

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПО ГОСБЮДЖЕТНЫМ ПРОЕКТАМ

Приоритетное направление 7.9. Динамика и охрана подземных и поверхностных вод. Ледники. Проблемы водообеспечения страны.

Программа 7.9.1. Изучение гидрологических и экологических процессов в водных объектах Сибири и разработка научных основ водопользования и охраны водных ресурсов (с учетом антропогенных факторов и изменений климата) (координаторы: ак. О.Ф. Васильев, ак. М.А. Грачев).

Проект 7.9.1.4. Гидрологические и экологические процессы в реках, озерах и водохранилищах, разработка научных основ использования и охраны водных ресурсов Сибири (научн. рук. ак. О.Ф. Васильев, д.г.н., проф. Ю.И. Винокуров; отв. исп. к.б.н., доц. В.В. Кириллов, к.т.н., доц. А.А. Атавин).

Блок 1. Методы моделирования гидрологических и экологических процессов в реках, озерах и водохранилищах (отв. исп. к.т.н. Атавин А.А., к.ф.-м.н. Зиновьев А.Т.)

Предложена математическая модель русловых процессов, которая включает в себя плановую модель речного потока, модель транспорта наносов и вертикальных деформаций дна. Разработан неявный численный конечно-разностный алгоритм для решения поставленной задачи, являющийся одним из вариантов методов расщепления по пространственным переменным и физическим процессам. Создана многопоточная компьютерная программа, эффективно реализующая процесс численного решения на многоядерных системах. Применение современных структур данных позволило добиться эффективного использования программы для случаев, когда площадь зеркала поверхности воды много меньше общей площади расчетной области. Это позволило проводить расчеты для морфологически осложненных течений в пространственных областях, требующих использования миллионов разностных ячеек.

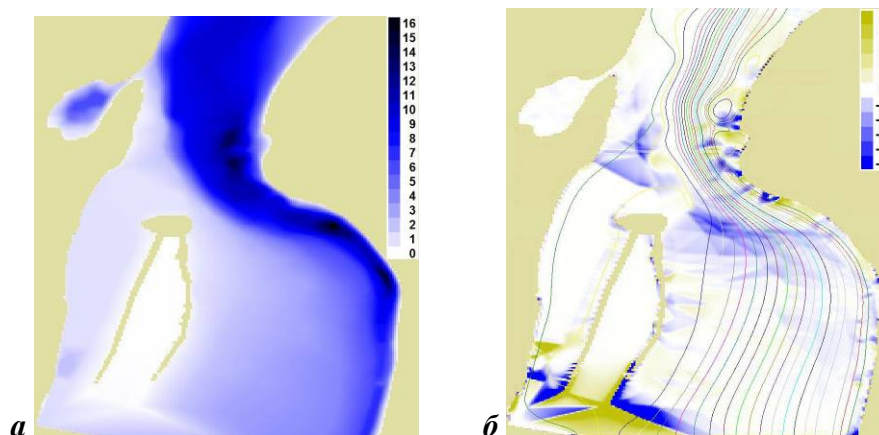


Рис. 2.1. Графическое представление расчета русловых процессов на участке р. Обь у г. Барнаула (водозабор № 2): *а* – расчетные значения глубин, м; *б* – расчетные значения линий тока и скоростей аккумуляции/размыва, мм/сут. (оливковый цвет – аккумуляция, синий – размыв, белый – нет деформации).

Проведен ряд тестовых расчетов (рис. 2.1). Выполнены вычисления для нескольких реальных конфигураций: течений реки Обь около г. Барнаула между новым и старым мостами, в районе водозабора №2, около с. Шелаболиха, в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС. На рисунке приведено распределение линий тока, скоростей размыва/аккумуляции (слева) и глубины (справа) реки Оби около водозабора №2.

Выполнено компьютерное моделирование процесса формирования полыньи в рамках приближения теории мелкой воды в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС (рис. 2.2). Получено хорошее согласование рассчитанной длины полыньи с соответствующими результатами, вычисленными с использованием квазиодномерного приближения, а по площади полыньи - с аналитическим решением.



Рис. 2.2. Расчет полыньи в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС

Блок 2. Гидрологический, гидрохимический и ледотермический режимы, состояние и функционирование экосистем озер и водохранилищ Сибири (отв. исп. д.г.н. Савкин В.М., к.б.н. Кириллов В.В.)

На основании результатов исследования гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик определено состояние экосистем литоральной зоны **Новосибирского водохранилища** и дана оценка условий формирования качества воды в его верхнем и нижнем бьефах.

Гидрология. В многолетнем ряду наблюдений 2008 год характеризуется экстремально низкой водностью (обеспеченность 90 %). Весна характеризуется очень низкой водностью по отношению к норме: по притоку – 0,71, по сбросам – 0,67, лето – ещё более низкой водностью: 0,55 и 0,60 соответственно. Зимняя межень характеризуется средней водностью: по притоку – 0,88, по сбросам – 0,91.

Приток р. Оби к створу НГЭС в 2008 г. (с учетом прогноза на IV кв.) – около 1250 м³/с, объём – 40,6 км³ (78 % нормы). Объём сбросов не превысит 38-39 км³, таким образом, водность 2008 года окажется минимальной за последние 10 лет. Среднемноголетняя величина притока за 50-летний период – 1648 м³/с (объём – 52,0 км³); сбросов – 1573 м³/с (объём – 49,7 км³).

Отмечены нехарактерные для установленного режима регулирования работы водохранилища повторное снижение уровней воды в апреле и последующее наполнение водохранилища (рис. 2.3), в том числе до НПУ, в конце сентября. Весеннее наполнение водохранилища до НПУ началось 13 апреля и вторично – 22 апреля, продолжалось 67 суток (до отметки 113,46 м). Уровень достиг отметки НПУ 1 июля, что значительно позже среднемноголетней даты (13 июня) и поддерживался всего 8 суток. В срок с 9 июля по 15 августа наблюдалось колебание уровня на отметках, близких к НПУ. С 16 по 27 августа происходила сработка водохранилища до отметки 113,19 м. С 28 августа началось повторное наполнение водохранилища до максимальной отметки 113,62 м. (29 сентября).

В связи с экстремальной маловодностью 2008 года, обусловленной низкой зимней меженью, малыми снегозапасами (50 % от нормы) в бассейне Катуня и отсутствием интенсивных осадков в весенне-летний период, длительное время не были затоплены мелководья водохранилища.

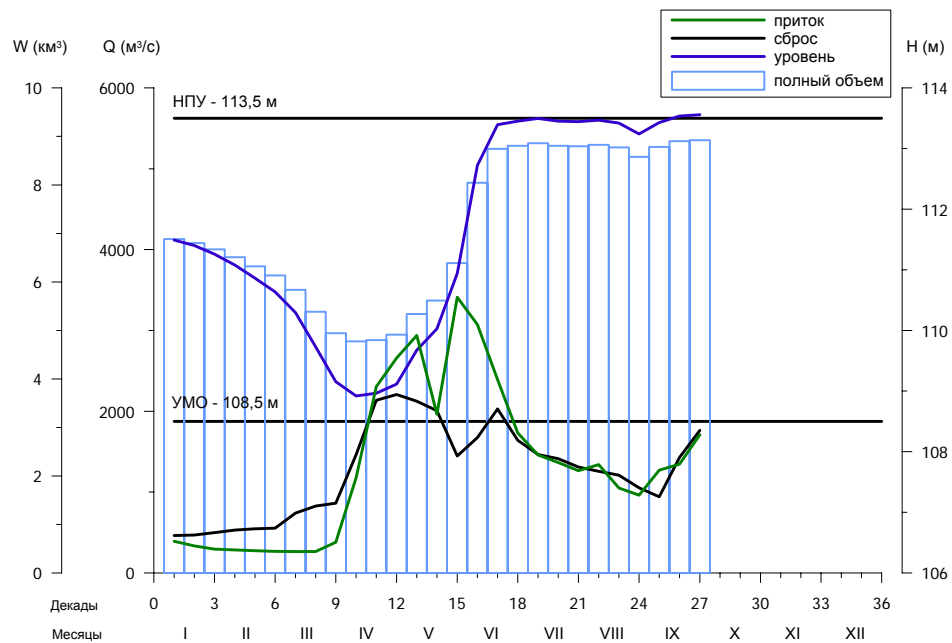


Рис. 2.3. Динамика гидрологических характеристик Новосибирского водохранилища в 2008 г.

Гидрохимия. Для оценки роли Новосибирского водохранилища в формировании качества воды р. Обь проведен анализ данных по химическому составу воды во входном створе и в нижнем бьефе водохранилища за период 1968-2003 гг. Сопоставлены концентрации химических ингредиентов во входном створе и нижнем бьефе. Установлено изменение концентраций главных ионов, соединений, содержащих биогенные элементы, а также фенолов, нефтепродуктов и других органических веществ в нижнем бьефе в сравнении с входным створом (рис. 2.4-2.6). Выявлено, что в целом водохранилище оказывает позитивное влияние на качество воды по основным гидрохимическим показателям.

Выполнен анализ химического состава воды Крутихинского мелководья и Бурмистровского залива. Установлено, что в местах произрастания макрофитов Крутихинского мелководья содержание нефтепродуктов в воде меньше, чем в русловой части водохранилища, по остальным показателям химический состав одинаков. В Бурмистровском заливе вода по химическому составу аналогична воде водохранилища у п. Сосновка.

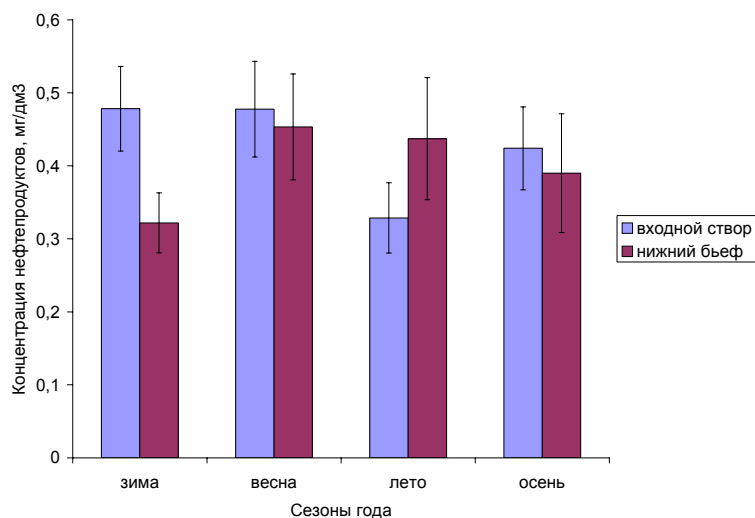


Рис. 2.4. Изменение концентраций нефтепродуктов во входном створе и нижнем бьефе.

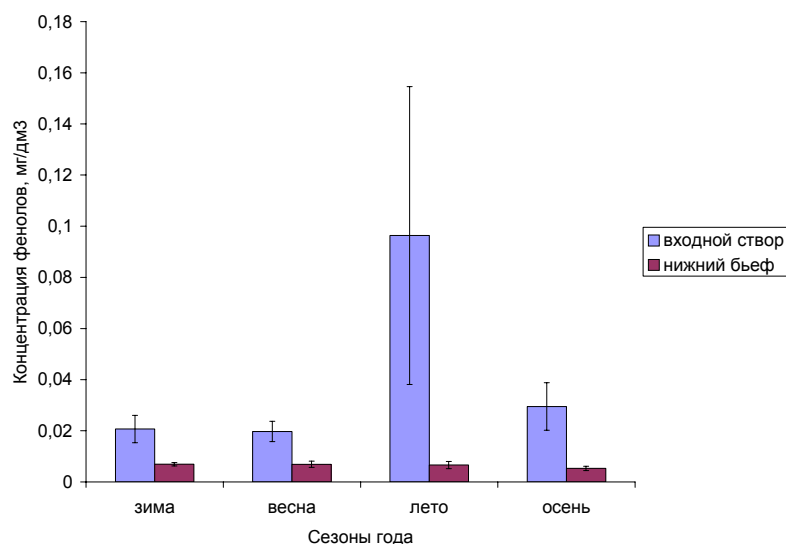


Рис. 2.5. Изменение концентраций фенолов во входном створе и нижнем бьефе.

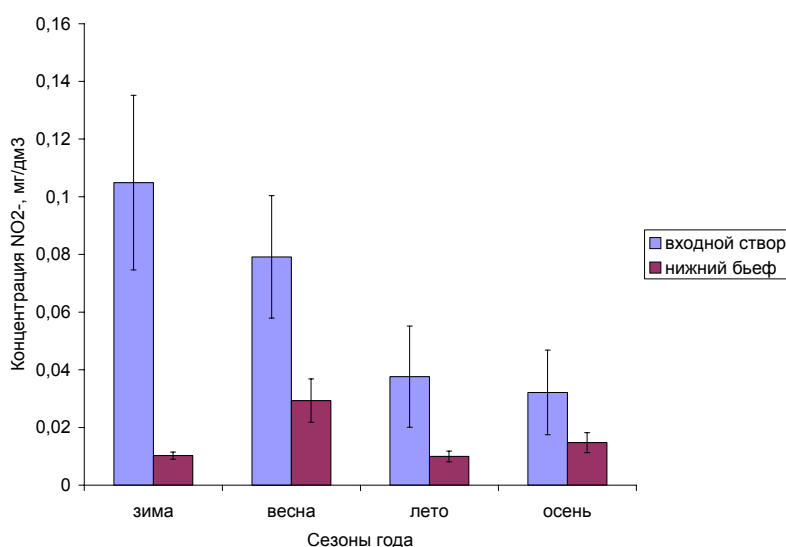


Рис. 2.6. Изменение концентраций NO₂ во входном створе и нижнем бьефе.

Фитопланктон. Для оценки количества фитопланктона, установления относительной доли в нем основных отделов водорослей и их физиологического состояния исследовали содержание и соотношение фотосинтетических пигментов в воде водохранилища.

В июле 2007 г. концентрация основного фотосинтетического пигмента на станциях и створах, находящихся в границах основных гидрологических участков Новосибирского водохранилища варьировала в широких пределах – от 6,7 мг/м³ до 46,7 мг/м³. Минимальное значение было зарегистрировано в придонном слое у правого берега на разрезе Нижняя Каменка – Ордынское в средней части водохранилища, максимальное – у дна вблизи левого берега на разрезе Быстровка – Боровое. Средняя для всей акватории концентрация хлорофилла «а» составила 20,9±1,3 мг/м³, наиболее часто встречающиеся значения находились в диапазоне, соответствующем эвтрофным водоемам. Близкие к максимальному значения (более 30 мг/м³) достигали уровня гипертрофных вод и были отмечены в Караканском и Бурмистровском заливах.

В толще воды различия между тремя точками (левый берег, фарватер, правый берег) на всех исследованных створах не выражены (рис. 2.7А). Вертикальное распределение содержания хлорофилла в целом по водоему характеризовалось

незначительным его снижением от поверхностного слоя до горизонта, соответствующего 0,6 глубины с последующим повышением к придонному слою (рис. 2.7Б), но различия между горизонтами статистически недостоверны.

Коэффициенты вариации концентрации хлорофилла в прибрежье и центральной части створов, а также на различных горизонтах в столбе воды возрастали от верховья к плотине. Содержание вспомогательных пигментов - хлорофиллов *b*, *c* и растительных каротиноидов в планктоне изменялось в широких пределах, пространственное распределение в общих чертах повторяло ход колебаний основного фотосинтетического пигмента. Средняя часть водохранилища выделялась вдвое более низкими концентрациями хлорофилла по сравнению с верхним и нижним участками, которые не различались между собой по величине рассматриваемого показателя.

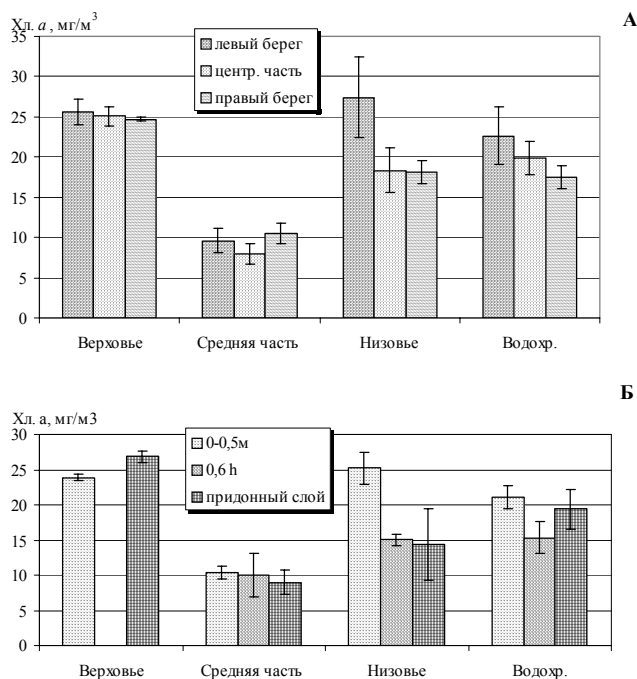


Рис. 2.7. Пространственное распределение содержания хлорофилла *a* в планктоне Новосибирского водохранилища (июль 2007 г.)

Относительное содержание продуктов деградации в их общей сумме с нормально функционирующим хлорофиллом *a* также широко варьировало в зависимости от условий освещенности, пресса зоопланктона, фазы роста популяции доминирующих видов. Значения пигментного индекса (E_{430}/E_{665}) и пигментного показателя (E_{480}/E_{665}), характеризующие соотношение каротиноидов и хлорофилла *a*, представляют собой соотношение оптических плотностей ацетоновых экстрактов в коротковолновой и длинноволновой областях ФАР. Во всех пробах их значения не превышали 2,8 и 1,3, соответственно, что свойственно водоемам в период наиболее активного роста фитопланктона и свидетельствует об отсутствии азотного голодания. Низкие величины E_{430}/E_{665} по данным Ю. Одума (1975) и Р. Маргалефа (1964, 1968) характерны для молодых культур микроводорослей и естественных водоемов при «цветении» воды.

Изменения содержания каротиноидов в планктоне на створах в пределах верхнего и среднего участков водоема не выражены, в низовье правобережная часть выделялась повышенным их содержанием в планктоне при наименьшем вкладе феопигментов в общую сумму с активным хлорофиллом и наибольшей вариабельности обоих показателей. Прослеживалась тенденция к незначительному увеличению соотношения каротин./Хл. *a* и возрастанию относительного количества феопигментов с глубиной).

В июле 2008 г. содержание хлорофилла *a* в фитопланктоне Новосибирского водохранилища колебалось в пределах 3,0-45, 4 мг/м³, среднее значение было близко к таковому в 2007 г, минимум отмечен у поверхности воды на разрезе Ордынское-Нижняя Каменка вблизи левого берега, максимум – в центральной части Бердского залива в низовье. Абсолютные и относительные величины концентраций вспомогательных фотосинтетических пигментов варьировали в более узких границах, средние значения незначительно снизились по сравнению с июлем 2007 г. Такие изменения в соотношении растительных пигментов можно объяснить маловодностью 2008 г., способствовавшей более интенсивному прогреву водных масс и формированию благоприятных условий для развития синезеленых водорослей и увеличению вклада представителей этого отдела в летний доминантный комплекс фитопланктона. Средние величины соотношения хлорофиллов *a*, *b* и *c* составили 82,3±1,6, 8,7±0,9 и 10,1±0,9 %, соответственно, и находились в типичных для пресноводного фитопланктона пределах, в частности, для фитопланктона волжских водохранилищ (Минеева, 1995, 2000).

Распределение концентраций фотосинтетических пигментов по акватории характеризовалось постепенным увеличением по направлению от верховья к приплотинному участку, заливы, так же как и в 2007 г., выделялись наиболее высоким содержанием пигментов в планктоне (рис. 2.8 А, Б). На расположенном в зоне выклинивания подпора Крутихинском мелководье содержание хлорофилла *a* изменялось от до мг/м³), сумма каротиноидов – от 6,3 до 22,6 мSPU/м³, концентрации растительных пигментов наряду с относительными пигментными показателями были близки к соответствующим характеристикам на створах, находящихся в верхней, средней и приплотинной зонах водохранилища.

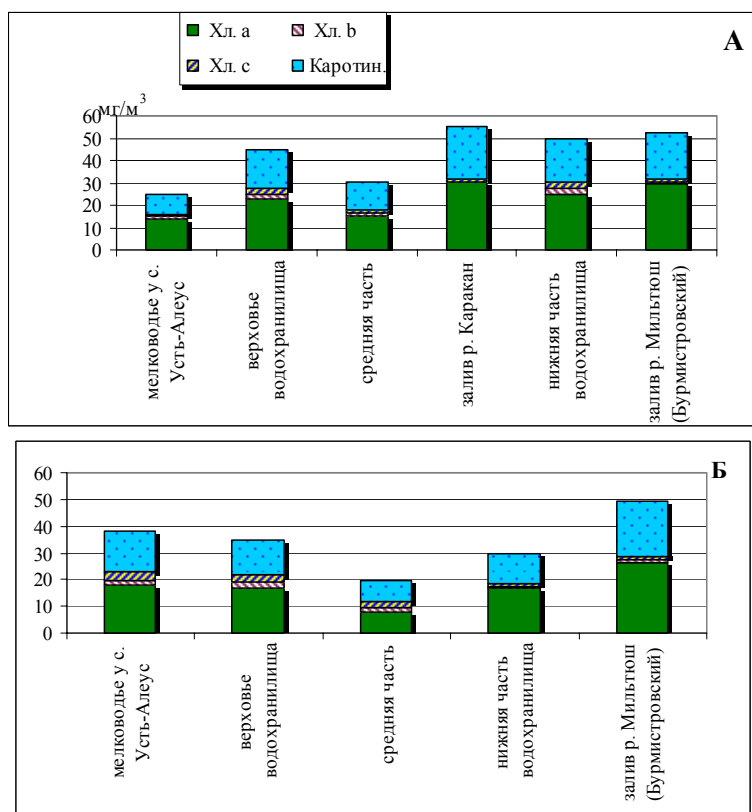


Рис. 2.8. Распределение пигментов фитопланктона по акватории Новосибирского водохранилища у поверхности воды в июле 2007 г. (А) и 2008 г. (Б).

Наиболее высокие коэффициенты вариации (36-94 %) получены для абсолютных значений и относительного количества хлорофиллов *a*, *b* и *c* в их общей сумме, а наиболее низкие (до 33 %) для показателей физиологического статуса альгоценозов.

Соотношение каротиноиды/хлорофилл *a*, пигментные индексы E_{430}/E_{665} и E_{430}/E_{665} , так же как и в предыдущем году, варьировали в узких пределах, индицируя активное физиологическое состояние планктонных альгоценозов. Содержание феопигментов более вариабельно вследствие быстрого разрушения хлорофилла под воздействием нестабильных условий среды обитания в русловой зоне водохранилища.

В верхней и средней частях водоема прослеживалась тенденция к увеличению концентрации хлорофилла *a* от поверхностного горизонта к придонному. На приплотинном участке вертикальное распределение характеризовалось выравниванием содержания основного фотосинтетического пигмента по глубине, то есть различия между отобранными из поверхностного и придонного слоев пробами были незначительны. Эта особенность может быть обусловлена значительным понижением уровня воды в маловодном 2008 г., которое привело к более активному водообмену в толще воды и сокращению размеров гипolimниона, что, в свою очередь, ускорило оседание, вертикальный перенос и возможные миграции клеток водорослей.

В межгодовом аспекте наблюдается стабилизация трофического статуса Новосибирского водохранилища. На входном створе у г. Камень-на-Оби и в нижнем бьефе прослеживалось заметное снижение концентрации хлорофилла в конце июля 1982 и 1989 гг. (табл. 2.1). Сравнение рассматриваемого показателя на совпадающих пунктах отбора проб в 1981-1982 гг. и 2007 г. также обнаружило выраженное уменьшение в 1982 г., что может быть связано с гидролого-климатическими особенностями (водностью) отдельных лет или со сдвигом сроков начала и завершения сезонной сукцессии фитопланктона.

Таблица 2.1

Содержание хлорофилла *a* в фитопланктоне во входном створе и нижнем бьефе Новосибирского водохранилища в период летней межени (конец июля-начало августа)

Пункт отбора проб	1981	1982	1989		2007	2008
	VIII	VII	VII	VIII	VII	VII
Камень-на-Оби	16,5	-	4,8	10,4	23,8	14,0
нижний бьеф	9,9	2,3	-	7,8	21,3	8,4
среднее по водохранилищу	18,9±6,4	4,6±1,0	-	-	20,9±1,3	18,3±1,2

За период исследований 2007-2008 гг. содержание основного фотосинтетического пигмента – хлорофилла *a* в планктоне Новосибирского водохранилища варьировало в пределах 3,0-46,6 мг/м³. Средние значения в наиболее благоприятный для вегетации фитопланктона период летней межени были близки (20,9±1,3 мг/м³ в июле 2007 г. и 18,3±1,2 в июле 2008 г.) и не отличались от соответствующего показателя в 1981 г. Отсутствие выраженных отличий по уровню развития фитопланктона в межгодовом аспекте, несмотря на особенности гидролого-климатических условий изученных лет, позволяет сделать заключение о достаточно стабильном функционировании экосистемы водоема. Трофический статус, оцениваемый по наиболее часто встречающимся значениям концентрации хлорофилла (10-30 мг/м³) соответствует уровню эвтрофных водоемов по градациям, предложенным Н.М Минеевой (2000) на основе современных шкал трофности. Качество воды по комплексной экологической классификации О.П. Окснюк и соавт. (1993) относится к разрядам 2а-3б – вполне чистая - слабо загрязненная, лишь единичные значения в прибрежной зоне в низовье водохранилища, Бурмистровском и Бердском заливах превышают пороговую величину, свойственную загрязненным водам. В целом, на основе пигментных характеристик планктонных альгоценозов современное экологическое состояние Новосибирского водохранилища можно оценить как достаточно благополучное, происходящие в экосистеме изменения носят обратимый характер (согласно классификации зон кризисности экосистем) возможно самоочищение до

природного фона), но на отдельных участках с наиболее высоким уровнем антропогенной нагрузки существует угроза перехода в кризисное состояние.

Зоопланктон. Зоопланктон является незаменимым звеном пищевой цепи любой водной экосистемы и в значительной степени определяет функционирование водной биоты. Являясь по типу питания фильтратором, за год планктон фильтрует объем воды, находящейся в водохранилище, примерно 20 раз.

В настоящее время в Новосибирском водохранилище происходит медленная сукцессия видового состава зоопланктона, не касающаяся доминантного ядра, обусловленная, главным образом, переменами в гидрофизических и гидрохимических условиях (расширение левобережных мелководий за счет абразии берегов, зарастание заливов и мелководий макрофитами, постепенная эвтрофикация водоема). С 1990 по 2007 год в зоопланктоне обнаружено 89 видов (38 - Rotatoria, 38 – Cladocera, 13 - Copepoda) Появились новые виды - индикаторы β -сапробности: *Lecane luna*, *Moina macrocopa*, *Pleuroxus striatus*, *Pleuroxus adunctus*, *Monospilus dispar*.

Численность зоопланктона в период открытой воды за последние 5 лет возросла почти в 1,5 раза (по сравнению с 2003 г.), в основном за счет роста численности дафний и крупных циклопов (рис. 2.9). Наблюдается явный тренд повышения общей численности зоопланктона. Биомасса зоопланктона в период открытой воды за последние 5 лет возросла почти в 3 раза (по сравнению с 2003 г.), за счет активного развития крупных форм. В летний период преобладают ветвистоусые ракообразные, в осенний - крупные веслоногие *A. viridis*, *C. strenuus*, *E. graciloides*.

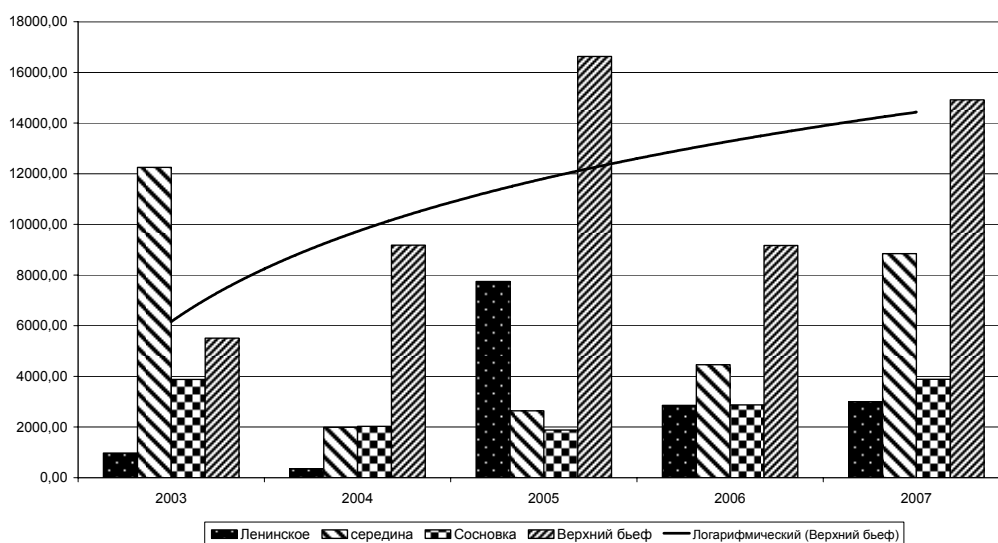


Рис. 2.9. Биомасса зоопланктона на створе Ленинское-Сосновка и верхнем бьефе Новосибирской ГЭС 2003-2007 гг.

Рост количественных характеристик не зависит от водности года. Увеличивается численность крупных форм веслоногих и ветвистоусых рачков, вклад коловраток в общую численность и биомассу на озеровидном расширении и верхнем бьефе ГЭС незначителен.

Наибольшее скопление зоопланктона наблюдается в заливах и на прибрежных мелководьях водохранилища.

Доминирующий комплекс зоопланктона в последние годы практически не изменяется. В число доминантов входят из ветвистоусых рачков *Daphnia longispina*, *Daphnia cucullata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Leptodora kindtii*, из веслоногих *Mesocyclops leuckartii*, *Cyclops strenuus*, *Acanthocyclops viridis*, *Eudiaptomus graciloides*, из коловраток *Asplanchna priodonta*, *Brachyonus calyciflorus*, *Keratella quadrata*. Доля тех или

иных видов колеблется как во внутригодовом, так и в межгодовом аспекте, однако значительных сдвигов не отмечено.

Качество воды застойных участков левобережной поймы отражает их активный кумулятивный характер. Значения индекса сапробности Пантле и Букка находятся в пределах 1.84-2.3, то есть в озерной части степень эвтрофикации заметно выше, чем в русловой части водохранилища.

Наиболее неблагоприятными по гидрохимическим и гидробиологическим показателям являются воды Шарапского и Бердского заливов, которые испытывают значительное антропогенное воздействие. На этих участках значения индекса сапробности Пантле и Букка иногда достигают значений 2.3-2.5, то есть величин, характерных для β -мезосапробной зоны.

В верхнем бьефе ГЭС за последние 5 лет усредненные показатели за период открытой воды составили: 2003 г. - индекс сапробности равен 1,62; 2004 - 1,69; 2005 - 1,74; 2006 - 1,64; 2007 - 1,59, что соответствует β -мезосапробной зоне по классификации В.Н. Жукинского, О.П. Оксуюк и др. или 3 классу качества воды (удовлетворительной чистоты) по Ведомственным нормативным документам РД (Руководящие документы) Росгидромета (РД 52.24.643-2002: Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям).

В целом, воды Новосибирского водохранилища в настоящее время можно охарактеризовать как β -мезосапробные с чертами эвтрофности (на отдельных участках), умеренно загрязненные.

Судя по индексам сапробности Пантле и Букка (рис. 2.10), при сопоставлении данных 1991 года и 2007 года повышения сапробности не наблюдается. Ситуация остается достаточно стабильной. Наблюдается значительное повышение показателей индекса от верхнего створа водохранилища к приплотинному участку, однако роста показателей по створам в течение последних 16 лет не произошло, что вновь подтверждает вывод о низких темпах эвтрофикации Новосибирского водохранилища в связи с высокой проточностью.

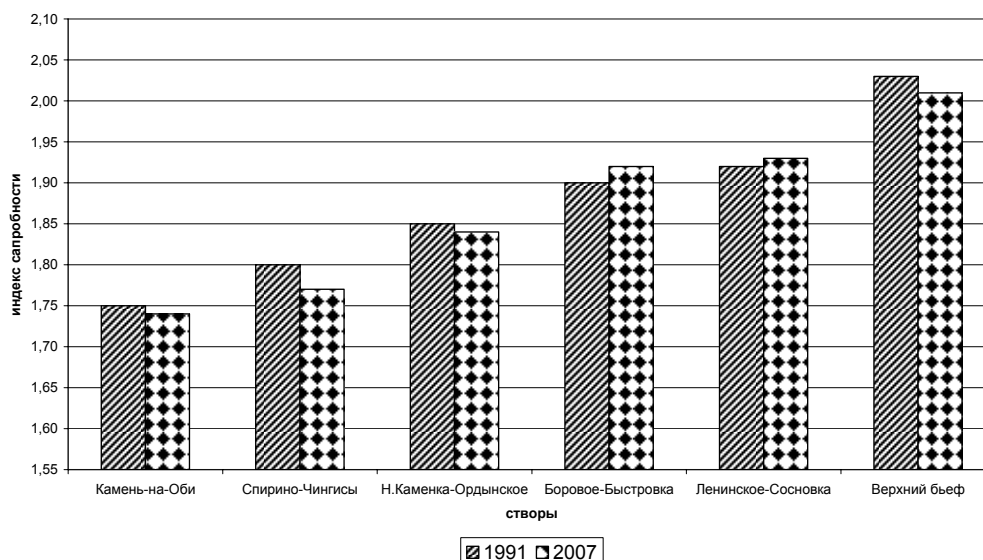


Рис. 2.10. Индекс сапробности Пантле и Букка на различных участках Новосибирского водохранилища

При прохождении через турбины ГЭС происходит разрушение крупных организмов зоопланктона. Общая численность снижается на 40-50 % (рис. 2.11). Для оценки выживаемости зоопланктона отбирали пробы (еженедельно с мая по сентябрь

включительно) с поверхностного горизонта на трёх вертикалях: Верхний бьеф – вертикаль напротив водомерного поста Обской ГМО; Нижний бьеф – вертикаль в 300 м от плотины ГЭС; р. Обь у НФС-5 - 16 км ниже плотины ГЭС и 2,5 км выше устья р. Иня. На каждой вертикали отобрана 21 серия (всего 63 пробы).

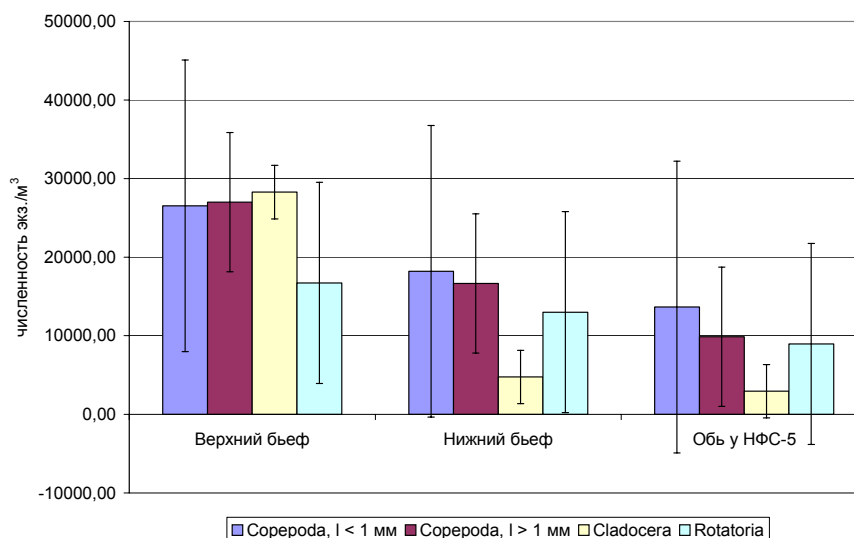


Рис. 2.11. Изменение численности (экз./м³) различных групп зоопланктона при прохождении через турбины Новосибирской ГЭС (средние за май-сентябрь 2008 г.).

Макрофиты. При массовом развитии на мелководьях макрофитов возможно отрицательное влияние их на качество вод вследствие вторичного загрязнения. В задачи исследований входило изучение современного состояния водной и прибрежно-водной растительности Новосибирского водохранилища, оценка её продукционного потенциала и возможного влияния на качество вод водохранилища.

В 2007-2008 гг. установлены характеристики видового и ценотического состава водной и прибрежно-водной растительности. Из 35 видов истинно водных и земноводных растений (водного ядра флоры), отмеченных на шести ключевых мелководных участках акватории Новосибирского водохранилища 22 отмечены на Шарапском мелководье, 20 – в Караканском заливе, 19 – на Крутихинском мелководье, 17 видов отмечено в Чингисском заливе, 14 – в протоках в окр. Дресвянки и 11 видов – в Мильтюшском заливе (рис. 2.12). Низкий коэффициент семейственно-видового разнообразия (1,6) свидетельствует о преобладании аллохтонных тенденций в генезисе флоре и, как правило, неблагоприятных условиях существования макрофитов.

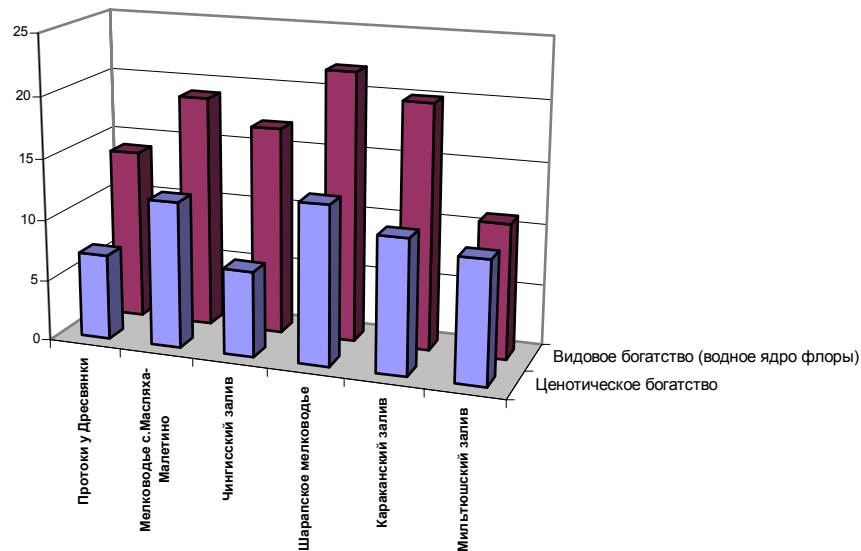


Рис. 2.12. Видовой и ценоотический состав макрофитов мелководных участков Новосибирского водохранилища

В 2007 году впервые в Новосибирском водохранилище были обнаружены *Caulinia minor* L. (All.) Coss. et Germ. и *Ceratophyllum oryzetorum* Kom., которые, по-видимому, распространились по водохранилищу в течение последних двух-трех десятилетий, потому что ранее на водохранилище обнаружены, не были (Березина, 1976; Мальцева, 1981). Таким образом, процесс формирования флоры макрофитов Новосибирского водохранилища продолжается.

Выявлено ценоотическое богатство водной и прибрежно-водной растительности обследованных мелководных участков Новосибирского водохранилища, которое составило 27 синтаксонов ранга ассоциации из трех классов: *Lemnetea* Tx. 1955 (4), *Potamogetonetea* Klika in Klika et Novak 1941 (9), *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 (14). Показано, что во всех обследованных мелководьях основная роль в формировании растительного покрова принадлежит сообществам тростника южного, рогоза узколистного и болотноцветника щитолистного, довольно хорошо представлены на обследованных участках ценозы рдестов – стеблеобъемлющего и блестящего. Самым высоким ценоотическим богатством водной и прибрежно-водной растительности характеризуется Шарапское мелководье (13 синтаксонов ранга ассоциации), ценоотическое богатство остальных мелководных участков убывает в ряду: Крутихинское мелководье (12), Караканский залив (11), Мильтюшский залив (10), Чингисский залив (7) и протоки в окр. с.Дресвянка (7 синтаксонов ранга ассоциации).

Наибольшие значения видового и ценоотического богатства отмечены на Шарапском мелководье, высокие показатели биоразнообразия характерны на участках, также благоприятных для произрастания макрофитов – Крутихинском мелководье и Караканском заливе. Невысокий показатель видового богатства в Мильтюшском заливе обусловлен неблагоприятными для произрастания макрофитов морфометрическими показателями: преобладание обрывистых берегов, слабая выраженность литоральной зоны.

Показано, что флора Мильтюшского залива является самой банальной и представляет собой сильно обедненный вариант флоры Караканского залива (входит в нее на 100%). Флора протоков в окр. с. Дресвянка на 75% входит во флору Крутихинского мелководья и Караканского залива, флора Чингисского залива на 75% входит во флору

Караканского залива и Шарапского мелководья. Таким образом, настоящие речные заливы – Караканский, Мильтюшский и Чингисский – оказались довольно близки между собой по флористическому составу. А Крутихинское мелководье и Шарапское мелководье, не являющиеся речными заливами, оказались весьма специфичными по флористическому составу (рис. 2.13).

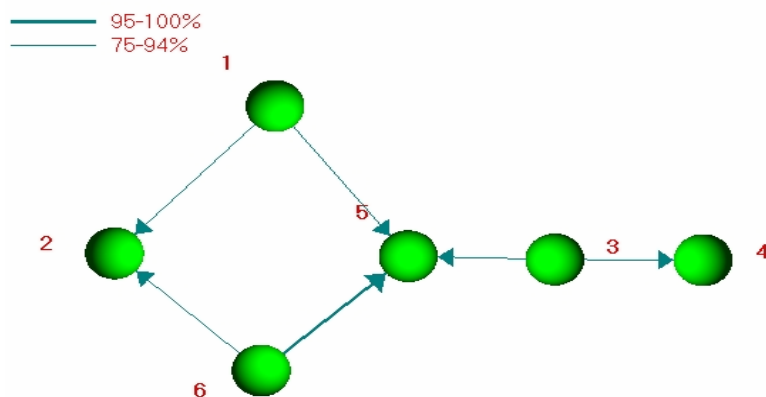


Рис. 2.13. Ориентированный мультиграф бинарных отношений, построенный на множестве мер включения водного ядра флоры ключевых мелководных участков Новосибирского водохранилища. Условные обозначение: 1 – протоки в окр. с. Дресвянка, 2 – мелководные участки в окр. с. Масляха и Малетино (Крутихинское мелководье), 3 – Чингисский залив; 4 – Шарапское мелководье, 5 – Караканский залив, 6 – Мильтюшский залив

Для оценки продуктивности фитоценозов Новосибирского водохранилища были сделаны укусы биомассы в доминирующих фитоценозах на различных его участках. Максимальная биомасса отмечена в сообществах рогозов узколистного и широколистного ($1200-1368 \text{ г/м}^2$), минимальная (40 г/м^2) – в сообществах рдеста пронзеннолистного. Средняя биомасса прибрежно-водных фитоценозов составила $1136 \pm 155 \text{ г/м}^2$, водных – $266,7 \pm 73,2 \text{ г/м}^2$, что близко со значениям для Беловского водохранилища (1356 и 369 г/м^2 соответственно).

В целом, Новосибирское водохранилище, имеющее очень большую акваторию, по интенсивности зарастания, по классификации В.Г. Папченкова (2001), относится к слабо зарастающим водоемам. Зарастание водоема неравномерное. К особенно слабо зарастающим относятся глубокие прибрежные участки вдоль обрывистых берегов и приплотинный участок.

Для оценки качества воды Новосибирского водохранилища был подсчитан сапробный индекс, характеризующий степень загрязнения воды органическими веществами (рис. 2.14). Отмечено, что значения сапробного индекса на всех исследованных участках водохранилища находились в пределах 1,7-1,8, что позволяет отнести воду этих участков к классу мезосапробных умеренно загрязненных вод.

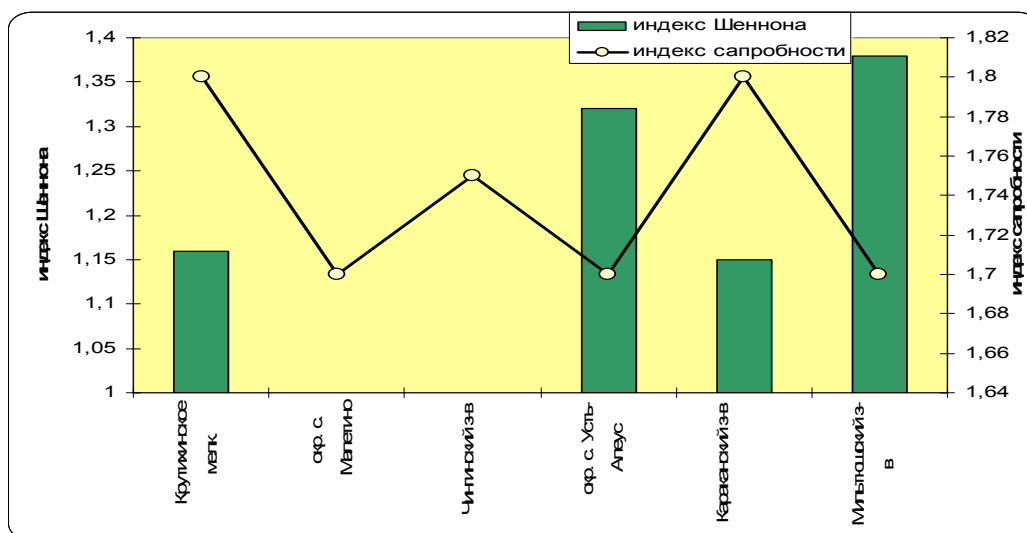


Рис. 2.14. Индекс сапробности Шеннона отдельных участков Новосибирского водохранилища

Индекс видового разнообразия Шеннона показывает условия существования водных организмов. Оптимальными считаются условия, при которых индекс видового разнообразия составляет 2-3 единицы. Индекс видового разнообразия Шеннона в фитоценозах исследованных участков находился в пределах 1,15-1,38, что характерно для монодоминантных сообществ. Такое строение фитоценозов характеризует жесткие условия обитания гидробионтов. Полученные значения индекса Шеннона подтверждают значения сапробного индекса. При увеличении сапробности видовое разнообразие уменьшается и, наоборот, возрастает при уменьшении сапробного индекса (Зарубина, Соколова, 2007).

Зообентос. Исследованы состав, структура и количество зообентоса водохранилища 25 – 29 июля 2007 г. и 22 – 26 июля 2008 г. В донных отложениях обнаружено 127 видов беспозвоночных, большая часть которых (79 видов) относится к насекомым. В верхней части водохранилища отмечено 47 видов беспозвоночных, в средней – 29 видов, в нижней – 27 видов, в приплотинной – 10 видов, в заливах – 100 видов гидробионтов. Около трети всех видов встречались только в заливах. Это, вероятно, обусловлено большим разнообразием условий обитания гидробионтов в заливах: кроме своеобразного биотопа зарослей макрофитов в заливах широко представлены песчаные и илистые грунты, встречаются каменистые и глинистые участки.

Таксономическое разнообразие (по индексу Шеннона) зависело от типа субстрата (рис.) и увеличивалось в ряду: глина (1,6±0,2 бит/экз.) – ил (1,7±0,2 бит/экз.) - песок (1,9±0,2 бит/экз.) – заиленный песок (2,1±0,3 бит/экз.) – камни (2,5±0,5 бит/экз.) – макрофиты (3,2±0,2 бит/экз.). Такое распределение отражает общую тенденцию увеличения разнообразия гидробионтов с увеличением сложности биотопа. Значения индекса Шеннона в 2007-2008 гг. значительно превышали аналогичные данные 1993-2001 гг. (Селезнева, 2005), что вероятнее всего связано с более детальной таксономической идентификацией гидробионтов в последние годы.

Средние значения численности и биомассы зообентоса Новосибирского водохранилища в летний период составили 1,6±0,3 тыс. экз./м² и 2,8±0,5 г/м², соответственно. В межгодовом аспекте значения численности и биомассы зообентоса отличались незначительно (в 2007 г. – 1,9±0,5 тыс. экз./м² и 3,1±1,1 г/м²; в 2008 – 1,2±0,3 тыс. экз./м² и 2,0±0,7 г/м²). Средняя биомасса зообентоса в 2006-2007 гг. в целом укладывалась в интервал значений 1993-2001 гг. (1,9-8,4 г/м²) (Селезнева, 2005).

Максимальные значения численности и биомассы зообентоса в период исследований отмечены на илах ($2,9 \pm 0,7$ тыс. экз./м² и $4,1 \pm 0,8$ г/м², соответственно), минимальные – на глинистых грунтах ($0,5 \pm 0,1$ тыс. экз./м² и $0,4 \pm 0,2$ г/м², соответственно). Численность и биомасса зообентоса под зарослями макрофитов, как правило, была выше, чем на однотипных грунтах незаросшей части водохранилища.

Обилие донных беспозвоночных в заливах было существенно выше, чем на тех же грунтах русла водохранилища. Так численность зообентоса заиленных песков в заливах в 3,6 раза, а биомасса в 3,4 раза превышала аналогичные показатели основной части водоема; на илах – в 2,2 и 1,1 раза, соответственно.

По обилию зообентоса водохранилище можно разделить на две зоны: с низким обилием, включающую верхний и средний участки водохранилища, и зону с повышенным обилием, включающую заливы, нижний и приплотинный участки водохранилища. Низкие значения численности и биомассы в первой зоне вероятнее всего связаны с преобладанием малопродуктивных песчаных грунтов и осушением мелководья во время сработки уровня. Отмечена тенденция увеличения роли олигохет в структуре бентосного сообщества от верхних участков водохранилища к нижним.

Особые условия обитания гидробионтов существуют на заросших участках водохранилища. В 2007 г. впервые было оценено обилие беспозвоночных (зооперифитона), обитающих в зарослях макрофитов Новосибирского водохранилища. Численность и биомасса зооперифитона не зависели от вида растения и изменялись в пределах 1,0-9,0 тыс. экз./м² (в среднем $4,5 \pm 1,2$ тыс. экз./м²) и 0,8-8,8 г/м² (в среднем $4,4 \pm 1,1$ г/м²), соответственно. В зооперифитоне всех обследованных участков водохранилища по биомассе доминировали брюхоногие моллюски (р. *Lymnaea*), субдоминировали хирономиды фитофильного комплекса видов (р. *Endochironomus*, р. *Glyptotendipes*); по численности доминировали фитофильные хирономиды (*Cricotopus gr. sylvestris*) и олигохеты (сем. Naididae).

Пространственное распределение зообентоса характеризуется уменьшением видового богатства и увеличением численности и биомассы беспозвоночных животных от верхних участков к нижним и обусловлено сменой типа донных отложений (песчаные на верхних участках, илистые – на нижних) (рис. 2.15). Проанализирована многолетняя динамика трофической структуры донных сообществ. Выявлено, что в период заполнения водохранилища доминировали хирономиды-детритофаги, в последующие два десятилетия преобладали двустворчатые моллюски – фильтраторы, в последние годы отмечено значительное развитие брюхоногих моллюсков-детритофагов. Полученные результаты позволяют прогнозировать формирование зообентоса равнинных водохранилищ Сибири.

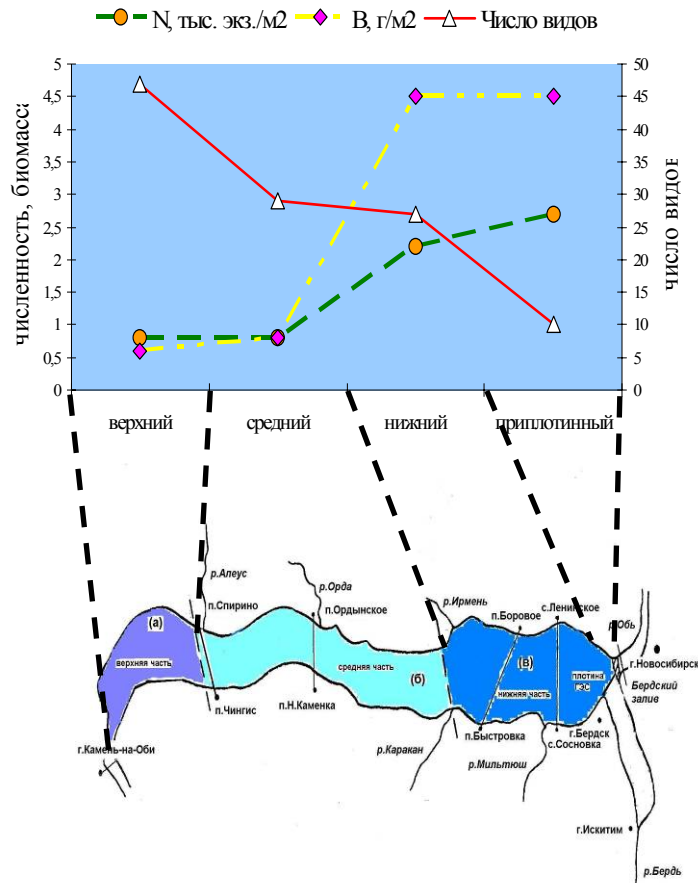


Рис. 2.15. Видовое богатство, средняя численность и биомасса (без *Viviparus viviparus*) зообентоса различных участков Новосибирского водохранилища летом 2007-2008 гг.

Оценку экологического состояния водохранилища проводили с использованием таксономического разнообразия Шеннона, олигохетного индекса Гуднайта и Уитли и биотического индекса Вудивисса. По таксономическому разнообразию, численности и составу индикаторных видов зообентоса Новосибирское водохранилище можно отнести к умеренно загрязненным водоемам. Наиболее высокое качество воды «чистые воды» отмечено на правом берегу верхнего участка и в зарослях макрофитов в заливах. Снижение качества воды до категории «грязные воды» отмечено на приплотинном участке водоема.

Ихтиоценоз. Выявлено, что основным абиотическим фактором, влияющим на экологию рыб, является уровенный режим водохранилища. В 2007-2008 гг. отобрано 770 экземпляров рыб. Каждая выборка для анализа состояла из 20 половозрелых особей. Особи рыб изучали методом неполного биологического анализа. В мышечной ткани язя, плотвы и окуня, отобранных в нижнем бьефе, определяли содержание 10 тяжёлых металлов. В мышечной ткани судака, окуня, леща и язя из водохранилища – содержание ртути. Установлено, что содержание тяжёлых металлов в рыбах Новосибирского водохранилища и нижнего бьефа сравнительно низкое (рис. 2.16). Во всех рыбах отмечается высокий процент содержания органической ртути. В промысловых уловах доминирует лещ (85-90 %), численность судака существенно снизилась. Отмечено увеличение численности стерляди, что свидетельствует об улучшении экологической обстановки в водохранилище.

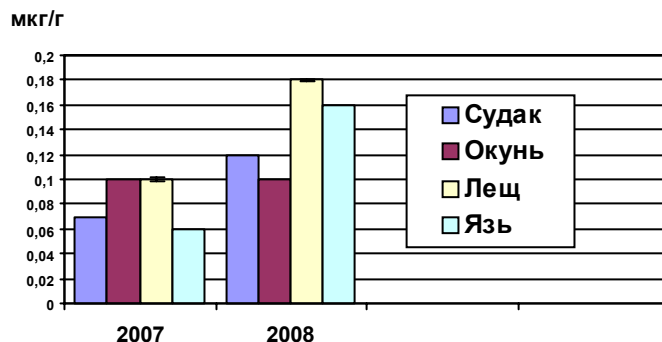


Рис. 2.16. Содержание ртути в мышечной ткани рыб в нижнем бьефе ГЭС (2007 г.) и в Новосибирском водохранилище (2008 г.). ДОК по Hg = 0,5 мкг/г

Биотестирование. В 2007 г. вода реки Обь выше г. Камень-на-Оби оказывала острое токсическое действие (ингибирование) на рост клеток водорослей хлореллы и была классифицирована как «слаботоксичная». Вода этого участка реки не оказывала острого и хронического токсического действия на выживаемость цериодафний. Выявлено статистически достоверное угнетение плодовитости цериодафний в воде у левого берега выше г. Камень-на-Оби (при $P = 0,95$), разбавление воды в 1,5 раз снимало токсическое действие.

В 2007 и 2008 гг. вода в районе приплотинного участка у с. Сосновка (правый берег) не оказывала токсического действия на рост клеток хлореллы и была классифицирована как «нетоксичная». Вода середины разреза с. Ленинское-с. Сосновка оказывала ингибирующее действие на рост клеток хлореллы и соответствовала «слаботоксичным» водам. Вода у с. Ленинское (левый берег) в 2007 г. оказывала стимулирующее действие на рост клеток хлореллы и была классифицирована как «токсичная». В 2008 г. – «нетоксичная». В 2008 г. вода у с. Сосновка и середины разреза оказывала хроническое токсическое действие на выживаемость цериодафний с наибольшими показателями токсичности у с. Сосновка. Статистически достоверная стимуляция плодовитости цериодафний (при $P = 0,95$) была зафиксирована в 2007 г. у с. Сосновка, в 2008 г. у с. Ленинское и на середине створа. Разбавление воды у с. Сосновка в 1,5 раз, у с. Ленинское в 27 раз и середине разреза с. Ленинское-с. Сосновка в 3 раза снимало стимулирующий эффект.

По уровню митотической активности и аберраций хромосом корневой меристемы ячменя в июле 2008 г. вода во всех трех пунктах разреза с. Ленинское-с. Сосновка не оказывала мутагенного действия. Изменение митотического индекса для исследованных проб было незначительным по сравнению с контролем. Частота проявления хромосомных перестроек для всех проб достоверно не отличалась от уровня спонтанного мутагенеза.

В целом можно заключить, что вода Новосибирского водохранилища на всех исследованных участках не оказывала острого токсического действия на цериодафний. В 2008 г. вода приплотинного участка у с. Сосновка (правый берег) и середине разреза с. Ленинское-с. Сосновка оказывала хроническое токсическое действие на их выживаемость. По реакции хлореллы вода классифицирована в 2007 г. и 2008 г. выше г. Камень-на-Оби и на середине разреза с. Ленинское-с. Сосновка как «слаботоксичная», у с. Сосновка – «нетоксичная». Вода у с. Ленинское в 2007 г. классифицирована как «токсичная», в 2008 г. – «нетоксичная». В воде приплотинного участка водохранилища, от правого берега (с. Сосновка) к левому (с. Ленинское), выявлена тенденция увеличения доли аберрантных клеток и снижения митотической активности меристемы проростков ячменя. Это совпадает с аналогичным изменением показателей допустимого разбавления воды для снятия стимулирующего эффекта на плодовитость цериодафний. По

(аргон), и все процедуры по отделению поровой воды от твердой составляющей ДО по возможности, проводить в инертной атмосфере.

Проведенные исследования по оценке вклада донных отложений в формирование гидрокимического стока загрязняющих веществ показали:

1. Донные отложения являются основным источником поступления восстановленных форм биогенных элементов группы азота (NH_4^+ , NO_2^-) и органического вещества в русловой поток реки в период весеннего паводка. В этот период концентрации загрязняющих веществ в поровых водах существенно выше, чем в поверхностном слое воды: биогенных элементов группы азота (NH_4^+ , NO_2^-) в 2-3 раза, органического вещества в 1,5-2 раза (рис. 2.18).

2. Направленность потока загрязняющих веществ (биогенных элементов, органического вещества, тяжелых металлов) и механизм их обмена в системе «донные отложения - поровый раствор» регулируются окислительно-восстановительными условиями донных отложений. При восстановительных условиях наблюдается выход восстановленных форм биогенных элементов группы азота (NH_4^+ , NO_2^-) из поровых вод донных отложений в толщу воды. При окислительных условиях наблюдается обратный процесс. Для органического вещества в восстановительных условиях донных отложений наблюдается резкое уменьшение скорости деструкции органического вещества, что приводит к его накоплению в поровой воде донных отложений (рис. 2.19).

3. Накопление бентосными организмами тяжелых металлов зависит от форм их нахождения в поровой воде донных отложений. При восстановительных условиях донных отложений тяжелые металлы находятся в бионедоступной для бентосных организмов форме (в виде труднорастворимых сульфидов или в составе прочных комплексов), что затрудняет их накопление бентосными организмами. При окислительных условиях донных отложений процессы накопления тяжелых металлов бентосными организмами активизируются. Для реки Оби в районе г. Барнаула коэффициенты накопления тяжелых металлов хирономидами при восстановительных условиях меньше для Cd в 2,4 раза, Co – 2,9; Ni – 1,7; Pb – 1,3 относительно восстановительных условий (рис.2.20).

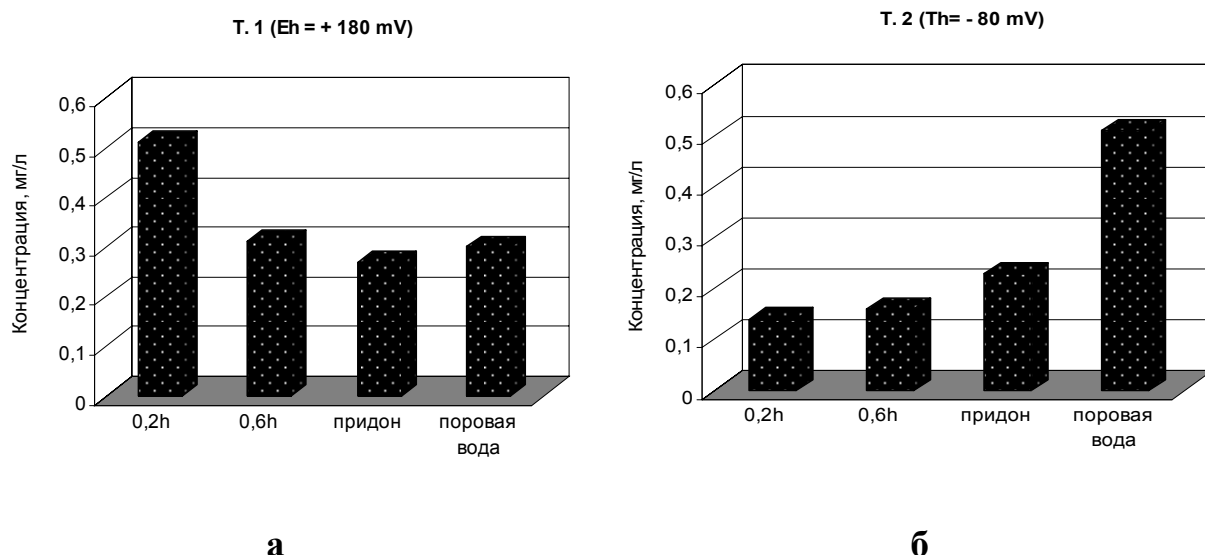


Рис. 2.18. Вертикальная стратификация концентраций ионов NH_4^+ при окислительных (а) и восстановительных (б) условиях донных отложений

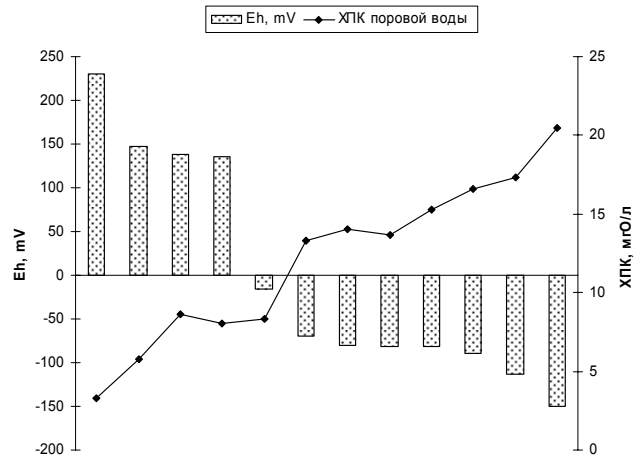


Рис. 2.19. Изменение содержания $C_{орг.}$ (по показателю ХПК) в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала поровых вод отобранных за отчетный период проб донных отложений

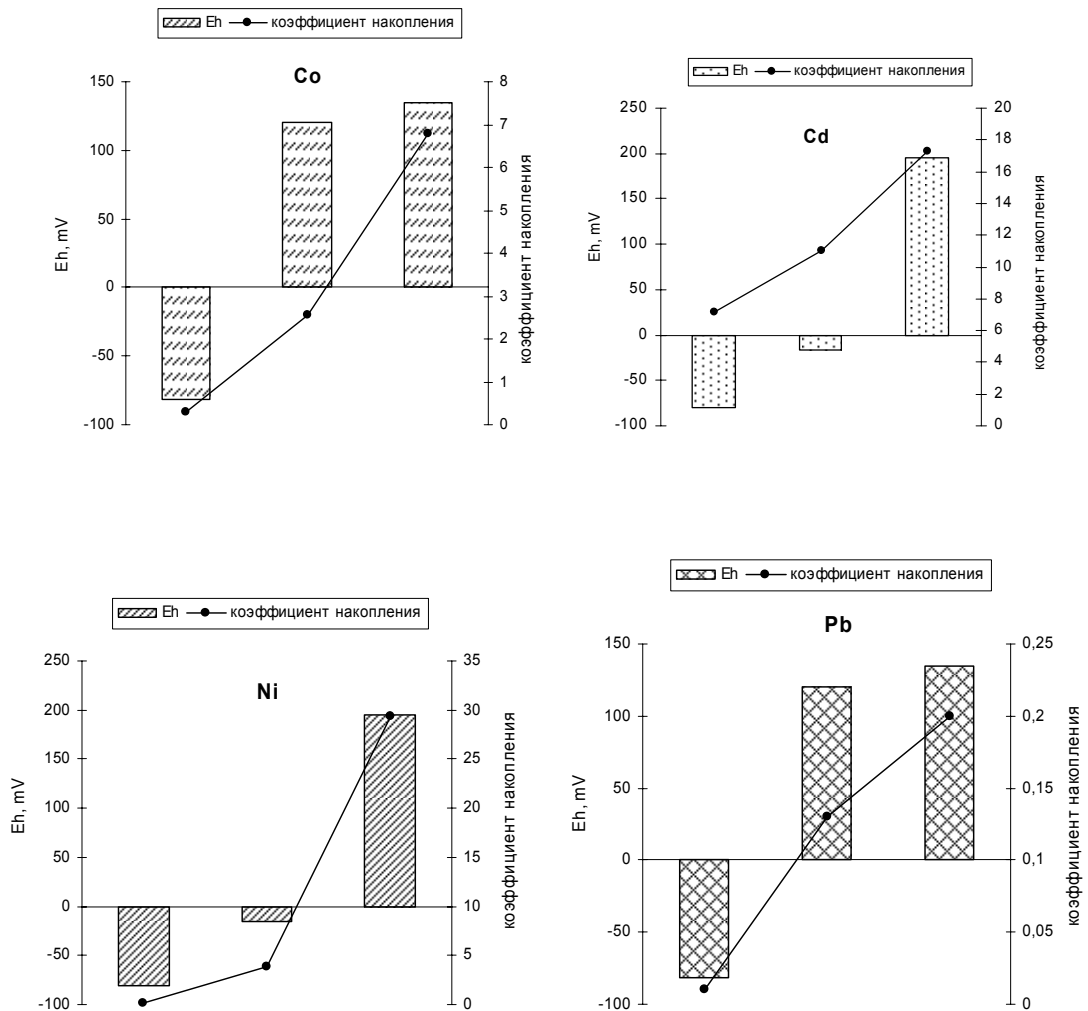


Рис. 2.20. Изменение коэффициентов накопления гидробионтами (Chironomidae) в зависимости от окислительно-восстановительных условий донных отложений

составу фитопланктона озер и рек бассейна Чульчи, Кыги и Чулышмана показал, что в озерах бассейна (всего 154 вида, среднее число одновременно вегетирующих видов $23,1 \pm 2,9$) альгофлора богаче и разнообразнее, чем в реках (86 видов, $18,5 \pm 3,3$ соответственно), преобладание диатомовых и зеленых водорослей сохраняется, но в озерах абсолютное число видов зеленых водорослей выше (53 вида), чем в реках (20 видов). На водоросли с желтыми и бурными пигментами в хроматофорах (*Chrysophyta*, *Vacillariophyta* и *Xanthophyta*), которые, по мнению Т.Г. Поповой (1950), характерны для высокогорных областей Алтая, в исследованных нами водоемах и водотоках приходилось около половины состава фитопланктона – 46,5 (всего), 46,1 (в озерах) и 55,8% (в реках).

Для фитопланктона исследованных рек и озер бассейна Телецкого озера были присущи как невысокие, так и значительные показатели численности и биомассы: $6,2-864,2$ тыс.кл./л и $6,1-696,8$ мг/м³, средняя численность – $180,0 \pm 44,9$ тыс.кл./л, средняя биомасса – $161,0 \pm 37,8$ мг/м³. Для озер средние численность и биомасса фитопланктона были выше ($234,3 \pm 68,6$ тыс.кл./л и $199,6 \pm 58,3$ мг/м³), чем для рек ($110,2 \pm 43,7$ тыс.кл./л и $120,9 \pm 36,9$ мг/м³). Основную долю как в численности, так и в биомассе фитопланктона занимали диатомовые водоросли – до 96,99% от общей численности и до 88,40% от общей биомассы. Представители этого отдела и доминировали в большинстве случаев, реже – представители синезеленых и золотистых водорослей.

Выявлено, что фитопланктон озер бассейна оказывает незначительное влияние на состав и структуру фитопланктона Телецкого озера. Богатый и разнообразный планктон исследованных озер в большинстве своем, вероятно, не достигает Телецкого озера ввиду сильного воздействия горных потоков. Речной фитопланктон в основном бедный, его состав определяется в значительной мере оторвавшимися от субстрата диатомовыми водорослями фитопланктона. Сходство фитопланктона Телецкого озера в большей степени наблюдается с фитопланктоном притоков в их нижнем течении. Именно эти водоросли пополняют состав фитопланктона Телецкого озера, так как донные формы и обрастатели в нем составляют около 50%.

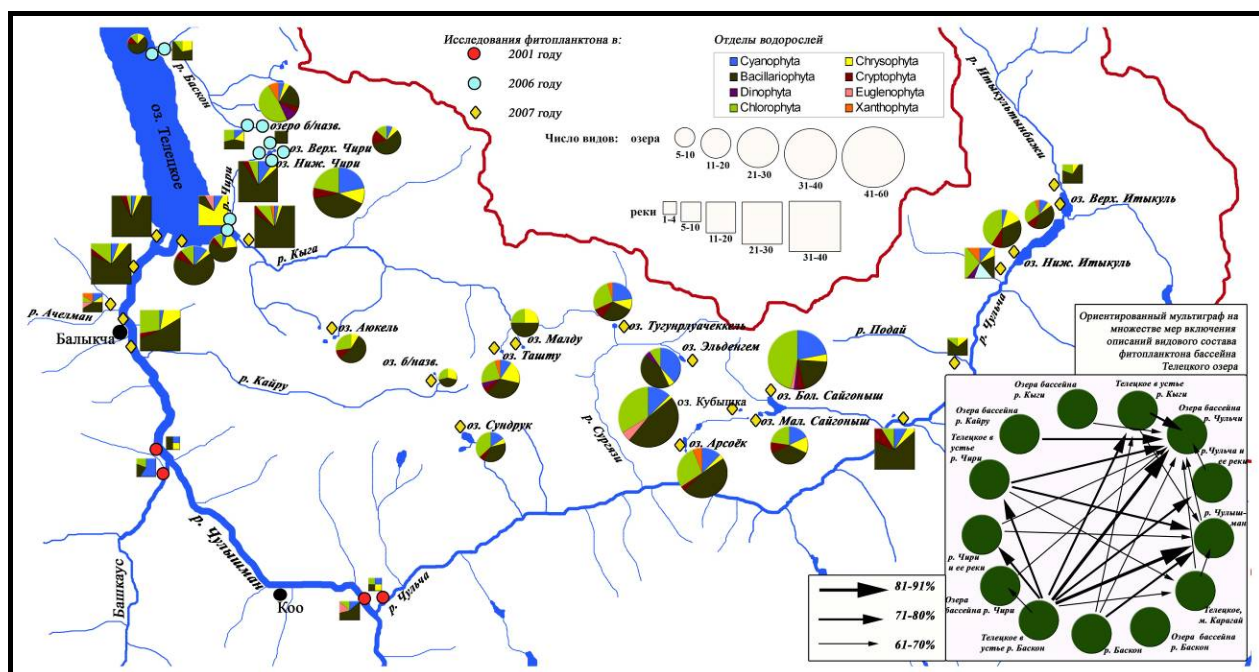


Рис. 2.22. Таксономическая структура фитопланктона водоемов и водотоков бассейна Телецкого озера

Результаты сравнительного анализа уровня развития и показателей физиологического состояния планктонных альгоценозов с использованием непараметрического критерия Краскелла-Валлиса и критерия Стьюдента показали, что в системе «устье притока- приустьевая литораль-пелагиаль против притока» при низкой продуктивности пелагиали многочисленные притоки оказывают значимое влияние на формирование фитопланктона Телецкого озера (рис. 2.23, табл. 2).

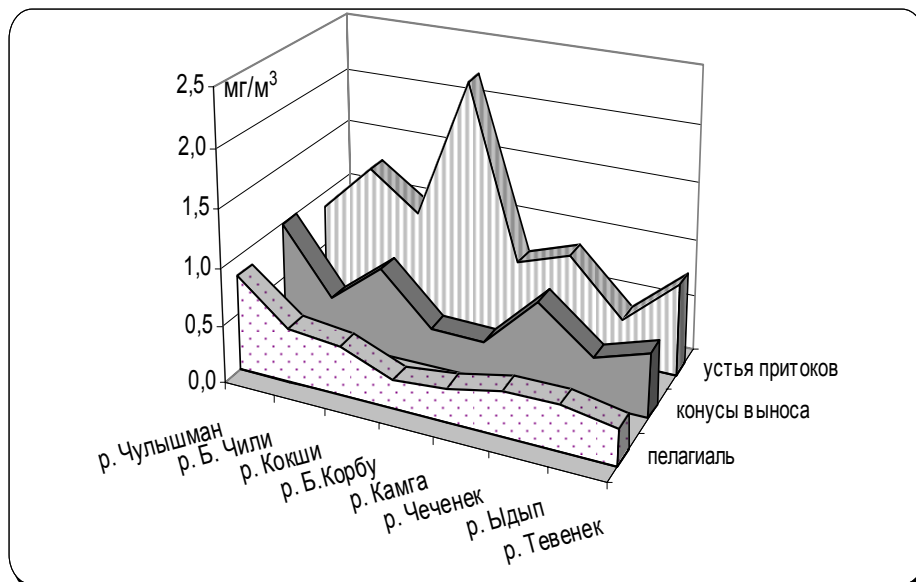


Рис. 2.23. Содержание хлорофилла «а» на участках впадения притоков и в открытой части Телецкого озера в июне 2001

Таблица

Различия по пигментным характеристикам фитопланктона между пелагиалью (1), литоралью (2) и устьями притоков (3) по критерию Краскелла-Валлиса и Стьюдента в 2002 г.

Показатель	Май		Июль		Сентябрь						
	1-2		1-2		1-2		1-3		2-3		
	К.	t	К.	t	К.	t	К.	t	К.	t	
Схл. <i>a</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Каротин.	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Схл. <i>a</i> /Схл <i>c</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	
ПО (E ₄₈₀ /E ₆₆₅)	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Сф	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: «+» - различия достоверны при $p < 0,05$, «-» - различия недостоверны

Фитоэпилитон. При исследовании водорослей каменистого субстрата водоемов и водотоков бассейнов рек Кыги, Чульчи и Чулышмана отмечено невысокое их разнообразие (140 видов водорослей из пяти отделов с преобладанием диатомовых (47,9%), синезеленых (40,7) и зеленых (10%) водорослей), низкое сходство таксономического состава и ценотической структуры сообществ водорослей при сравнении бассейнов в целом и озер внутри каждого бассейна (рис. 2.24). Превышение 50%-го уровня сходства таксономического состава отмечено для озер, находящихся на одинаковой высоте над уровнем моря. Более того, фитоэпилитон этих озер аналогичен по составу и структуре сообществам озер Европейского Севера и Арктики, где складываются подобные экологические условия для развития водорослей.

Отличие фитоэпилитона Телецкого озера и в устье р. Кыги от других озер бассейна и их сходство между собой связано с особенностью абиотических факторов – ветроволновой нагрузкой на сообщества и колебаниями уровня воды. Зависимость состояния сообществ водорослей литорали Телецкого озера от определяющего воздействия гидродинамического фактора отмечалась на протяжении всего периода исследования, начиная с 1998 г.

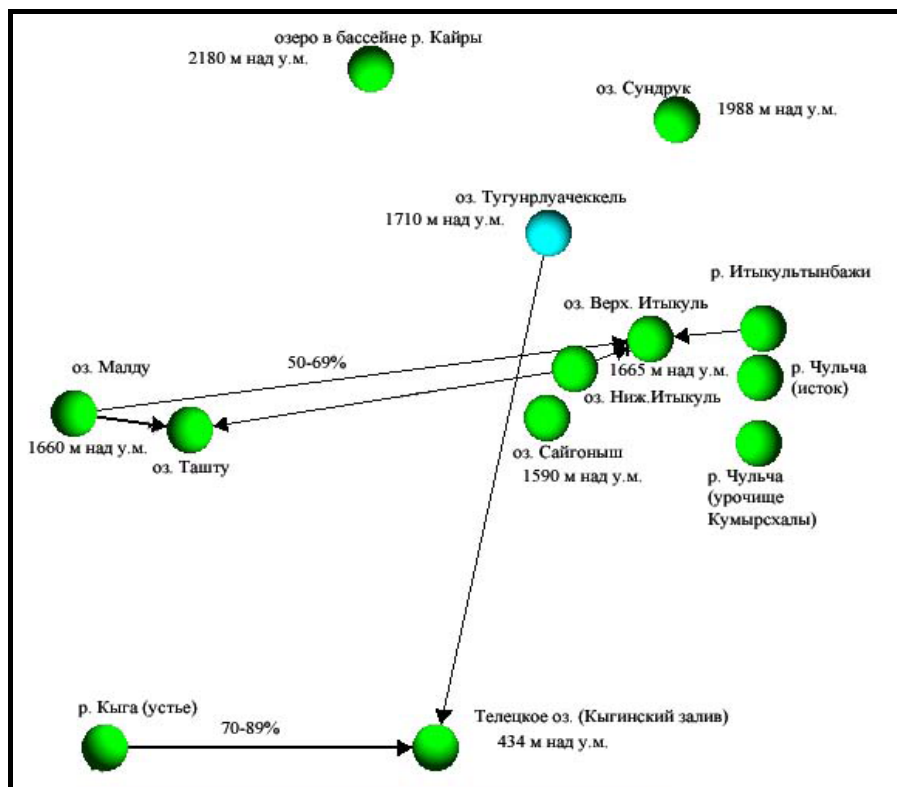


Рис. 2.24. Ориентированный мультиграф бинарных отношений, построенный на множестве мер включения описаний таксономического состава фитоэпилитона озер и рек бассейна Телецкого озера, август 2007 г.

Таким образом, формирование сообществ каменистого субстрата озер и рек бассейна Телецкого озера зависит более от экологических условий в водоеме и практически не зависит от пространственных связей между ними.

Макрофиты. Гигрофильная флора бассейна р. Чульчи включает 69 видов, относящихся к 30 родам, 24 семействам и 4 отделам. Представители отделов Charophyta, Bryophyta и Equisetophyta составляют 29% от общего количества видов. Особенностью гигрофильной флоры исследованной территории является высокая доля мхов (Ногина, 1950). Кроме того, характерной особенностью исследованных водоемов и водотоков является отсутствие крупных высокорослых надводных растений, таких, как тростник, рогозы, камыш. Гелофиты представлены преимущественно низкорослыми видами *Equisetum fluviatile* L., *Hippuris vulgaris* L., *Parnassia palustris* L., *Alopecurus aequalis* Sobol., *Caltha palustris* L., лютики *R. radicans* C.A. Meyer, *R. reptans* L., *R. repens* L. Слабое развитие или полное отсутствие на большинстве водоемов пояса надводной растительности, вероятно, связано с открытым характером большинства озер и сильной волноприбойной деятельностью, что мешает укоренению растений в прибрежной зоне.

Состав доминирующих семейств Cyperaceae-Potamogetonaceae-Ranunculaceae, характерный для гигрофильной флоры бассейна в целом не сохраняется для отдельных групп водоемов и водотоков. Так, для крупных рек (Чуя, Ары-соек) и озер (Б. Сайгоныш, Кичик-сору, Кара-коль и Сорулу-гол) характерно доминирование осоковых (Cyperaceae). Только осоки (*Carex acuta* L. и *C. ovalis* Good.) составляют растительный покров на озере

Сундук. Представители семейства рдестовых (*Potamogetonaceae*) доминируют в небольших озерах III группы (Тугунрлуачеккель, Кубышка, Камырсахалу и др.). Лютиковые (*Ranunculaceae*) наиболее представительны на р. Кичик-сору и левобережных озерах Кичик-сору и Сорулу-гол (рис. 2.25).

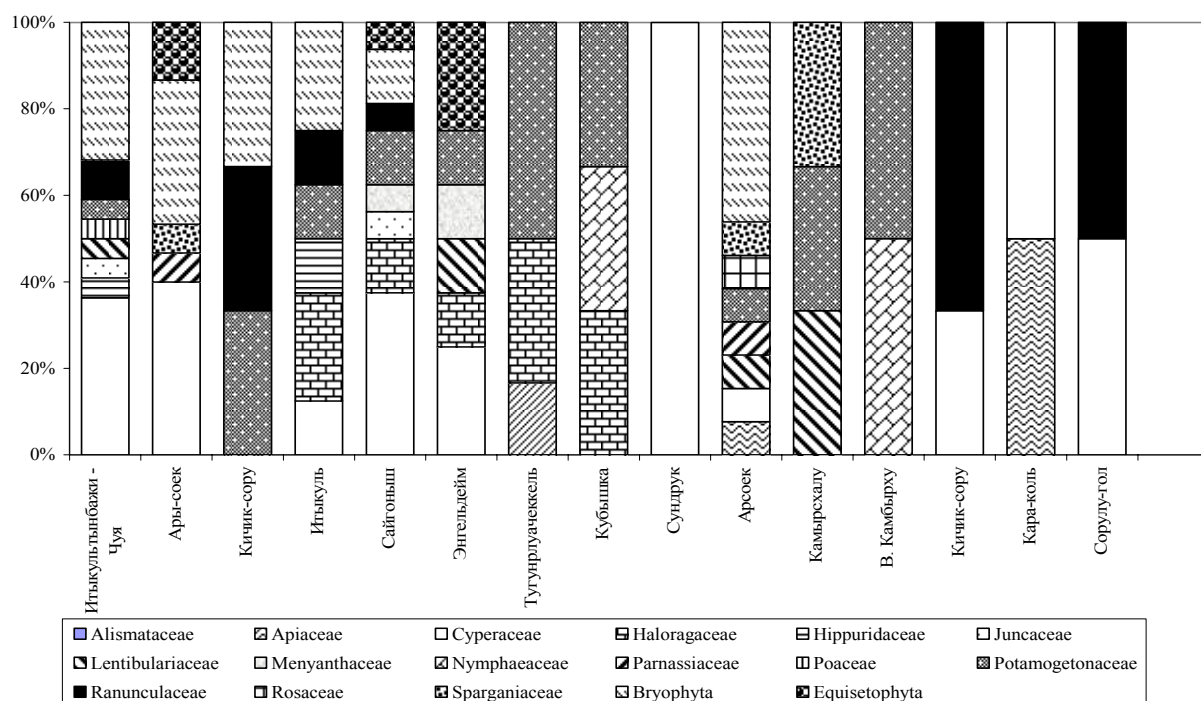


Рис. 2.25. Таксономический спектр гигрофильной флоры водоемов и водотоков бассейна р. Чульчи

По таксономическому составу наиболее связаны между собой высокогорные озера левобережья р. Чульчи – Сорулу-гол, Кара-коль, Кичик-сору, сходные по морфометрическим, гидрологическим и др. характеристикам. Остальные озера и реки достаточно разнообразны во флористическом отношении и связаны между собой не по месту расположения, а по сходству природных условий существования макрофитов. Таким образом, морфология бассейна реки Чульчи оказывает существенное воздействие на формирование видового разнообразия и экологической структуры гигрофильной флоры.

Зоопланктон. В составе зоопланктона водоемов и водотоков Бассейнов р. Чулышман и Кыга и оз. Телецкого в районе впадения этих рек было обнаружено 58 видов. Выявлено преобладание *Cladocera* (26 видов), на *Copepoda* приходилось 19 видов и 13 – *Rotatoria*. Число видов и количество зоопланктона озер и рек бассейна р. Чульчи сильно зависило от скорости течения: в озерах число видов (5-8 в пробе), численность (200-2500 экз./м³) и биомасса (9,8-12,6 мг/м³) зоопланктона выше, чем в самой реке Чульча (3-5; 50-110 экз./м³; 1,5-4,5 мг/м³ соответственно).

В наибольшей степени видовой состав зоопланктона оз. Телецкого в районе впадения р. Чулышман (61%) и в районе впадения р. Кыга (60%) включены в видовой состав зоопланктона оз. Узункель. Однако о влиянии зоопланктона этого озера на видовое богатство зоопланктона Телецкого озера говорить нельзя. Вероятно, сходство видового состава зоопланктона в этом случае обеспечивается близким комплексом гидрофизических и гидрохимических факторов.

Зообентосные сообщества высокогорных озер бассейна Телецкого озера небогаты в таксономическом отношении. В озерах и реках бассейна р. Чульчи отмечено 65 видов беспозвоночных животных, в том числе насекомых 42 вида; большинство видов (62%) являются редкими для исследованного бассейна; среднее число видов в пробе 6,4±0,9,

максимальное – 15 (р. Итыкультынбажи). При невысоком разнообразии данные сообщества весьма стабильны во временном аспекте. Своеобразие фауны составляют гомотопные виды сем. Gammaridae. Из обнаруженных в водных объектах бассейна р. Чульча гаммарид только *Gammarus lacustris* имеет широкое палеарктическое распространение; обитание *Gammarus korbuensis* приурочено к рекам и каменистой прибойной литорали озер района Телецкого озера; остальные виды встречаются только в высокогорных водоемах бассейна: *Gammarus gr. barnaulensis* в небольших озерах высокогорной части бассейна; *Gammarus sp.* в более крупном оз. Итыкуль. В Телецком озере большинство отмеченных видов гаммарид также эндемично, имеют узкий ареал распространения и приурочены к определенным биотопам.

Численность, биомасса и структура бентосного сообщества водоемов бассейна р. Чульча соответствует аналогичным показателям других высокогорных озер Алтае-Саянской горной страны. Средние численность и биомасса зообентоса каменистых и песчано-илистых грунтов исследованных водоемов бассейна р. Чульчи составили $1,5 \pm 0,3$ тыс. экз./м² и $3,7 \pm 0,9$ г/м², соответственно и соответствуют значениям, полученным для озер Чибитской системы озер ($4,1$ г/м²) и незначительно ниже – Кара-Кудюрской ($5,8$ г/м²) (Вершинин, 1979). Значительно выше численность ($7,2$ тыс. экз./м²) и биомасса ($51,7$ г/м²) зообентоса на сплаvine в зарослях макрофитов оз. Кубышка, что обусловлено развитием фитофильных беспозвоночных отр. Coleoptera, отр. Diptera. В остальных водоемах по численности доминировали преимущественно хирономиды, по биомассе – гаммариды. Преобладание в бентосном сообществе гаммарид является одной из особенностей донных зооценозов бассейна р. Чульча, что характерно для горных и высокогорных озер Алтае-Саянской горной страны и отличает их от других горных систем (Лепнева, 1933; Вершинин, 1979).

В целом, можно заключить, что, несмотря на значительное превышение площади водосборного бассейна Телецкого озера над площадью его водной поверхности и сходстве основных факторов среды (температура воды, уровень минерализации, рН среды), не выявлено значительного влияния биоценозов озер бассейна на экосистему Телецкого озера. Это вероятно связано с незначительным стоком гидробионтов из озер и гибелью организмов, вынесенных из озер, в быстрых порожистых горных реках.

Приоритетное направление 7.10. Физические и химические процессы в атмосфере и на поверхности Земли. Механизмы формирования и изменения климата, проблемы криосферы.

Программа 7.10.1. Интегрированные исследования природно-климатических изменений и связанных с ними рисков природопользования в Сибири (координатор чл.-к. РАН М.В. Кабанов).

Проект 7.10.1.4. Ландшафтно-водно-экологические исследования, оценка и прогноз рисков в природопользовании Сибири (научн. рук. д.г.н., проф. Ю.И. Винокуров; отв. исп. д.ф.-м.н., проф. И.А. Суторихин, к.г.н., доц. И.Н. Ротанова).

Блок 1. Пространственно-временное распределение основных составляющих влагооборота на территории Западной Сибири

1.1. Дистанционное изучение пространственно-временного распределения основных составляющих влагооборота (отв. исп. д.ф.-м.н. И.А. Суторихин)

Настоящее исследование базируется на тематической обработке данных дистанционного зондирования, полученных с европейского спутника «ENVISAT» (прибор «MERIS») с мая по октябрь 2008 г.

Данные по атмосферному давлению, скорости и направлению ветра, относительной влажности воздуха и общему содержанию водяного пара в атмосфере, полученные с ИСЗ с пространственным разрешением $\approx 4,25$ км, были сопоставлены с результатами наземных наблюдений на метеостанциях Александровское (Томская область), Новосибирск (Толмачево), Павлодар, Салехард, Туруханск, Томск и Ханты-Мансийск.

При сопоставлении метеопараметров получены следующие результаты. Для атмосферного давления коэффициент корреляции равен 0,98, для относительной влажности воздуха - 0,82. Направления ветров в приземном слое в безоблачные дни при систематическом смещении на 30° (с учетом влияния шероховатости подстилающей поверхности) коррелирует со спутниковыми данными с коэффициентом 0,94, при наличии облаков отклонение ветра от изогипс возрастает, а коэффициент корреляции уменьшается до 0,84. Выведены соответствующие уравнения регрессии для оценки метеорологических параметров на земной поверхности по спутниковым данным.

Рассмотрен вопрос о распределении запаса влаги в облаках. Для этого проанализировано распределение оптических толщ τ по числу участков, занятых облаками. Поскольку величины τ связаны с влагозапасом LWP соотношением: $\tau = 3LWP/2\rho r_{ef}$, где ρ - плотность воды и r_{ef} - эффективный радиус облачных капель, были вычислены величины LWP при общепринятом значении $r_{ef} = 13$ мкм. Пример такого пространственного распределения влагозапаса облаков в $г/см^2$ (а), а также относительной влажности воздуха в % (б) над Западной Сибирью показан на рис. 2.26

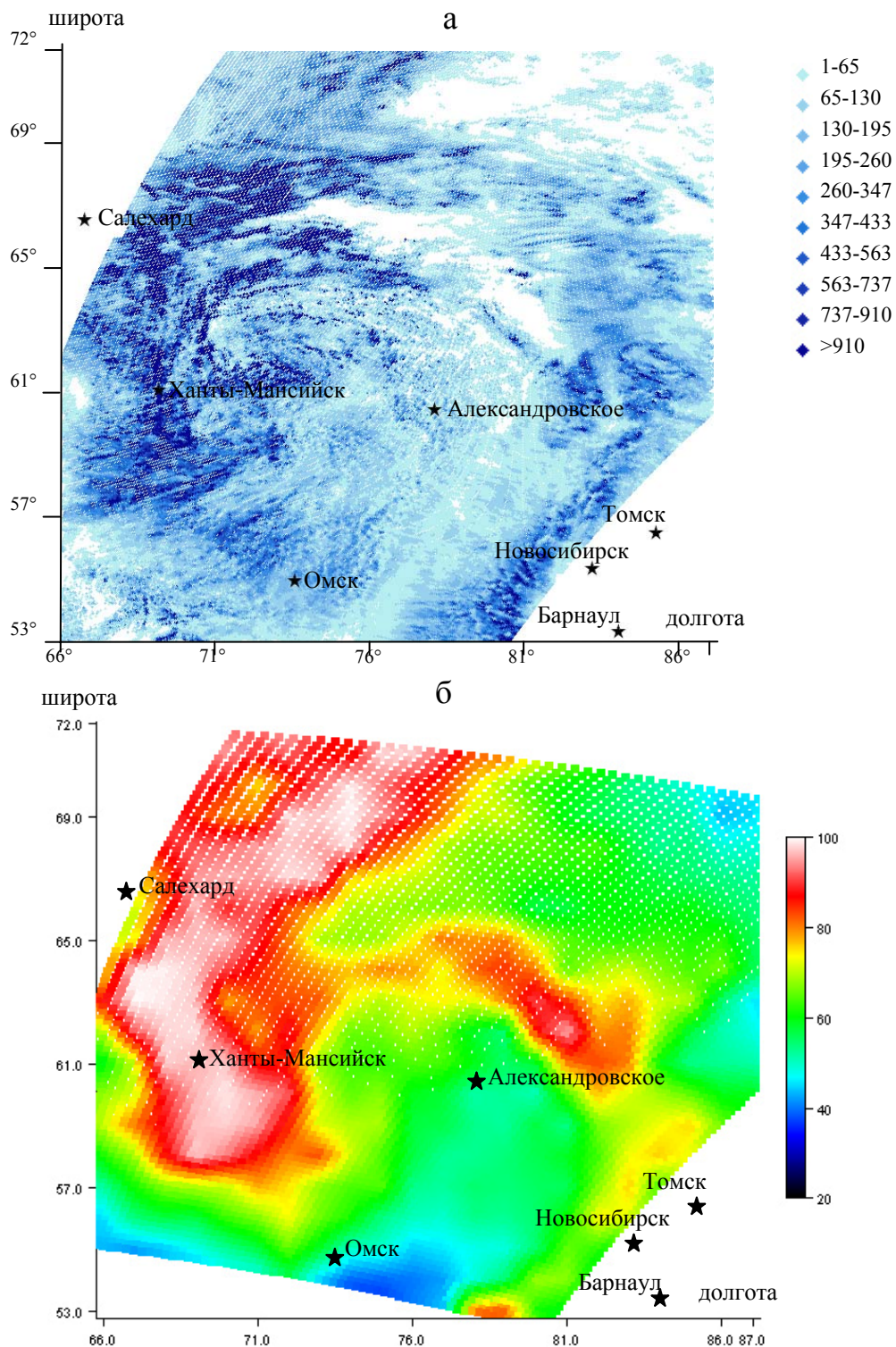


Рис. 2.26. Распределение влагозапаса облаков (г/м^2) (а) и относительной влажности (в %) (б) над Западной Сибирью 10 августа 2008 г.

Установлен предварительный вид функции распределения запаса влаги в облаках над равнинной территорией Западной Сибири, ограниченной меридианами 66^0 - 87^0 в.д. и параллелями 53^0 - 72^0 с.ш. Рассматриваемые распределения оказались не гауссовыми; их скорее следует отнести к нормальным логарифмическим или к более сложным. В большинстве случаев распределения имеют две или более мод. Первая мода обычно имеет максимум при $\tau \approx 10 \div 15$, вторая – при $\tau \approx 70 \div 80$. По предварительным данным облачные

образования, формирующие такие распределения, пространственно разнесены: первая мода относится к южным широтам, а вторая – к северным (рис. 2.27). Условная граница проходит по 58° с.ш.

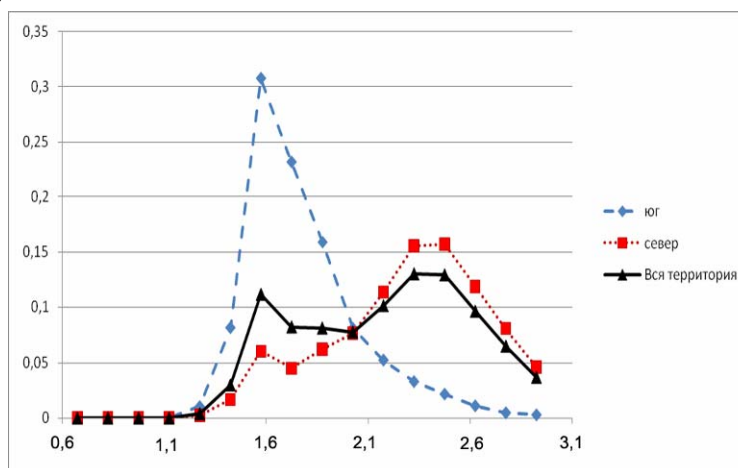


Рис. 2.27. Распределение логарифмов влагозапаса облаков 1 июня 2008 г.

Представленная выше часть исследования выполнена при поддержке Европейского Космического Агентства (грант 4747), предоставившего доступ к данным космического зондирования со спутника «ENVISAT» (прибор «MERIS»).

3. Исследование пространственно-временной изменчивости геофизических полей на территории Сибири необходимо для выявления механизмов, лежащих в основе изменчивости, и составления их прогнозных оценок.

Для изучения временной структуры одной из основных составляющих влагооборота – осадков – в ретроспективном аспекте для части территории Западной Сибири, включающей Омскую, Новосибирскую, юг Томской, Кемеровскую области и Алтайский край, был рассчитан ряд их количества в зимний сезон для периодов с преобладанием зональной циркуляции, хорошо коррелирующей с индексом NAO (Северо-Атлантического колебания). Корреляционный анализ полученного ряда осадков и ряда индекса NAO показал их статистически значимую связь (коэффициент корреляции равен 0,79).

Для установления периодичности исследуемых рядов был использован метод Уэлча (метод усреднения модифицированных периодограмм). На рис. 1.1.3 (а, б) представлен частотный спектр рядов индекса NAO и осадков. Поскольку период колебаний T определяется как $T=1/f$, где f – частота, можно определить, что основные периоды колебаний осадков на территории юга Западной Сибири и индекса NAO в зимний сезон совпадают и составляют 5-10 лет, а в низкочастотной области – около 30 лет.

Для изучения временной структуры одной из основных составляющих влагооборота – осадков, в ретроспективном аспекте для части территории Западной Сибири (включающей Омскую, Новосибирскую, юг Томской, Кемеровскую области и Алтайский край) был рассчитан ряд их количества в зимний сезон для периодов с преобладанием зональной циркуляции, хорошо коррелирующей с индексом NAO. Корреляционный анализ полученного ряда осадков и ряда индекса NAO показал их статистически значимую связь (коэффициент корреляции равен 0,79).

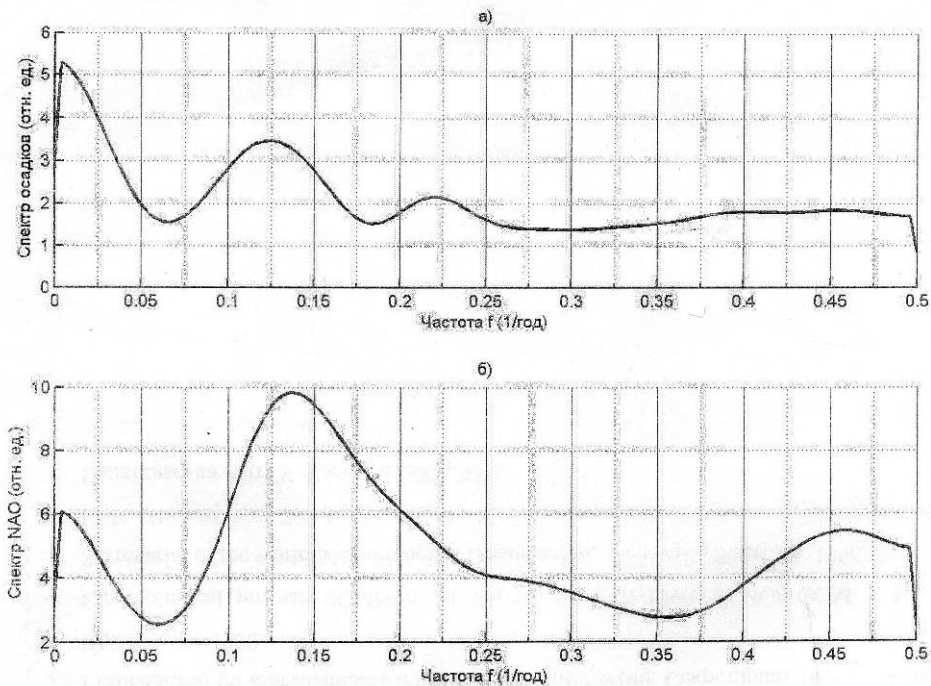


Рис. 2.28. Частотные спектры рядов: а) количества осадков на территории Западной Сибири, б) индекса NAO. (По оси X отложены частоты f спектра)

Для установления периодичности исследуемых рядов был использован метод Уэлча (метод усреднения модифицированных периодограмм). На рис. 2.28 (а, б) представлен частотный спектр рядов индекса NAO и осадков. Поскольку период колебаний T определяется как $T=1/f$, где f - частота, можно определить, что основные периоды колебаний осадков на территории юга Западной Сибири и индекса NAO в зимний сезон совпадают и составляют 5-10 лет, а в низкочастотной области – около 30 лет.

1.2. Количественная оценка пространственно-временных характеристик гидроферных процессов в системе атмосфера – подстилающая поверхность (отв. исп. д.г.н. Г.В. Белоненко)

Количественная оценка пространственно-временных характеристик гидроферных процессов в системе атмосфера - подстилающая поверхность выполнена исходя из фундаментального положения о том, что любая из характеристик этого процесса является реализацией неразрывного процесса превращения энергии и материи.

При недостаточной тепло- и воднобалансовой изученности Западной Сибири оценка элементов влаго- и теплообмена в системе атмосфера - подстилающая поверхность может быть выполнена только на основе совместного решения замкнутой системы уравнений связи водного и теплоэнергетического балансов участка суши или речного бассейна (Белоненко, 1985 и др.). Основные преимущества совместного рассмотрения уравнений водного и теплоэнергетического баланса связаны как с возможностью контроля расходных элементов влаго- и теплооборота наличными ресурсами тепла и влаги, так и с широким использованием стандартной гидрометеорологической информации и материалов, характеризующих особенности строения земной поверхности. При этом интенсивность и направление гидрофизических процессов рассматриваются как ведущий компонент глобального физико-географического процесса в ландшафтной сфере, интенсивность и направление которого определяются ресурсами влаги и тепла и их соотношением (Григорьев, 1966 и др.).

Общий вид теоретических кривых связи относительных (в долях водного эквивалента теплоэнергетических ресурсов климата Z_K) величин общего увлажнения (ресурсов влаги H) элементов влагооборота (испарение – Z , сток – Y , коэффициент стока) при разных условиях формирования стока (параметр n) представлен на рис. 2.29. Применимость уравнений связи была проверена для водных балансов 112 речных бассейнов Уральской физико-географической страны, 71 речного бассейна Западной Сибири, а также для 41 речного бассейна Европы, Азии, Африки и Северной Америки.

В отличие от известных уравнений связи (М. И. Будыко, 1948, В. С. Мезенцева, 1957) авторская система уравнений связи позволяет раскрыть структуру влагооборота участка суши большего числа расходных балансовых компонентов при учете переменных в пространстве и времени свойствах деятельной поверхности.

Приводимые на рис. 2.29 теоретические кривые являются аналитическим оформлением глобальных закономерностей гидрофизических процессов в любых природно-климатических условиях и за любой интервал времени, когда:

- при возрастании относительных величин увлажнения каждая из относительных величин расходных элементов влагооборота также возрастает;
- ни одна из расходных статей влагооборота не может превышать увлажнения деятельной поверхности;
- верхний предел суммарного испарения ограничивается либо ресурсами влаги, либо ресурсами тепла;
- при одинаковом увлажнении значения стоковых характеристик определяются особенностями строения деятельной поверхности.

Исходя из того, что интегральной количественной характеристикой влияния климатического звена на формирование элементов влагооборота за любой временной интервал является соотношение ресурсов влаги и тепла, а именно мера соответствия фактических ресурсов влаги (H) оптимально потребным (H_{opt}). Из всего комплекса абсолютных и относительных характеристик увлажнения и теплообеспеченности (Мезенцев В. С., 1957 и др., Белоненко Г. В., 1985 и др.) в качестве количественной характеристики соответствия фактических условий увлажнения оптимально потребным принят и рассмотрен коэффициент увлажнения по суммарному увлажнению $K_n = H/H_{opt}$. Оптимальному увлажнению соответствуют значения $K_n = 1,0$, недостаточному – $K_n < 1,0$ и избыточному – $K_n > 1,0$.

Исследование условий увлажнения и теплообеспеченности Западной Сибири потребовало сформировать достаточную по объему и достоверную по качеству базу данных о ресурсах влаги и тепла, разработать частные методики их оценки, позволяющие раскрыть особенности пространственного и временного распределения ресурсов влаги и тепла на изучаемой территории. В совокупности это позволило выполнить массовые (по 175 пунктам) расчеты коэффициентов увлажнения K_n и обобщить их в виде схематической карты изолиний (рис. 2.30). Значения K_n закономерно возрастают с юга на север от 0,416 в степной зоне до 1,35 и более – в тундровой. Положение изолинии $K_n = 1,0$ совпадает с северной границей южно-таежной зоны Западной Сибири и делит исследуемую территорию на зону избыточного (средняя тайга – тундра) и недостаточного (южная тайга – степь) увлажнения в средний год.

Представляется очевидным, что коэффициент увлажнения K_n характеризует не только меру соответствия фактических условий увлажнения оптимальным, но также и (при прочих равных условиях, например, шероховатость, уклон земной поверхности и т.п.) условия формирования стока на участке суши.

Замкнутая система уравнений связи водного и теплоэнергетического балансов, сформированная база данных о ресурсах влаги и тепла, а также разработанная методика

оценки расчетных параметров сделали возможными выполнение воднобалансовых расчетов участка суши и речных бассейнов и исследование структуры влагооборота.

Подобные расчеты выполнены для 175 пунктов и 42 речных бассейнов Западной Сибири. Достоверность выполненных расчетов оценивалась сравнением рассчитанных и измеренных значений стока речных бассейнов.

Выполненные воднобалансовые расчеты позволили не только сформировать современную базу данных элементов влагооборота, но и создали предпосылки как для установления локальных (речные бассейны), так и зональных особенностей формирования структуры влагооборота в разных природно-климатических зонах исследуемой территории.

При этом исследование структуры влагооборота выполнено с использованием относительных (в долях ресурсов влаги H) величин уравнения водного баланса: $\psi = \frac{Z}{H}$ - коэффициент испарения (Z); $\eta = \frac{Y}{H}$ - коэффициент суммарного (Y) стока; $\eta_1 = \frac{Y_1}{H}$ - коэффициент поверхностного Y_1 стока; $\eta_2 = \frac{Y_2}{H}$ - коэффициент подземного (Y_2) (устойчивого речного) стока; $\mu = \frac{Y_2}{F}$ - коэффициент питания подземного (Y_2) стока; $\zeta = \frac{F}{H}$ - коэффициент почвенно-грунтового питания (F - валовое увлажнение).

Зональные особенности формирования структуры влагооборота в первую очередь иллюстрируются составленными картами изолиний коэффициентов испарения и стока (рис. 2.31 и 2.32).

Территориальное распределение и величина коэффициентов испарения и стока, как можно заметить, являются следствием интегрального взаимодействия и трансформации ресурсов влаги и тепла в процессе теплообмена в системе деятельная поверхность – приземный слой атмосферы.

Выраженный широтный характер распределения изолиний коэффициентов ψ и η соответствуют аналогичным особенностям распределения ресурсов влаги и тепла.

Численные значения коэффициентов испарения и стока (рис. 2.33) во всех природных зонах закономерно определяются мерой соответствия ресурсов влаги их оптимальному значению. Так, при уменьшении ресурсов тепла и возрастании ресурсов влаги с юга на север значения коэффициентов испарения уменьшаются, а величина суммарного испарения лимитируется в этом случае ресурсами тепла. Наоборот, при возрастании ресурсов влаги и соответственно уменьшении ресурсов тепла коэффициенты стока повсеместно возрастают.

Оптимальным условиям увлажнения ($K_n = 1,0$) соответствуют значения, близкие к $\psi = 0,7$ и $\eta = 0,3$. При $K_n \approx 1,3$ - $\psi = \eta = 0,5$ и ресурсы влаги поровну расходуются на суммарное испарение и сток, что при современном представлении о ресурсах тепла и влаги соответствует на территории Западной Сибири тундровой зоне.

Расчеты и анализ показали также, что и структура почвенно-грунтового компонента влагооборота участка суши и речных бассейнов зависит от уровня увлажнения деятельной поверхности (рис. 2.34).

Так, при недостаточном увлажнении деятельной поверхности ($K_n < 1$) почвенно-грунтовая компонента влагооборота (валовое увлажнение) составляет не менее 77% суммарных ресурсов влаги, из которой на питание подземных вод расходуется не более 10%. При возрастании увлажнения ($K_n > 1,0$) доля валового увлажнения в суммарных

ресурсах влаги (F/H) закономерно уменьшается из-за более интенсивного, чем инфильтрация, возрастания поверхностного стока.

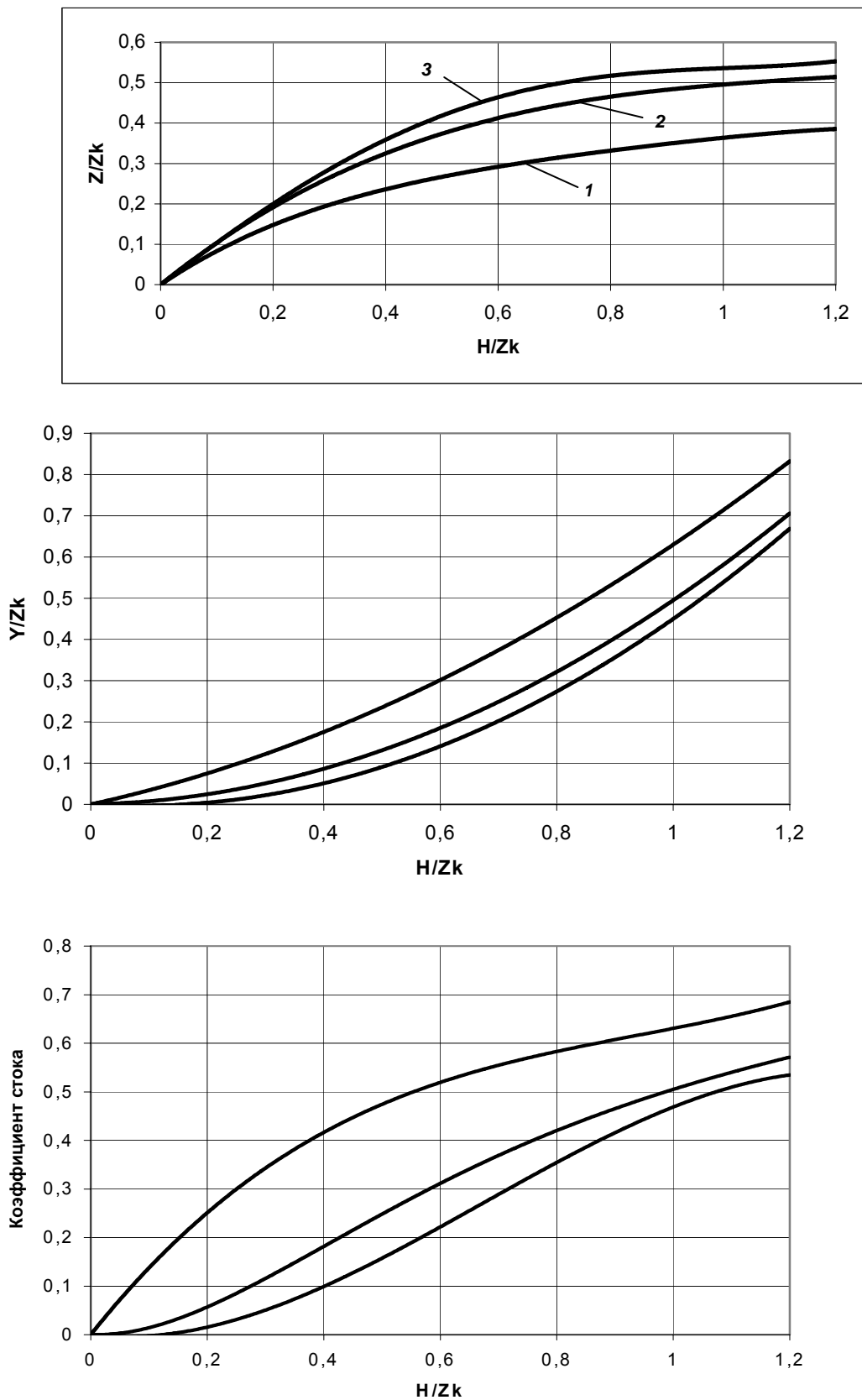


Рис. 2.29. Теоретические кривые связи относительного увлажнения (H/Zk), суммарного испарения (Z/Zk), годового стока (Y/Zk) и коэффициента стока при разных значениях параметра n : 1- $n = 1$; 2 - $n = 2$; 3 - $n = 3$

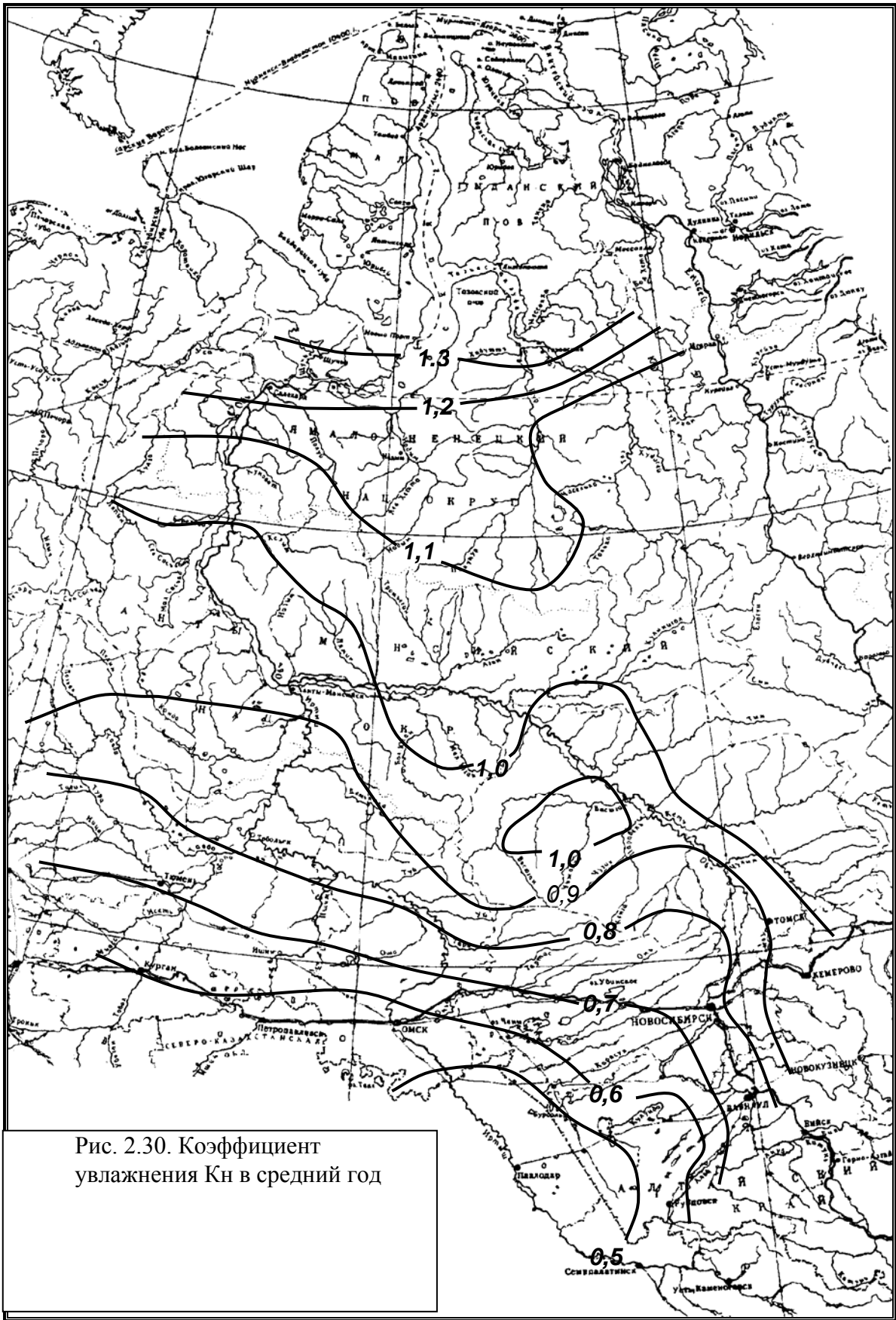


Рис. 2.30. Коэффициент увлажнения K_n в средний год

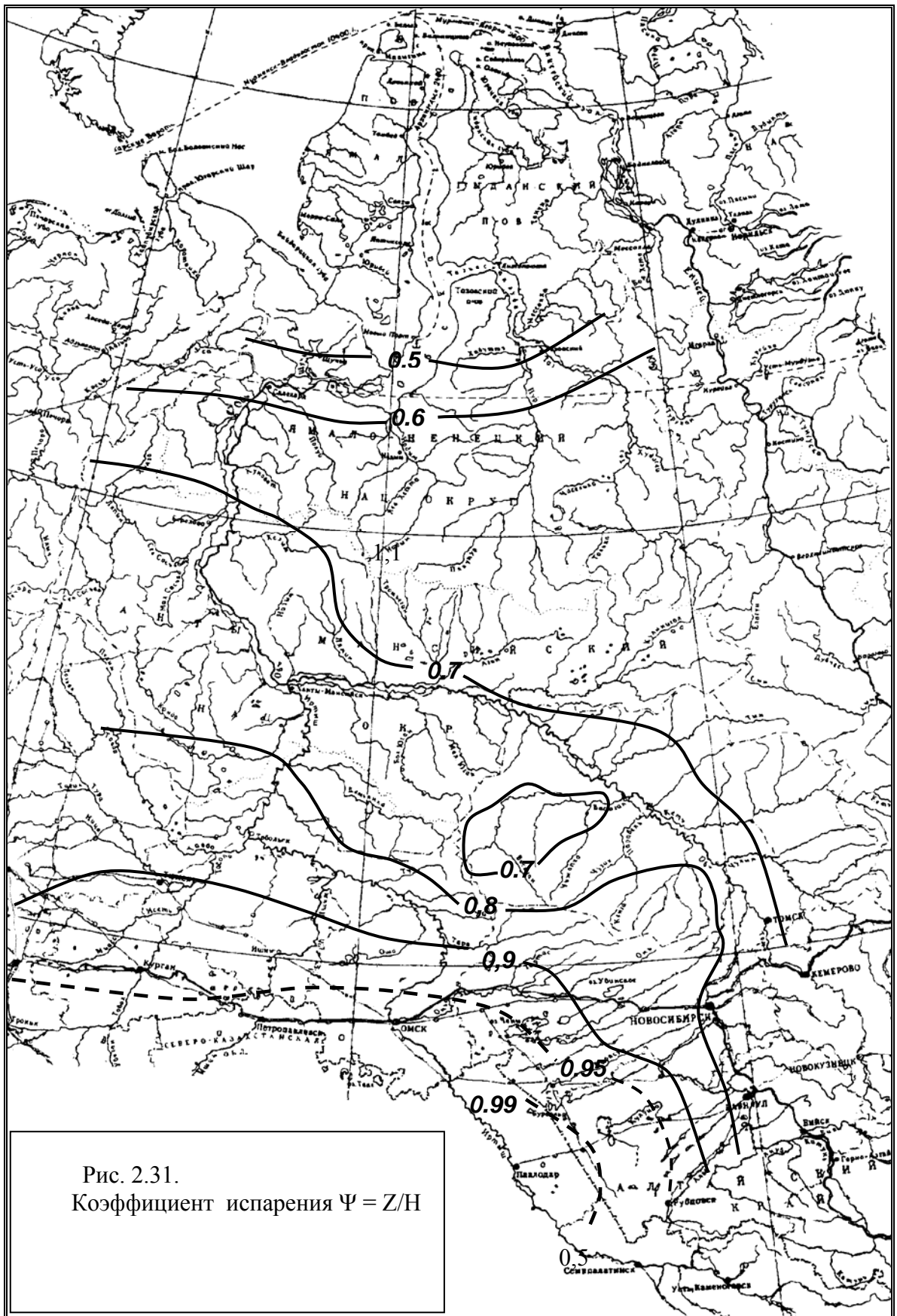


Рис. 2.31.
Коэффициент испарения $\Psi = Z/H$

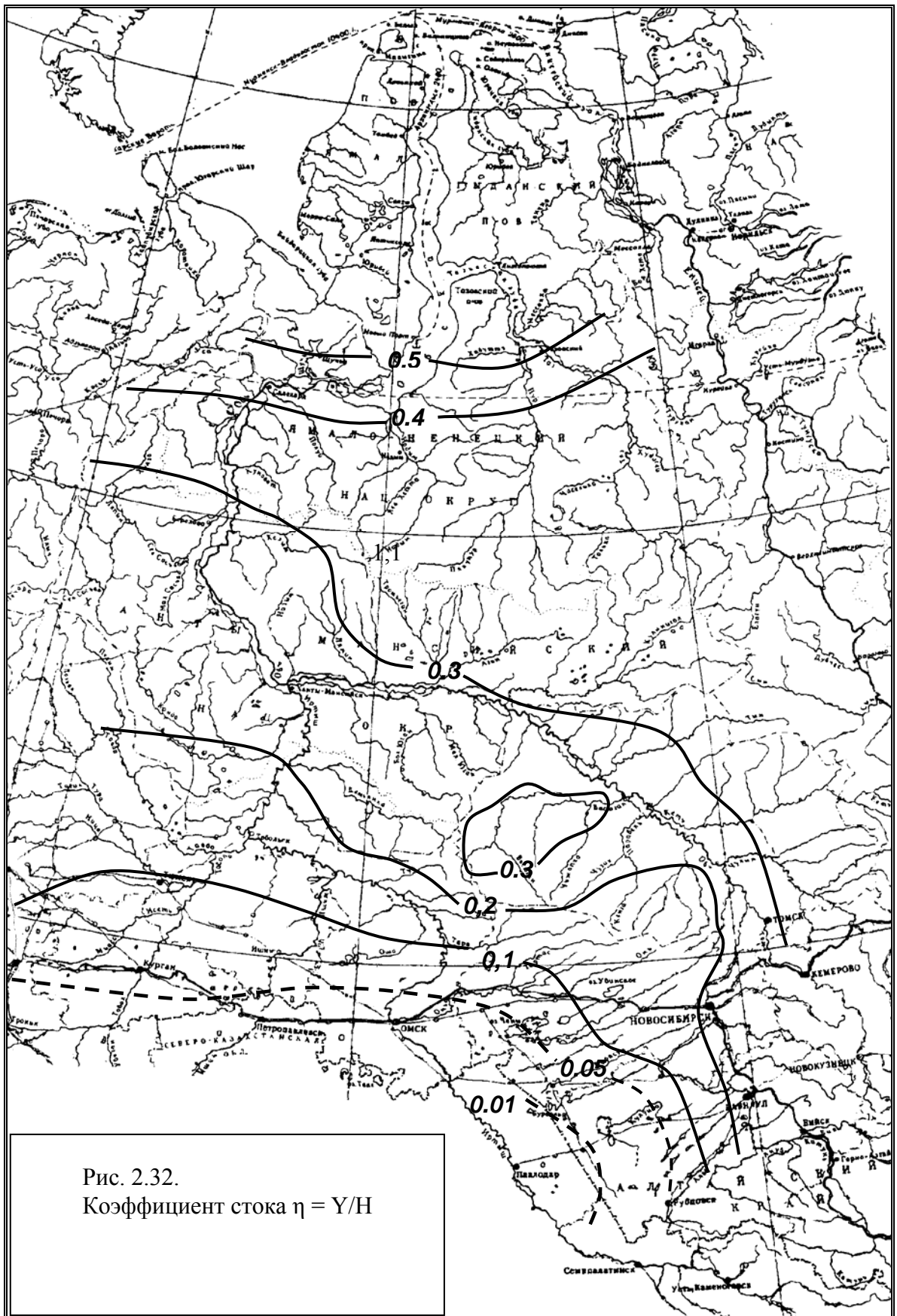


Рис. 2.32.
 Коэффициент стока $\eta = Y/N$

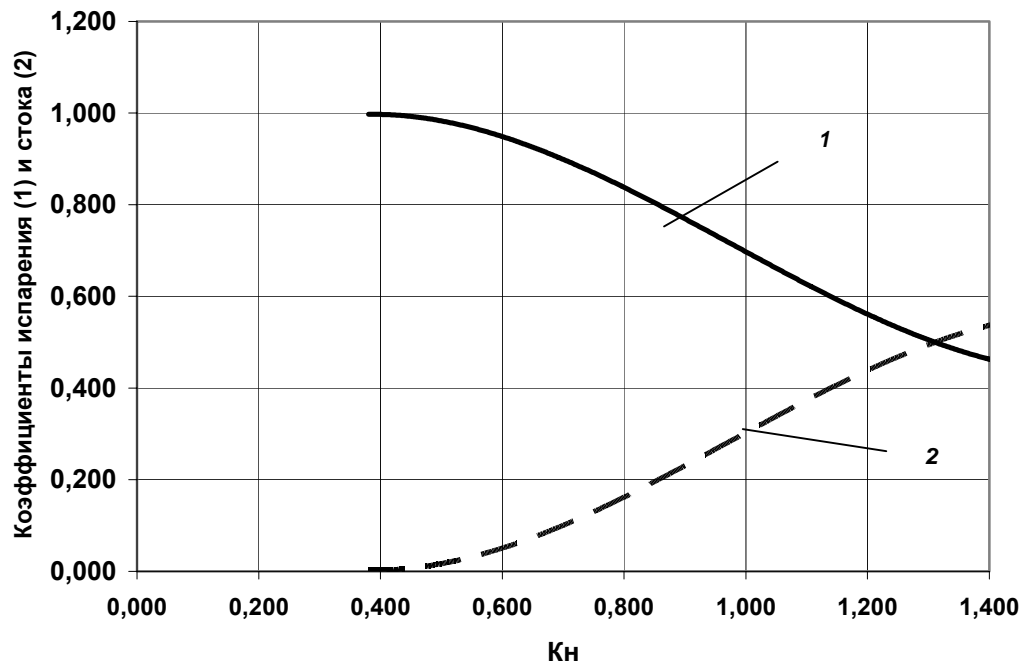


Рис. 2.33. Графики связи коэффициентов испарения (1) и стока (2) с коэффициентом увлажнения K_n .

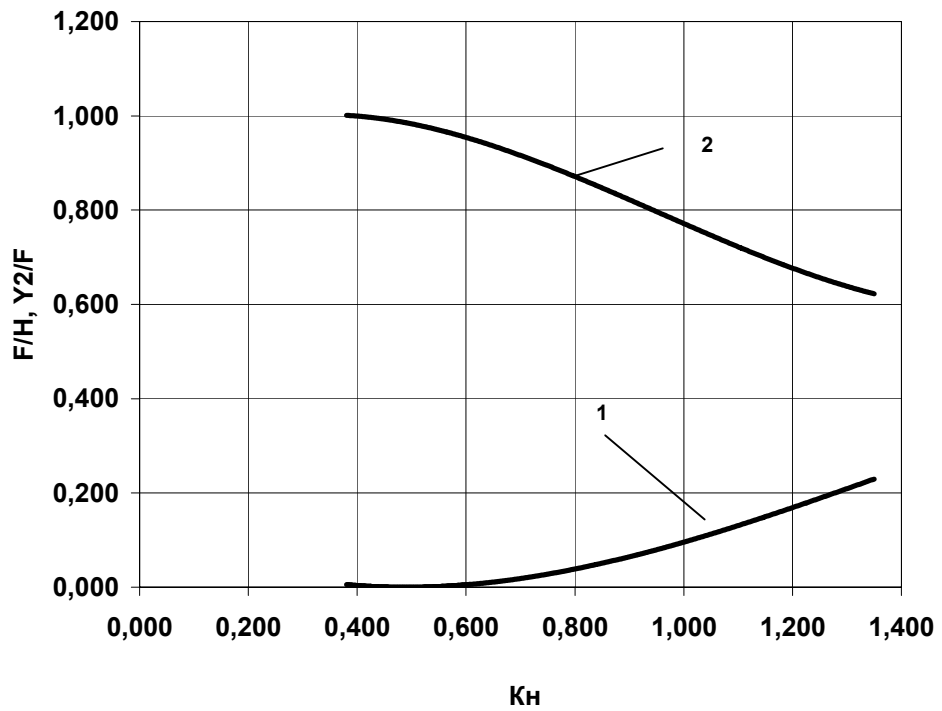


Рис 2.34. График связи коэффициента почвенно-грунтового питания (2) и коэффициента питания подземного стока (1) и коэффициента увлажнения

Оценка временной изменчивости элементов влагооборота выполнялась на основе соответствующих данных Росгидромета (Научно-прикладной справочник по климату...) и результатов собственных воднобалансовых расчетов за конкретные годы. В частности установлено, что амплитуда колебаний годовых сумм испарения в разных природных зонах изменяется в значительных пределах, а отличия экстремальных значений испарения от их средних годовых сумм составляют от 100 до 160 мм/год. При этом в зоне избыточного увлажнения коэффициенты вариации испарения возрастают с юга на север от 0,14 до 0,17 и определяются временной изменчивостью ресурсов тепла в этой зоне. В зоне недостаточного увлажнения значения коэффициентов вариации суммарного испарения максимальны в степной зоне – более 0,180 и определяются главным образом изменчивостью ресурсов влаги.

Таким образом, как пространственная, так и временная изменчивость элементов влагооборота в Западной Сибири повсеместно определяется главным образом климатическим звеном физико-географического процесса, а именно мерой соответствия фактических ресурсов влаги и тепла их оптимально потребным величинам в той или иной природной зоне.

1.3. Анализ пространственно-временного распределения основных составляющих влагооборота с использованием технологии космогеопрогноза (отв. исп. к.г.н. В.А. Понько)

В основу технологии космогеопрогноза положен космогеоэкосистемный подход, основанный на понимании детерминистических основ пространственно-временной изменчивости климата, увлажнения и определяемых ими водных и агроклиматических ресурсов. Компоненты увлажнения - атмосферные осадки и испаряемость - трансформируются рельефом, почвами, растительностью в речной сток, который замыкает цепи влагооборота в бассейнах. Прогностические аспекты технологии космогеопрогноза находят завершение в способах долгосрочного (на предстоящие сезоны) и сверхдолгосрочного (на годы вперед) прогнозирования гидрометеорологических аномалий, реализуемых с помощью математического моделирования геокосмических связей.

Применительно к решению поставленной задачи технология космогеопрогноза включает: ретроспективный анализ многолетних характеристик увлажнения, слежение за ходом атмосферных и гидросферных процессов, моделирование и прогнозирование динамики составляющих влагооборота. Технология реализуется на экспериментальном образце аппаратно-программного комплекса, где соединяются данные гидрометеорологического мониторинга и космического зондирования Земли с вычисляемыми по специальным программам астрогеофизическими факторами как предикторами прогнозных моделей.

Ретроспективный анализ пространственно-временной изменчивости тепло-влагообеспеченности территории и интегральных показателей влагооборота - речного стока и уровня озер - проводится на основе архивной информации системы экопрогноза, пополняемой данными гидрометеорологического и космического мониторинга. Пространственное распределение составляющих влагооборота представляется на картах водных бассейнов с помощью программных средств ГИС MapInfo в разных вариантах осреднения гидрометеорологических характеристик, наблюдаемых на метеостанциях и водных постах (см. примеры на рис. 2.35-2.37).

На рис. 2.35 на фоне административного деления и границ Обского бассейна, бессточной части Барабинской и Кулундинской низменностей, а также северной границы земледелия показано зонирование территории по параметру теплообеспеченности, выражаемому среднемноголетними суммами среднесуточных положительных температур,

которые примерно пропорционально отражают значения испаряемости. Здесь используются выводы модели почвенно-климатического зонирования суши Земли, основанной на делении по «золотой» пропорции¹ шкал коэффициентов теплообеспеченности и увлажнения. Такое деление позволяет количественно оценить по параметрам увлажнения границы географических и агроклиматических поясов, зон и подзон.

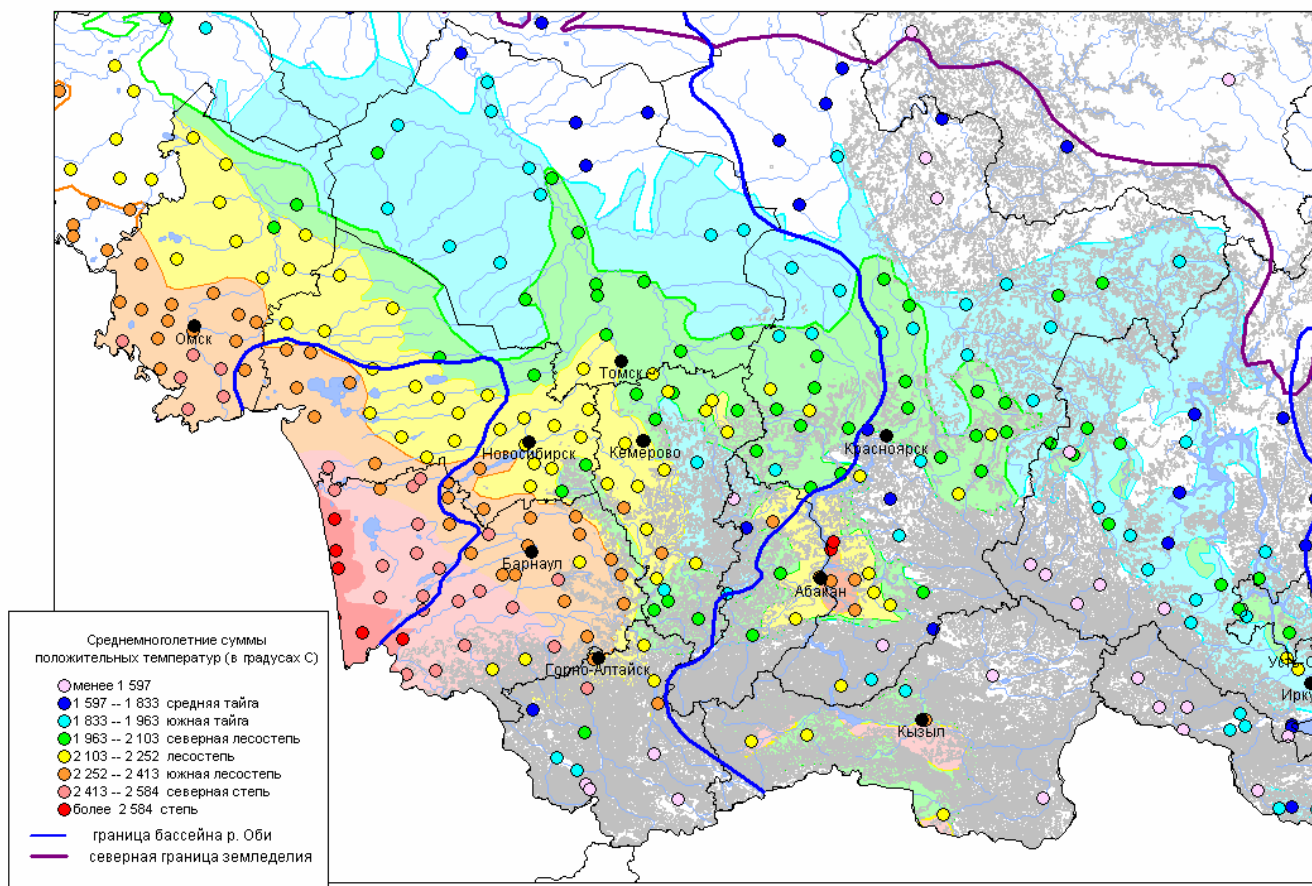


Рис. 2.35. Фрагмент карты агроклиматического зонирования Сибири

Коэффициенты увлажнения по данным метеостанций рассчитываются для природных и трансформированных земледелием условий. Коэффициенты природного увлажнения K_y в базовой редакции представляются в виде отношения годовых осадков O в мм к сумме среднесуточных положительных температур T_o в градусах Цельсия с эмпирическим коэффициентом c : $K_y = O / T_o c$, где c с помощью коэффициента c характеристики теплообеспеченности в градусах переводятся в значения испаряемости (мм). Для средних широт он составляет 0,177. На рис. 2.36 показана пространственная изменчивость среднегогодового увлажнения в бассейне Верхней Оби по значениям K_y гидрологического года.

¹ Золотая пропорция – функция выраженная в делении целого на части в соотношении 0,618.../1, отражающая изменчивость самоорганизуемых природных систем.

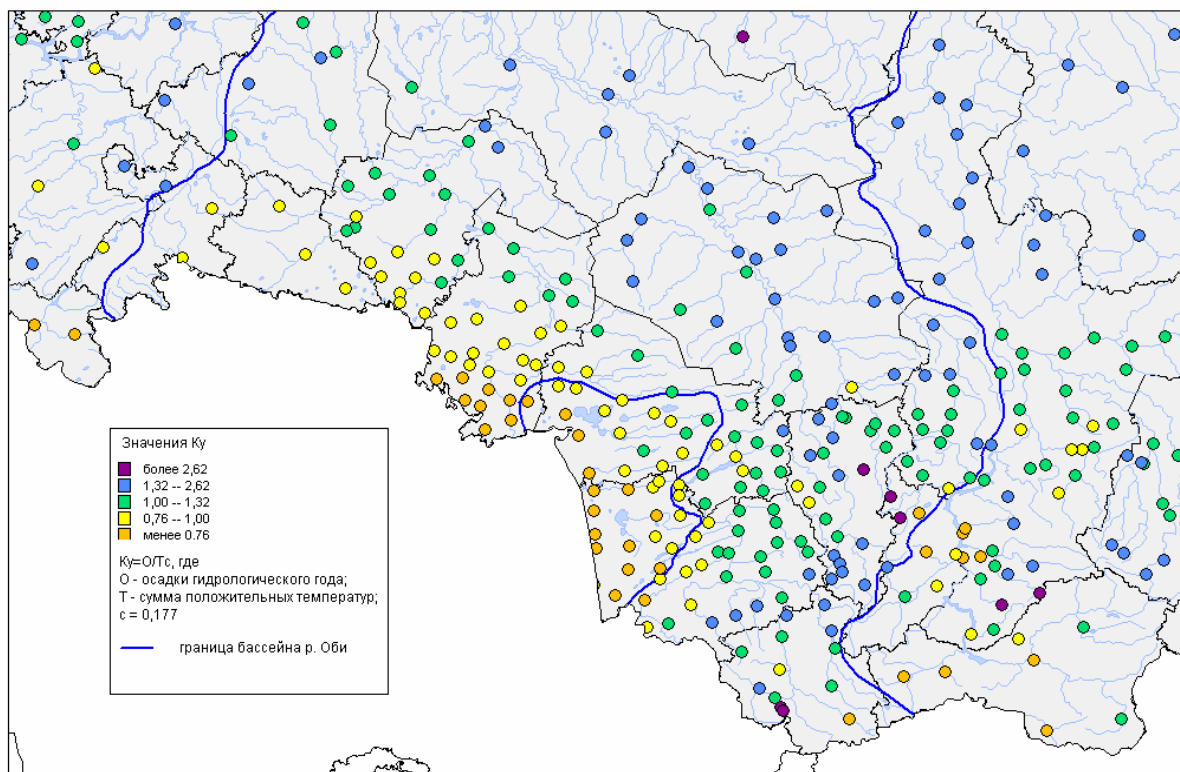


Рис. 2.36. Среднеголетние показатели увлажнения (K_u) в бассейне Верхней Оби

Для обоснования водно-мелиоративных преобразований (осушение-орошение) составляющие влагооборота рассчитываются в аномалиях от оптимума увлажнения. Например, на гидрологической карте территории Новосибирской области и смежных районов (рис. 2.37) представлены среднеголетние разности фактических осадков и испаряемости, соответствующей природному оптимуму увлажнения, выражаемым значениями $K_y = 1$.

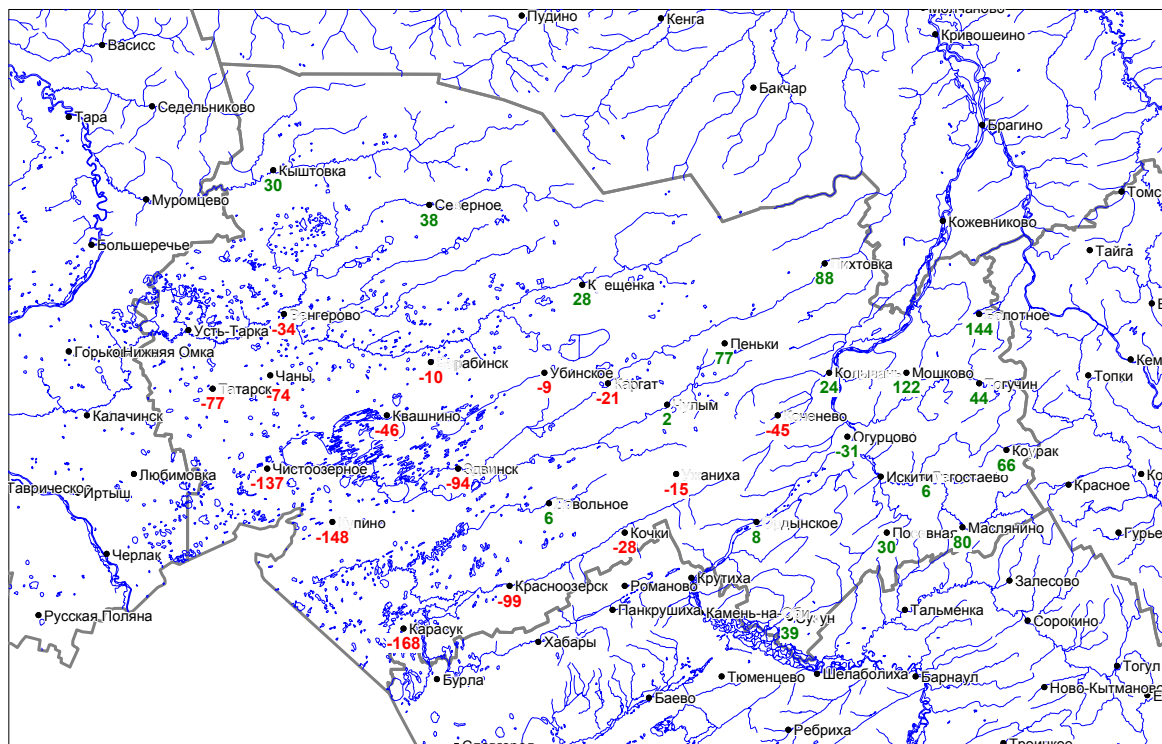


Рис. 2.37. Дефицит и избыток осадков относительно природного оптимума (мм)

Для долгосрочного прогнозирования весеннего стока рек используются характеристики предшествующего увлажнения, например, снеготпасы (см. рис. 2.38) или коэффициенты увлажнения в виде: $K_{y(4-3)} = O_{(4-3)} / T_{o(5-10)} c$, где $O_{(4-3)}$ - осадки с апреля предыдущего года по март текущего, $T_{o(5-10)}$ – сумма положительных температур за май-октябрь предыдущего года.

Так характеризуется пространственная изменчивость увлажнения по климатическим (осредненным за десятки лет) показателям влагооборота. Далее, на основе понятия типа увлажнения, идентифицируемого с границами зон и подзон лесов, лесостепей и степей, оценивается пространственно-временная изменчивость общего увлажнения территории (пример для юга Западной Сибири дан в табл. 2.3).

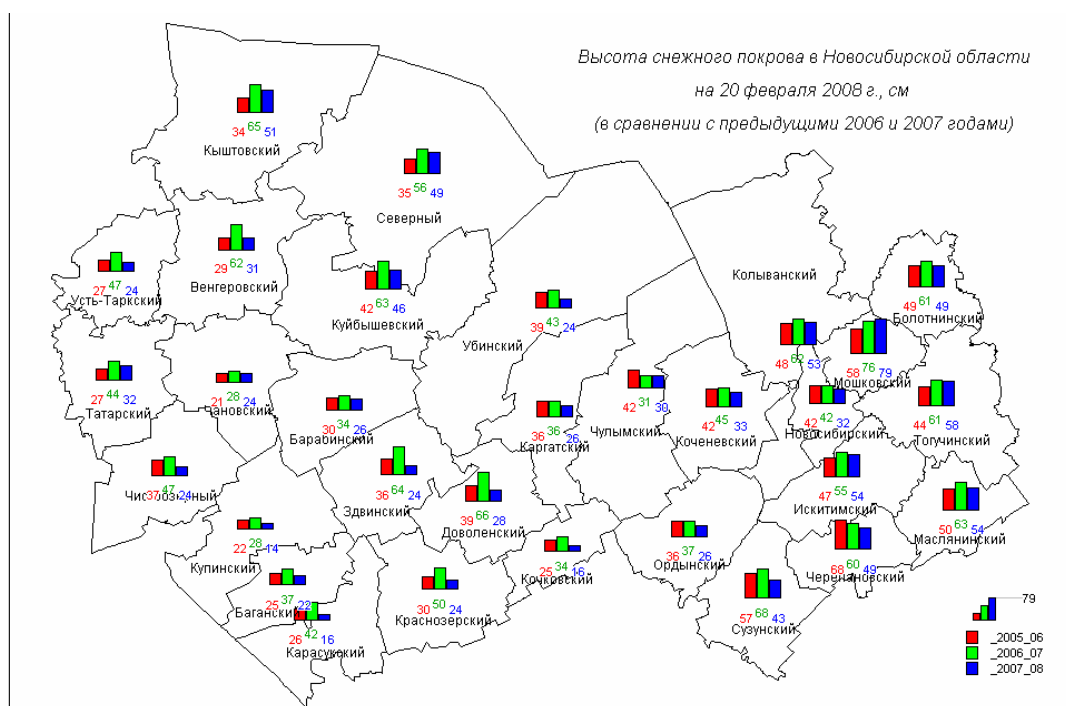


Рис. 2.38. Карта снежных запасов на метеостанциях Новосибирской области в 2006-2008 годы

Таблица 2.3

Пространственно-временная изменчивость увлажнения юга Западной Сибири

Тип увлажнения	Среднеголетние параметры увлажнения			Повторяемость (%) лет с типом увлажнения в подзонах юга Западной Сибири				
	Осадки по периодам, мм		Коэффициенты увлажнения (K_y)	I	II	III	IV	V
	O_{09-08} (год)	O_{05-08}						
Умеренно-переувлажненный	>500	>260	>1,32	35	20	15	5	-
Умеренно-увлажненный	380-500	210-260	1,0-1,32	45	40	30	20	10
Умеренно-дефицитный	330-380	180-210	0,79-1,0	10	20	20	25	15
Дефицитный	270-330	140-180	0,58-0,79	10	15	20	30	35
Остро дефицитный	<270	<140	<0,58	-	5	15	20	40

Обозначения: Подзоны согласно границам на рис.1: I - южнотаежная, II - подтаежно-северолесостепная, III - лесостепная, IV - южнолесостепная, V - степная; O_{09-08} , O_{05-08} - сумма осадков за соответствующие месяцы предыдущего и текущего года, мм; $K_y = O_{09-08} / T_{oc}$, где O_{09-08} – среднеголетние осадки, T_{oc} – сумма положительных среднесуточных температур, c - коэффициент испаряемости равный 0,177.

Временная изменчивость составляющих влагооборота отражается в межсезонной и межгодовой динамике гидрометеорологических рядов, ходе интегральных кривых осадков, температур, речного стока, и в уровнях замкнутых озер как естественных интеграторов влагооборота в своих бассейнах. Например, в бассейне озера Чаны, согласно анализу карт с конца 18-го века и космических снимков, можно видеть следы сверхвекового усыхания территории, которое проявляется в последовательном сокращении площади водного зеркала озерных котловин (рис. 2.39). Исторические материалы и данные за 20-й век показывают, что этот процесс протекает в виде крупных внутривековых пульсаций водности средней продолжительностью около 50 лет.

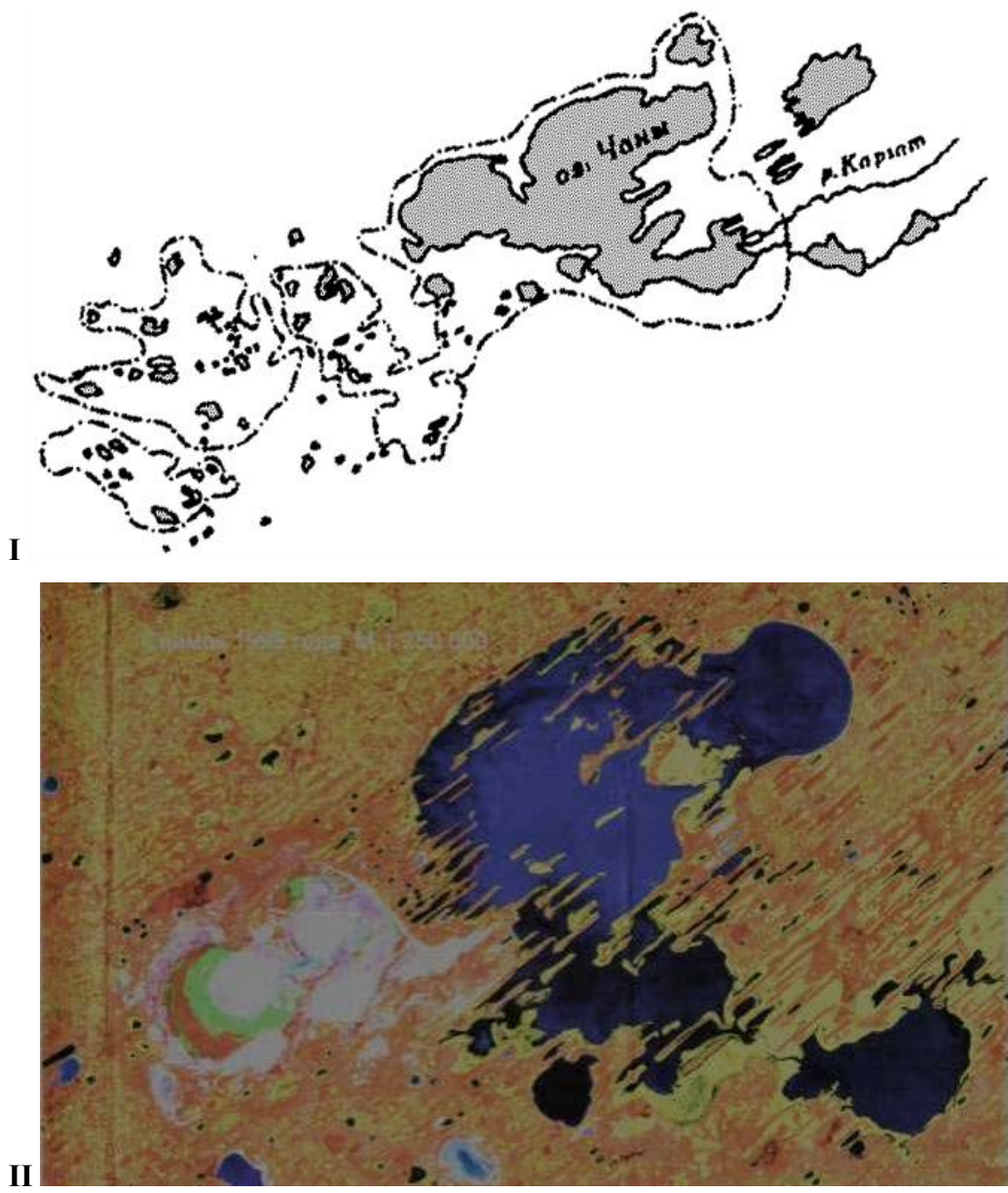


Рис. 2.39. Тенденция усыхания озера Чаны:

- I - из геологической карты начала XX столетия. Пунктирной линией показаны границы отложений пойм и нижних террас, соответствующие границам максимальных разливов вод в конце XVIII века;
- II - космический снимок Чановской озерной котловины 1999 года

Подъем уровня озер происходит в результате насыщения водой почв озерных водосборов в 3-4-х летних фазах переувлажнения, за которыми следуют более длительные спады приточности воды в озера. В конце 1990-х годов в Барабе и Кулунде наметилась фаза внутривекового подъема осадков и водности рек, причем более заметно она проявляется в южной части территории. Межгодовые колебания уровня озер определяются речным притоком, а длительные тенденции – испаряемостью, связанной с температурным фоном, который в последние десятилетия повышается (рис. 2.40). При значительной доле болотного питания повышение испаряемости приводит к понижению водности рек. Это объясняется снижением водоотдачи торфяных почв из-за их иссушения, что прослеживается на рис. 6 в обратной связи интегральных кривых стока Оми и температурного фона в бассейне.

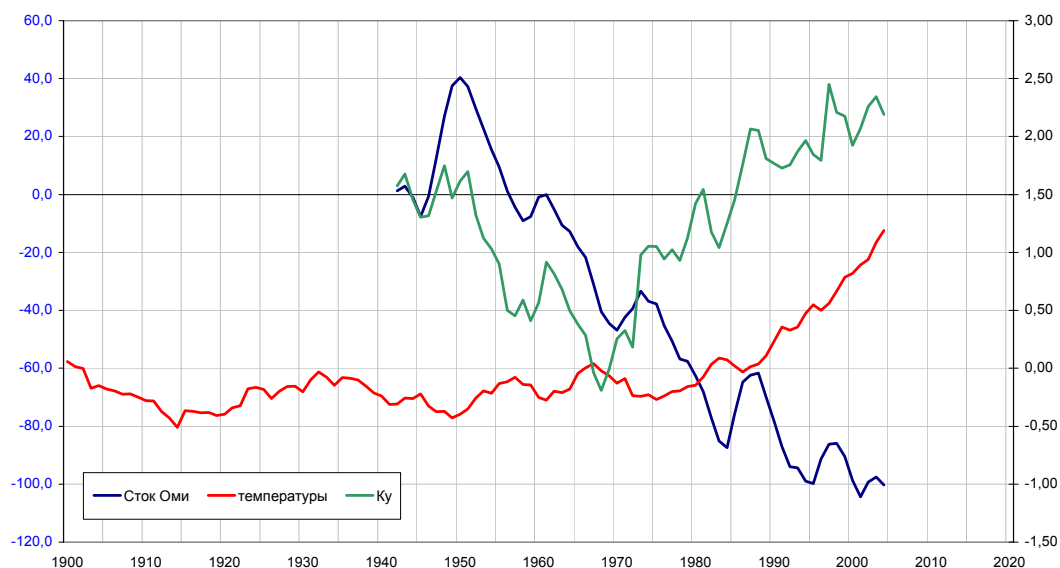


Рис. 2.40. Суммы аномалий модульных коэффициентов температур (испаряемости), коэффициента увлажнения по Барабинску и стока Оми у Куйбышева (нормы рассчитаны за 1930-1980 гг.)

Учитывая, что большая часть территории Сибири находится в труднодоступной местности, в технологии космогеопргноза широко применяется информация о состоянии атмосферы и гидросферы со спутников Земли. Эта информация необходима и для астрогеофизической идентификации аномальных гидрометеорологических процессов. Например, космический снимок атмосферы 3 сентября 2008 г. (рис. 2.41) совмещен с астрогеофизическими факторами, рассчитанными по специальным программам на тот же момент. Эти факторы показаны в виде разноцветных линий с соответствующими обозначениями на нижних шкалах, которые отражают проекции стоячих волн лунных и солнечно-планетных приливов, а также компоненты лунно-солнечных приливов на поверхности Земли. Конкретная конфигурация данных факторов в рассматриваемом примере позволяет, в частности, объяснить меридиональный атмосферный фронт, проходящий над территорией Обского бассейна после длительного дефицита осадков и маловодья на реках.

Подобные сопоставления приводят к пониманию действия стоячих и поступательных волн в атмосфере и установлению для заданных бассейнов детерминированных геокосмических связей. Моделирование таких связей основывается на расчетах динамики приливных волн и геокосмических резонансов в атмосфере (в прошлое и на будущее), и аппроксимации гидрометеорологических рядов наборами циклических компонент, отражающих эту динамику. Это позволяет заблаговременно рассчитывать время и место проявления стационарных антициклонов и связанной с ними засушливости, или барических воронок, облачности и осадков. Особое внимание уделяется проявлению над бассейнами крупных геокосмических резонансов, вызывающих сильные осадки и наводнения либо маловодья, и соответствующие чрезвычайные ситуации.

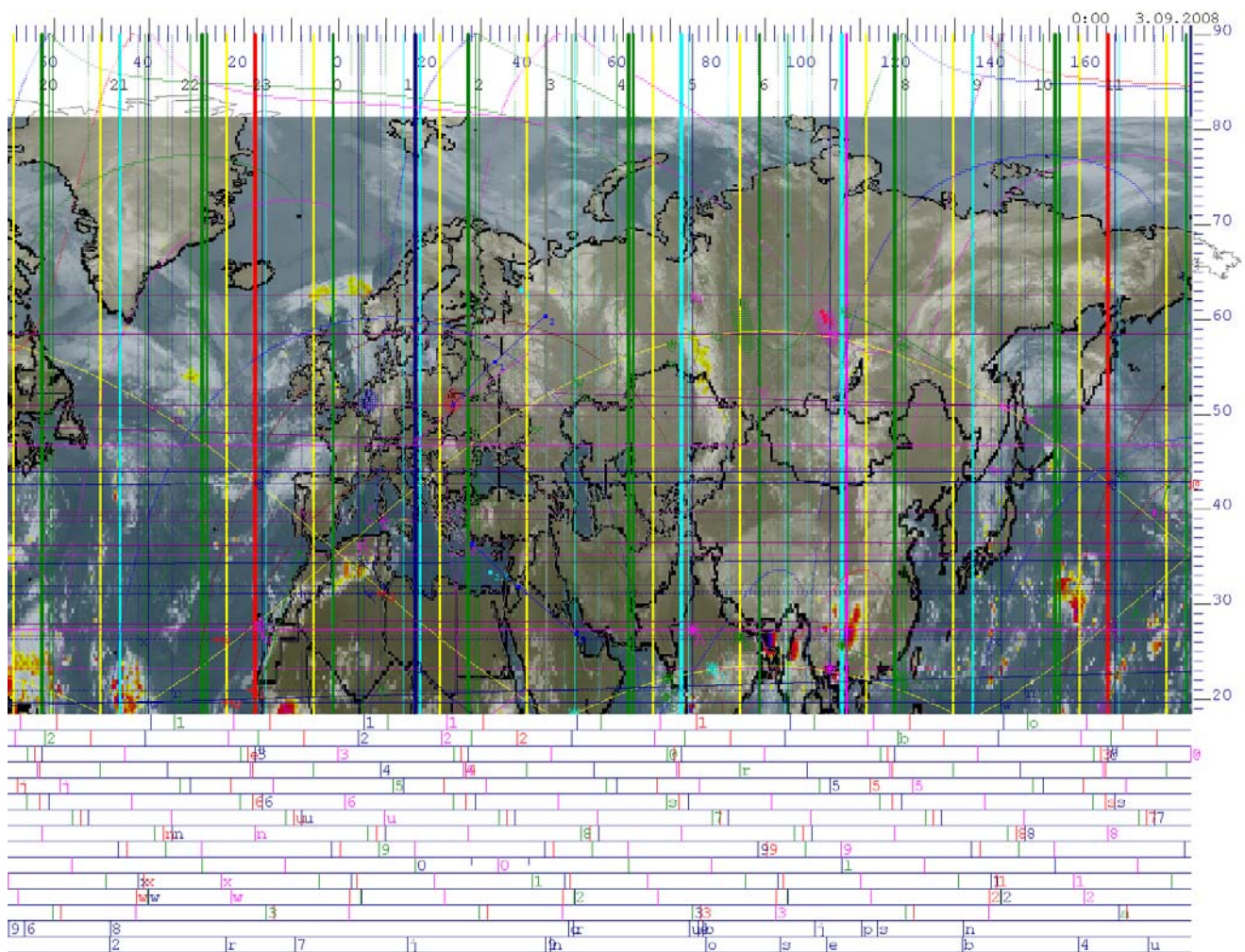


Рис. 2.41. Космический снимок атмосферы на 0 часов Всемирного времени 3 сентября 2008 г. с наложенными проекциями лунно-плането-солнечных приливных волн

Способы прогнозирования технологии космогеопрогноза описаны в работах и защищены патентами на изобретения (RU 2164029, RU 2164030 от 12.04.2000 г.). Эти способы, в соответствии с традиционной классификацией метеорологических прогнозов, ближе всего к: а) сезонным прогнозам – описанию осредненных гидрометеорологических параметров, выраженных в виде отклонений от климатических величин; б) прогнозам изменчивости климата на срок свыше 2-х лет – описанию ожидаемых параметров климата, связанных с изменением межгодовых и внутривековых климатических аномалий; в) прогнозированию климата – описанию будущего климата с учетом влияния естественных и антропогенных факторов.

Необходимость совершенствования данных способов продиктована тем, что схемы инженерной гидрологии, основанные на математической статистике, позволяют рассчитывать параметры водорегулирующих сооружений, однако с помощью их практически невозможно рационально спланировать тактику регулирования водных ресурсов. Поэтому для адаптации водохозяйственных отраслей к природной изменчивости влагооборота необходимы прогнозы увлажнения, водности рек и озер с сезонной и многолетней заблаговременностью. Реальная ценность таких прогнозов определяется уровнем их оправдываемости более 75%, т. е. прогнозы должны оправдываться, как минимум, в 7-8 случаях из 10. При этом достоверность долгосрочных гидрометеорологических прогнозов, построенных по традиционным схемам, не превышает 65%, что недостаточно для их практического применения.

Поэтому главное внимание в предыдущих исследованиях и в данной работе сосредоточивается на повышении достоверности долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов гидрометеорологических аномалий в больших и малых бассейнах. Обобщение опыта сверхдолгосрочных прогнозов аномалий водности сибирских рек, выданных в 1994-2003 гг. для гидроэнергетической отрасли, и в 1997-2008 гг. для объектов водного хозяйства и служб природопользования Новосибирской области, показывает следующее. Выданные прогнозы показали устойчивую оправдываемость более 80%. В эти годы не было крупных ошибок в прогнозах наводнений и маловодий, о чем свидетельствуют отзывы специалистов и руководителей отраслей. На основе прогнозов приточности в водохранилища Енисейских ГЭС, использованных Объединенным диспетчерским управлением энергосистемами Сибири, был получен эффект на миллиарды рублей, в основном за счет сокращения упущенной выгоды при уменьшении холостых сбросов воды на ГЭС.

Блок 2. Особенности формирования стока в бассейнах рек Верхней Оби

2.1. Ландшафтно-гидрологический подход (отв. исп. д.г.н. Г.В. Белоненко)

Коэффициент увлажнения деятельной поверхности K_n характеризует не только меру соответствия фактических условий увлажнения оптимальным, но также и (при прочих равных условиях, например, шероховатость, уклон земной поверхности и т.п.) гидролого-климатические условия формирования стока на речном бассейне. Рассмотрение водного баланса наиболее изученных в гидрологическом отношении речных бассейнов исследуемой и сопредельной территории, расположенных в разных природно-климатических условиях, является убедительным этому подтверждением (рис. 2.42). Когда при возрастании значений K_n значения коэффициентов стока на всех речных бассейнах закономерно возрастают.

В разработанных уравнениях связи водного и теплоэнергетического баланса различие условий и особенностей формирования стока учитывается в параметрической форме значениями параметров n и m этих уравнений. В частности, для большинства рассмотренных речных бассейнов значения параметра n находятся в диапазоне от 1,0 до 3,0 (рис. 2.41). При этом достоверно установлено, что возрастанию значений K_n соответствует уменьшение параметра n , а, следовательно, и увеличение (при прочих равных условиях) значений годового стока и его составляющих. Генетически это связано, скорее всего, с тем, что большему увлажнению речного бассейна соответствуют меньшие потери ресурсов влаги на начальной стадии формирования стока.

Исследование влияния уровня увлажнения деятельной поверхности (K_n) на структуру суммарного стока (рис. 2.42) показало, что практически при любом уровне увлажнения как величина коэффициента поверхностного стока, так и его приращение всегда существенно выше аналогичных значений подземной составляющей суммарного стока и согласуется с общетеоретическими представлениями о процессе формирования стока.

При этом максимальное значение коэффициента подземного стока, обусловленного зональными условиями его формирования для рассмотренных речных бассейнов исследуемой территории, не превышает $\eta_2 = 0,15$.

Обусловленность структуры влагооборота вообще и годового стока в частности преимущественно климатическим звеном влагооборота подтверждается также и рассмотрением относительных величин влагооборота на речных бассейнах, расположенных в разных природно-климатических зонах.

Вместе с этим изменчивость параметра n рассмотренных речных бассейнов (рис. 2.42) убеждает в очевидном влиянии на сток и его структуру особенностей строения

речного бассейна. Выполненный численный эксперимент и фактические данные показали, что при одинаковом увлажнении, но разных условиях формирования стока, характеризуемых параметром n , значения коэффициентов стока могут значительно (в 1,5...2,0 раза) отличаться.

Изменчивость годового стока, равно как и его величина, на территории Западной Сибири определяется временной изменчивостью ресурсов влаги и суммарного испарения. В общем виде зависимость стандарта годового стока σ_Y от среднеквадратических отклонений увлажнения σ_j и испарения σ_Z имеет вид:

$$\sigma_Y = (r_{H,Z} \cdot \sigma_H - \sigma_Z) / r_{Z,Y}, \quad (1)$$

где $r_{H,Z}, r_{Z,Y}$ - коэффициенты вариации между соответствующими элементами уравнения водного баланса.

Как показали расчеты, значения коэффициентов корреляции между элементами влагооборота характеризуются не одинаковой пространственной изменчивостью. При этом наименьшей территориальной изменчивостью отличаются значения $r_{H,Y}$. Закономерно возрастание $r_{H,Z}$ с севера на юг и связано с возрастанием роли ресурсов влаги в формировании суммарного испарения и стока, особенно в условиях недостаточного увлажнения.

Обобщение разрозненных эмпирических данных ГВК об изменчивости годового стока рек Западной Сибири позволило установить достаточно надежную зависимость для предварительной оценки коэффициента вариации годового стока \tilde{N}_{V_Y} :

$$C_{V_Y} = 4.64 \cdot Y^{-0.54} \quad (2)$$

Взаимосвязь \tilde{N}_{V_Y} с величиной годового стока Y очевидна и объясняется наличием подобной взаимосвязи \tilde{N}_{V_H} и ресурсами влаги – главного гидролого-климатического фактора формирования стока. В соответствии с зависимостью (2) экстремальными значениями \tilde{N}_{V_Y} являются 0,20...0,21 – на севере и более 1,2...1,3 – на юге Западной Сибири.

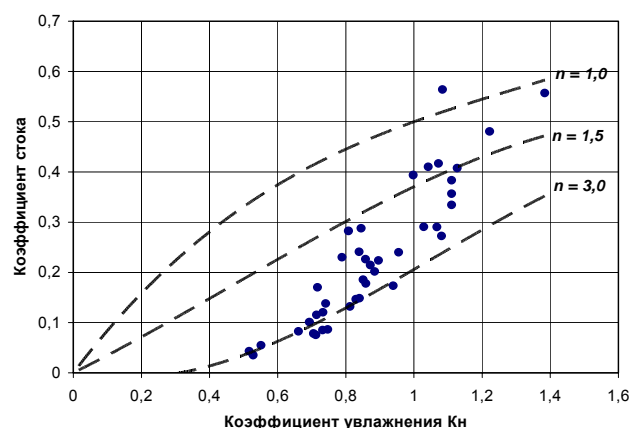


Рис. 2.42. График связи коэффициентов стока и коэффициентов увлажнения речных бассейнов

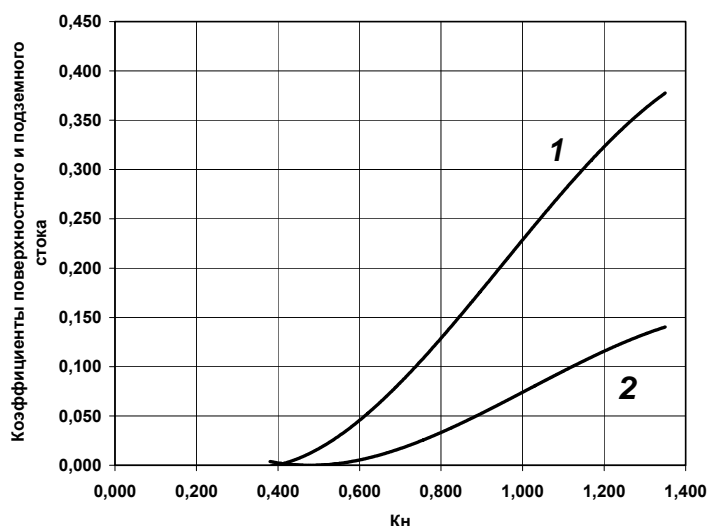


Рис. 2.43. Графики связи коэффициентов поверхностного (1) и подземного стока (2) с коэффициентом увлажнения K_n

2.2. Моделирование составляющих водного баланса (отв. исп. к.г.н. В.П. Галахов)

В 2005–2007 г. были рассмотрены особенности формирования поверхностного стока в лесостепных (бассейны рек Кулунды и Суетки) и трех горных районах с различными физико-географическими условиями: бассейн реки Локтевки – среднегорный и низкогорный район, западная оконечность Алтае-Саянской горной страны; бассейн реки Чумыш – наветренный склон Салаирского кряжа, низкогорный район; бассейн реки Ини – подветренный склон Салаирского кряжа, низкогорный район. Все эти районы характеризуются различными ландшафтно-гидрологическими условиями формирования поверхностного стока. В 2008 г. рассмотрен степной бассейн: бассейн реки Кучук и Кучукского озера.

Район озера Кучукского с точки зрения водного хозяйства и управления водными ресурсами в бассейне озера является одним из интереснейших районов Алтайского края. Равнинные реки Алтайского края хороши тем, что в период половодья талый сток, формирующийся из твердых осадков, составляет подавляющую часть (рис. 2.44).

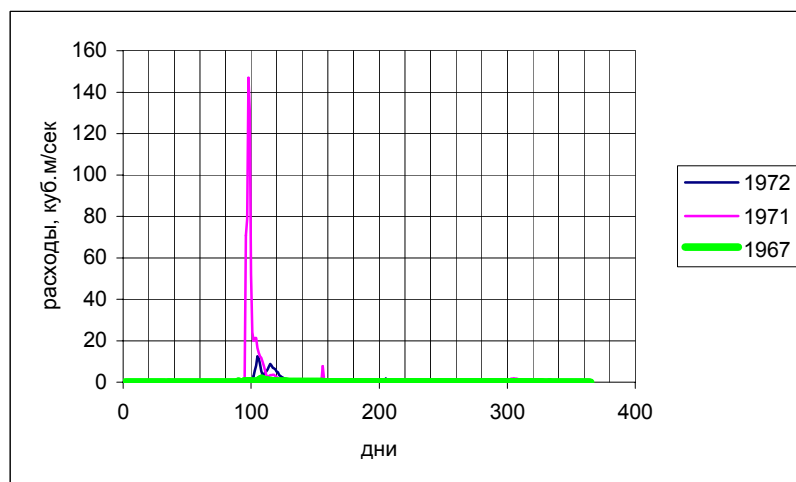


Рис. 2.44. Хронологический ход расходов воды в створе реки Кучук – пост Н.Кучук за год: средний по водности (1972 г.), год – близкий к многоводному (1971 г.), год – близкий к маловодному (1967)

Зная количество твердых осадков в марте, мы можем прогнозировать поверхностный сток за данный балансовый год и, соответственно, решать, какое количество воды необходимо подать в акваторию озера из внешних источников, например по Кулундинскому каналу, т.е., управлять водными ресурсами.

Разработана имитационная модель и проведено численное моделирование формирования стока в исследуемом бассейне. Численное моделирование реакции озерно-речных систем на примере Кучукской озерно-речной системы, показало, что наиболее значительное влияние на составляющее водного баланса имеет увлажнение территории. Изменение термического режима оказывает воздействие, примерно в 3–4 раза меньше (табл. 2.4-2.7).

Таблица 2.4

Составляющие водного баланса (мм) бассейна реки Кучук по створу Н. Кучук за период 1967-68 – 1979-80 балансовые годы. Период используется для проверки модели.

Балансовый год	Осадки, мм	Испарение, мм	Потери, мм	Сток _{измер.} , мм	Сток _{расч.} , мм
1967-68	264,3	114,9	69,3	6,84	10,37
1968-69	385,5	138,3	128,8	19,62	15,33
1969-70	347,8	149,7	142,9	20,07	27,75
1970-71	416,2	181,5	110,6	67,65	48,42
1971-72	404,9	183,9	100,9	22,94	14,69
1972-73	312,7	138,3	66,63	33,66	28,08
1973-74	282,4	126,2	87,34	25,90	17,58
1974-75	312,5	136,5	67,11	25,64	40,80
1975-76	356,9	140,9	125,5	13,08	17,10
1976-77	332,6	157,4	89,03	22,14	25,20
1977-78	306,1	149,2	54,40	23,15	31,09
1978-79	362,6	149,6	95,50	17,84	13,48
1979-80	291,8	160,6	84,22	14,41	21,28

Таблица 2.5

Водный баланс озера Кучукского по средним многолетним данным, мм слоя зеркала озера (W– объем составляющих баланса озера при площади F =166 км²)

Месяц	W _{поверхн.}	W _{подземн.}	W _{осадков}	W _{испарения}	ΔW
11	3.18	2.646	.000	9.58	-3.75
12	2.05	2.646	.000	2.82	+1.87
1	1.42	2.646	.000	1.56	+2.51
2	1.03	2.646	.000	.39	+3.29
3	.782	2.646	.000	2.82	+0.61
4	89.73	2.646	91.03	39.05	+144.3
5	20.21	2.646	21.97	58.69	-13.86
6	9.19	2.646	29.01	86.41	-45.56
7	6.16	2.646	38.05	92.95	-46.09
8	5.01	2.646	36.04	76.32	-32.63
9	4.16	2.646	25.95	53.74	-20.98
10	5.43	2.646	24.74	29.34	+3.48
Сумма	148.4	31.75	266.8	453.7	-6.78
Процент	33,2	7,1	59,7	100,0	-1,5

Для оценки достоверности полученной модели оценена регрессионная связь между наблюдаемым и расчетным уровнями озера Кучукского (рис. 2.45).

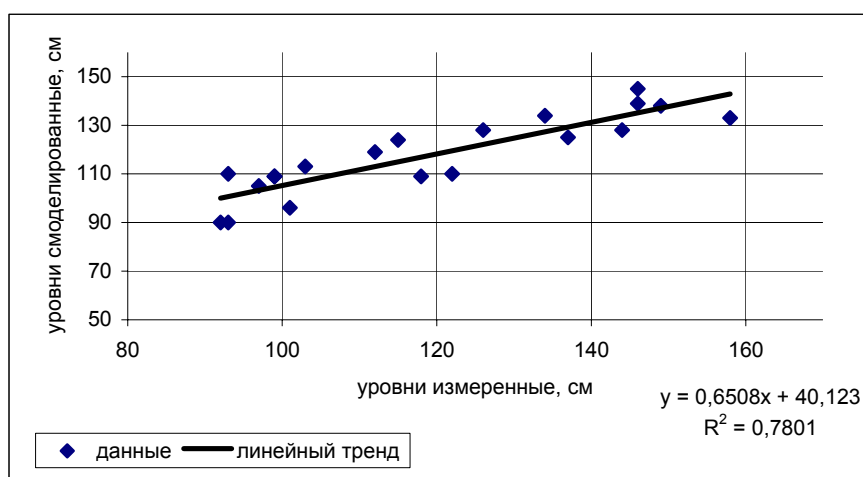


Рис. 2.45. График связи между наблюдаемым и расчетным уровнями зеркала озера Кучук

Таблица 2.6

Изменение балансовых характеристик озера Кучукского при изменении термического режима, но при неизменных осадках (мм)

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$W_{\text{поверхн. стока}}$	$W_{\text{подземн. стока}}$	$W_{\text{осадков}}$	$W_{\text{испарения}}$	ΔW
+2,0	138,7	31,75	266,8	521,5	-84,33
+1,5	141,3	31,75	266,8	504,0	-64,19
+1,0	143,8	31,75	266,8	486,9	-44,57
+0,5	146,1	31,75	266,8	470,1	-25,45
0,0	148,4	31,75	266,8	453,7	-6,78
-0,5	150,5	31,75	266,8	437,6	11,43
-1,0	152,5	31,75	266,8	421,8	29,23
-1,5	154,4	31,75	266,8	407,1	45,89
-2,0	156,3	31,75	266,8	393,3	61,46

Таблица 2.7

Изменение балансовых характеристик озера Кучукского при изменении годового количества осадков, но при неизменных температурах (мм)

$\Delta X, \text{мм}$	$W_{\text{поверхн. стока}}$	$W_{\text{подземн. стока}}$	$W_{\text{осадков}}$	$W_{\text{испарения}}$	ΔW
+50,0	182,0	31,75	325,2	453,7	85,28
+25,0	165,1	31,75	296,0	453,7	39,24
0,0	148,4	31,75	266,8	453,7	-6,78
-25,0	131,6	31,75	237,6	453,7	-52,71
-50,0	114,9	31,75	208,3	453,7	-98,64

В условиях ненарушенного водного режима при современных климатических условиях поверхностный приток должен составлять 33%, приток грунтовых вод – 7%, осадки на акваторию озера – 60%, испарение – 100 %. Водный баланс озера при современном климате должен быть слабо отрицательным – -7 мм/год (табл. 2.2.2).

Однако, вследствие хозяйственной деятельности (строительство прудов и забор воды на хозяйственные нужды), из поверхностного стока реки Кучук забирается примерно 18% современного объема стока. Для того, чтобы поддерживать нейтральный водный баланс озера, в него должно подаваться ежегодно (в среднем) 5,5 млн. м³ в год. От года к году эта величина может значительно варьировать. Конкретное количество воды за данный конкретный год можно просчитать, зная количество твердых осадков за март и осеннее увлажнение.

Значительное изменение составляющих водного баланса будет наблюдаться при дальнейшем глобальном потеплении и уменьшении зимних осадков. При уменьшении годовой суммы осадков на 50 мм водный баланс озера Кучукского будет равен -125 – -130 мм. В подобном состоянии за 10 лет уровень зеркала озера упадет более чем на 1 м.

Полученная модель позволяет при известных входных метеорологических параметрах и потерях воды на хозяйственные нужды рассчитать необходимое количество воды, которое должно поставляться в озеро от внешних источников для поддержания стабильного водного баланса.

2.3. Математические модели гидрологических рядов

Построению прогностических моделей уровней, расходов и объемов стока рек предшествует анализ связей данных параметров с компонентами увлажнения и влагооборота в бассейнах. Особенности формирования стока в бассейне Оби и моделирование гидрологических рядов рассматриваются на примерах малого бассейна р. Оми и р. Оби в замыкающем створе.

На рис. 2.46 показана связь колебаний стока р. Оми у Куйбышева с осадками апреля-мая и значениями коэффициента предшествующего увлажнения (K_{y04-03}) по реперной метеостанции Крещенка. Этот коэффициент (см. рис. 2.46, 2.48) может учитываться на качественном уровне в сезонных прогнозах уровней весеннего половодья. Пример такого прогноза для р. Оми на 2007-2008 годы, основанного на аппроксимации геокосмических связей, приведен на рис. 2.49.

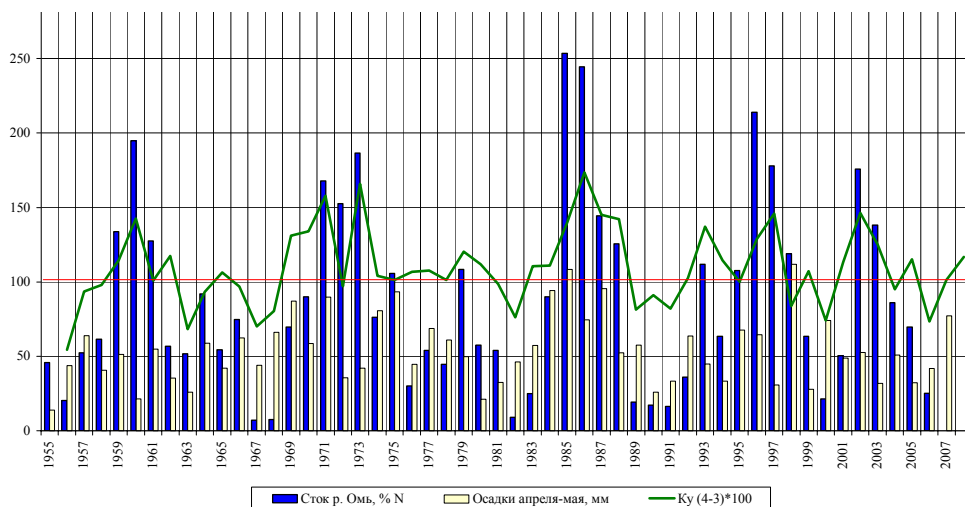


Рис. 2.46. Коэффициенты увлажнения, осадки весны по метеостанции Крещенка K_{y04-03} (с апреля предыдущего года по март текущего) и сток реки Омь (п. Куйбышев) в % от нормы

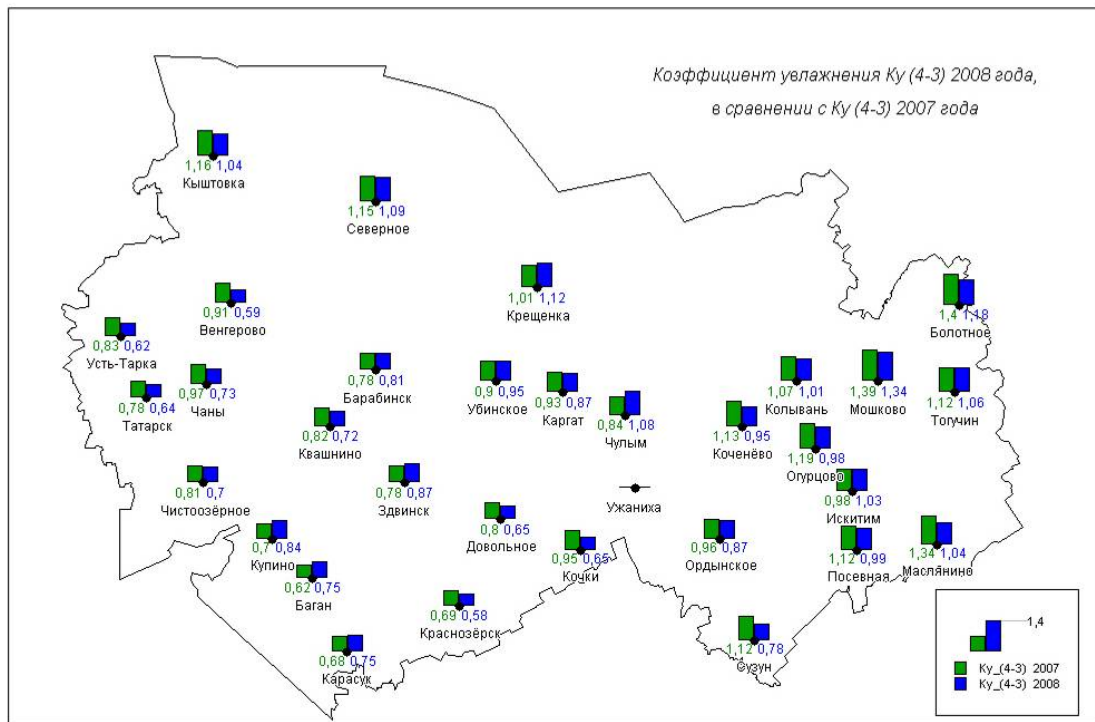


Рис. 2.47. Коэффициенты предшествующего увлажнения $K_y(04-03)$ по данным метеостанций Новосибирской области в 2007-2008 годы

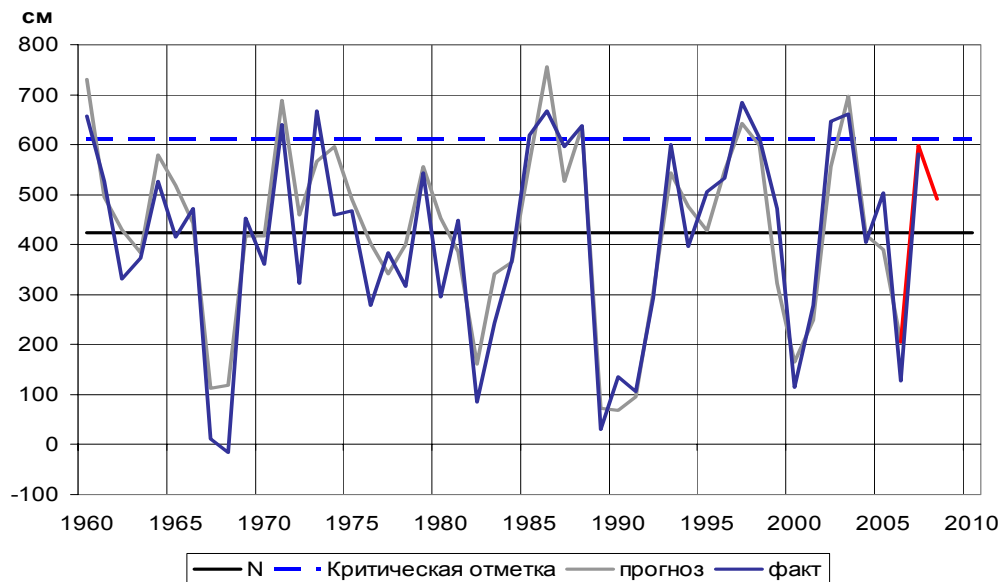


Рис. 2.48. Прогноз максимального уровня реки Обь (Куйбышев)

Математическое описание (моделирование) геокосмических связей во временных рядах позволяет количественно оценивать ожидаемые гидрологические условия в заданных бассейнах. Первоочередной интерес представляют математические модели на основе астрогеофизической интерпретации выводов спектрального анализа исходных гидрологических рядов. Колебания водности рек в таких моделях (см. примеры на рис. 2.48, 2.49) выражаются суммами синусоид, которые показывают долговременные

тенденции приливных волн над заданными бассейнами. Максимумы синусоид соответствуют проявлению узлов и воронок приливных волн, циклональному характеру погоды и повышенным осадкам, а минимумы синусоид – проявлению гребней приливных волн, устойчивым антициклонам и дефициту осадков. Пример расчета и обоснования исходных астрогеофизических циклов, проявляемых в данных моделях, показан в таблице.

Более подробно схема построения прогнозной модели колебаний годового стока рассматривается на примере р. Оби у Салехарда (рис. 2.49).

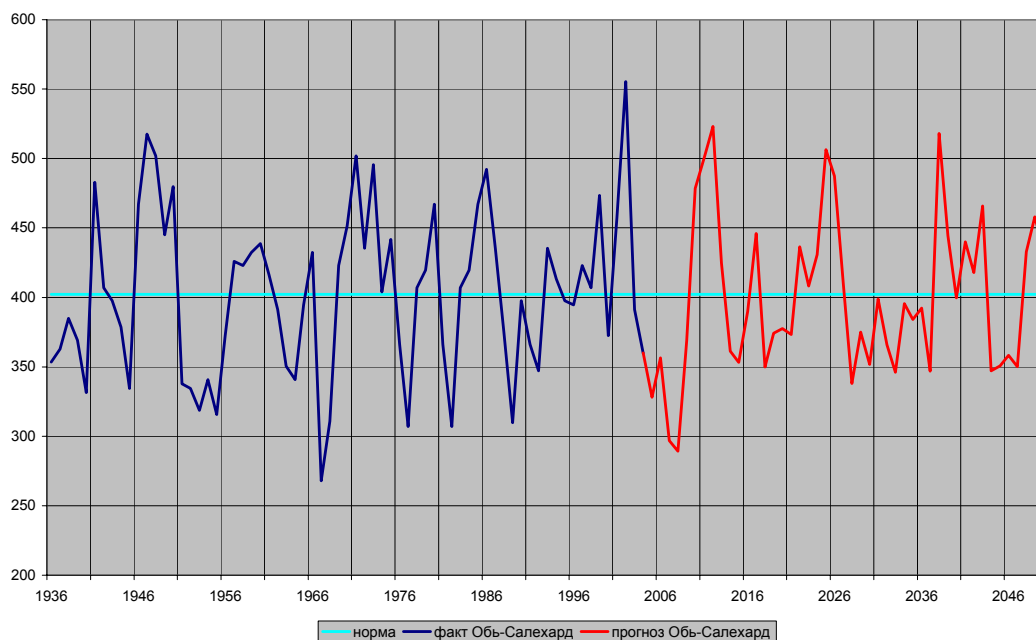


Рис. 2.49. Колебания объемов стока р. Оби у Салехарда за 1936-2004 гг. (км³) и вариант прогноза на 2005-2050 годы

Циклические компоненты модели в годах:

2,16	2,42	3,00	3,67	4,61	6,46	8,85	13,20
2,32	2,61	3,28	4,01	5,21	7,70	10,39	24,00

В структуре исходного гидрологического ряда, в данном случае объемов стока Оби за 1936-2004 годы, выделяется серия циклических компонент. Каждой из этих компонент дается астрогеофизическое обоснование. По обоснованному таким образом набору ритмов проводится аппроксимация ряда в виде суммы синусоид, параметры (амплитуда, период, фаза) которых рассчитываются с помощью модифицированного метода комплексной экспоненциальной аппроксимации, в прогностическом приложении названного способом «Спектр»:

$$Y(t) = F \left[\sum_{j \in J} h(\lambda_j(t)), c \right],$$

где $\lambda_j(t)$ - детерминированная (синусоидальная) характеристика факторов j из множества J с весовыми коэффициентами или функциями $h(\lambda_j)$, с помощью которых по амплитуде оценивается вклад этих факторов в динамику моделируемого ряда $Y(t)$; c - константа.

Определяются коэффициенты модели и находится стандартная ошибка на основе метода наименьших квадратов, т. е. минимизируется Δ :

$$\Delta = \min_{c,h(\lambda_j)} \sum_{k \in K} [Y(t_k) - R(t_k)]^2,$$

где $R(t_k)$ - исходный гидрологический ряд; k - индекс года.

Аппроксимированные таким образом значения стока Оби за 1936-2004 годы, экстраполируются на будущее (2005-2050 годы), что и является вариантом прогноза. Аппроксимированные и фактические значения ряда при этом практически совпадают. Данная процедура внешне может напоминать разложение в ряд Фурье. Однако сходство здесь ограничивается только видом синусоидальных компонент, каждая из которых имеет конкретное астрогеофизическое толкование (см. табл. 2.8).

Достоверность построенной модели должна оцениваться подтверждением исходной гипотезы. Согласно данной гипотезе, нам в принципе известны вид и положение элементарных циклов в структуре исследуемого ряда, например, годы их экстремальных значений, а в расчетной программе предусмотрена возможность независимо вычислить это положение. Если последнее соответствует исходной гипотезе, то это рассматривается как ее подтверждение, и служит своеобразным критерием оценки достоверности построенной модели.

Другим критерием является точность «прогноза-экзамена», при котором несколько значений ряда (число их обычно соответствует заблаговременности прогноза) в расчетах не участвуют, и на них дается прогноз.

Таблица 2.8

Некоторые резонансные сочетания астрогеофизических циклов

Фактор	Цикл (T ₁)	T _p - циклы в годах											
Юпитер (5)	11,86		8,46	5,07	7,24	6,96	3,98	7,15	5,11	7,42	4,94	9,89	4,50
Сатурн (6)	29,46	19,85		6,81	11,41	10,72	4,98	11,18	6,89	11,86	6,57	19,71	5,81
Апсида Луны (9)	8,85	34,87	12,65		6,00	5,80	3,58	5,94	4,46	6,12	4,33	7,70	3,98
Узел Луны (10)	18,61	32,70	50,53	16,87		8,84	4,54	9,16	6,06	9,61	5,82	14,18	5,21
[9x10] (-)	16,84	40,10	39,31	18,65	177		4,42	8,71	5,86	9,11	5,63	13,13	5,06
[9x10] (+)	6,00	12,14	7,53	18,63	8,85	9,32		4,50	3,60	4,61	3,51	5,45	3,28
Сарос	18,03	34,66	46,47	17,38	579	256	8,99		6,00	9,45	5,76	13,84	5,17
Сарос x [9x10] (+)	8,99	37,15	12,94	568	17,39	19,29	18,04	17,93		6,19	4,36	7,81	4,01
[5x6] (-)	19,85	29,46	60,85	15,97	298	111	8,60	197	16,43		5,93	14,89	5,31
[5x6] (+)	8,46	29,51	11,87	192	15,51	17,00	20,63	15,94	144	14,74		7,41	3,90
3*[5x6] (-)	59,55	14,81	58,30	10,39	27,07	23,48	6,67	25,86	10,59	29,78	9,86		6,46
5x10	7,24	18,59	9,60	39,80	11,85	12,70	35,03	12,10	37,19	11,40	50,21	8,24	
	(T ₂) →	11,86	29,46	8,85	18,61	16,84	6,00	18,03	8,99	19,85	8,46	59,55	7,24
		(5)	(6)	(9)	(10)	[9x10] (-)	[9x10] (+)	Сарос	Сарос x [9x10] (+)	[5x6] (-)	[5x6] (+)	3*[5x6] (-)	5x10

Знак x в таблице показывает процедуру расчета по формуле: $1/T_p = 1/T_1 \pm 1/T_2$

Реализация в данных расчетах схемы прогноза-экзамена на 5-10 и более лет показывает, что достигнутая достоверность аппроксимации геокосмических связей и

соответственно сверхдолгосрочных прогнозов стока рек и уровня водоемов составляет более 80% процентов. Это означает, что в прогнозах на 10 лет могут оказаться практически значимые неточности лишь в 2-х годах. Проведение по таким моделям водохозяйственных расчетов и планирование водохозяйственной стратегии становится вполне допустимым. В решении тактических водохозяйственных задач неточности сверхдолгосрочного прогнозирования могут быть скорректированы данными ежегодных гидрологических прогнозов.

Основная задача исследований заключается в адаптации технологии космогеопрогноза к анализу пространственно-временной изменчивости и сверхдолгосрочному (на годы вперед) прогнозированию характеристик влагооборота и увлажнения на территории Сибири.

В процессе исследований разработаны новые схемы представления на картах и графиках гидрометеорологических параметров, проведен анализ временной изменчивости интегральных характеристик влагооборота – коэффициентов увлажнения, речного стока, уровня озер. С использованием модели почвенно-климатического зонирования, основанной на делении по «золотой» пропорции шкал коэффициентов теплообеспеченности и увлажнения, количественно определены границы географических поясов и агроклиматических зон и подзон. На основе понятия типа увлажнения, идентифицируемого с границами подзон лесов, лесостепей, степей, получены оценки пространственно-временной изменчивости увлажнения на территории Западной Сибири.

Разработаны новые схемы, соединяющие информацию мониторинга атмосферы и гидросферы на метеостанциях и водпостах, с данными космического зондирования Земли и вычисляемыми по специальным программам астрогеофизическими факторами как предикторами прогнозных гидрометеорологических моделей.

Проведенный анализ многоциклической изменчивости составляющих влагооборота в бассейнах рек и озер приводит к более глубокому пониманию космогеофизической природы этой цикличности. Суть проблемы состоит в том, что процессы влагооборота в атмосфере и гидросфере формируются под влиянием не только земных факторов - общей циркуляции атмосферы и океана, рельефа, почв, растительности бассейнов, но и внешних циклических факторов - лунных, лунно-солнечных, плането-солнечных приливных волн, - которые рассчитываются по законам небесной механики. В традиционных методах учитываются лишь первые факторы, и оправдываемость долгосрочных гидрометеорологических прогнозов по ним не превышает 65%, а реальная ценность таких прогнозов определяется уровнем оправдываемости более 75%. Однако именно внешние факторы, наложенные на земные процессы, определяют детерминированные астрогеофизические факторы динамики влагооборота, рассчитываемые способами космогеопрогноза в прошлое и на будущее.

Обобщение опыта сверхдолгосрочного прогнозирования аномалий водности сибирских рек и озер в 1994-2008 годы показало, что выданные прогнозы показали оправдываемость устойчиво выше 80%. В эти годы не было крупных ошибок в прогнозах наводнений и маловодий, о чем свидетельствуют отзывы специалистов и руководителей отраслей природопользования. На основе прогнозов приточности в водохранилища Енисейских ГЭС, использованных Объединенным диспетчерским управлением энергосистемами Сибири, был получен значительный экономический эффект, в основном за счет сокращения упущенной выгоды при уменьшении холостых сбросов воды на ГЭС. Необходимо заметить, что оправдываемость сверхдолгосрочных прогнозов была сопоставима с оправдываемостью оперативных гидрологических прогнозов.

В рамках проводимого исследования прогнозные модели аномалий водности рек математически описываются наборами детерминированных циклических параметров. Данные параметры отражают астрономически обусловленные приливные волны,

определяющие динамику циклонально-антициклональных волновых процессов в атмосфере и фазы атмосферных осадков. Реализация в моделях схем «прогноза-экзамена» на 5-10 лет показывает, что достоверность аппроксимации геокосмических связей, соответственно сверхдолгосрочных прогнозов аномалий водности рек, составляет более 80%. Это означает, что в прогнозах могут быть практически значимые неточности лишь в 2-х годах из 10 лет. Крупные аномалии водности рек можно рассчитывать практически без ошибок, а неточности сверхдолгосрочного прогнозирования при решении водохозяйственных задач могут быть скорректированы данными ежегодных гидрологических прогнозов.

Представленные материалы являются основанием для рекомендации применения технологии космогеопргноза в практике водохозяйственных расчетов, планирования водохозяйственной стратегии, решения задач регулирования водных ресурсов рек и озер.

Климатический сценарий. Изменения текущего климата рассматриваются на фоне палеоклиматических индикаторов голоцена (около 12 тыс. лет) и верхнего плейстоцена (130 тыс. лет), в связях с астрономическими факторами М. Миланковича. В качестве глобальных индикаторов используются колонки льда в Гренландии и Антарктиде, уровень океана, связанный с динамикой ледников, в частности, убыванием льдов в валдайскую ледниковую эпоху (по Р. Фейрбриджу). Региональными индикаторами климата являются колебания водности внутренних бассейнов (Каспийское море, озеро Чаны), почвы, дендрологические шкалы за последние века.

Действие астрономических факторов на климат - циклов прецессии и вращения большой полуоси земной орбиты, наклона земного экватора продолжительностью соответственно 26, 21 и 40 тыс. лет, - нами объясняется, прежде всего, механизмом каналовых приливов. На длительные климатические тенденции накладываются циклы увлажнения продолжительностью около 2 тыс. лет, вызванные дрейфом геомагнитного поля, 360-летние и другие. При этом с помощью механизма Миланковича, увязываемого только с изменением угла наклона Земли к Солнцу, можно объяснить четверть амплитуды колебаний глобальной температуры в многотысячелетних фазах потепления и похолодания.

Каналовые эффекты в атмосфере и океане от действия лунных и плането-солнечных приливов, на фоне изменения эксцентриситета земной орбиты и факторов Миланковича, позволяют полностью объяснить глобальные и локальные изменения климата на планете. Суть механизма каналовых приливов заключается в том, в меридианных каналах атмосферы, например, над территориями Западной Европы либо Якутии, возникают резонансы стоячих приливных волн от действия нескольких астрономических факторов. Гребни стоячих волн вызывают устойчивые антициклоны, а расположенные на 45° от них по обе стороны воронки волн - циклонические депрессии. С устойчивыми антициклонами связаны длительные похолодания и даже оледенения на одних территориях, и благоприятные климатические условия на других. Через тысячелетия ситуация постепенно меняется, и в настоящее время можно отметить следы оледенения в Европе и погребенные черноземы в Якутии.

Погребенные почвы являются палеоклиматическими индикаторами, а современные почвы - интегральными показателями текущего регионального климата, отражаемого в соотношении прихода осадков к испаряемости (определяемой температурным режимом). Например, на протяжении голоцена влажные озерно-болотные фазы на юге Западной Сибири сменялись более сухими, что сопровождалось формированием солонцов, лугово-черноземных и черноземных почв.

Согласно геологическому разрезу Суминского займища (тростникового болота) на восточной окраине Барабинской низменности, совмещенному с палеоботанической диаграммой, современная почва имеет слабо выраженный профиль мощностью 0,1 м.

Далее идут: погребенная почва (1) на песках с горизонтами солонца гидроморфного (мощность слоя 0,92 м), имеющая возраст около 3,5 тыс. лет; погребенная почва (2) лугово-черноземного типа на песках (0,96 м), имеющая датировку около 4,6 тыс. лет назад; и погребенная почва (3) на суглинках федосовской свиты (0,35 м) с датировкой примерно 6,4 тыс. л. н. Формированию 1-й погребенной почвы соответствует распространение на востоке Барабы березово-сосновой лесостепи с вязом. Присутствие вяза позволяет предположить, что увлажнение 3,5 тысячи лет назад здесь было несколько ниже чем в настоящее время, произошла регрессия Суминского палеозера и образование почвы. Вторая погребенная почва (4,6 тыс. л. н.) формировалась в переходный период от атлантического климата к более прохладному суббореальному, о чем свидетельствует присутствие в сосново-березовых лесах пихты. Формирование почвы сопутствовало, вероятно, завершению этого похолодания. Образование третьей погребенной почвы (6,4 тыс. л. н.) приходится на природный оптимум голоцена, идентифицируемый со злаково-разнотравной степью, что указывает на потепление, аридизацию климата, регрессию Суминского палеозера.

Подобная ситуация наблюдается и при современном выходе из «малого ледникового периода», особенно яркая в последнем столетии. На большей части суши Северного полушария с конца 18 века отмечается понижение общей увлажненности в нисходящей фазе 2-тысячелетнего цикла, исследованного наиболее полно А.В. Шнитниковым. В колебаниях уровней Каспийского моря и замкнутых озер дополнительно отражаются фазы 360-летнего и более мелких циклов. Уровень Каспия с конца 18 века понизился на 5 метров, а в 80-90-е годы прошлого века поднялся на 2 метра, несмотря на потери с поверхности Волжско-Камских водохранилищ. Последний всплеск уровня моря связан с фазой повышения увлажнения в его бассейне, то есть на большей части Европейской территории России. Все эти колебания укладываются, однако, в рамки естественных изменений климата.

На рисунке 2.50. показан прогноз, представленный нами в 2003 году на Всемирную конференцию по изменению климата. Прогноз получен по аппроксимации интегрально-разностной кривой среднегодовых температур в Центральной Англии суммой циклических компонент, рассчитанных по методу геокосмических аналогий. Здесь смоделирована связь между характеристикой текущего климата и вычисляемой, согласно законам небесной механики, суммой синусоид, которые отражают действие на атмосферные процессы лунных, плането-солнечных приливов, межпланетных полей. Поиск геокосмических аналогов в прошлом дает нам возможность установить и локализовать время и место максимальных (резонансных) проявлений названных космических ритмов на земном пространстве. Достоверность и точность моделей данного ряда и других временных гидрометеорологических рядов, построенных по изложенной схеме, оценивается с помощью прогноза-экзамена в ретроспективном и перспективном вариантах. Прогноз показывает постепенное уменьшение роста и переход к стабилизации температурного фона к 20-м годам 21 века.



Рис. 2.50. Суммы среднегодовых аномалий температуры воздуха в Центральной Англии и их модель (за норму взята средняя температура за 1659-2002 годы)

Между тем некоторые климатологи связывают современный рост приземной температуры только с усилением парникового эффекта из-за накопления парниковых газов, поглощающих инфракрасное излучение у земной поверхности. Здесь следует иметь в виду весь спектр парниковых газов - водяного пара, озона, метана, при этом доля в них CO_2 не превышает десятой части. Из ряда населенных районов планеты (Северная Америка, Индия и др.) приходят сведения об уменьшении на их территориях притока солнечного света и тепла до 10%. Это можно объяснить, с одной стороны, отражением в космос света от водяных паров верхней атмосферы, и затемнением ее из-за увеличения в воздухе частиц сажи, с другой стороны.

С конца 80-х годов в мире обсуждаются разные климатические сценарии. Обычно говорится о возможном повышении глобальной температуры в текущем столетии из-за парникового эффекта на $1,5-5,5^\circ\text{C}$ и повышении уровня океана на $0,1-0,9$ м, но имеются и сценарии возможного похолодания из-за выбросов вулканического пепла и эффекта «ядерной зимы». Однако интегральные оценки воздействий антропогенных и природных факторов на атмосферу отсутствуют, поскольку неясно, как будет развиваться цивилизация и еще не вполне ясны прогнозы естественных компонент климата.

Блок 3. Эколого-биогеохимическая оценка стока в модельных бассейнах рек Верхней Оби (отв. исп. д.б.н. А.В. Пузанов)

Изучено влияние макро- и микроэлементного состава почвенного покрова водосборных площадей на уровень содержания элементов в поверхностных водах различных физико-географических провинций Алтая. Установлено, что формирование микроэлементного состава поверхностных вод суши происходит в результате процессов, происходящих как в самом водоеме, так и на водосборе, и определяется комплексным воздействием природных и антропогенных факторов.

1. Выявлено и количественно подтверждено, что почвенный покров различных физико-географических провинций Алтая является одним из ведущих факторов, определяющих ионный состав поверхностных вод в летний период, когда максимально проявляются биогеохимические процессы и выражен поверхностный и внутрпочвенный геохимический сток.

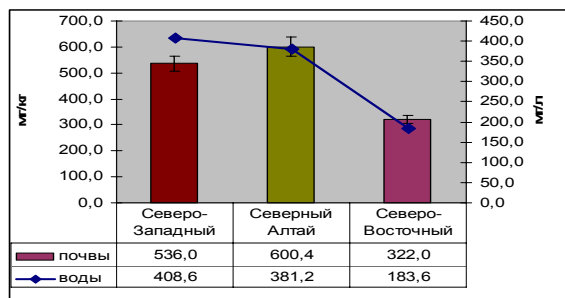


Рис. 2.51. Взаимосвязь ионного состава поверхностных вод и суммы солей в почвах водосборов рек различных физико-географических провинций Алтая.

Проиллюстрировать это можно на примере взаимосвязи уровня общей минерализации воды и суммы солей в почвах водосборов. Так, в среднем, суммарное содержание водорастворимых солей в почвах Северного (600 мг/кг) и Северо-Западного (536 мг/кг) Алтая существенно выше, чем их концентрация в почвах Северо-Восточного Алтая (322 мг/кг). Соответственно, реки Северо-Восточного Алтая, дренирующие почвы с наименьшим содержанием HCO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , отличаются и

наименьшей минерализацией. Таким образом, поверхностный и внутрипочвенный сток является одним из ведущих факторов, определяющих содержание основных катионов и анионов в поверхностных водах (рис. 2.51).

2. Высокие сопряженные уровни концентрации железа и марганца в растениях, почвах и дренирующих их поверхностных водах в поясе черневой тайги, характеризующейся максимально интенсивным биогеохимическим круговоротом, подтверждает типоморфность этих элементов для рассматриваемых ландшафтов.

Так, в водах реки Белая, дренирующей ландшафты с высоким содержанием подвижных форм Fe и Mn – черневую тайгу с кислыми почвами под манганофильной растительностью, обнаружено наибольшее по провинции содержание водорастворимого железа – 200 мкг/л (хотя общее содержание железа в этой реке не высокое – 530 мкг/л). Высокая степень подвижности железа в водах р. Белая объясняется своеобразием биогеохимической обстановки водосборного бассейна и определяется высоким содержанием водорастворимого железа в почвах – 11500 мкг/кг (рис. 5.52).

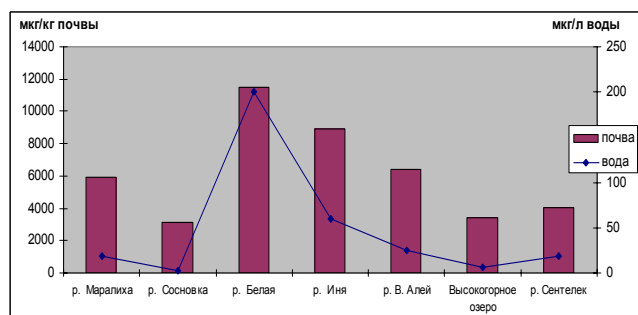


Рис. 2.52. Содержание водорастворимых форм железа в реках Северо-Западного Алтая и почвах их водосборных бассейнов

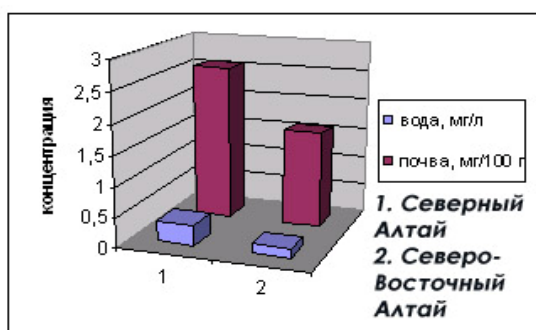


Рис. 2.53. Среднее содержание нитратов в поверхностных водах и почвах различных физико-географических провинций Алтая

3. Уровень концентрации нитратов в поверхностных водах также тесно связан с их содержанием в дренируемых почвах и достигает максимума в водотоках, водосборные бассейны которых являются наиболее освоенными в сельскохозяйственном отношении территориями Северного Алтая (рис. 2.53).

4. Установлено, что одним из ведущих факторов, определяющих качество поверхностных вод Алтая, является антропогенное воздействие на водосбор, при котором в окружающую среду происходит дополнительное поступление именно подвижных форм металлов, поэтому зависимости их концентраций в поверхностных водах от содержания в почвах водосбора становятся более значимыми. Так, наименьшее содержание водорастворимого кадмия обнаружено в водах ($0,06 \pm 0,01$) и водных вытяжках почв Северо-Восточного Алтая ($1,30 \pm 0,31$ мкг/кг почвы). А наиболее высокое содержание

водорастворимого кадмия установлено в почвах ($1,85 \pm 0,51$ мкг/кг) и водах (0,58 мкг/л) более освоенного в сельскохозяйственном отношении Северо-Западного Алтая (рис. 2.54).

Очевидно, как было указано ранее, основным источником и причиной его порой избыточного поступления в поверхностные воды служит площадной смыв с водосбора, почвы которого загрязнены вносимыми ранее фосфорными удобрениями, в которых кадмий содержится в высоких количествах в качестве примеси. Доля водорастворимого кадмия в изученных нами почвах от его валового содержания составляет в среднем 0,2%.

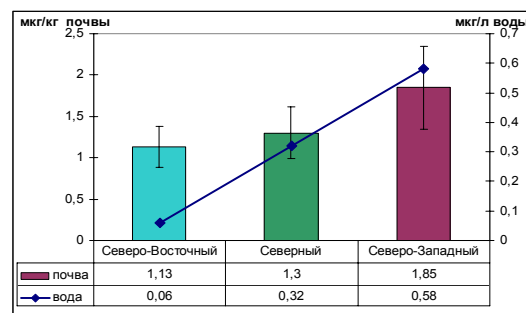


Рис. 2.54. Среднее содержание водорастворимого Cd в поверхностных водах и почвах различных физико-географических провинций Алтая.

5. Ландшафтно-геохимические особенности территорий являются определяющим фактором миграции тяжелых металлов в сопряженные ландшафты. Так, при аналогичной металлогении месторождений, процессы миграции Cu, Zn, Pb более выражены в кислых транзитных ландшафтах с низкой буферностью почв горно-лугового пояса Юго-Восточного Алтая, по сравнению с ландшафтами степной зоны Северо-Западного Алтая, почвенный покров которого представлен черноземами выщелоченными и обыкновенными с высокими депонирующими свойствами.

6. За время многолетнего функционирования предприятий горнодобывающей промышленности Алтая сформировалось умеренно- и высоко интенсивное локально проявленное полиэлементное загрязнение почв на участках размещения отходов, оказывающее влияние на гидрохимический состав поверхностных вод.

Так, концентрации As, Sb, Be, Pb, Cu, Zn, Bi, Co, Sn, Mo, Ag в почвах в пределах вторичных геохимических аномалий Каракульского месторождения заметно превышают их ПДК в почвах (Kloke, 1980), что оказывает прямое влияние на микроэлементный состав вод дренирующих территорию водотоков и донных отложений (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Уровень содержания микроэлементов в донных отложениях оз. Каракуль

Элемент	Ag	Bi	Pb	Cu	Co	Ni	Zn	As	Mo	Be	W
Мг/кг	0,42	<0,5	51	85	11	47	290	2,8	<1	2,0	<40
ПДК	-	-	100	100	50	50	300	20	10	1,0	10
ОДК	-	-	32-130	33-132	-	20-80	55-220	2-10	-	-	-

Накопление элементов в донных осадках указывает на рудную зону как на источник поступления в компоненты наземных и водных экосистем комплекса рудных и сопутствующих элементов.

Блок 4. Картографическое моделирование пространственно-временного распределения влагооборота, водного и гидрохимического стока модельных бассейнов с использованием ГИС-технологий (отв. исп. к.г.н. И.Н. Ротанова)

В основу ландшафтно-водноэкологических построений положена группировка ландшафтов на уровне местностей или, в зависимости от масштаба, групп урочищ, по

типам водного и геохимического режимов: условиям водного питания, степени дренированности природных комплексов, преобладанию выноса или аккумуляции подвижных химических элементов и их форм. Ландшафты были объединены по родовому принципу: элювиальные (плакоры с глубоким залеганием грунтовых вод), трансэлювиальные (припакорные части склонов, дренируемые возвышенные грядовые или холмистые), аккумулятивно-аллювиальные (замкнутые понижения на плакорах, озерно-аллювиальные и древнеаллювиальные равнины), элювиально-аккумулятивные или трансаккумулятивные (нижние части склонов плато, склоны ложбин древнего стока, высокие надпойменные террасы), супераквальные (поймы и низкие надпойменные террасы).

Для реализации сформулированных подходов осуществлено водно-экологическое геоинформационное картографирование (с использованием базы данных ГИС) и проведен сравнительный анализ состояния водных объектов территории Алтайского края, большинство из которых тяготеет к местностям супераквального рода, либо представляет собственно субаквальные геосистемы подчиненного ранга. Незначительная часть водных объектов располагается в пределах элювиальных ландшафтов.

Потенциал выноса загрязняющих веществ в водные объекты дифференцирован на ранги, связанные с плотностью речной сети, и представлен следующей шкалой: $< 0,10 \text{ км/км}^2$ – очень низкий ранг (1), $0,11-0,20$ – низкий (2), $0,21-0,40$ – средний (3), $0,41-0,60$ – высокий (4), $> 0,60 \text{ км/км}^2$ – очень высокий ранг (5).

Вторым параметром, существенно влияющим на вынос загрязняющих веществ в водные объекты, является положение природного комплекса в ряду геохимического сопряжения. Наименьшее влияние оказывают элювиальные ландшафты, ранг которых оценивается как очень низкий (1), далее следуют аккумулятивно-элювиальные комплексы – ранг низкий (2), трансэлювиальные – ранг средний (3), трансаккумулятивные – ранг высокий (4) и супераквальные – ранг очень высокий (5).

Условно расходной частью баланса загрязнения водного объекта можно считать процессы трансформации загрязняющих веществ, зависящие от температуры воды, степени перемешивания и условий разбавления.

Предлагаемая методика апробирована на примере Алтайского края, где в качестве единиц картографирования использованы водосборные бассейны 41 озерно-речной системы.

Для более детального уровня апробации выбран бассейн р. Алей, который испытывает значительную техногенную нагрузку от крупных предприятий обрабатывающей и горнодобывающей промышленности и характеризуется большой сельскохозяйственной освоенностью земель. В качестве единиц картографирования модельного бассейна рассмотрено 25 притоков р. Алей и соответствующие им водосборные бассейны.

Ранжирование основных притоков модельного речного бассейна по возможности выноса загрязняющих веществ с учетом ряда факторов: плотности речной сети, ландшафтных условий, положения ландшафтов в ряду геохимического сопряжения и т.д. показана на рис. 2.55.

Условия самоочищения поверхностных вод Алея с учетом трансформации и разбавления загрязняющих веществ очень плохие (6 класс) в верхнем и среднем течении и плохие (5 класс) в нижнем течении. При этом уменьшение класса происходит за счет более благоприятных условий трансформации, в то время как условия разбавления изменяются незначительно

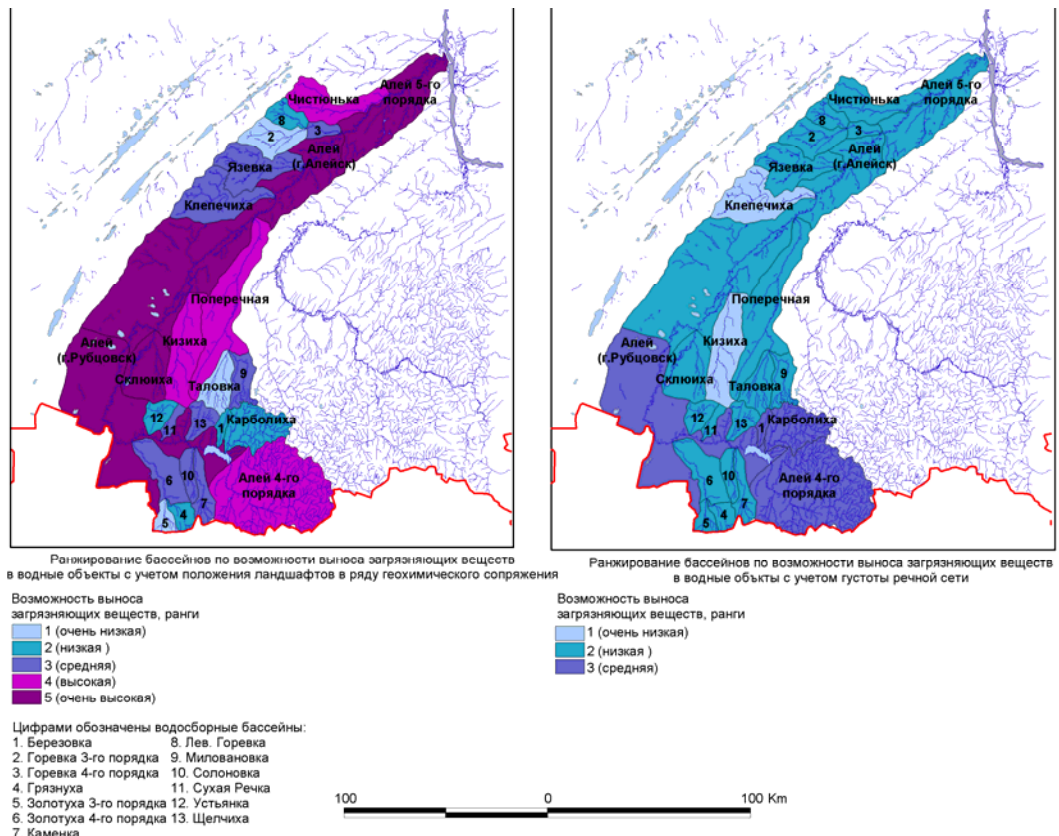


Рис. 2.55. Ранжирование основных притоков р. Алей по возможности выноса загрязняющих веществ

Карты антропогенной нагрузки на водосборные бассейны притоков р. Алей позволяют отобразить абсолютные и относительные показатели (ранги), характеризующие опосредованное воздействие на поверхностные воды, включая процесс выноса загрязняющих веществ с территории водосбора в водотоки. В условиях отсутствия нормативов показателей ранжирование бассейнов проводилось на основе абсолютных значений с помощью кластерного анализа.

Для пространственного анализа водно-экологической обстановки территории Алтайского края сформирована база геоданных (БД) на основе данных стационарной измерительно-наблюдательной сети Росгидромета и косвенных данных, предоставляемых различными государственными организациями. БД включает блоки с исходной информацией (физико-географической, социально-экономической, мониторинга окружающей среды, статистической по источникам воздействия на качество поверхностных вод), аналитической информацией, входящей в инвентаризационные слои, и синтетической, отображаемой на оценочных слоях карт.

В результате картографического анализа водно-экологической обстановки территории Алтайского края на основе прямых и косвенных данных выявлены водные объекты с различным уровнем загрязнения. К водным объектам с наиболее высоким загрязнением, помимо выделенных на основе инструментальных наблюдений речных систем Алей и Барнаулки, отнесены озера области внутреннего стока и озерно-речная система Кучук, а также такие притоки р. Алей как Золотуха, Корболиха, Каменка. Для этих речных и озерно-речных систем характерны наибольшие уровни воздействия от промышленных, коммунально-бытовых, сельскохозяйственных источников загрязнения, что определяет высокую степень как фонового (преимущественно от диффузных источников), так и локального (преимущественно от точечных источников) загрязнения.

Проект 7.10.1.5. Региональное природопользование в Сибири с учетом ландшафтной дифференциации территории и экологических ограничений (научн. рук. д.б.н., проф. А.В. Пузанов, д.г.н., доц. Б.А. Красноярова).

Блок 1. Ландшафтная структура как природная основа формирования региональных систем природопользования Сибири (отв. исп. к.г.н. Ю.М. Цимбалай).

Подблок I. Равнинные ландшафты. Отв. исполнитель к.г.н. Ю.М. Цимбалай

Для равнинной части Западной Сибири в пределах одноименной физико-географической страны, Средне-Сибирской и Таймырско-Североземельской стран этап разработки региональной ландшафтной структуры до уровня провинций, а для юга Западной Сибири – до уровня районов, выполнен ранее. В отчетный период создавалась база данных по характеристике компонентов рассматриваемой структуры с целью анализа ее потенциальных возможностей для обоснования схем регионального природопользования. Повышенное внимание к аграрному природопользованию предопределило первоочередность исследований применительно к югу Западной Сибири (степь и лесостепь) как к важнейшей из рассматриваемых территорий житнице страны, с одной стороны, и региону с напряженной водохозяйственной обстановкой – с другой.

Основные выводы. Проведенные исследования показали, что провинциальный уровень ландшафтной структуры позволяет решать достаточно общие стратегические задачи развития хозяйства в силу довольно широкого диапазона внутриландшафтных инвариантных изменений как биоклиматических, так и косных (геолого-геоморфологических) их компонентов. Несмотря на континуальный характер биоклиматических вариаций, даже здесь просматриваются районные (физико-географические) кластеры, не говоря уже о более четких геолого-геоморфологических разграничениях.

Это дает основание сделать вывод о том, что переход к более детальному изучению природной среды, углублению обобщенной схемы физико-географического районирования территории Сибири до уровня районов (ландшафтов), а также систематизация многочисленных частных ландшафтно-типологических карт отдельных территорий с целью создания единой ландшафтной основы в совокупности должны обеспечить научно обоснованный и адекватный для всей территории Сибири подход к разработке как общей стратегии природопользования в целом, так и конкретных региональных схем с учетом комплекса природных особенностей, предпосылок и ограничений.

В дальнейшем эта структурная основа позволит создать базу данных общего и проблемно ориентированного характера с выходом на геоинформационную систему.

Для горных территорий первоначальной операционной ячейкой, применительно к которой осуществлялись сбор, обобщение и анализ информации, служила также физико-географическая провинция.

В процессе исследований выяснилось, что структура горных провинций складывается из ландшафтов, еще более контрастных по комплексу структурно-геоморфологических и биоклиматических условий, чем на равнинах.

Для выхода из такого положения рассмотрено несколько подходов к дифференциации среды, в т.ч. традиционное расчленение провинций на подпровинции, округа, районы или крупные орографические элементы, расчленение на совокупность территориальных единиц, однородных в функциональном плане. В первом случае даже выделенные ранее районы нередко включают контрастные с точки зрения природопользования территории, границы районов не учитывают естественные транзитные коридоры, зачастую контролируемые природопользованием, и т.д. Во втором случае

различные и даже контрастные по внутренней структуре функциональные макросопряжения могут замыкаться в одну и ту же геосистему (например, обращенные к одной котловине склоны соседних хребтов), или значимость некоторых замыкающих звеньев (например, крупных котловин) как вполне самостоятельных структурных единиц или ячеек природопользования.

Для анализа предпосылок и ограничений природопользования как научно-прикладного варианта дифференциации природной среды нами опробован подход, который предполагает вычленение внутри горных провинций таких элементов ландшафтной структуры, которые определяют направления, возможности и приоритеты хозяйственного освоения и служат основой для формирования природно-хозяйственных комплексов (ПХК). Они являются вторичными по отношению к природным ландшафтам обособлениями и своеобразными макропозиционными единствами, часто с уже сложившимися или складывающимися режимами природопользования. В центре их как конкретные сопряженные ландшафты (речные долины, центры современного и древнего оледенения, сакральные объекты, месторождения полезных ископаемых), так и ландшафты, имеющие сходные особенности структуры (ориентированность в пространстве, изолированность, характер ландшафтного рисунка и т.д.).

В результате исследований внутри физико-географических провинций выделены такие элементы ландшафтной структуры, которые определяют направления, возможности и приоритеты хозяйственного освоения. Они рассматриваются в качестве *природно-хозяйственных комплексов* (ПХК) с уже сложившимися или складывающимися режимами природопользования.

В пределах Русского Алтая (Республика Алтай и горная часть Алтайского края) выделено 40 природно-хозяйственных комплексов.

На примере этой территории разработан инструментарий, позволяющий проводить частные и интегральные оценки природно-ресурсного потенциала горных физико-географических провинций.

Применительно к аграрному природопользованию рассмотрены ландшафтные, агроклиматические и почвенно-геохимические критерии, позволяющие оценить предпосылки и ограничения для его развития.

В рамках каждой группы выбрано ряд конкретных показателей, которые:

- а) дают наиболее четкое и конкретное представление о неоднородности условий;
- б) характеризуются достаточным количеством фактурных данных;
- в) представляют корректную информацию применительно к выбранной территориальной единице анализа.

Среди значимых ландшафтных показателей выбрано 7, в т.ч.:

1. позиционный фактор,
2. ландшафтный рисунок,
3. структура ландшафтных сопряжений,
4. ландшафтное разнообразие (типов местностей на 1000 км²),
5. дробность ландшафтной структуры (количество контуров на 1000 км²),
6. гипертрофированные факторы,
7. сложность вертикальной структуры в максимум сезонного развития.

Все ПХК в пределах Русского Алтая оценены по 5-балльной шкале применительно к каждому из семи показателей (табл. 2.10).

Итоговая интегральная оценка ландшафтных предпосылок для развития сельского хозяйства позволила выделить 5 категорий ПХК: с очень низкими (непригодны), низкими, средними, выше средних и высокими возможностями (рис. 2.56).

Таблица 2.10

Ландшафтные предпосылки ПХК для развития сельского хозяйства

Провинци я	Природно- хозяйственный комплекс (ПХК)	Позиционны й фактор	Ландшафтны й рисунок	Структура ландшафтн ых сопряжений	Ландшафтно е разнообразие (типов местностей на 1000 км ²)	Дробность ландшафтн ой структуры (количество контуров на 1000 км ²)	Гипертрофированны е факторы	Сложность вертикальн ой структуры в максимум сезонного развития	Суммарны й балл	Средни й балл	Интегральна я оценка ландшафтны х предпосылок
Юго-Восточная Алтайская (10)	1. Южно-Алтайский	1	1	1	2	1	1	1	8	1,14	Очень низкие
	2. Сайлюгемский	2	2	2	2	2	2	2	14	2	Низкие
	3. Бертекский	2	4	4	3	3	3	3	22	3,14	Выше среднего
	4. Тархатинский	2	4	4	3	3	3	3	22	3,14	Выше среднего
	5. Укокский	1	3	3	2	3	3	2	17	2,43	Средние
	6. Чаган-Узунский	3	2	2	3	1	2	3	16	2,29	Низкие
	7. Чихачевский	2	2	2	2	1	2	2	13	1,86	Низкие
	8. Табожок-Бугузунский	3	2	3	3	2	2	2	17	2,43	Средние
	9. Чуйский	4	5	5	2	4	3	2	25	3,57	Выше среднего
	10. Богояшско-Джулукульский	2	4	4	3	3	3	3	22	3,14	Выше среднего
Восточная Алтайская (4)	11. Шапшальский	1	1	2	2	2	2	1	11	1,57	Очень низкие
	12. Чulyшманский	1	2	2	1	3	2	2	13	1,86	Низкие
	13. Улаганский	2	3	3	2	3	3	3	19	2,71	Средние
	14. Кубадринско-Ильдугемский	2	3	2	3	2	2	3	17	2,43	Средние
Центрально-алтайская (13)	15. Катунский	1	1	1	4	1	1	2	11	1,57	Очень низкие
	16. Коксинский	2	2	2	2	2	2	3	15	2,14	Низкие
	17. Теректинский	2	2	2	3	1	2	3	15	2,14	Низкие
	18. Абайско-Уймонско-Катандинский	4	5	5	3	3	4	4	28	4	Высокие
	19. Приканский	4	4	4	4	3	3	3	25	3,57	Выше среднего
	20. Северо-Чуйский	2	1	1	3	1	1	2	11	1,57	Очень низкие
	21. Прикурайский	3	2	3	5	2	2	3	20	2,86	Средние

Провинция	Природно-хозяйственный комплекс (ПХК)	Позиционный фактор	Л	Средний фактор	Ландшафтное разнообразие (типов местностей на 1000 км ²)	Дробность ландшафтной структуры (количество контуров на 1000 км ²)	Гипертрофированные факторы	Сложность вертикальной структуры в максимум сезонного развития	Суммарный балл	Средний балл	Интегральная оценка ландшафтных предпосылок
	22. Курайский котловинный	4	5	5	5	4	3	2	28	4	Высокие
	23. Катунско-Чуйский	3	1	2	2	3	2	3	16	2,29	Низкие
	24. Кадринско-Сумультинский	1	1	2	2	2	2	3	13	1,86	Низкие
	25. Среднекатунский	4	2	2	2	4	3	3	20	2,86	Средние
	26. Чемальский	3	2	2	4	3	2	3	19	2,71	Средние
	27. Урскульский	4	3	3	1	3	3	3	20	2,86	Средние
Северо-Восточная Алтайская (4)	28. Восточно-Прителецкий	2	1	2	2	3	2	3	15	2,14	Низкие
	29. Западно-Прителецкий	3	2	2	2	4	3	3	19	2,71	Средние
	30. Бийско-Лебедской	3	3	3	1	5	4	4	23	3,29	Выше среднего
	31. Ишинско-Каракокшинский	4	3	3	2	5	3	4	24	3,43	Выше среднего
Северная Алтайская (6)	32. Нижнекатунский	5	3	3	2	5	4	4	26	3,71	Высокие
	33. Майминский	5	4	3	3	5	5	5	30	4,29	Высокие
	34. Ануйско-Песчано-Семинский	4	3	4	1	5	5	5	25	3,57	Выше среднего
	35. Бабырганский	5	3	4	3	3	5	5	28	4	Высокие
	36. Белокурихинский	4	3	3	3	4	4	4	25	3,57	Выше среднего
	37. Среднеануйский	5	4	4	1	5	5	5	29	4,14	Высокие
Северо-Западная Алтайская (3)	38. Причарышский	4	4	4	1	4	5	5	27	3,86	Высокие
	39. Коргонско-Тигирецкий	3	2	3	3	3	2	3	19	2,71	Средние
	40. Кольванский	5	4	5	3	4	4	5	30	4,29	Высокие

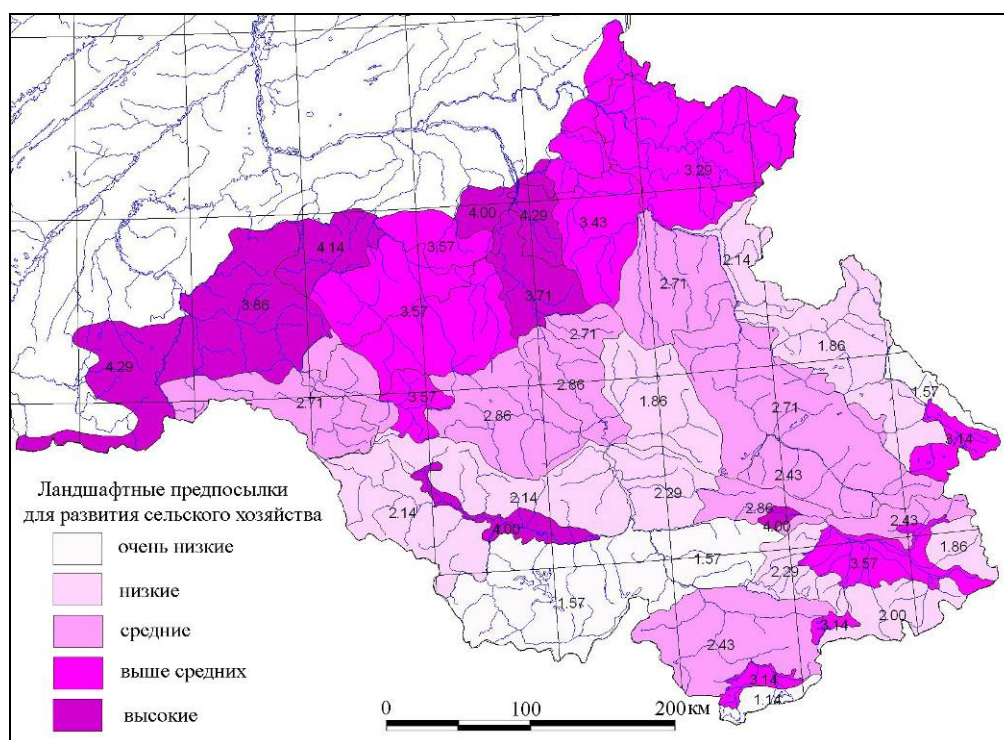


Рис. 2.56. Совокупная оценка ландшафтных предпосылок ПХК для развития сельского хозяйства

Блок 2. Ограничения и предпосылки устойчивого функционирования природных и природно-хозяйственных систем Сибири в условиях природных, техногенных и институциональных изменений (отв. исп. к.г.н. И.Д. Рыбкина).

Аграрное природопользование (АП) в Сибири получило развитие практически во всех зонах за исключением арктической. При этом активное АП (ААП), представленное сочетанием развитого земледелия и животноводства, ограничено на севере южной тайгой, на юге – горами Южной Сибири. Отсюда, к зоне ААП с достаточной условностью можно отнести лишь 17% территории Сибири (в физико-географических границах), где проживает около 80% ее населения, в том числе 50% территории земледельческой зоны находится в степной зоне, где проживает четверть населения (табл. 2.11). Наиболее важную роль в аграрном природопользовании играет юг Западной Сибири, эти территории отличает и большее разнообразие природных условий.

Таблица 2.11

Зона активного аграрного природопользования: ландшафтно-демографическая структура

Зона	Площадь,		Численность и плотность населения								
	тыс. км ²	%	Всего			Городское			Сельское		
			тыс. чел.	чел/км ²	тыс. чел.	чел/км ²	тыс.чел.	чел/км ²			
Подтаежная	350,7	19,0	6779	24,8	19,3	5410	25,8	15,4	1369	19,2	3,9
Лесостепная	559,6	30,3	13706	50,1	24,5	10524	52,0	18,8	3182	44,7	5,7
Степная	935,0	50,7	6852	25,1	7,3	4291	21,2	4,6	2561	36,1	2,7
Итого по зоне активного аграрного природопользования	1845,3	100	27337	100	14,8	20225	100	11,0	7112	100	3,8

В Восточной Сибири аграрное природопользование имеет очаговый характер преимущественно животноводческого направления отгонного – номадного типа. Хотя и здесь можно выделить анклавы активного земледелия в Прибайкалье – на юге Иркутской области и Бурятии, где с повышением высотной поясности наблюдается «свертывание» земледелия, абсолютное преобладание естественных пастбищ и сенокосов, сравнительно высокая животноводческая нагрузка (до 1,0 гол/га) (Екимовская, 2003, с.141). В Средней Сибири наряду с животноводческим направлением хозяйствования имеет место земледелие, но оно, как правило, локализовано вокруг крупных населенных пунктов и имеет пригородный характер, либо направлено на производство кормов. Продовольственное зерно и технические культуры практически не выращиваются.

Для определения устойчивых состояний региональных систем аграрного природопользования с использованием методов стратегического управления предложен алгоритм оценки и выявления потенциальных возможностей развития этих систем, предполагающий последовательный анализ и оценку предпосылок/ограничений развития систем. В основе оценки лежит учет взаимозаменяемости предпосылок и ограничений, когда один и тот же индикатор развития систем может выступать в роли и предпосылки, и ограничения их устойчивого функционирования (рис. 2.57).

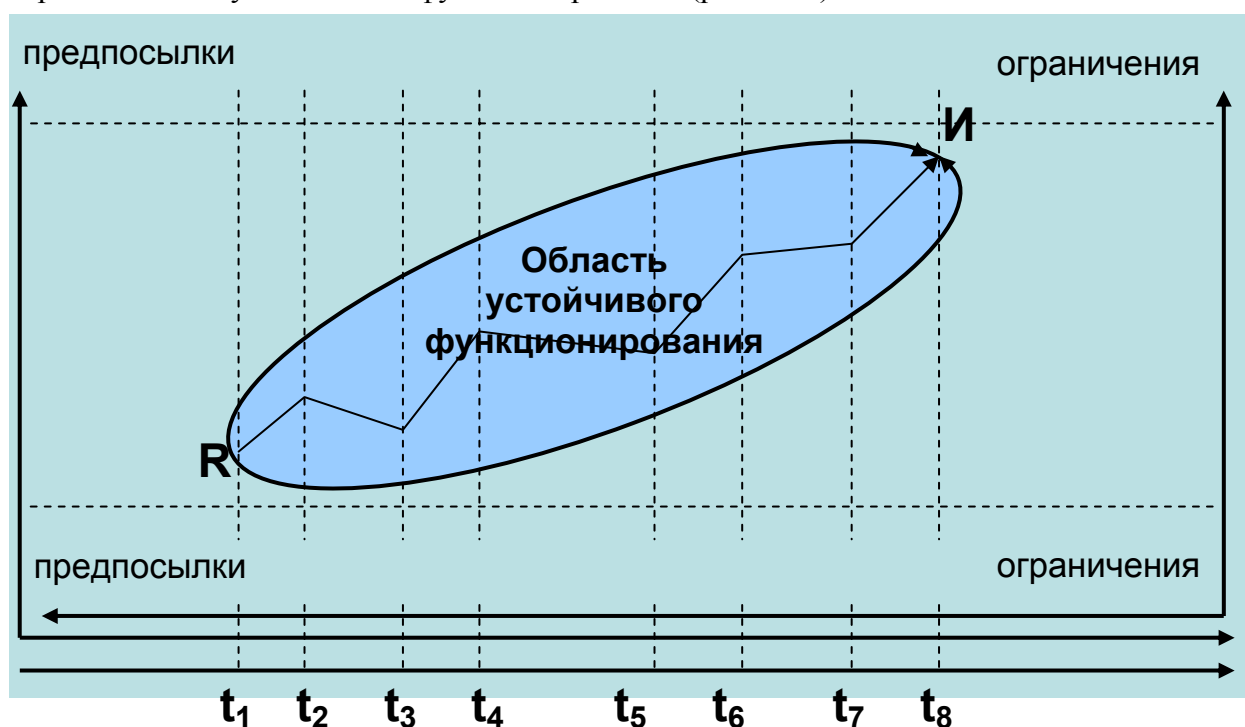


Рис. 2.57. Взаимосвязь предпосылок и ограничений развития природных и природно-хозяйственных систем

При оценке предпосылок и ограничений развития региональных систем аграрного природопользования сформированы матрицы возможностей и угроз их устойчивого функционирования, которые позволяют:

- выбрать стратегически важные предпосылки, являющиеся по существу индикаторами устойчивого функционирования систем;
- определить вероятность их использования и произвести оценку влияния на процесс развития систем;
- спрогнозировать негативные последствия развития систем;
- оценить вероятность проявления негативных последствий.

В ходе осуществления алгоритма сформирована итоговая матрица (рис. 2.58) потенциальных возможностей развития региональных систем природопользования, позволяющая выделить области устойчивого, переходного и неустойчивого состояния.

	Предпосылки развития	Угрозы развитию
Возможности использования	+ + I Устойчивое функционирование	- + IV Переходное состояние
Ограничения функционирования	+ - II Переходное состояние	- - III Неустойчивое функционирование

Рис. 2.58. Матрица потенциальных возможностей развития региональных систем природопользования

Основным фактором, определяющим как предпосылки, так и ограничения устойчивого аграрного природопользования, являются условия увлажнения, которые с позиций АП лучше всего индицируются гидротермическим коэффициентом по Селянинову и определяются отношением суммы годовых осадков к десятикратно уменьшенной сумме активных температур (выше +100 С). При этом региональные системы АП лишь в 50% лет функционируют в режиме регионального оптимума (Понько, 1996), в пределах которого для каждой природной зоны активного аграрного природопользования выделены области устойчивого функционирования, а также переходного и неустойчивого состояния, обусловленные условиями увлажнения и циклическими изменениями текущего и колебаниями глобального климата (рис. 2.59). В условиях современного цикла изменения климата можно констатировать пространственный сдвиг регионального оптимума на северо-восток за счет увеличения величины суммы активных температур практически во всех зонах активного природопользования.

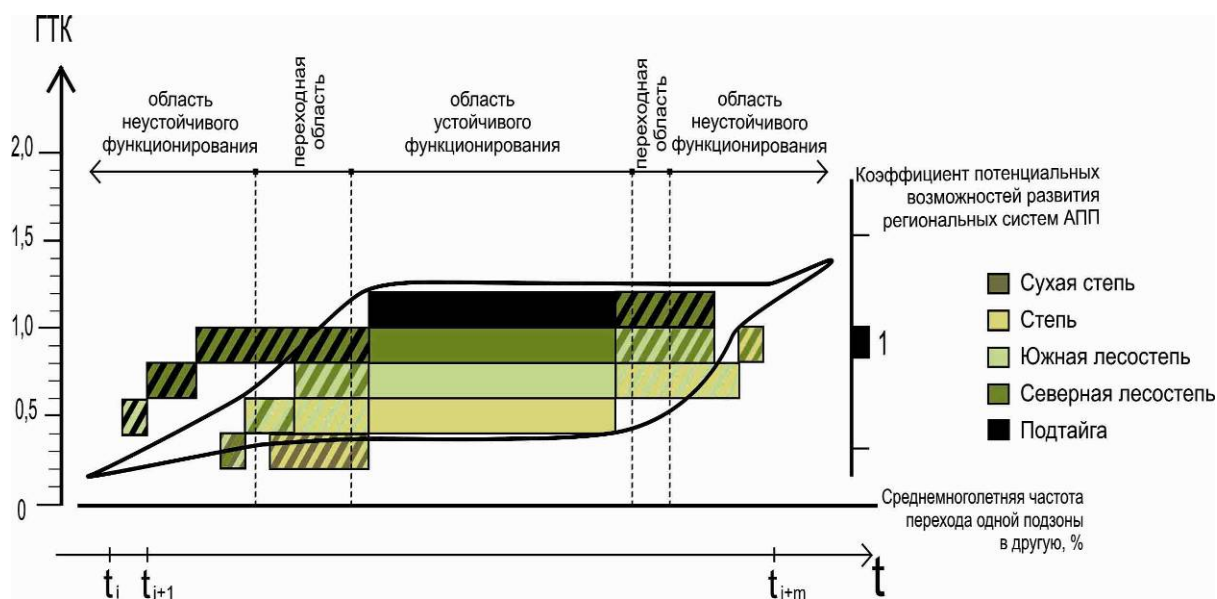


Рис. 2.59. Области устойчивого, переходного и неустойчивого функционирования региональных систем аграрного природопользования Сибири

В горах Южной Сибири, которые играют важную роль в аграрном природопользовании, представлен особый вид АП – горное природопользование. Здесь более чем в иных регионах Сибири (исключение составляют места проживания коренных народов Севера) сохранились черты национально-этнического природопользования, что особенно характерно для национальных республик (Алтай, Бурятия, Тыва, Хакасия).

На примере высокогорных регионов Алтая выявлены основные предпосылки и ограничения систем аграрного природопользования в горах, которые определяются не только региональными особенностями высотной поясности и экспозицией склонов, но и природно-климатическими характеристиками ландшафтных комплексов топологического уровня (рис. 2.60).

Учитывая межэтнический характер заселения территории, важным фактором функционирования горного природопользования является сохранение традиций местного населения, сочетание систем жизнеобеспечения русского, казахского и алтайского народов, а также более чем 50-летний опыт коллективного хозяйствования.

Среди ограничений аграрного природопользования в высокогорных условиях: высокая уязвимость пастбищ, низкая продуктивность почв, краткий вегетационный период, высокий экологический статус. Все это ограничивает возможности ведения высокотоварного и интенсивного аграрного природопользования, но позволяет ориентировать развитие животноводства на местные породы скота (овцы, маралы, яки, верблюды), не отличающиеся высокой продуктивностью, но хорошо приспособленные к суровым природно-климатическим условиям. К факторам ограничительного характера можно отнести и низкий уровень менеджмента муниципальными образованиями, главным образом, сельскими поселениями, а также отсутствие специалистов и техники для ведения многофункционального аграрного природопользования в горных условиях.



Рис. 2.60. Особенности горного природопользования Сибири

В связи с высокой мелиоративной значимостью лесонасаждений, проведены долгосрочные натурные эксперименты по исследованию процессов лесовосстановления и лесоразведения в горных и степных территориях.

В условиях высокогорий успешность естественного возобновления на гарях определяется для кедра - наличием и качеством семян, для лиственницы – как наличием семян, так и движением воздуха вверх по склону. Семяношение этих пород отличается значительной периодичностью через 3-7 лет. Естественное возобновление пастбищных угодий в лиственничных лесах начинается после прекращения пастьбы, через 5-10 лет количество подроста составляет до 3,5 тыс. шт/га, темпы восстановления определяются экспозицией склона (рис. 2.61).

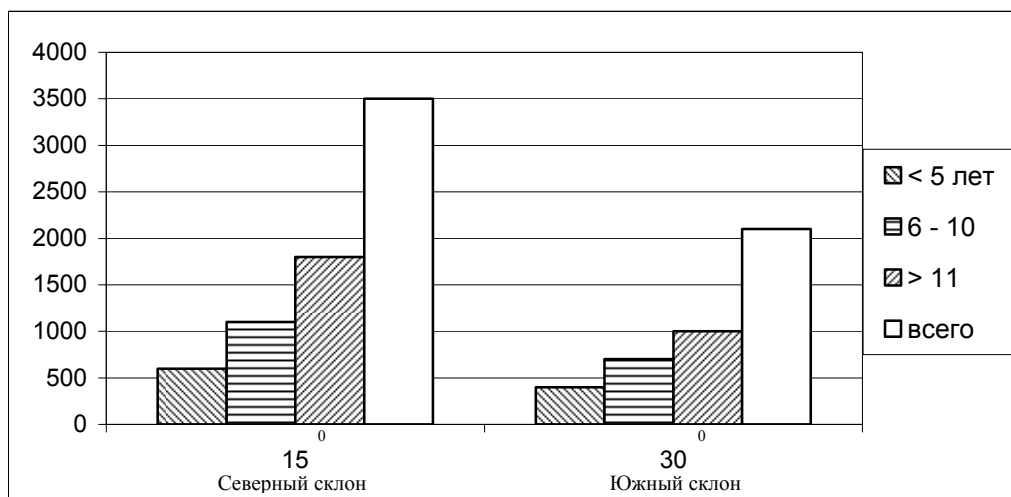


Рис. 2.61. Количество подроста на склонах южной и северной экспозиции

В условиях изменения климата отмечаются процессы нарастающего опустынивания, которые проявляются в деградации защитных лесных полос, состоящих из березы и тополя. Их место следует занять лиственницей сибирской, защитные полосы из которой в возрасте до 40 лет формируют высокопродуктивные насаждения (с текущим приростом в высоту до 50 см) и могут стабилизировать процесс деградации почвенного покрова в сухой степи. В лесостепных условиях в возрасте до 50 лет лиственничные насаждения развиваются по I классу бонитета с текущим приростом до 80 см.

На основе ландшафтной карты с использованием методики В.Н. Федорова и А.Н. Антипова (2000) по определению гидрологической значимости ландшафтов, выделены природные комплексы, отвечающие за формирование и регулирование речного стока в пределах бассейна Алей. Степень гидрологической значимости природных комплексов напрямую зависит от модулей стока с территории.

Наибольшей гидрологической значимостью в бассейне р. Алей обладают водораздельные и склоновые низко- и среднегорные, преимущественно залесенные, поверхности в пределах Северо-Западной Алтайской ландшафтной провинции, а также комплексы речных долин с лугово-болотной растительностью; наименьшей – ландшафты склонов Приобского плато (рис. 2.62).

Исходя из ландшафтно-гидрологической значимости природные комплексы бассейна р. Алей сгруппированы в однотипные группы (рис. 2.63): 1 – группа ландшафтов, в которых происходит формирование основного стока р. Алей, модули стока здесь достигают 3-10 л/с с км² и более. Это, прежде всего, горные ландшафты в верхней части бассейна; 2 – природные комплексы водоразделов Приобского плато и расчлененных предгорных поверхностей, отвечающие за формирование бокового стока и питающие немногочисленные притоки; 3 – лугово-болотные ландшафты речных долин, с аккумуляцией влаги в многоводные периоды и постепенной сработкой в маловодье; 4 – заозеренные речные террасы и ложбины стока высокого уровня, где происходит

накопление воды с частичной ее разгрузкой в речную систему; 5 – склоновые поверхности Приобского плато с транзитом поступающей воды.

Для решения проблем водопользования, корректировки структуры водопотребления из разных источников (поверхностных и подземных) водоснабжения и разработки моделей устойчивого водопотребления в городах Сибири по методике Н.В. Маслова (2003) произведены расчёты критической численности населения по наличию поверхностных водных ресурсов. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- Города-миллионеры Омск, Новосибирск превысили уровень допустимой численности населения, имея ограничитель дальнейшего развития – вода питьевого качества из поверхностных водных объектов (рис. 2.64). В связи с чем, в структуре источников водоснабжения растёт доля подземных вод (Новосибирск – 2,1%, Омск – 0,2%).

- Среди крупнейших и крупных городов Сибири лимит поверхностных водных ресурсов исчерпали гг. Кемерово и Новокузнецк, требуя дополнительных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения (доля подземных вод соответственно составляет 1,7% и 19,0%). Напротив, Томск и Барнаул отличаются потенциальными запасами развития по данному критерию, правда, если в расчет берутся только количественные параметры водных объектов. Если учесть и качественные показатели, то оказывается, что вода в р. Томь не пригодна для питьевого водоснабжения, поэтому в г. Томске для этих целей применяются подземные воды (71,5%). Барнаул по-прежнему относится к городам с преимущественно поверхностным водоснабжением, доля подземных источников составляет 12,5%.

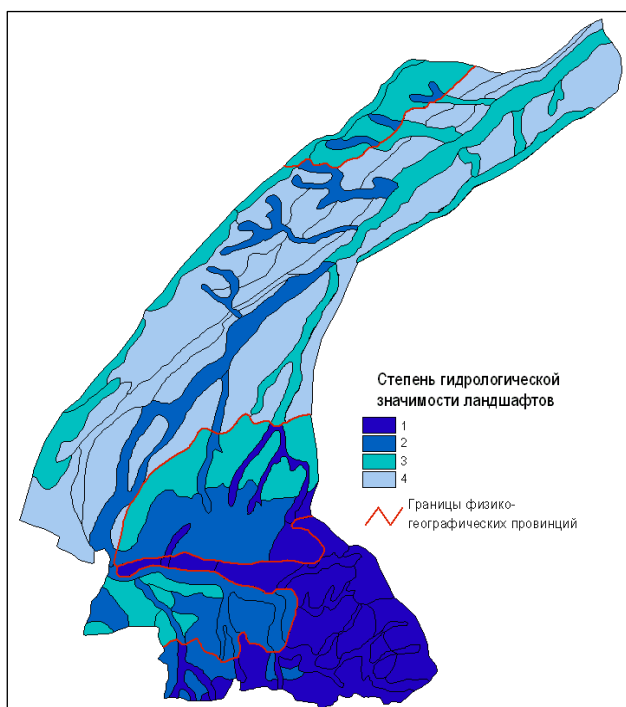


Рис. 2.62. Гидрологическая значимость ландшафтов бассейна р. Алей, исходя из модулей стока летней межени (л/с с км²): 1 – 3,2-6,4; 2 – 1,6-3,2; 3 – 0,8-1,6; 4 – 0,4-0,8; 5 – 0,2-0,4

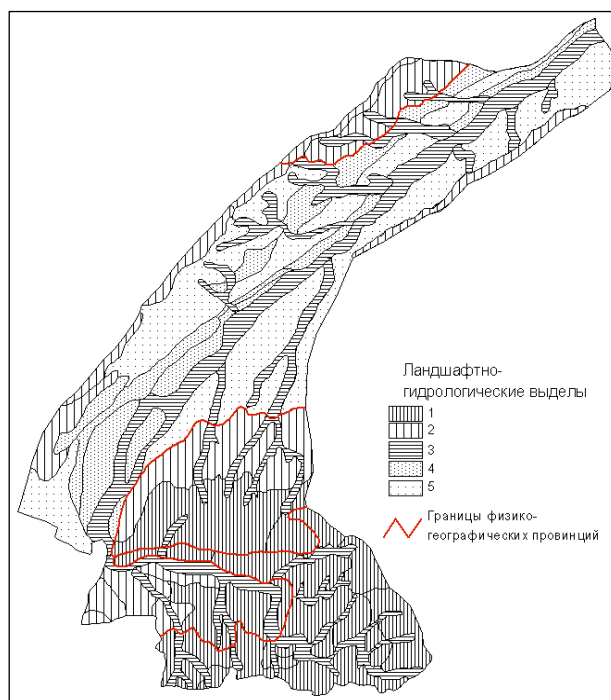


Рис. 2.63. Однотипные ландшафтно-гидрологические выделы в бассейне р. Алей: 1 – формирования основного стока; 2 – формирования бокового стока; 3 – формирования и транзита с элементами аккумуляции; 4 – озерной аккумуляции; 5 – преимущественного транзита

- Среди больших и средних городов Сибири наблюдается (рис. 2.65) следующая ситуация: Рубцовск, Ленинск-Кузнецкий, Междуреченск, Белово, Бердск и Искитим в силу структуры промышленного производства и крупности города ограничены в развитии, исходя из имеющихся ресурсов поверхностных вод. Бийск в силу размещения водоёмких производств и отсутствия крупных альтернативных поверхностных источников водоснабжения подходит к черте критической численности населения (доля подземных источников водоснабжения – 14,8%). В более выгодном положении напервый взгляд оказались Абакан, Кызыл, Северск, Горно-Алтайск, Черногорск, Новоалтайск, Юрга и др. Однако из-за ограниченности технических и финансовых возможностей, например, водоснабжение Новоалтайска (93%) и Горно-Алтайска (99,7%) в данный момент осуществляется преимущественно за счет подземных вод, хотя оба города расположены вблизи крупных рек.

- Водоснабжение малых городов за счет поверхностных водных объектов уже сегодня накладывает ограничения в развитии гг. Каргата, Таштагола, Сорска. Для других, по крайней мере, количественно ресурсы поверхностных вод не являются лимитирующим фактором развития (рис. 2.66). Качественные же параметры водных объектов зачастую накладывают свои ограничения, в результате чего водоснабжение городов может осуществляться из подземных водных источников (например, Алейск (75,7%)).

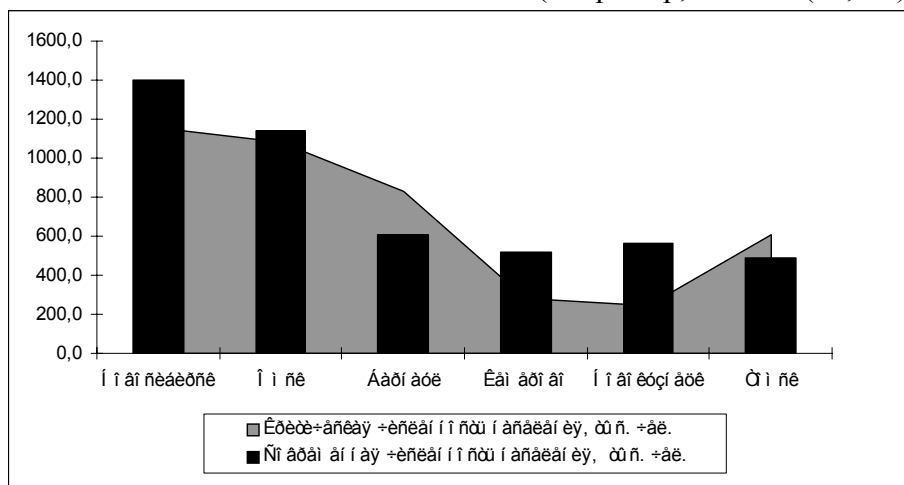


Рис. 2.64. Соотношение современной и критической численности населения городов-миллионеров, крупнейших и крупных городов Западной Сибири

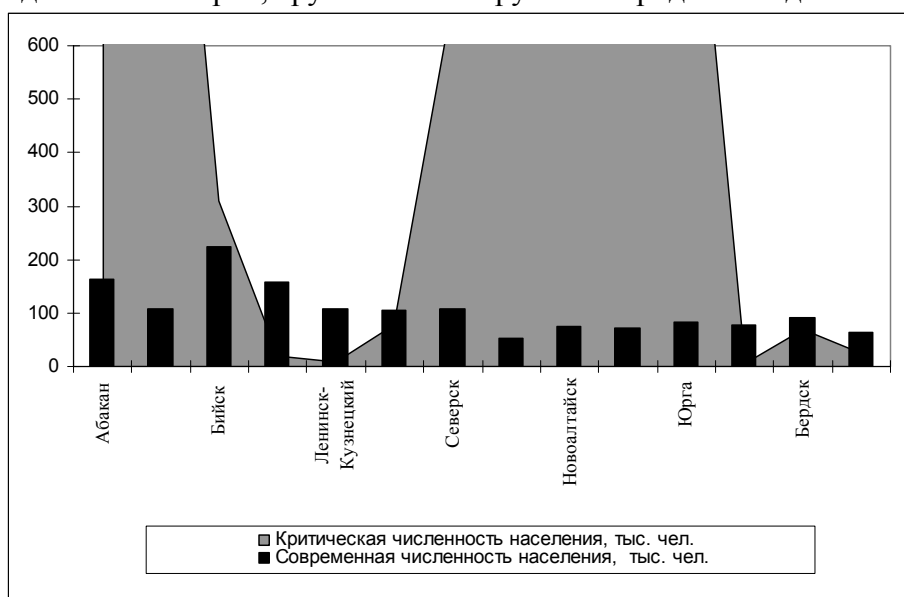


Рис. 2.65. Соотношение критической и современной численности населения больших и средних городов Сибири

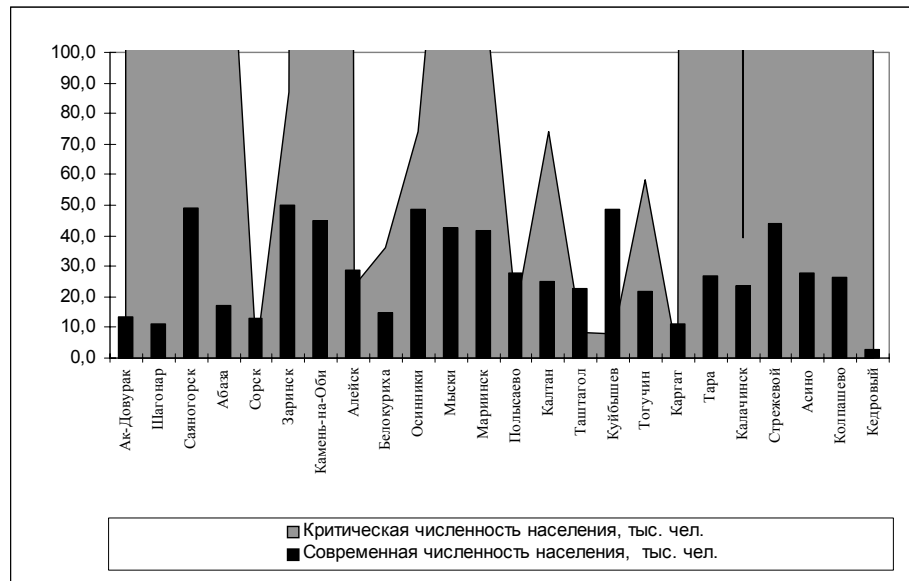


Рис. 2.66. Соотношение критической и современной численности населения малых городов Сибири

Блок 3. Пространственно-временной анализ проявления природных рисков эндогенного и экзогенного характера на фоне изменения природных и усиления антропогенных процессов (отв. исп. к.г.-м.н. С.Г. Платонова)

Установлены закономерности проявления экзодинамических процессов, определяющих природные риски на юге Западной Сибири. Выделены две зоны взаимопроникновения и наложения различных комплексов процессов, в пределах которых названные процессы сами выступают индикаторами изменения климатических условий, в частности – аридизации. Первая (северная) зона приурочена к границе северо-лесостепной и южно-лесостепной ландшафтных подзон и характеризуется наложением процессов заболачивания, с одной стороны, и засоления, осолонцевания и осолодения, с другой. Вторая (южная) – к границе степной умеренно-засушливой и степной засушливой подзон, где процессы дефляции, усыхания озер накладываются на процессы засоления, осолонцевания, осолодения.

На основании выделенных зон составлена карта-схема индикационных экзодинамических процессов, отражающая распространение комплексов природных процессов с учётом ландшафтной дифференциации (на уровне ландшафтных районов) (рис. 2.67).

Выделенные зоны определяют ареалы природных рисков и коррелируют с областями неустойчивого функционирования региональных систем АПП в выводах блока 2.

Установлены новые факты проявления природных экзодинамических процессов на равнинных территориях, определяющие природные риски:

- Выявлены процессы увеличения засоления почв во влажные годы (связанное с уменьшением глубины залегания УГВ) и рассоления в сухие годы (связанное со снижением УГВ) для районов с близким залеганием УГВ. Установленная закономерность позволяет рассматривать проявление и направленность процессов засоления – рассоления для названных районов в качестве индикаторов климатических изменений в пределах 3-5-х летних и 40-50-и летних климатических циклов.

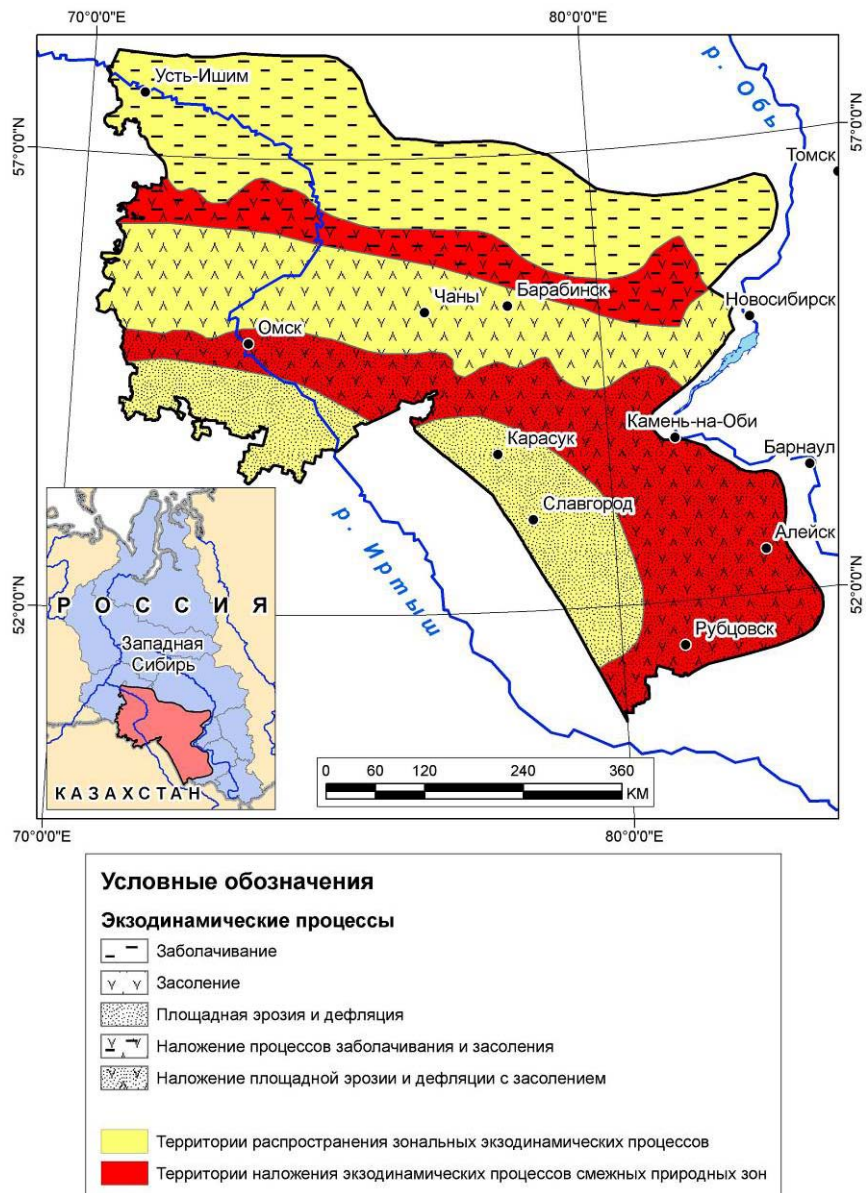


Рис. 2.67. Карта-схема индикационных экзодинамических процессов

- Подтверждён факт зимнего галогенеза на юге Западной Сибири, который проявляется в движении солей зимой и поступлении их через мерзлый слой в снег. Для разных типов почв отмечено зимнее рассоление почвенного слоя, замена типа засоления (хлоридного на содовый в солончаке), увеличение минерализации снеговой воды на контакте с почвой (для солончака в 2 раза) (рис. 2.68).
- Выявлено устойчивое снижение глубины залегания УГВ и трансформация обсыхающих поверхностей в сельхозугодья (на примере Юдинского плеса озера Чаны) (рис. 2.69).
- Подтверждены водные и химические режимы выделенных ранее групп озер: бессточных понижений, водораздельных и долинных озер. В группе озер бессточных понижений в качестве ведущего компонента, определяющего минерализацию вод, выделен гипсометрический уровень.

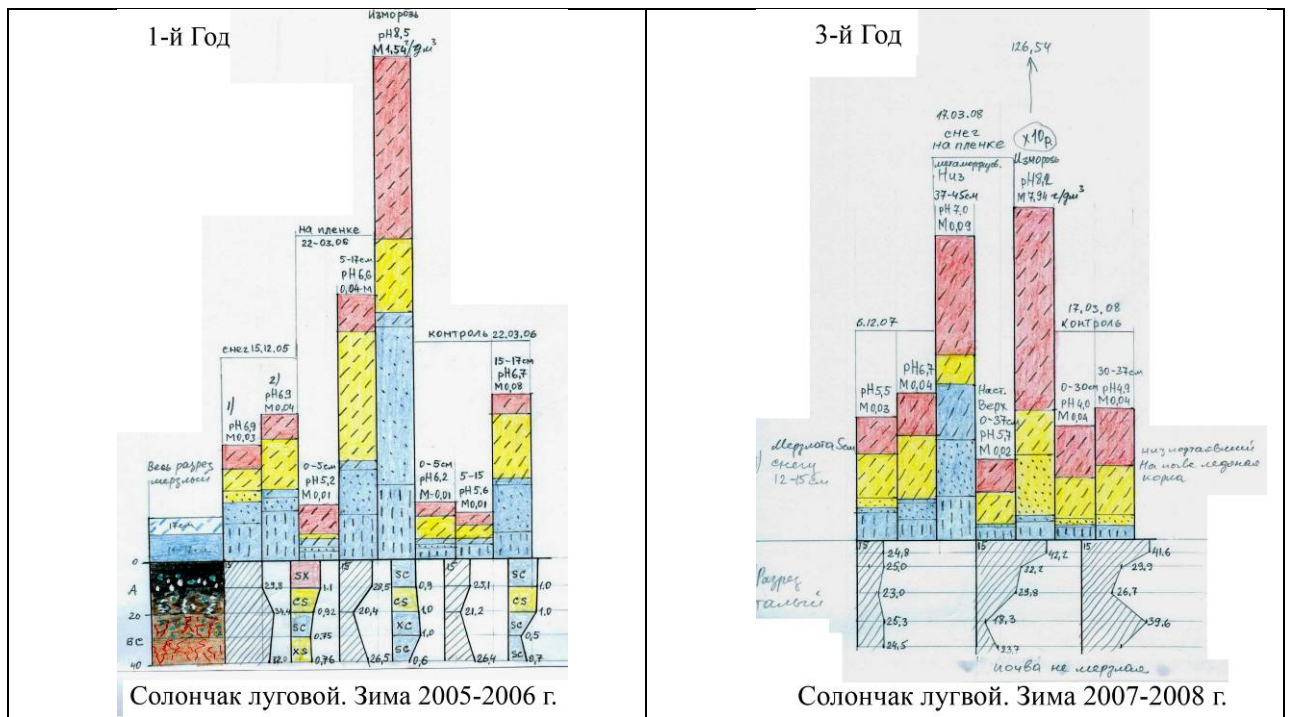


Рис. 2.68. Результаты зимнего опробования снега и почвы: химический состав снега: ионы HCO_3^- (голубой цвет); SO_4^{2-} (желтый); Cl^- (красный); крап – вертикальный – Ca^{2+} ; точки – Mg^{2+} ; наклонный – Na^+ . Эпюры со штриховкой – распределение влажности почв. На эпюрах засоления почв типы засоления: sx – сульфатно-хлоридный; cs – содово-сульфатный; xc – хлоридно-содовый; sc – сульфатно-содовый.

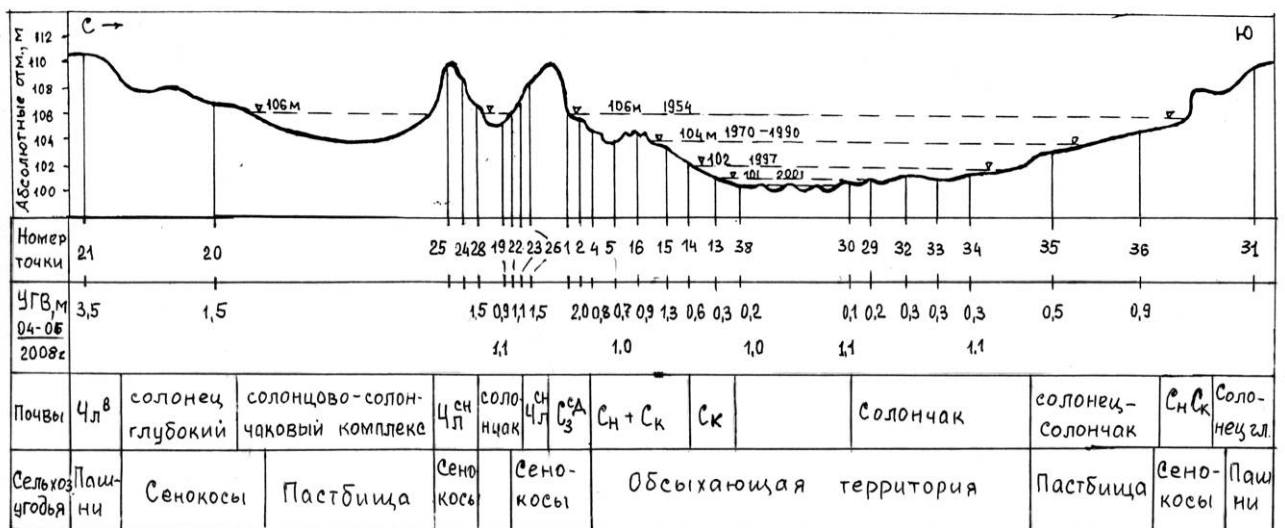


Рис. 2.69. Профиль-катена через Юдинский плес с положением уровня воды в 1954, 1990, 1997, 2001 годах.

Для оценки природных рисков эндогенного характера западной части Алтае-Саянской горной страны и прилегающих к ней равнинных территориях предлагается использовать морфологические показатели современных тектонических форм, отражённые в разработанной классификации. В основу классификации положены такие критерии, как структурное положение, протяжённость, положение и выраженность в рельефе тектонически активных зон.

В классификации все молодые тектонические и сейсмогенные мезо-, - микро формы сгруппированы по типам планового рисунка для различных по кинематике (сдвиговая, взбросо-надвиговая, сбросовая) зон. Названные формы впервые рассматриваются в расширенном временном диапазоне, включая не только голоцен, но и верхнюю часть позднего плейстоцена.

Морфологическая выраженность сейсмогенных форм рельефа определяется кинематикой структурообразующих разломов, которая может отличаться от таковой более крупных «вмещающих» кайнозойских тектонических структур. Условия интенсивного близгоризонтального сжатия в юго-западном направлении сформировали современный структурный план Алтая. Действия максимальных скальвающих напряжений реализовывались в течение плейстоцена в развитии преимущественно крутопадающих правосторонних сдвигов и взбросо – сдвигов северо-западного простирания, переходящие на отдельных участках в близширотные надвиги, и парагенетические связанные с ними, проявляющиеся в меньшей мере, левосторонние сдвиги северо-восточного простирания и близмеридиональные раздвиги.

Северо-западные разломы в современной структуре обычно служат границами геоморфологических элементов первого порядка (хребтов, массивов) и составляют зоны, протягивающиеся в одном направлении на сотни километров. К глубинным структуроформирующим разломам, имеющим северо-западную ориентировку в Горном и Монгольском Алтае относятся Шапшальский, Курайский, Чарышско-Теректинский, Толбонурский и Цаган-Шипетинский. Зоны этих разломов определяют развитие долин крупных рек в Горном Алтае (например, Катунь, Чульшмана) и крупных линейных сухих и озёрных депрессий в Монгольском Алтае (впадина оз. Толбо-Нур и др.). Морфологически надвиги широтного простирания выражены в рельефе в виде широких и резко ассиметричных впадин, которые, как правило, располагаются в основании крутых северных бортов (например, долина р. Ойгор-гол в Монгольском Алтае). Парагенетически с северо-западными сдвигами (взбросо-сдвигами) и близширотными надвигами связаны меридиональные раздвиги, контролирующие озёрные впадины (Телецкое озеро, Кок-Коль и др.). Это узкие, глубокие и симметричные впадины, с крутыми сбросовыми бортами и относительно небольшой протяжённостью.

Комплексы сейсмогенных форм отличаются для зон с различной кинематикой. Общие сводные данные представлены в таблице 2.12.

На участках преимущественно крутопадающих правосторонних сдвигов и взбросо-сдвигов северо-западного простирания (в эпицентральных зонах долин рек Чуя, Башкаус, Чульшман) первичные сейсмодислокации представлены в виде эшелонированных «зияющих трещин» в палеозойских породах и мезо-кайнозойских отложениях.

Комплекс отдельных трещин на участках перегиба крупных речных долин часто формирует веероподобный, а на водораздельных участках хребтов и структурных узлах сочленения разнонаправленных разломов – решётчатый рисунок («черепашковую» структуру). Здесь же широко представлены наиболее крупные сейсмогенные обвалы и каменные лавины. Для зон левосторонних сдвигов северо-восточного простирания (долина р. Кобдо-гол в Монгольском Алтае) и близмеридиональных раздвигов (восточные отроги Айгулакского хребта, грабен Телецкого озера в Горном Алтае) характерно развитие структурных террас (сбросовых бортов). Зоны близширотных надвигов (долина р. Шетк-Ойгор-гол в Монгольском Алтае, фас Алтая, верховья р. Башкауса – в Горном Алтае) отличаются наличием комплекса крупных эскарпов, одиночных зияющих трещин и проявлением фронтальных сейсмогравитационных образований.

Таблица 2.12

Сейсмогенные формы рельефа эпицентральных зон Алтая

Тип зоны по кинематике	Тип рельефа	Элементы рельефа	Сейсмогенные формы	
			Первичные	Вторичные
Правосторонние сдвиги СЗ	Высокогорный эрозионный крутосклонный интенсивно расчленённый	Склоны рек на линейных участках	Одиночные зияющие трещины.	Крупные и гигантские одиночные обвалы и каменные лавины
		Склоны рек на участках перегиба долин	Группы зияющих трещин в веерообразной структуре.	Средние и мелкие одиночные обвалы
	Высокогорный эрозионно-денудационный пологосклонный слабо расчленённый	Водоразделы хребтов	Группы зияющих трещин в «черепашковой» структуре	Мелкие одиночные и фронтальные обвалы
		Склоны рек на линейных участках	Группы зияющих трещин в линейной структуре; эскарпы	Крупные одиночные оползни
Раздвиги ССЗ и СЮ	Средне, и – низкогорный эрозионный крутосклонный интенсивно расчленённый	Склоны озёр и рек	Структурные террасы (сбросовые склоны)	Крупные и средние одиночные обвалы
Надвиги и взбросы ЗВ		Склоны межгорных впадин	Эскарпы, грабенообразные депрессии	Мелкие и средние фронтальные и одиночные обвалы
Надвиги и взбросы СЗ	Низкогорный эрозионный расчленённый	Крутые склоны хребта	Линейные депрессии проблемного образования	Нет данных
Зоны неясной кинематики ЗВ	Равнинный эолово-аллювиальный аккумулятивный	Склоны долин мелких рек, балок	Группы эрозионных форм в решетчатой структуре	Мелкие оползни
Левосторонние сдвиги СВ и ССЗ	Высокогорный эрозионно-ледниковый	Днище и склоны долин рек	Группы зияющих трещин в «черепашковой» структуре.	Мелкие фронтальные обвалы, оползни в «гофрированных» склонах отседания.

Особенности выраженности гравитационных сейсмодиформаций в различных эпицентральных зонах определяются не только кинематикой зоны, но и типом рельефа. В пределах центральной части Горного Алтая с эрозионным крутосклонным интенсивно расчленённым и альпийским типом рельефа (в долине Чуи, Башкауса, Чулышмана) отмечается абсолютное преобладание обвалов. На прилегающих юго-восточных районах Горного и Монгольского Алтая с «центрально-азиатским» эрозионно-денудационным пологосклонным слабо расчленённым типом рельефа сейсмогравитационные деформации представлены оползнями. Серия таких древних и современных оползней, отмечены в эпицентральной зоне землетрясения Чуйского (Алтайского) землетрясения, к их числу относится образованный в результате последнего землетрясения гигантский оползень объёмом около 20 млн. м³. Примером в Монгольском Алтае являются сложные фронтальные оползни долины р. Согол-гол.

Использование данной классификации позволяет дифференцировать горные территории по характеру и направленности новейших и современных тектонических движений, и связанных с ними комплексов экзогенных процессов, которые обуславливают риски природопользования.

Приоритетное направление 4.5. Проблемы создания глобальных и интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей. Развитие технологий GRID.

Программа 4.5.2. Разработка научных основ распределенной информационно-аналитической системы на основе ГИС и Веб-технологий для междисциплинарных исследований (координатор ак. Ю.И. Шокин).

Проект 4.5.2.8. Информационно-аналитическая система «Вода и экология Сибири» (научн. рук. д.ф.-м.н., проф. И.А. Суторихин; отв. исп. к.г.н., доц. И.Н. Ротанова, с.н.с. О.В. Ловцкая).

Разработка стандартизированных описаний атрибутивной и картографической информации и формирования метазаписей

Для разработки стандартизированных описаний были использованы принципы системности, формализации и унификации информации при создании распределенных информационно-экспертных систем на основе ГИС для междисциплинарных исследований.

Описание атрибутивной и картографической информации и формирование метазаписей было выполнено в соответствии с Государственным стандартом на содержание пространственных данных ГОСТ Р 52573–2006 «Географическая информация. Метаданные».

На базе стандарта была создана его «проекция» на предметную область – ГИАС «Вода и экология Сибири» и получен предметный профиль, ориентированный на разрабатываемую систему.

Разработан пилотный вариант программной системы для формирования и ведения базы метаданных. Для создания базы метаданных по распределенной картографической базе был использован Мастер Метаданных ESRI ArcCatalog.

Формирование тематических баз данных и базы метаданных

В основу формирования тематических баз данных была положена концепция хранилища данных – предметно-интегрированного, неизменяемого набора данных, организованного для целей поддержки принятия решений. В условиях комплексных многопрофильных исследований, выполняемых ИВЭП СО РАН, формирование хранилища данных базируется на подходе:

- ориентированном на экологически значимые объекты (бассейны водных объектов, территориальная образования) и ситуации (оценка состояния, оценка влияния, оценка последствий);
- включающем объектно-ориентированные наборы данных, содержащие согласованную и агрегированную картографическую и фактографическую информацию, предназначенную для решения научно-практических задач.

Этот подход используется для обеспечения информационной поддержки в рамках НИР института, связанных с крупными водными объектами или природными и социально-экономическими территориальными системами (рис. 2.70):

- Обь-Иртышский бассейн, бассейн реки Алей, бассейн реки Нижняя Тунгуска и пр.;
- Западная Сибирь, Алтайский край, Республика Алтай, муниципальное образование Топчихинский район, рекреационный комплекс «Манжерок» и др.

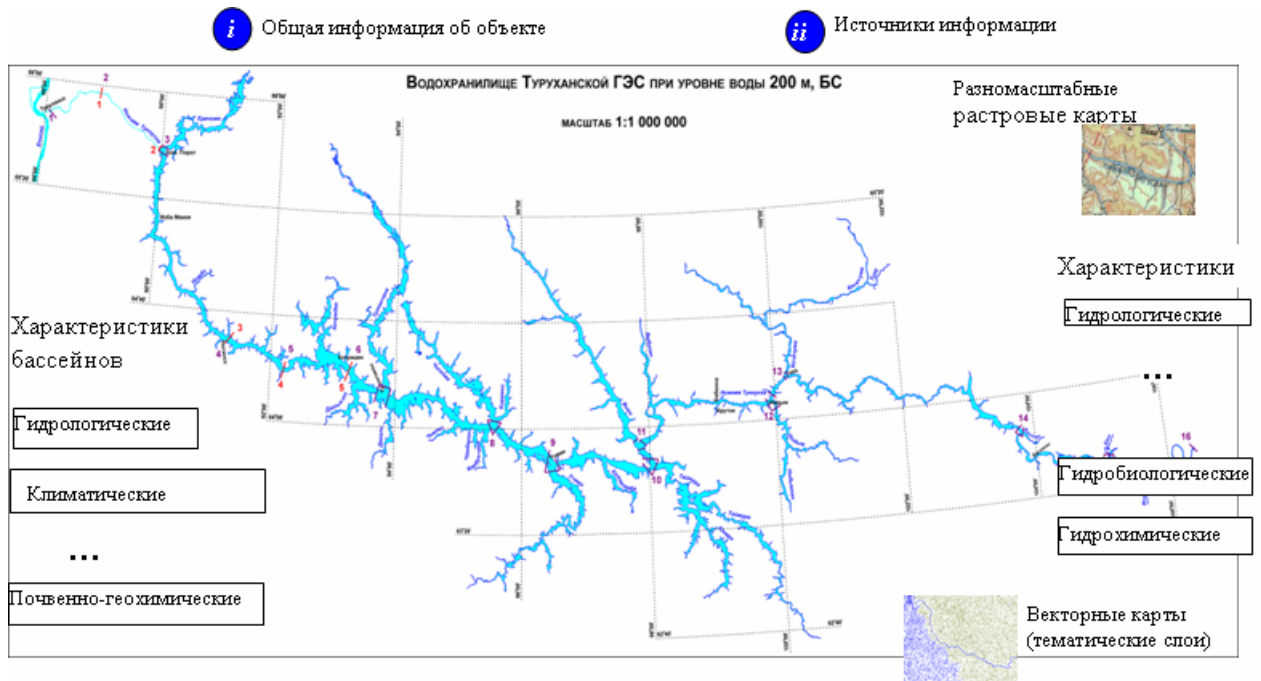


Рис. 2.70. Пример доступа к базе метаданных для бассейна р. Нижняя Тунгуска

Разработка тезауруса визуальных образов естественных объектов по снимкам среднего и высокого разрешения

Был выполнен комплекс работ по контекстному моделированию объектов земной поверхности на основе модели эскиза однородных образов - отличия от НСП (независимого случайного поля) по sketch-направлениям и sketch-расстояниям. Для преодоления различий между классами естественных объектов земной поверхности с точки зрения их визуального (пространственно-спектрального) представления предложен новый подход к визуальному анализу на основе выделения значимой структуры однородных образов с помощью следующих параметров:

- заданный размер окрестности (окна) для поиска соседних элементов,
- структура элементов в окрестности, представляющих основное визуальное содержание образа,
- значимость каждого элемента в структуре, представляющей визуальное содержание.

Предложенный подход использован для формирования запросов по содержательному поиску естественных объектов (тип растительности, вид ландшафта) в базе данных космических снимков различного разрешения.

Инициативный проект Исследование физико-химических свойств воды в природных и биологических средах

(научн. рук. д.г.н., проф. Ю.И. Винокуров; отв. исп. д.т.н. А.Н. Романов)

На примере CaCl_2 экспериментально исследовано влияние высоко гигроскопичных минеральных солей на диэлектрические свойства воды и песчаных грунтов. Установлен новый тип поведения диэлектрических свойств засоленных грунтов в области связанной воды. Показано, что диэлектрические свойства грунтов, содержащих в своем составе высоко гигроскопичные соли зависят в интервале связанной воды от объемных долей и диэлектрических характеристик минеральной компоненты и водно-солевого раствора, образующегося при растворении соли в адсорбируемой ею влаге.

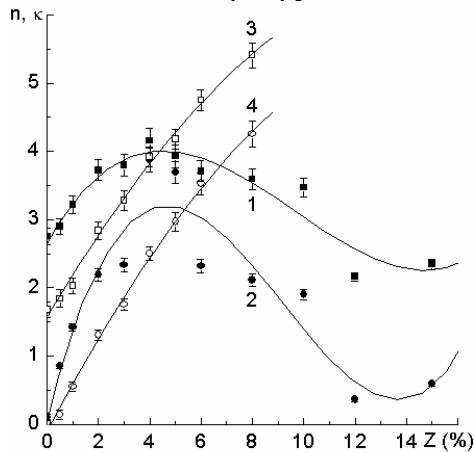


Рис. 2.71. Зависимость показателей преломления и поглощения песка с объемной влажностью $W_B = 0.15$ (1, 2) и $W_{MГ}$ (3, 4) от засоленности.

Разработан радиоволновый метод определения массовой концентрации, чисел гидратации и структуры водно-солевых растворов, основанный на измерении показателей преломления n и поглощения κ электромагнитной волны дециметрового диапазона и сравнении с экспериментально установленными зависимостями n и κ от массовой концентрации соли (S) или числа молекул воды (N), попадающих в разные интервалы массовой концентрации [2].

Искомые параметры определяют по следующим формулам:

1) массовая концентрация:

$$S = \frac{n - n_0}{n_{\max} - n_0} S_{\max}, \quad S = \frac{\kappa - \kappa_0}{\kappa_{\max} - \kappa_0} S_{\max},$$

где, $S = (M_c / (M_p - M_c))$, M_c и M_p – массы безводной соли и раствора, S – максимальная концентрация, соответствующая верхней границе гидратации.

2) число гидратированных молекул:

$$N = \frac{n - n_0}{n_{\max} - n_0} N_{\max}, \quad N = \frac{\kappa - \kappa_0}{\kappa_{\max} - \kappa_0} N_{\max},$$

где N_{\max} – максимальное количество гидратированных молекул в данном интервале

3) структура раствора и соответствующие ей границы дальней, полной и неполной гидратации, – по попаданию измеренных значений n и k в соответствующий интервал массовых концентраций, определяемый из графика (рис. 2.72-2.73).

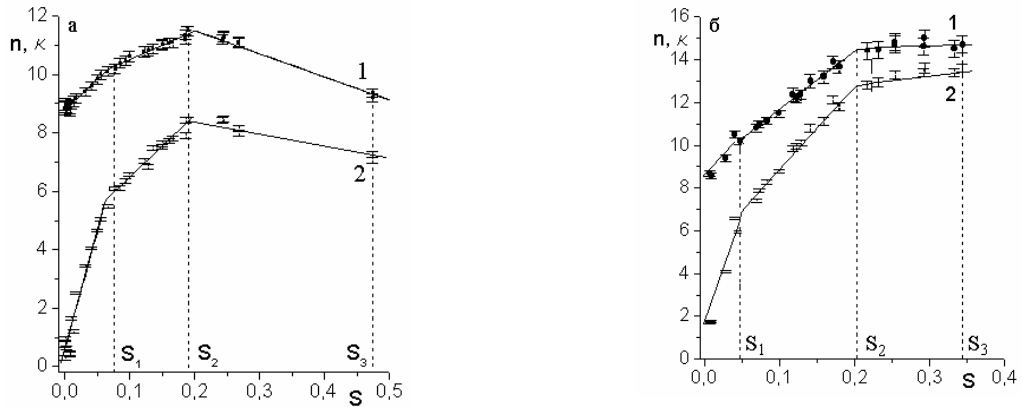


Рис. 2.72. Зависимости показателей преломления n (1) и поглощения k (2) водных растворов солей Na_2CO_3 (а) и NaCl (б) от концентрации соли в растворе

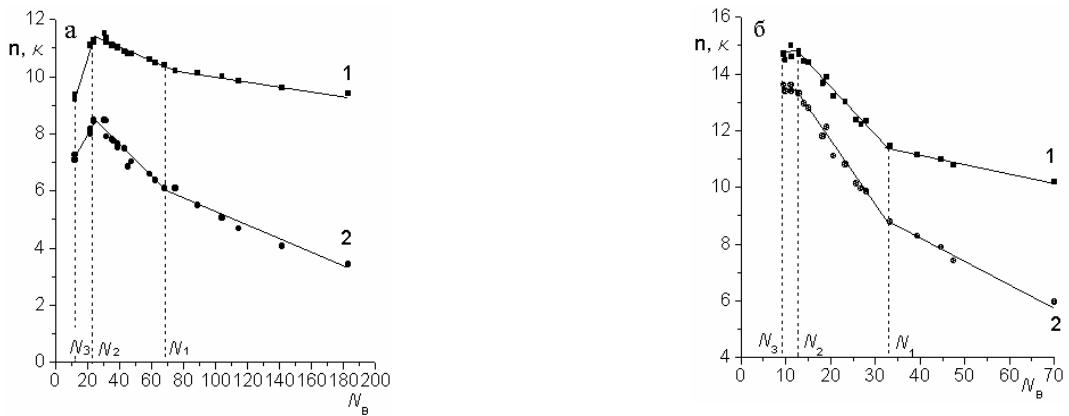


Рис. 2.73. Зависимости показателей преломления n (1) и поглощения k (2) водных растворов солей Na_2CO_3 (а) и NaCl (б) от числа молекул N_B , приходящихся на единицу массы безводной соли

В микроволновом диапазоне исследованы диэлектрические свойства живых и погибших одноклеточных микроорганизмов (дрожжей) в зависимости от объемной доли и фазового состава присутствующей в них воды. Установлено, что в живых одноклеточных микроорганизмах выделяется не менее трех, а в погибших – две категории воды, различающихся по диэлектрическим свойствам. Показано, что влияние W на n и k проявляется неодинаковым образом на разных влажностных участках. Отмирание живых клеток приводит к изменению зависимостей $n(W)$ и $k(W)$. Наблюдаемые различия между живыми и погибшими клетками, менее заметные в области связанной воды, достигают максимума в области свободной воды [3].

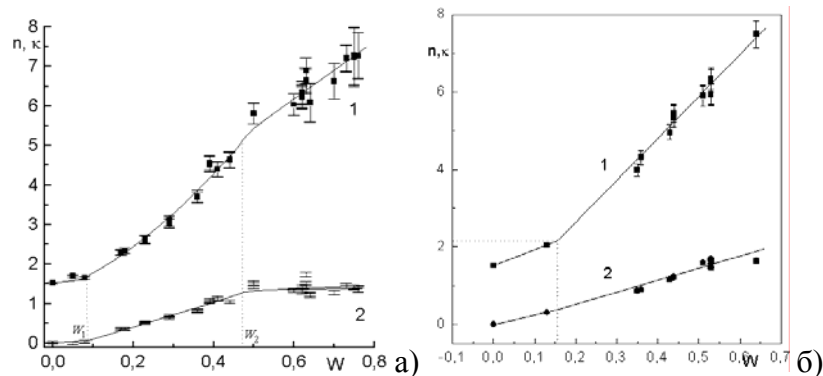


Рис. 2.74. Зависимости показателей преломления n (1) и поглощения κ (2) от объемной влажности: а) живые клетки, б) мертвые клетки.

С использованием рефракционной модели рассчитаны численные значения показателей преломления и поглощения для разных фаз воды в живых клетках: $n'_{0} = 1.45 \pm 0.04$, $\kappa'_{0} = 0.004 \pm 0.005$, $n'_{B1} = 4.4$, $\kappa'_{B1} = 0.14$, и $n_{B2} = 8.7$, $\kappa'_{B2} = 0.6$. Сравнение значений n'_{B2} и κ'_{B2} с $n_B = 8.9$ и $\kappa_B = 0.30$ с рассчитанными по эмпирическим формулам для дистиллированной воды (Stogryn, 1970) на частоте 1.11 ГГц при температуре 25°C, указывает на то, что данная категория клеточной воды представляет собой слабо концентрированный раствор солей или питательных веществ. Низкие значения n_{B1} и κ_{B1} позволяют утверждать, что это связанная вода, содержащаяся в стенках дрожжевой клетки.

Применение рефракционной модели для описания диэлектрических характеристик погибших клеток позволило получить следующие оценочные значения: $n''_{0} = 1.48 \pm 0.01$, $\kappa''_{0} = 0.003 \pm 0.002$, $n''_{B1} = 5.3$, $\kappa''_{B1} = 2.2$, и $n''_{B2} = 12.7$, $\kappa''_{B2} = 3.7$. Из сравнения приведенных данных с диэлектрическими параметрами растворов, можно сделать вывод, что межклеточная вода соответствует концентрированному раствору.

На основе проведенных исследований разработан радиофизический способ определения процентного содержания живых и неживых одноклеточных микроорганизмов в общей массе, основанный на измерении диэлектрической проницаемости и нахождении процентных долей живых V_J и неживых V_H микроорганизмов по формулам:

$$V_H = 1 - V_J, \quad V_J = \frac{\varepsilon_H - \varepsilon}{\varepsilon_H - \varepsilon_J} \times 100\%$$

или

$$V_J = \frac{\frac{d^2 \varepsilon_H}{dW^2} - \frac{d^2 \varepsilon}{dW^2}}{\frac{d^2 \varepsilon_H}{dW^2} - \frac{d^2 \varepsilon_J}{dW^2}} \times 100\%$$

где ε , ε_J , ε_H – диэлектрическая проницаемость смеси, живых и неживых клеток, W – объемная влажность.

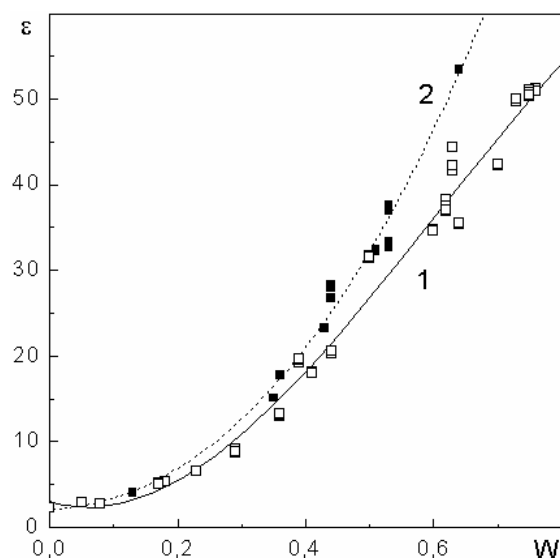


Рис. 2.75. Зависимости диэлектрической проницаемости живых (1) и неживых (2)

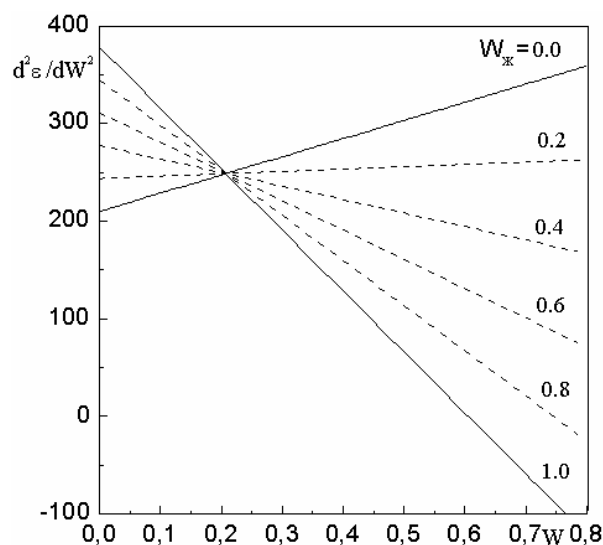


Рис. 2.76. Зависимости второй производной диэлектрической проницаемости живых и

клеток от объемной влажности

неживых клеток от объемной влажности