-ориентированных территорий юга Западной Сибири в масштабе 1:25 000 000. В легендах к картам обозначены все негативные процессы опустынивания и деградации территорий, мероприятия по их устранению или стабилизации, направления существующего природопользования и пути его оптимизации с выходом на прогнозные оценки. Дополнительно проведены исследования зимнего галогеоза и современного длительно теплого периода аридизации на ключевых характерных участках Барабинской равнины (Причановское понижение).

В основу методики исследований положен комплексный геодинамический подход к изучению всех компонентов природной среды в пространственно-временной динамике на местности. Большой объем картографического и фактического материала длительного периода исследований (с 1940-х годов) исполнителей разных производственных и научных организаций позволил произвести надежную интерпретацию данных для решения конечной целевой установки. Проведена компьютерная обработка материала.

В результате проведенных исследований:

- Установлены основные и второстепенные негативные естественные и антропогенные процессы для юга Западной Сибири, оказывающие влияние на природные системы за длительный многолетний ряд исследований;
- Выявлены пути, интенсивность деградации природных объектов;
- Разработаны рекомендации по устранению или стабилизации негативных процессов для разных территорий;
- Проведено агропроизводственное зонирование юга Западной Сибири и ранжирование таксонов внутризонального подчинения;
- Для обоснования выделения агропроизводственных зон приведены количественные критерии: ландшафтно-почвенно-климатические показатели; био- и агротермические условия; показатели влагообеспеченности культурных растений;
- Весь комплекс полученных данных сведен в интегральную карту-схему агропроизводственного зонирования и легенду к ней (рис. 13)

Карта-схема агропроизводственного зонирования юга Западной Сибири

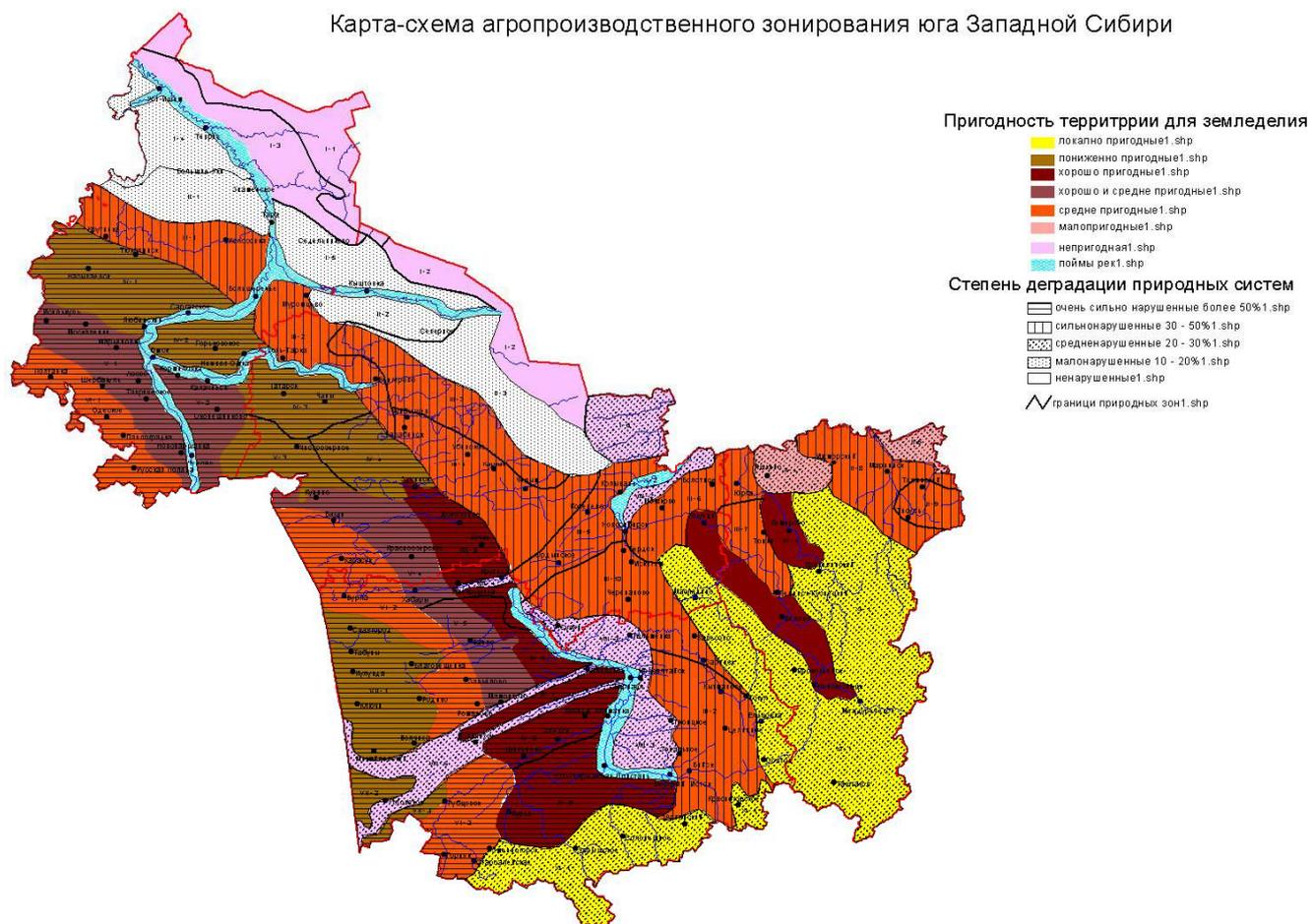


Рис. 49. Карта-схема агропроизводственного зонирования аграрно-ориентированных территорий юга Западной Сибири

Проект 28.3.2. Оценка водных ресурсов бассейн Верхней Оби на основе ландшафтно-индикационных исследований и мониторинга. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

Научный руководитель: д.г.н. Ю.И. Винокуров

Ответственный исполнитель: д.б.н. А.В. Пузанов

Блок 1. Оценка и прогнозирование водного и гидрохимического стока в бассейне Верхней Оби

Формирование стока в бассейне определяется его ландшафтной структурой. Различной пространственно-временной дискретности описания процессов формирования стока соответствует и различная степень ландшафтной дифференциации речного бассейна. Установлено, что для оценки пространственной изменчивости характеристик годового стока (нормы, максимального и минимального) достаточным является деление территории на физико-географические районы. В пределах физико-географических районов (как в бассейне Верхней Оби, так и в бассейне Верхнего Енисея) пространственное распределение характеристик годового стока в основном определяется рельефом и структурой речной сети, и в меньшей степени другими ландшафтными особенностями.

Для изучения процессов формирования стока в бассейне Верхней Оби, пространственной изменчивости его характеристик создана программно-информационная база, включающая данные наблюдений сети мониторинга Росгидромета, других ведомств за режимом и качеством поверхностных и грунтовых вод, спутниковую информацию, материалы экспедиционных исследований, топографические и тематические цифровые векторные карты различных масштабов, оригинальные программные средства для обработки информации и гидрологических расчетов (рис. 50).

Автоматизированная база данных, разработанные программные средства визуализации и обработки информации на основе ГИС-технологий, позволили получить для различных физико-географических районов бассейна Верхней Оби расчетные зависимости нормы и изменчивости годового стока рек от морфометрических характеристик их бассейнов (густоты речной сети, средней высоты водосборов, уклонов и ориентации склонов). Статистическим анализом подтверждена однородность этих районов в отношении годового стока (рис. 51).

Выявленные зависимости послужили основой построения карт нормы, максимального и минимального стока для бассейна Верхней Оби

Полученные результаты существенно уточняют характеристики ресурсов поверхностных вод в бассейне Верхней Оби и могут быть использованы в практике инженерной гидрологии.

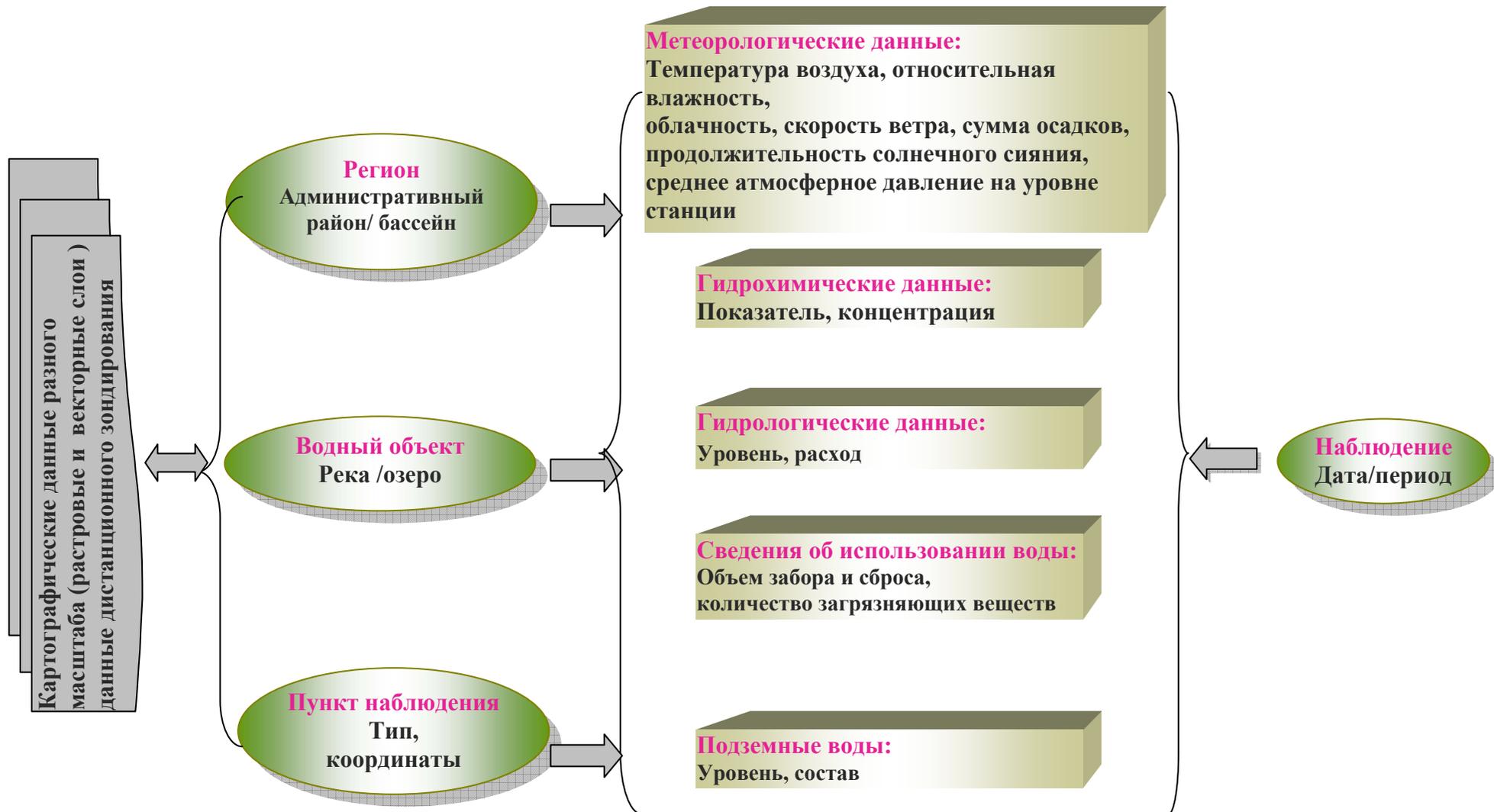


Рис. 50. Концептуальная модель базы данных для изучения процессов формирования стока

-  Граница физ.географ.областей
-  Границы провинций
-  Изолинии нормы стока
-  Гидрологическое районирование

- Области**
 1а - Зональная обл. Зап.Сиб. степи
 1б - Зональная обл. Зап.Сиб. лесостепи
 I - Алтайская горно-складч.обл.
 II - Саянская горно-складч.обл.

- Провинции**
 7 - Южносибирская
 8 - Предалтайская
 15 - Вехнеобская

- Гидрологические районы**
 1 - Равнинные территории
 2 - Салаир и Горная Шория
 3 - Сев. и Центр. Алтай
 4 - Межгорн.котловины и Чулышманское нагорье
 5 - Сев-Вост.Алтай
 6 - Обл.влияния горн.карста

50 0 50 100 Kilometers

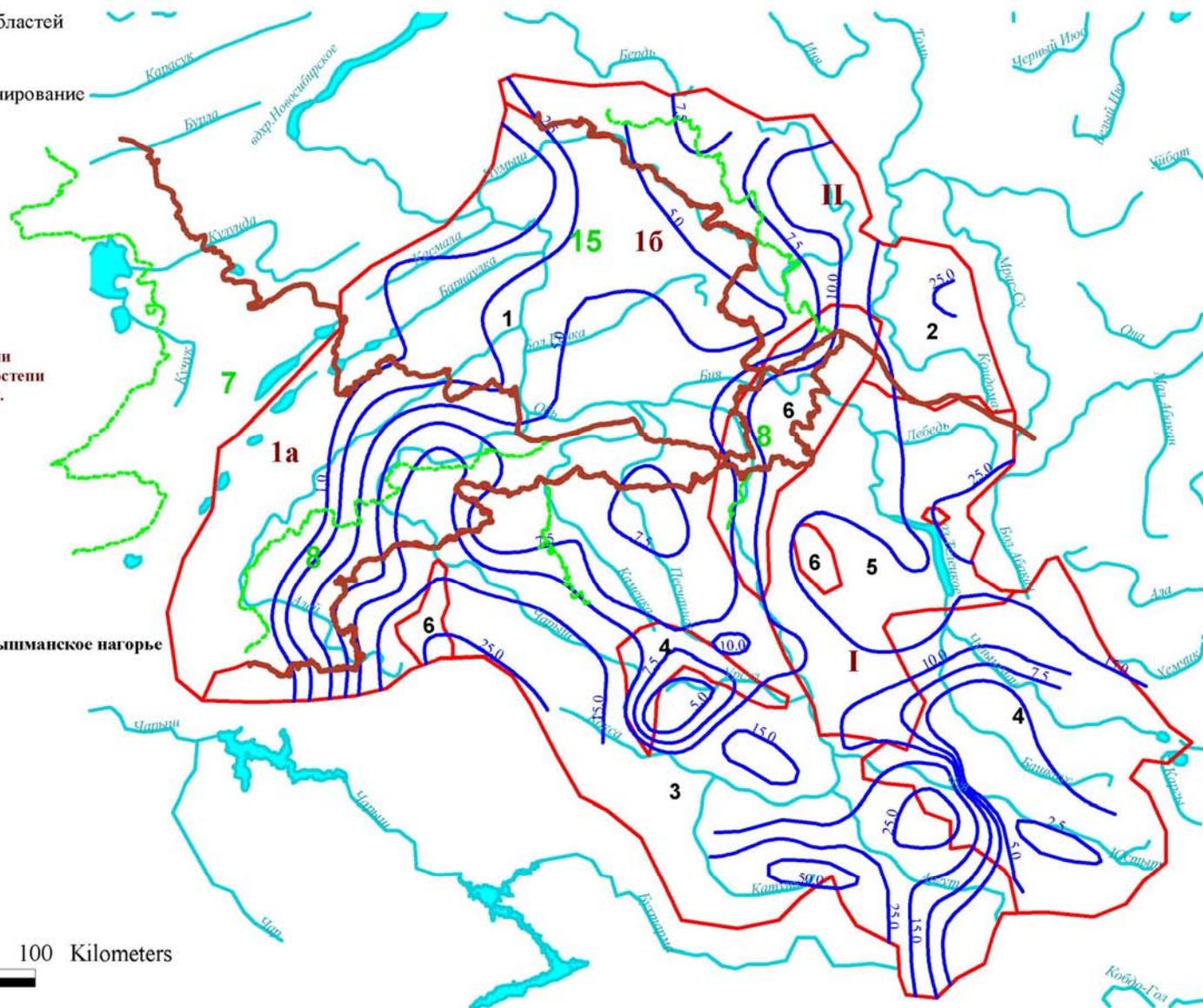



Рис. 51. Карта нормы стока в бассейне Верхней Оби

Блок 2. Прогнозирование чрезвычайных гидрологических ситуаций на основе мониторинга водных объектов Сибири

Статистический анализ особенностей сезонного стока Верхней Оби в осенне-зимний период. Сформулирована проблема возникновения кризисных ситуаций в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла, обусловленная совпадением экстремальных по маловодью ситуаций с неблагоприятной ледотермической обстановкой в нижнем бьефе в условиях теплых зим.

Выполнен статистический анализ рядов наблюдений по стоку Верхней Оби в осенне-зимний период. По данным наблюдений за многолетний 108-летний период с 1894 по 2002 гг. норма стока первого квартала в створе Камень-на-Оби (входной створ Новосибирского водохранилища) соответствует средней величине расхода в 337 м³/с. Межгодовая изменчивость стока в этот период характеризуется коэффициентом вариации $C_v = 0,2$. Наибольшая величина зимнего стока за указанный период зарегистрирована в 1947 году и соответствует среднему расходу 541 м³/с, а наименьшая имела место в 1901 году, когда среднеквартальный расход составлял всего 179 м³/с (53% от нормы). В период эксплуатации Новосибирского водохранилища при наибольшей сработке уровня в 1980-1981 и 1981-1982 гг. в рассматриваемом створе средние расходы в указанный период составляли 485 м³/с и 371 м³/с, соответственно. Сопоставление многолетних данных о стоке рек Верхней Оби, Томи и Иртыша с данными о климатической обстановке на юге Западной Сибири показывает, что периоды маловодья, как правило, соответствуют «сухим» годам, а наиболее острые по маловодью ситуации – периодам проявления сильных засух.

По результатам многолетних (с 1967 по 2002 гг.) наблюдений выполнен анализ статистической зависимости двух случайных величин - зимнего притока в Новосибирское водохранилище (приток в водохранилище за ноябрь-март) и температуры зимы в г. Новосибирске (сумма среднемесячных температур приземного воздуха за октябрь-март). Показано, что зимний приток воды в Новосибирское водохранилище и температура зимы г. Новосибирска могут рассматриваться как независимые случайные величины (коэффициент корреляции 0,22 при критическом значении коэффициента корреляции 0,329).

Водный баланс Новосибирского водохранилища в условиях зимних маловодий. Выполнен анализ водного баланса Новосибирского водохранилища в осенне-зимний период за все время существования водохранилища. Расчеты проводились для периода времени с 1 сентября по 31 марта. Начальный уровень воды на первое сентября назначался равным НПУ (113,5 мБС). Быстрота сработки запаса воды в водохранилище определяется главным образом попусками воды в нижний бьеф. Расчетные попуски назначались а) из условия обеспечения требуемого уровня в нижнем бьефе (не ниже 620 м³/с – вариант 1); б) в двух других вариантах величины среднедекадных попусков назначались из условия 80 % и 95 % обеспеченности за период 1991-2001 гг. Результаты расчетов показали, что при современном режиме попусков в условиях маловодного осенне-зимнего периода уровень верхнего бьефа водохранилища опускается ниже УМО к началу декабря в 30% случаев из 107 рассмотренных. Из результатов расчетов, проведенных для условий наиболее маловодных лет, следует вывод, что в годы с низким зимним притоком к Новосибирскому водохранилищу ресурсов воды в полезном объеме водохранилища не хватит для обеспечения требуемых в настоящее время попусков в нижний бьеф (рис. 52).

Выполнен анализ величин попусков в нижний бьеф Новосибирского водохранилища в осенне-зимний период за все время существования водохранилища, определяемых требованием обеспечения необходимых уровней в нижнем бьефе у основных водозаборных сооружений г. Новосибирска. По сравнению с величиной попусков в 70-е годы объем попусков в 1991-2000 гг. увеличился на 1,7 %, а в первом квартале на 11,2 %. Учитывая малую полезную емкость водохранилища, дальнейшее увеличение попусков может еще более усложнить процесс регулирования стока в зимнее время.

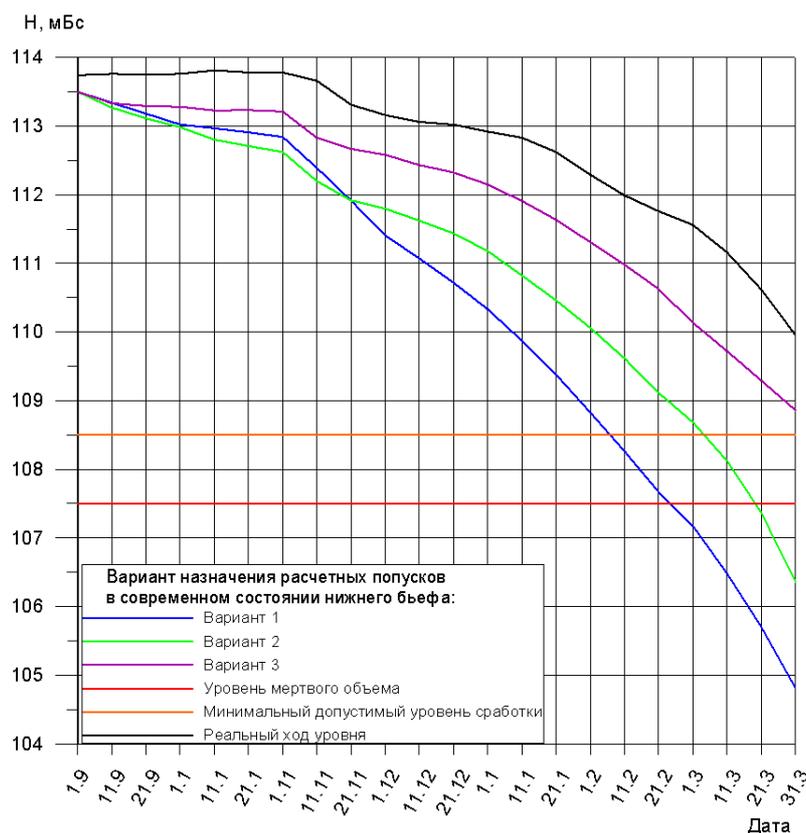


Рис. 52. Расчетный и реальный ход уровней воды в Новосибирском водохранилище; приток соответствует 1968/69 гг. (расчет хода уровня при эксплуатации водохранилища в условиях увеличившихся попусков в нижний бьеф)

Ледовый режим нижнего бьефа Новосибирского гидроузла. Выполнен анализ изменений ледового режима реки Обь в результате создания Новосибирского водохранилища (сроки проявления ледовых явлений, толщина льда, интенсивность осеннего и весеннего ледохода). Причины изменений: а) поступающая из водохранилища вода имеет в зимнее время температуру выше нуля ($\sim 1^\circ\text{C}$), б) зимние расходы превышают бытовые на $300\text{--}400\text{ м}^3/\text{с}$. Собраны и проанализированы статистические материалы по ледовым явлениям (периоды ледостава, шугохода и ледохода, начало периода "чистой" воды, наивысший подъем уровня воды во время ледохода) в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла за период с 1961 по 2001 гг. Получены качественная и количественная оценки основных характеристик ледового режима на рассматриваемом участке реки.

Выполнен анализ температуры технической воды, циркулирующей в турбинных агрегатах Новосибирской ГЭС (1980-2002 гг.) (результатов замеров температуры воды непосредственно после сброса ее в нижний бьеф обнаружить не удалось). Температура технической воды почти весь зимний период не выше 1°C .

Математическая модель гидроледотермического режима нижнего бьефа Новосибирского гидроузла. Разработана математическая модель гидроледотермических процессов в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла для расчетов длины полыньи и уровней свободной водной поверхности. Для этой цели были использованы подготовленные данные по морфометрии и шероховатости русла р. Обь на участке нижнего бьефа, температуре и расходам сбрасываемой из водохранилища воды и данные метеонаблюдений в районе нижнего бьефа. Для выполнения вариантных расчетов с использованием современных компьютерных технологий, в том числе для работы с разнородной входной информацией, создан пакет прикладных программ на языке Delphi.

На основе разработанной математической модели гидроледотермического режима нижнего бьефа гидроузла получено аналитическое решение задачи определения размера полыньи в квазистационарном приближении. Показано, что размер полыньи определяется тепловым потоком из водохранилища, а влияние метеоусловий определяется удельным теплотокотом через свободную поверхность полыньи, т.к. температура воды близка к нулю.

Верификация компьютерной модели гидродотермических процессов в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла. Для верификации компьютерной модели гидродотермических процессов в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла рассчитаны гидравлические характеристики р. Обь ниже створа плотины в отсутствии льда (рис. 53).

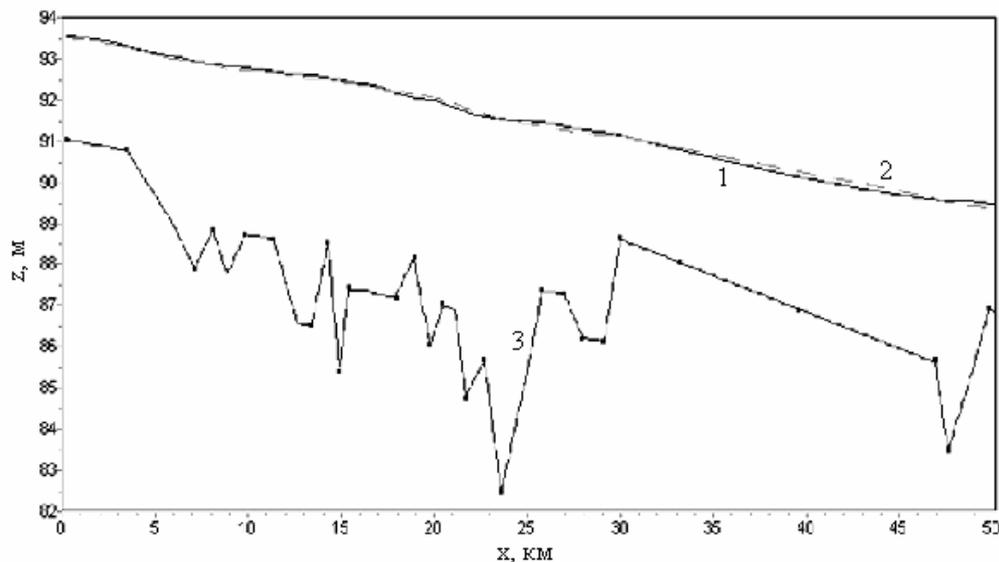


Рис. 53. Профили уровня свободной поверхности (1-расчет, 2-наблюдения) при расходе $1300 \text{ м}^3/\text{с}$.
Кривая 3 - отметки уровня дна по линии наибольших глубин

Близость рассчитанных и наблюдаемых уровней свободной поверхности на 50 км участке реки ниже плотины позволяет утверждать, что компьютерная гидродотермическая модель правильно описывает течение реки на рассматриваемом участке. Также в согласии с натурными данными находятся рассчитанные по компьютерной модели положения кромки ледяного покрова в нижнем бьефе Красноярской ГЭС для условий зимы 1984/85 гг.

На рис. 54 приведены результаты расчетов полыньи в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла для «теплой» (1981/82 гг.) и «холодной» (1965/66 гг.) зим.

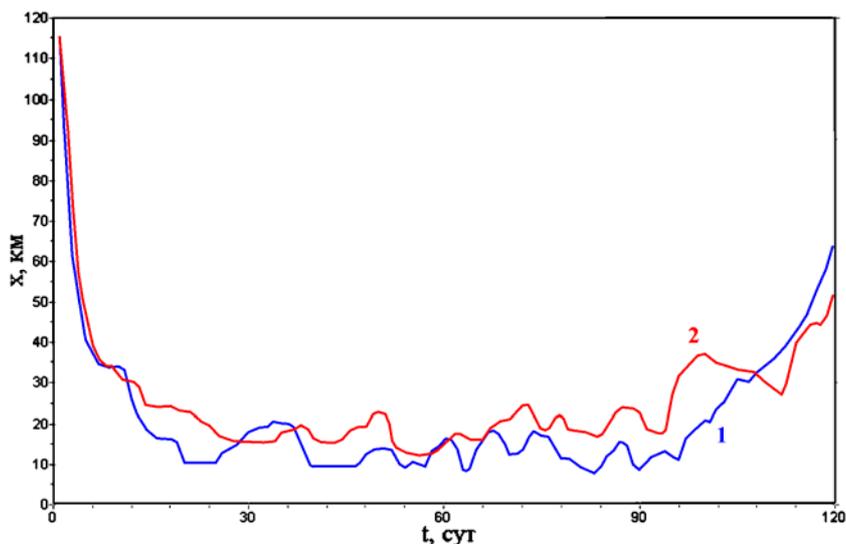


Рис. 54. Расстояние кромки льда от створа плотины Новосибирской ГЭС. Кривая 1 – холодная зима; кривая 2 – теплая зима. Расход воды в створе плотины – $600 \text{ м}^3/\text{с}$

Рассчитанные размеры полыньи качественно и количественно согласуются с собранными натурными данными.

Численный анализ связи попусков ГЭС и уровней водной поверхности в створе водозабора НФС-5. Для изучения оптимальных режимов зимних попусков из водохранилища численно исследована связь уровней водной поверхности в районе основного водозабора

г. Новосибирска (НФС-5) (15,6 км от створа плотины Новосибирской ГЭС) с расходами сбрасываемой воды. Расчетами определены подъемы уровня воды z в створе НФС-5 из-за подпора ото льда для разных расходах сбрасываемой воды Q и различных положений кромки ледяного покрова L_i (рис. 55).

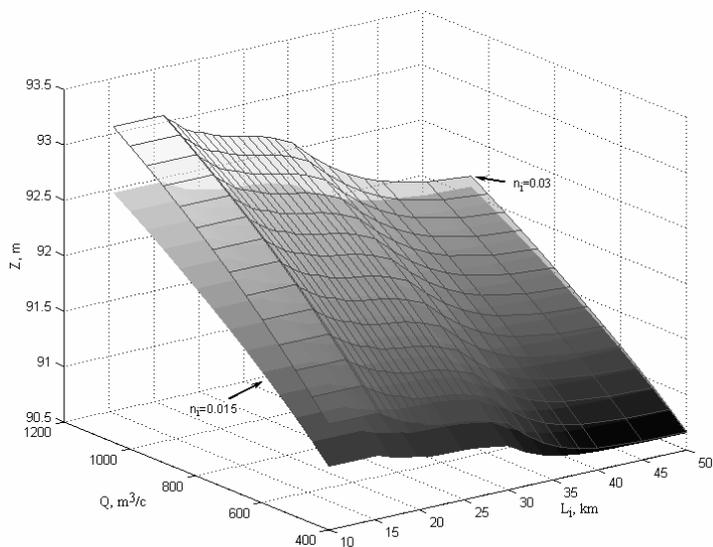


Рис. 55. Уровни водной поверхности в створе водозабора НФС-5 при разных расходах сбрасываемой из Новосибирского водохранилища воды и различном положении кромки ледяного покрова.

Изолиния $z=z^*$ на поверхности $z(Q, L_i)$ определяет необходимые объемы сбрасываемой воды для поддержания требуемого уровня водной поверхности z^* в створе НФС-5.

На основе аналитических оценок показано, что в зимних условиях уровень свободной поверхности воды в створе водозабора НФС-5 не является монотонно возрастающей функцией попуска из водохранилища, как это имеет место в условиях открытой воды, а начиная с некоторого расхода уровень воды с увеличением расхода падает, а затем опять возрастает. Это подтверждается результатами численных расчетов по математической модели неустановившихся гидроледотермических процессов в нижнем бьефе (рис. 56).

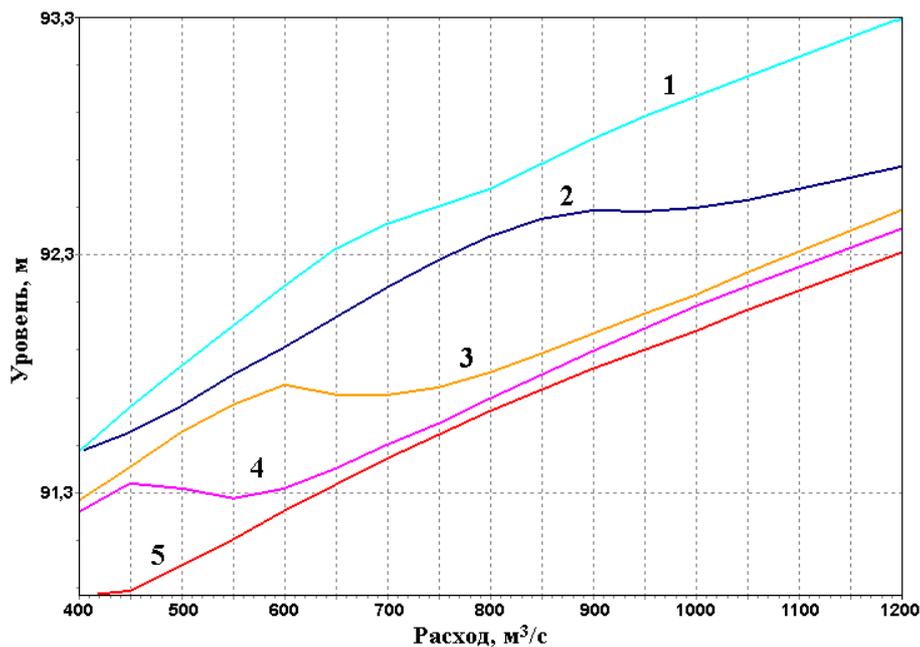


Рис. 56. Связь уровней и расходов в створе НФС-5 при разной теплоотдаче свободной поверхности:

1 – 0,059; 2 – 0,04; 3 – 0,03; 4 – 0,025; 5 – 0,02 (ккал/(м²·с))

Рекомендации по обеспечению условий нормального функционирования водозаборов г. Новосибирска в условиях маловодий. Зимний приток воды в Новосибирское водохранилище и температура зимы в г. Новосибирске в первом приближении могут рассматриваться как независимые величины, вопросы о возникновении ЭГС по маловодью и оптимизации объемов сбрасываемой воды (при прогнозах ЭГС) могут решаться независимо.

Ноябрьский приток имеет коэффициент корреляции со всем зимним притоком, равный 0.9. Это означает, что прогноз зимнего маловодья – это фактически прогноз ноябрьского притока. И после получения информации о ноябрьском притоке вполне можно успеть принять меры по смягчению предстоящей неблагоприятной ситуации.

В качестве одной из мер может быть использование методики оптимизации объемов попусков из водохранилища, учитывающую подпор уровней воды в створе НФС-5 из-за наличия ледяного покрова. На основании краткосрочных прогнозов метеообстановки в районе нижнего бьефа можно рассчитать при помощи разработанного ПО величину удельного теплового потока. Затем (с использованием предварительных результатов расчетов по компьютерной модели) для требуемого уровня z^* определить минимально необходимый расход сбрасываемой воды. В силу выявленной неоднозначности связи расход-уровень при маловодьях в теплые зимы возможны ситуации, когда можно уменьшать (не увеличивать) сбросные расходы и обеспечивать при этом нужный уровень водной поверхности.

Для подготовки конкретных практических рекомендаций требуется дополнительно организовать мониторинг температуры сбрасываемой воды и проработать вопросы, связанные с определением коэффициентов шероховатости подошвы ледяного покрова. Для качественной калибровки компьютерной ледотермической модели следует организовать натурный эксперимент по наблюдению за зимними уровнями нижнем бьефе Новосибирского гидроузла при разных положениях кромки льда (важен полный набор данных наблюдений за некоторый период времени).

Разработка программного обеспечения для выработки рекомендаций по режиму попусков ГЭС. Для определения характеристик метеоусловий (величин T_e и K_T) разработан численный алгоритм и составлена программа расчета этих величин на ПЭВМ.

Получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ «Гидроледотермика-1DN (Польня)». На основе данной программы создан прототип программного продукта для описания гидроледотермических процессов нижних в бьефах ГЭС и гидроузлов, выполнено его тестирование и разработано Руководство пользователя.

Мониторинг и долгосрочное прогнозирование экстремальных гидрометеорологических ситуаций для решения задач адаптивного водохозяйственного и аграрного природопользования. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций в традиционной практике обычно проводится по статистике прошлых событий, что не позволяет заблаговременно подготовиться к ним, поскольку сами источники их – сильные осадки, паводки на реках, стационарные антициклоны, засухи и пр., - остаются практически неопределенными во времени и пространстве.

Долгосрочные и сверхдолгосрочные прогнозы основываются на открытом автором явлении геокосмических резонансов в атмосфере и гидросфере планеты, новых схемах расчетов геокосмических факторов и резонансов, позволяющих заблаговременно определить время и место возможных катастрофических паводков, засух и маловодий. Точность прогнозов проверяется по схеме прогноза-«экзамена» на 5 и более лет (рис. 57). Прогнозы ориентированы на планирование стратегии регулирования водных ресурсов и адаптацию аграрно-промышленного комплекса к чрезвычайным ситуациям в ближайшие годы (Понько, 2005-2006).

Методология космогеопрогноза защищена патентами на изобретение способа прогнозирования аномалий на Земле или ее части (RU 2164029) и способа прогнозирования экологического состояния на Земле или ее части (RU 2164030).

Сверхдолгосрочный прогноз водности в бассейне оз. Чаны показал, что с 2007 г. на Чанах ожидается естественный подъем водности, а после 2010-го года возможен сильный спад. На основе последующих прогнозов элементов водного баланса оз. Чаны были своевременно укреплены защитные дамбы, и в 2006 г. разработана схема пополнения высохшей котловины оз. Чебаклы. Все это позволило сохранить рыбохозяйственное значение крупнейшего водоема юга Западной Сибири.

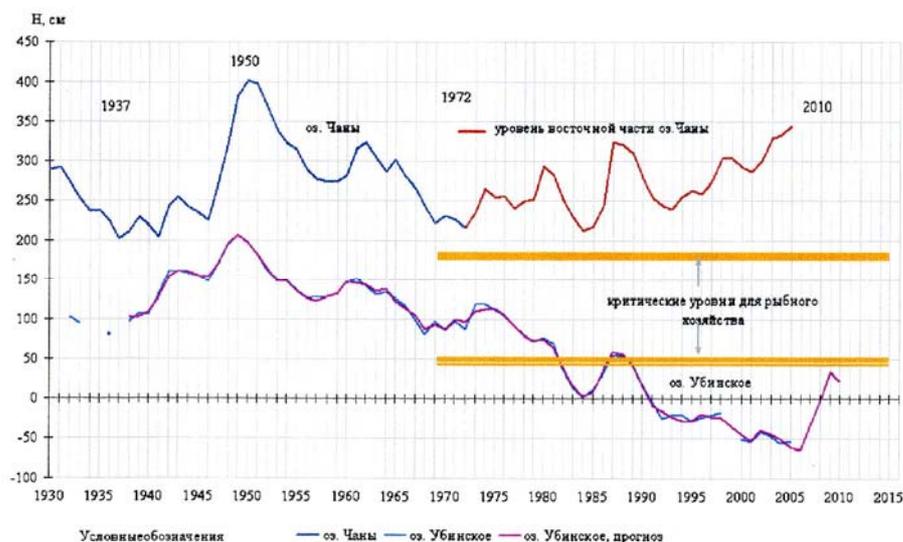


Рис. 57. Уровни оз. Чаны и Убинское

Блок 3. Оценка современного и ретроспективного уровня загрязнения окружающей среды Центрально-Азиатского региона по послойному анализу льда ледника г. Белуха

Разработана методика послойного определения ультранизких содержаний ртути в пробах льда и снега (предел обнаружения 0,025 нг/кг), с помощью которой был проанализирован ледовый керн г. Белуха. Результаты его анализа и поиск архивной информации позволили:

- Впервые оценить современный и ретроспективный уровень загрязнения атмосферы Центрально-азиатского региона за последние два столетия
- Сделать вывод, что, несмотря на существенный вклад локальных и региональных источников в ртутное загрязнение Центрально-Азиатского региона, ледниковый керн г. Белуха может быть использован в качестве ретроспективного индикатора глобального поступления ртути в окружающую среду Земли (рис. 58)
- Оценить, что в индустриальное время вклад региональной составляющей в ~3,5 раза превышает вклад глобальной составляющей в общий уровень загрязнения ртутью атмосферы Центрально-Азиатского региона, при этом антропогенная составляющая этого вклада всего в 1,8 раза превышает его природную составляющую (табл. 6).

Анализ синоптической ситуации над территорией восточной части юга Западной Сибири позволяет предположить, что пылевой слой в керне льда горы Белуха, датированный 1985 годом, был сформирован событиями атмосферного процесса 7-15 августа 1985 г., причем, основной вклад в образование пылевого слоя внес смерч, сформировавшийся в Рубцовском районе Алтайского края при прохождении через него холодного атмосферного фронта. Принимая во внимание, что аналогичные атмосферные условия в Алтайском крае и Северном Казахстане в летние месяцы наблюдаются практически ежегодно, можно предположить, что в отдельных редких случаях их интенсивность и направленность может приводить к циркуляционному переносу в сторону Алтайского горного массива пыли, поднятой в воздух шквалами или смерчем. Поэтому существует большая вероятность, что пылевые слои в ледниковых отложениях г. Белуха, датированные 1842, 1906 и 1925 г.г., были сформированы аналогичными атмосферными процессами. Для подтверждения данного предположения необходимо провести подробный сравнительный анализ (химический, структурный, морфологический) пылевых слоев ледникового керна и верхнего слоя почв из предполагаемых районов пылеобразования.

Таблица 6

Оценка глобального и регионального вклада, а также природной и антропогенной составляющих в общее ртутное загрязнение атмосферы различных регионов (индустриальное время) по данным послойного анализа ледниковых кернов

	Алтай (г. Белуха)	Альпы (г. Монблан)
Глобальный фон	0,43 нг/кг	0,43 нг/кг
Вклад региональной составляющей	1,52 нг/кг	1,87 нг/кг
Вклад природной составляющей	0,69 нг/кг	-
Вклад антропогенной составляющей	1,26 нг/кг	-

Работы по проекту проводились в рамках протокола о сотрудничестве между Институтом им. Поля Шеррера (Швейцария) и Институтом водных и экологических проблем СО РАН. Эти исследования входят в программу международного проекта PAGES (Past Global Changes), который поддерживается Швейцарским и Американским национальными научными фондами. Следует отметить, что на основе разработанной методики нами впервые для внутриконтинентальных высокогорных ледников был получен непрерывный ряд данных о содержании ртути в ледниковом керне за период 250 лет, что позволило достоверно оценить региональный вклад антропогенной и природной составляющих в общий баланс поступления ртути в Центрально-азиатском регионе.

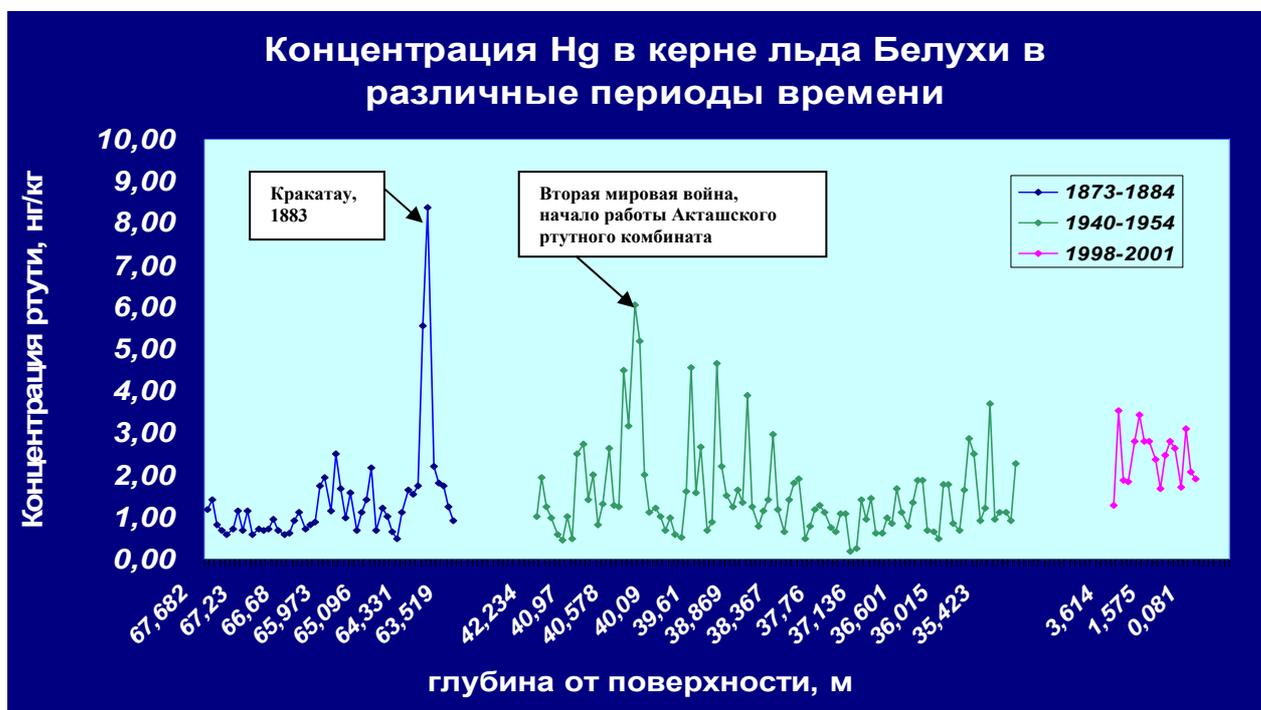


Рис. 58. Содержание ртути в керне льда горы Белуха в различные периоды времени

Блок 4. Оценка влияния антропогенной трансформации ландшафтов на формирование эрозионного и гидрохимического стока

На основе многолетнего геохимического мониторинга ландшафтов в районах воздействия предприятий горнорудной промышленности и объектов их инфраструктуры установлено:

- Основная роль в формировании техногенных ландшафтов и экологической обстановки территорий сопряженных с предприятиями принадлежит твердым (хвостовой передел, шлаки) и жидким (сточные воды) производственным отходам (табл. 7, 8).

Таблица 7

Среднее содержание (мкг/дм³) тяжелых металлов в сточных водах горнодобывающих предприятий Алтая

Предприятия		Fe	Cu	Zn	Hg	Pb	Li	As	Sb	W	Mo	Be
Рудник "Веселый"	Стоки ЗИФ	752	66	7,2	0,20	1,2	–	–	–	–	–	–
	Стоки УКВ	488	1968	199,4	0,33	4,7	–	–	–	–	–	–
Рудник "Калгуты"	Стоки фабрики	12000	3785	227,3	0,26	25,0	11,5	<0,5	7,9	110	3263	3,4
	Стоки отстойника	6613	3805	165,2	36,24	16,8	66,0	<0,5	15	81,5	12488	2,8
Акташское ГМП (технологическая вода)		–	30	84,0	7078	10,0	–	12	24	–	–	–

Примечание: курсивом выделено содержание более 1 ПДК, жирным курсивом более 30 ПДК

Таблица 8

Микроэлементный состав твердых отходов действующих горнодобывающих предприятий Алтая, мг/кг

Предприятия	Hg	Be	As	Cd	Pb	Li	Sb	Mo	W	Cr	Cu	Co	Bi	Zn	Ni
Рудник "Веселый"	0,98	–	24	0,14	7	–	12	14	–	60	530	15	5	65	19
Акташское ГМП	161	–	300	0,55	39	76	34	–	–	22	42	–	–	67	139
Рудник "Калгуты"	6	119	50	0,27	45	200	47	8000	1300	–	2450	–	363	59	1.3

- Доминирующая форма миграции токсикантов в условиях автономных степных ландшафтов – аэрогенная, в условиях горно-долинных каскадных гумидных ландшафтов – гидрогенная, что обуславливает формирование соответственно площадных и линейных ореолов загрязнения.
- Незадернованные поверхности отложений хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината (АГОК), характеризующихся сверханомальными концентрациями Ва, As, Cd, Cu, Pb и Zn, обуславливают экологически опасный уровень их содержания в почвах, растениях и снежном покрове в результате проявления водной эрозии и дефляционных процессов в условиях степных ландшафтов (табл. 9, рис. 59).
- Выявлены растения – концентраторы тяжелых металлов, которые значительно снижают поступление миграционноспособных соединений в поверхностные и грунтовые воды.

Таблица 9

Среднее содержание микроэлементов в отложениях хвостохранилищ АГОКа, мг/кг

	As	Ba	Cd	Cu	Pb	Zn
Хвостохранилища (поверхность):	старое	207	91596	7,1	2773	4269
	новое	135	230025	9,5	7794	6703
ОДК и ПДК (Ba)	10	100	2	132	130	220
<i>K опасности</i>	17 (12-44)	1608 (31-6280)	4 (1-10)	40 (4,2-205)	24 (1-83)	13 (1-35)

- Предприятия, перерабатывающие ртутьсодержащие отходы, и золотоизвлекательные фабрики (ЗИФ), расположенные в долинах горных рек (Корболиха, Ярлыамры, Сейка), обусловили значительное локальное загрязнение ртутью донных отложений и почв, но в условиях самоочищения водотоков не изменяют уровень содержания ртути в воде.

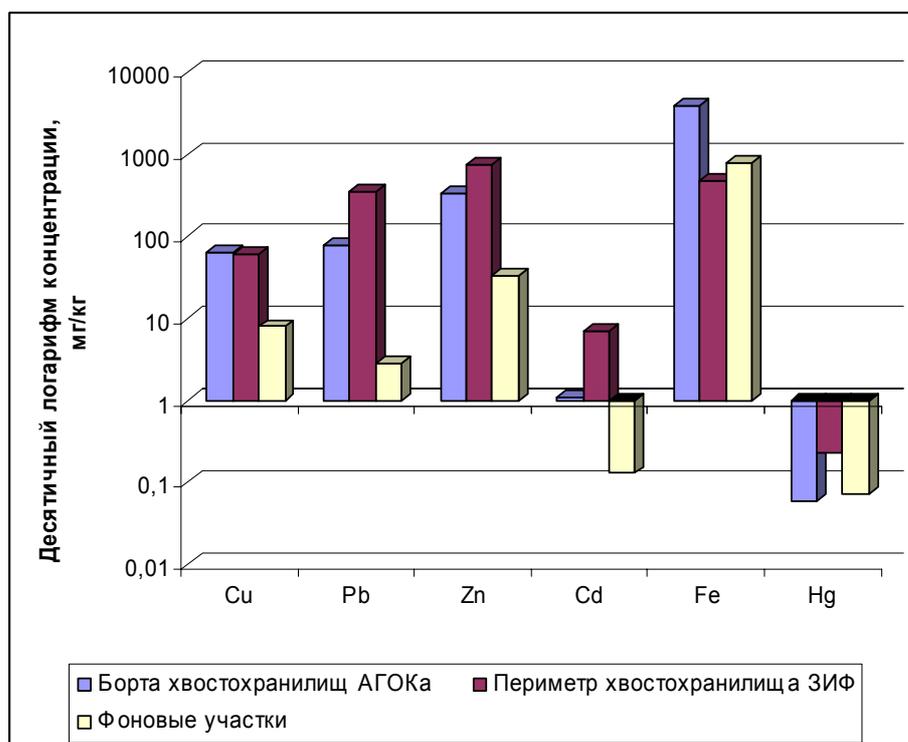


Рис. 59. Среднее содержание тяжелых металлов в растениях техногенных и незагрязненных ландшафтов Северо-Западного Алтая

- Образующиеся в зонах обрушения техногенные озера характеризуются экологически опасным уровнем содержания тяжелых металлов в воде, донных отложениях и высших водных растениях (рис. 60), и являются источником поступления тяжелых металлов почвы при подтоплении почв селитебных зон.

Разработанная локальная краткосрочная модель, базирующаяся на Гауссовском подходе, позволяет установить в угледобывающих районах выпадение промышленной пыли на различном удалении от источника в зависимости от ее дисперсного состава и метеорологических условий (рис. 61).

Таким образом, в результате функционирования предприятий горнорудной промышленности Юго-Восточного, Северо-Восточного и Северо-Западного Алтая и Кузнецкой котловины выявлено локальное загрязнение поверхностных вод горных рек.

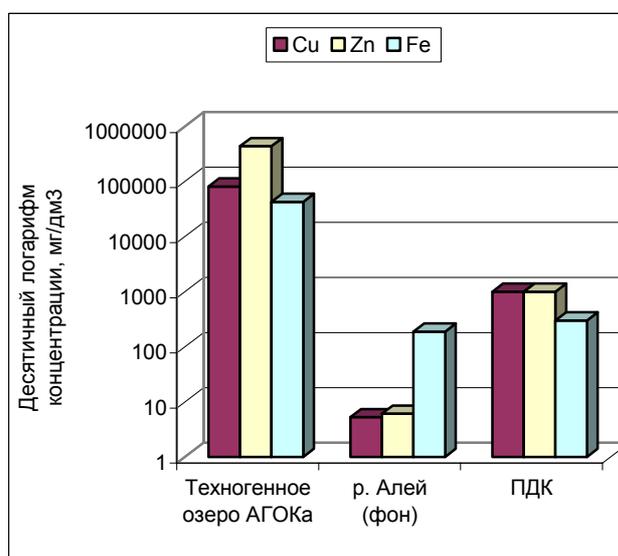


Рис. 60. Содержание меди, цинка и железа в воде техногенных озер

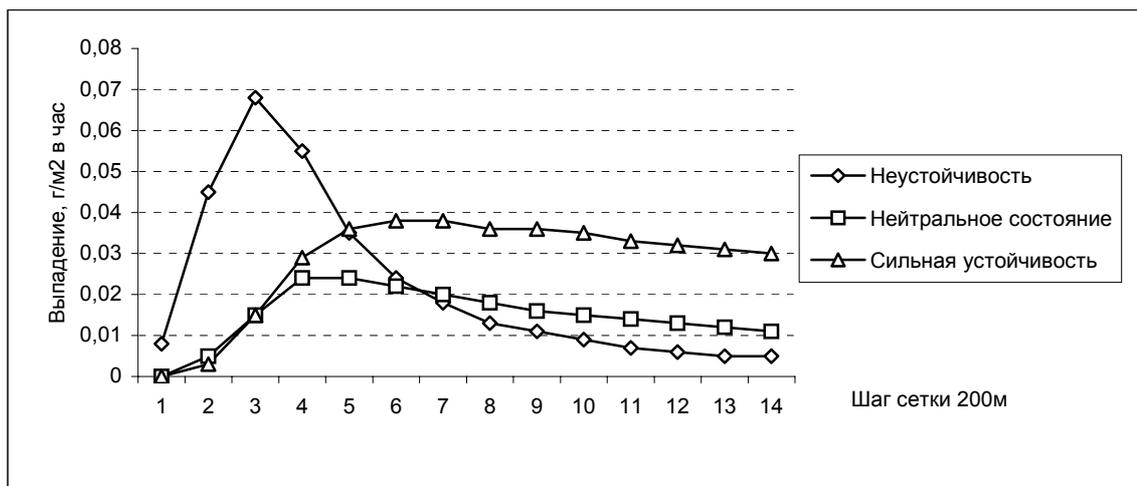


Рис. 61. Расчетная оценка часового выпадения пыли по оси факела после взрывов горной массы при различной устойчивости атмосферы

Таким образом, многолетнее функционирование предприятий горнодобывающей (разработка полиметаллических и угольных месторождений) и горно-перерабатывающей промышленности привело к существенному локальному загрязнению компонентов наземных и водных экосистем тяжелыми металлами, мышьяком, барием и цианидами в бассейнах рек Верхней Оби (Томь, Алей, Чуя, Иша, Калгуты).

Блок 5. Водно-экологическое картографирование на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий

Разработаны основные принципы водно-экологического картографирования и подходы к созданию карт с использованием тематической ГИС-информации. Структурно-функциональная блок-схема формирования системы водно-экологического картографирования, содержащая общенаучные принципы системного картографирования и картографического моделирования и их взаимоотношения, показана на рис. 62.



Рис. 62. Структурно-функциональная блок-схема формирования системы водно-экологического картографирования

Для анализа и оценки состояния водных ресурсов по водным объектам, населенным пунктам и площади речного бассейна принят алгоритм, включающий четыре этапа обработки первичных материалов, которым отвечают соответствующие атрибутивные таблицы и картографические слои:

- инвентаризация полного объема и качества водных ресурсов, сосредоточенных в водоемах и водотоках изучаемого объекта (включая объемы возврата ресурсов через водоотведение),
- оценка полезного объема, экологически допустимого для хозяйственного использования по каждому из водоисточников,
- инвентаризация фактического использования водных ресурсов (водоотбор, водоотведение) по данным существующих систем мониторинга,
- оценка итогового состояния водных ресурсов («резерв – дефицит» водных ресурсов, качество воды) рассматриваемого объекта.

Картографическое представление всей совокупности данных о водопользовании в едином документе позволяет оценить уровень гидроэкологической безопасности объекта (как территориального, так и водного), разработать и принять управляющие решения о перспективах и направлении развития территории, размещении водоемких производств, интенсивности использования водных ресурсов и т.д.

Схема использования исходных данных, заносимых в атрибутивные таблицы, приведена на рис. 63.

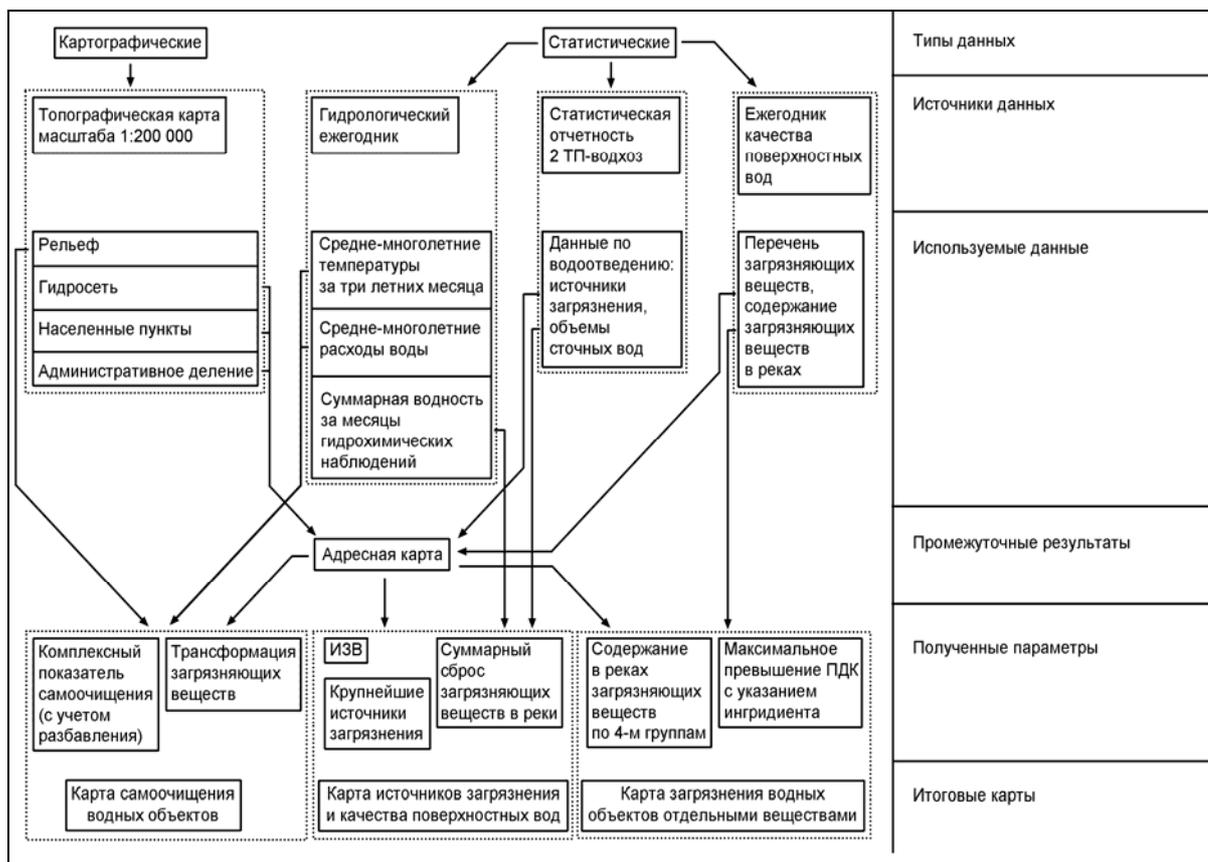


Рис. 63. Схема использования исходных данных при геоинформационном обеспечении водно-экологического картографирования

В развитие изложенных выше положений разработана структура информационной базы данных для цифровых карт водно-экологической тематики, содержащая следующие основные тематические блоки (рис. 64, 65):

- базовые «адресные» карты,
- карты качества поверхностных вод,
- карты условий самоочищения поверхностных вод,
- карты антропогенной нагрузки на водные объекты и их водосборные бассейны,
- комплексная карта ранжирования водных объектов и их водосборных бассейнов по уровню антропогенной нагрузки и уровню загрязнения поверхностных вод.



Рис. 64. Структура содержания базовых «адресных» карт водно-экологической тематики

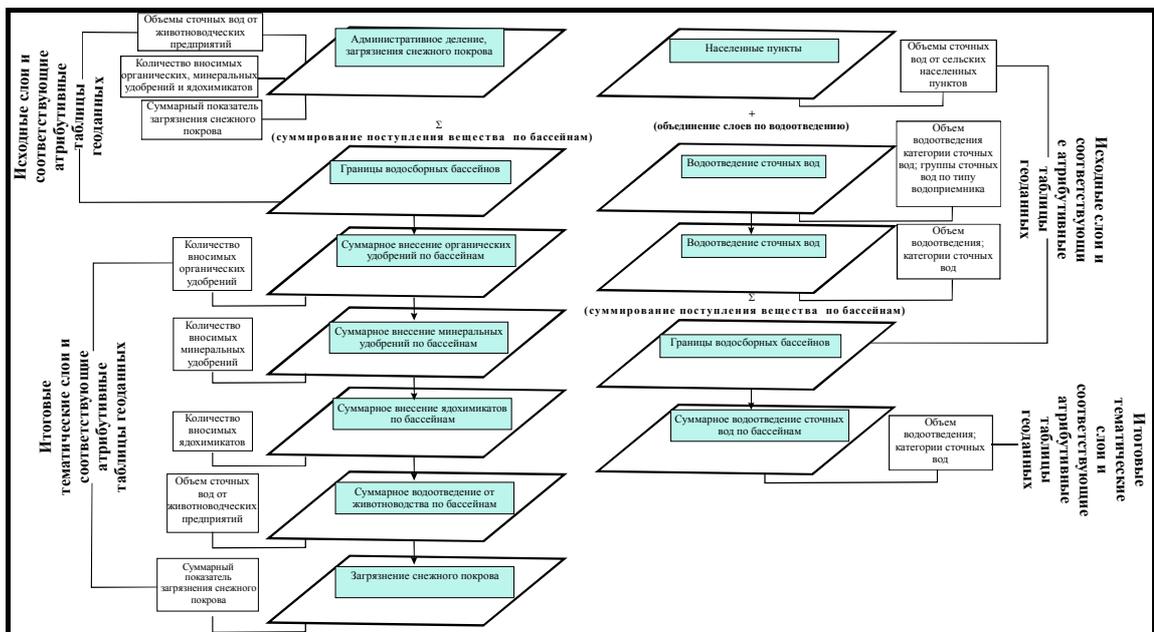


Рис. 65. Содержание инвентаризационных слоев карт антропогенной нагрузки на водосборные бассейны р. Алей и ее притоков

Разработанные подходы и принципы использованы при анализе и картографическом представлении проблемных ситуаций с водопользованием в бассейне р. Алей (рис. 66, 66, 67).

Разработана система картографического представления результатов мониторинга загрязнения поверхностных и питьевых вод урбанизированных территорий (содержание, форма, легенда), опирающаяся на специально сформированный банк данных. Содержит сведения по всем циклам водооборота населенного пункта, включая местоположение водозаборов поверхностных вод по основным водопользователям и очистных сооружений, объем и структуру водоотведения, расположение пунктов мониторинга и его результаты – уровень загрязнения поверхностных и питьевых вод по органолептическим, санитарному, санитарно-токсикологическому и эпидемиологическому критериям, гидрохимическим и бактериологическим показателям.

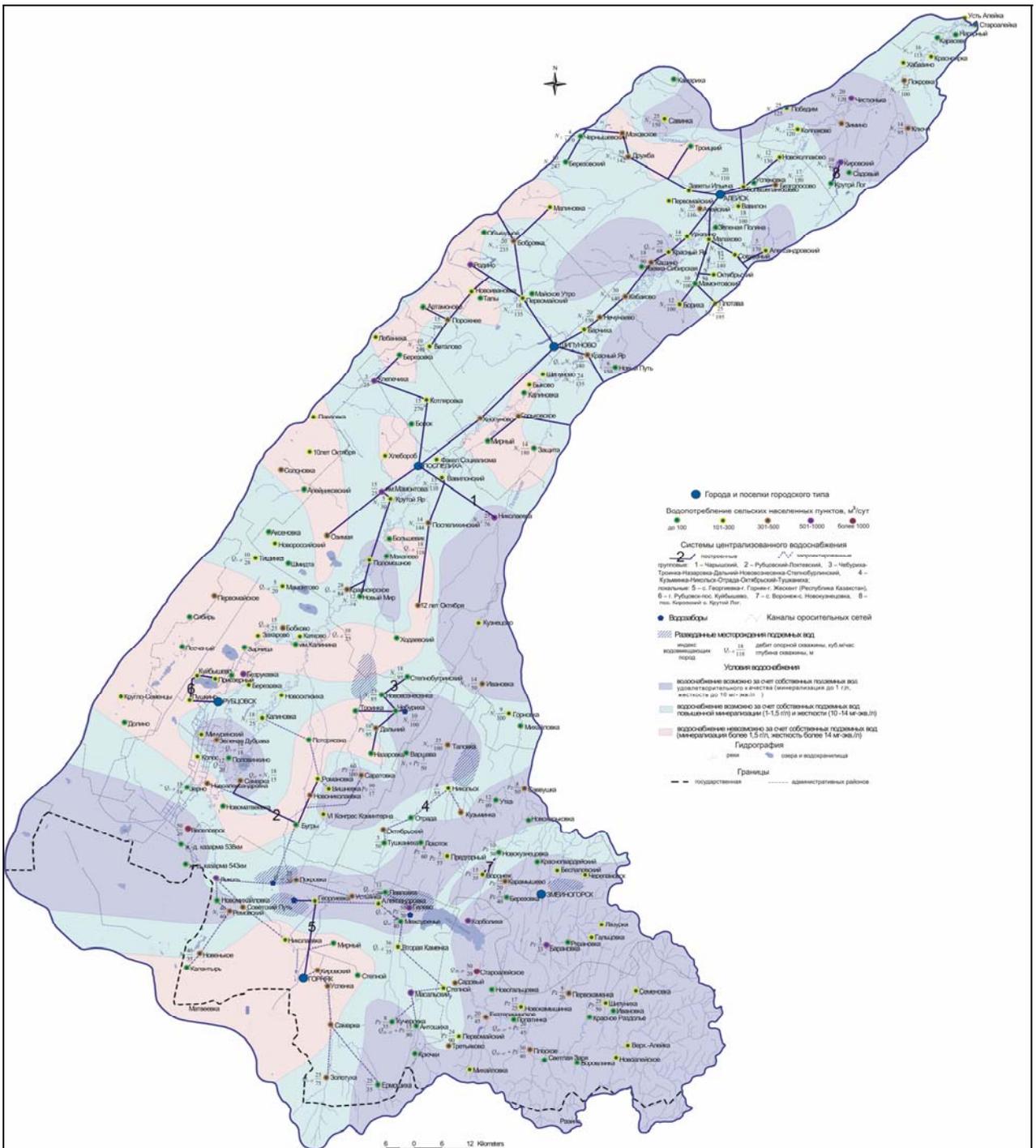


Рис. 66. Водохозяйственная обстановка в бассейне р. Алеи

Система позволяет в одном наглядном документе показать состояние водообеспечения населенного пункта для принятия управляющих решений.

Апробация разработок проведена на примере г. Барнаула, разработки использованы при составлении научно-справочного атласа города. Атлас издан в 2006 (рис. 69).

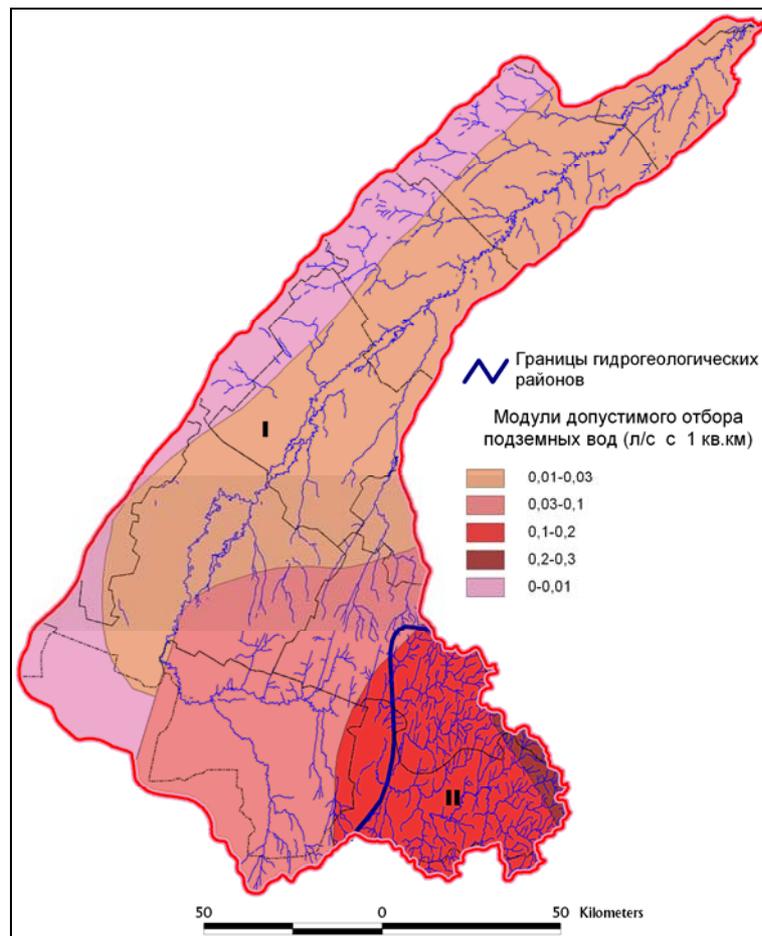


Рис. 67. Допустимый отбор подземных вод, исключающий истощение естественных ресурсов в бассейне р. Алей

№ гидрогеологических регионов	Наименование регионов	Геологический индекс водовмещающих пород	Литологическая характеристика водовмещающих пород	Рекомендуемая глубина скважин, м	Максимально возможное понижение уровня воды в скважине (м)	Максимально возможные дебиты в скважинах (л/с)
I	Кулундинско-Барнаульский артезианский бассейн	Q III-IV	Пески различной крупности зерен с гравием и галькой, супеси и суглинки	30-50	15-25	1-3
		Q II-III	Пески пылеватые мелкие, реже средние, супеси и суглинки	30-75	12-28	0,2-0,3
		Q I-II	Прослои и линзы мелких и средних песков в толще лессовидных суглинков	50-160	25-80	0,5-3,0
		N 1-2	Прослои песков и супесей в глинах, алевроиты	50-200	25-100	2-5
II	Бассейн трещинных вод	Pz + Pt	Сланцы, песчаники, алевроиты, интрузивные породы, известняки, мраморы, доломиты, порфириты	50-200	25-100	0,2-5

Рис. 68. Гидрогеологическая характеристика водоносных горизонтов в бассейне р. Алей

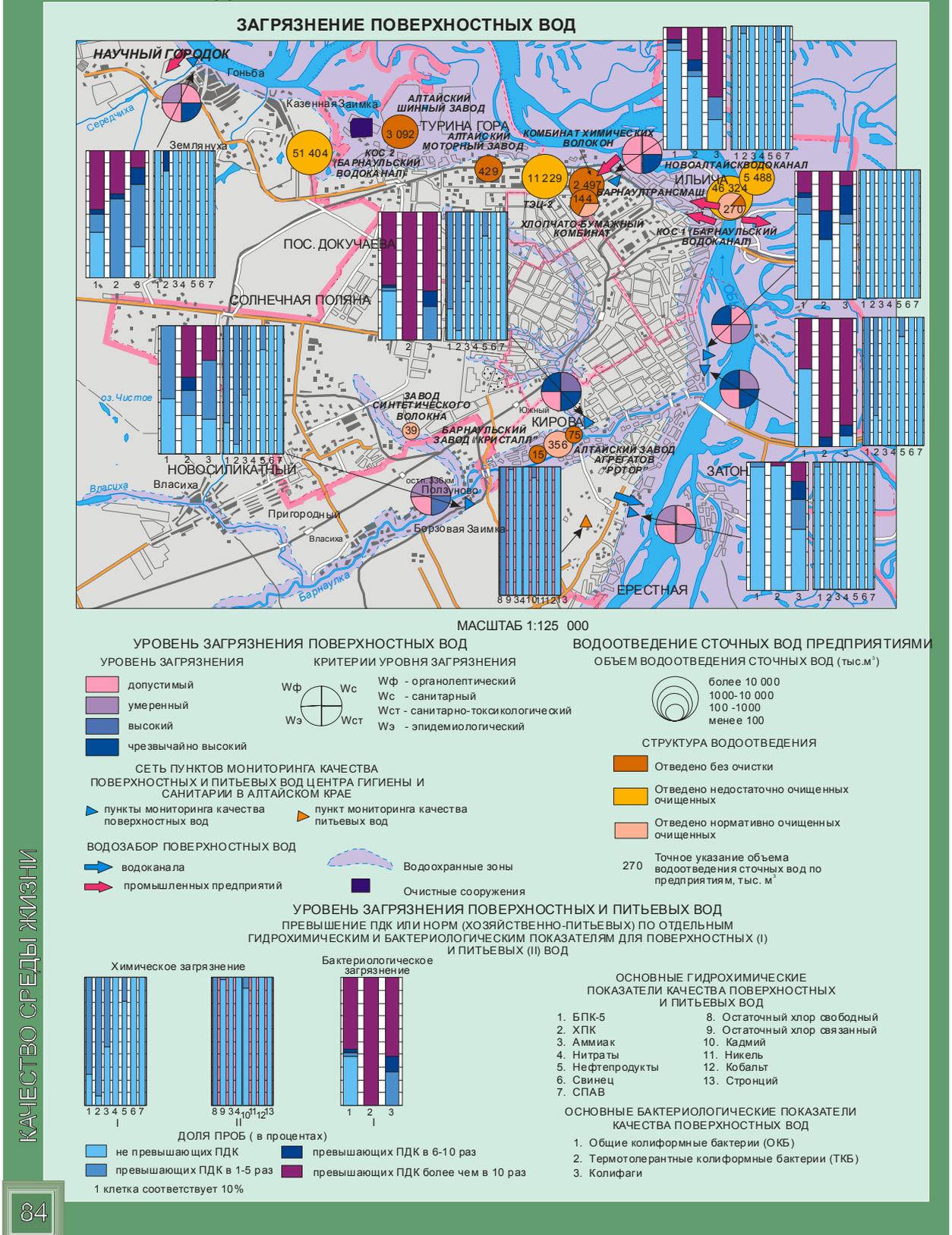


Рис. 69. Водно-экологическая обстановка в г. Барнаул

В целях ландшафтного обеспечения комплексных эколого-географических исследований разработана и составлена обобщенная схема региональной ландшафтной структуры Сибири на уровне физико-географических провинций (рис. 70), опирающаяся на углубленный анализ зональных особенностей территории, истории геолого-геоморфологического развития и современной геоморфоструктуры. Схема является основой для адекватного подхода к системному

изучению природной среды обширной территории и ее отдельных частей и объектов, создания общенаучной и проблемно-ориентированных баз данных и геоинформационной системы, научных и практических проработок природопользовательского и природоохранного направлений.

На базе рассмотренной схемы выполнена детализация ландшафтной структуры отдельных территорий до уровня физико-географических районов, разработаны легенды и составлены ландшафтно-типологические карты бассейнов притоков Верхней Оби – рр. Алей, Чарыш, района Беловского водохранилища и ряда других объектов, которые положены в основу анализа проблем водопользования, в т.ч. питьевого водоснабжения, оценки водно-экологических ситуаций, разработки систем водной рекреации.

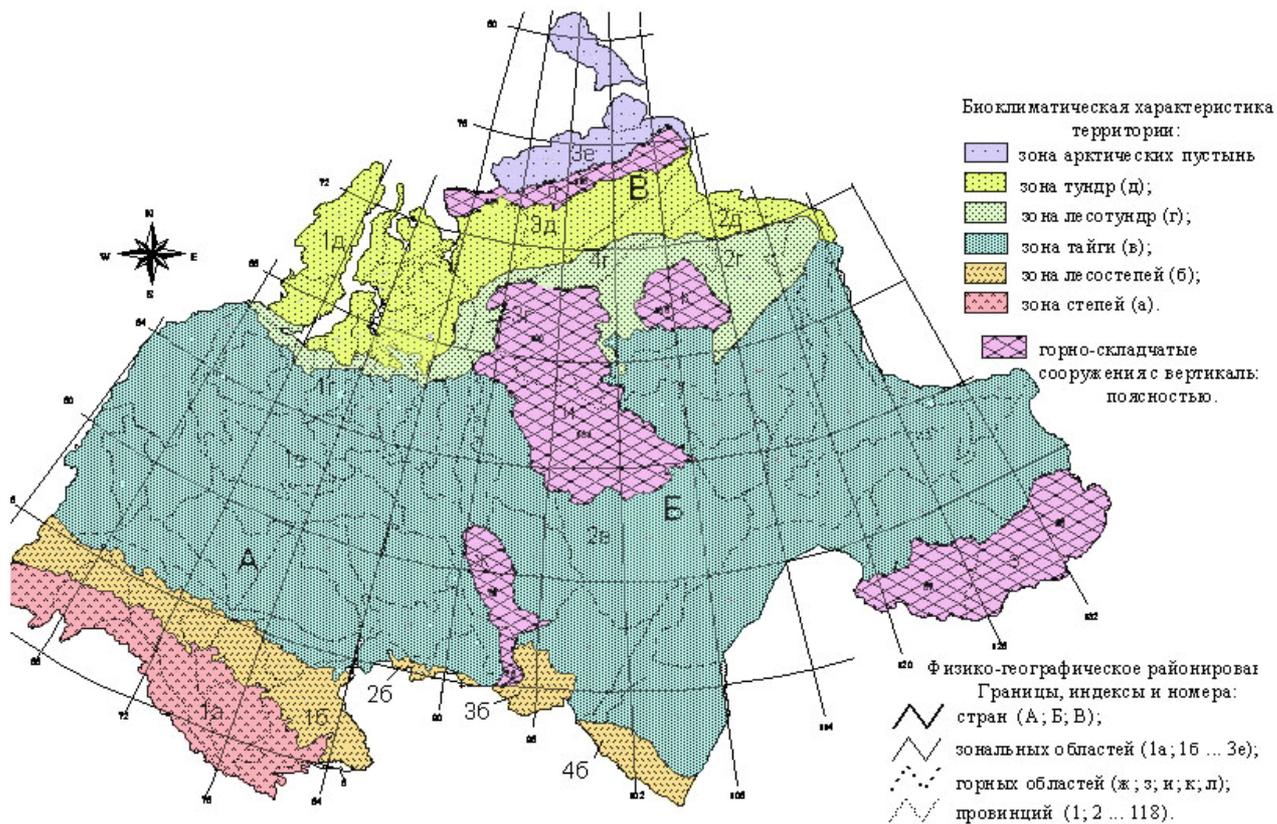


Рис. 70. Схема физико-географического районирования Сибири

