

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Российский государственный гидрометеорологический университет

На правах рукописи
УДК 556.555.2

БАБКИН
Алексей Владимирович

УВЛАЖНЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТОКА ЕВРАЗИИ
(НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНОВ АРАЛЬСКОГО МОРЯ, КАСПИЙСКОГО
МОРЯ И ОЗЕРА БАЛХАШ)

25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук

Санкт-Петербург
2005

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете

Научный консультант:

доктор географических наук, профессор К.В. Кондратович

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, профессор Р.К. Клиге

доктор географических наук, профессор А.М. Догановский

доктор географических наук И.И. Борзенкова

Ведущая организация:

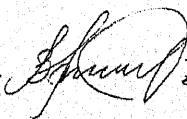
Институт озероведения РАН

Защита диссертации состоится 28 июня 2005 г. в 15 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д.212.197.02 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: Малоохтинский пр., д. 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета по адресу: *С.-Петербург*, Малоохтинский пр., д. 98.

Отзывы на автореферат просьба присылать по адресу: 195196, *Санкт-Петербург*, Малоохтинский пр., д. 98, ученому секретарю диссертационного совета В.Н. Воробьеву.

Автореферат разослан 25 мая 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  В.Н. Воробьев

2006-4
8278

2150863

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

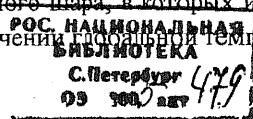
Динамика увлажнения суши, колебания во времени и по территории атмосферных осадков, стока, испарения с поверхности воды и речных бассейнов является одной из центральных проблем гидрометеорологии. Она издревле привлекала внимание ученых многих стран мира. Актуальность этой проблемы вытекает из того особого положения, которое занимает гидросфера, атмосфера, литосфера и криосфера в развитии жизни на Земле, а также она обусловлена существующим с середины 60-х годов XX века длительным однонаправленным изменением климата.

Увлажнение континентов, островов, отдельных регионов и стран происходит вследствие функционирования на Земле грандиозного процесса – круговорота воды в природе. Этот процесс функционирует постоянно, начиная с периода появления воды на Земле и образования гидросферы.

Опираясь на исследования многих ученых мира по оценке колебаний уровня воды Мирового океана, запасов воды в ледниках и состояния гидрографической сети в позднем плейстоцене в настоящей работе дана оценка динамики увлажнения земного шара, а также областей внутреннего стока Евразии (бассейнов Каспийского моря, Аральского моря и озера Балхаш) за длительный интервал времени, продолжительностью 115000 лет. При этом уровень является своеобразным индикатором – показателем перераспределения вод между океаном и сушей, а также характеристикой ее увлажнения.

Общая увлажненность континентов и регионов суши в различные геологические периоды отражена в изменении гидрологического режима озер. Озера являются существенным звеном континентальной части гидросферы. Среди многочисленных озер особое значение для изучения гидроклиматических условий прошлого имеют бессточные водоемы, расположенные в областях внутреннего стока. Уровни воды и площади таких водоемов являются индикаторами изменения увлажненности обширных континентальных регионов.

На протяжении последних четырех десятилетий на земном шаре происходит рост температуры воздуха, который влияет на распределение сумм осадков, влажности воздуха, на элементы водного баланса речных бассейнов, бассейнов морей и озер, а также на отдельные отрасли экономики. В одних регионах увеличение температуры воздуха вызывает благоприятные, а в других – неблагоприятные последствия. Среди многих регионов земного шара, в которых изменения климата могут быть значительными при увеличении глобальной температу-



туры, особое положение занимают обширные площади областей внутреннего стока. К таким территориям относятся, в частности, бассейны Каспийского и Аральского морей и озера Балхаш.

Изучение колебаний площадей и уровней озер, атмосферных осадков и притока вод в бессточные водоемы весьма актуально для исследования изменений климата в геологическом и историческом прошлом, в ближайшем будущем, а также и для предсказания развития экономики областей внутреннего стока в перспективе. Актуальность исследований заключается в необходимости своевременной разработки методов и подходов к оценке увлажнения земного шара и областей внутреннего стока в прошлом, настоящем и будущем в связи с происходящими изменениями климата и неясными их последствиями для экономик стран мира.

Цель и задачи исследований

Основной целью диссертации является разработка методических основ исследования увлажнения областей внутреннего стока Евразии (бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш) в прошлом, настоящем и будущем на основе выявления взаимосвязей между гидролого-климатическими и морфометрическими характеристиками бессточных водоемов с помощью общей теории колебаний и с привлечением в необходимых случаях данных по Мировому водному балансу. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

1) предложена система четырехчленных уравнений Мирового водного баланса, описывающая взаимосвязь вод Мирового океана и суши. Рассмотрено ее решение для периодов позднего плейстоцена. Получены данные для указанного времени по всем элементам водного баланса, характеризующих увлажнение суши;

2) предложены уравнения водного баланса и дана оценка всех его элементов для периодов позднего плейстоцена применительно к бассейнам Аральского, Каспийского морей, озера Балхаш и самим водоемам;

3) детально рассмотрен водный баланс Пра-Волги, включая его “озерный” и “ледовый” водосборы;

4) выявлен механизм и получены количественные данные о функционировании Великой западной приледниковой системы стока на пространствах: а) р. Обь – Палео-Арал; б) Палео-Арал – Палео-Каспий; в) “ледовый” и “озерный” водосборы Пра-Волги – бассейн самой реки – Палео-Каспий; г) Палео-Каспий – Новозвксинский бассейн;

5) развит теплобалансовый подход к исследованию увлажнения областей внутреннего стока в геологическом прошлом и на примере Палео-Балхаша предложен метод выявления взаимосвязи между состоянием увлажнения и ландшафтными особенностями областей внутреннего стока;

6) развито положение о равновесном состоянии водоема, разработаны методы, позволяющие оценивать скорость и время перехода водоема из одного равновесного состояния в другое;

7) получено приближенное решение дифференциального уравнения водного баланса озера. Динамика его характеристик (уровня, площади, испарения с водной поверхности) при колебаниях притока в него вод рассмотрена в рамках единого подхода к изучению и описанию колебаний систем различной физической природы;

8) разработана математическая модель для оценки периодичностей в характеристиках увлажнения суши. Показано ее использование для прогнозирования указанных характеристик на ближайшие годы. На независимом материале осуществлена проверка прогнозов уровня Каспийского моря;

9) предложена математическая модель, описывающая реакцию элементов водного и теплового режимов суши на изменения атмосферных осадков.

Исходные материалы и методы исследований.

В настоящих исследованиях использовались опубликованные материалы наблюдений за метеорологическими и гидрологическими элементами соответствующих управлений Гидрометслужб СССР, России, Ирана, Грузии, Армении, Азербайджана, Казахстана, Узбекистана, Кыргызстана, Таджикистана и Туркменистана. Одновременно использовались также многочисленные справочные пособия, атласы, монографии, опубликованные учеными и специалистами Гидрометслужб, РАН, специалистами Минобразования России и других стран. Все использованные материалы являются вполне надежными. На материалы, монографии, статьи, атласы и другие документы приводятся ссылки в тексте диссертации.

Для оценки динамики увлажнения бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш в периоды позднего плейстоцена, в настоящее время и в ближайшем будущем использованы балансовые методы (водного и теплового балансов), гидролого-климатический, интерполяционные, физические, основанные на общей теории колебаний, статистические методы и методы математического моделирования. Большая часть этих методов и моделей разработана автором, часть известных методов и приемов существенно уточнена.

Предметом защиты являются разработанные автором:

- 1) научная концепция, методология и результаты оценки увлажнения (элементов водного и теплового балансов) бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш в периоды позднего плейстоцена;
- 2) методы, математические модели и результаты исследований увлажнения в современный период и в ближайшей перспективе.

Новизна работы заключается в том, что:

- 1) разработана методология оценки взаимосвязей элементов водного баланса Мирового океана и суши. С ее использованием дана оценка элементов водного баланса океана и суши в периоды позднего плейстоцена;
- 2) предложена концепция исследования увлажнения бассейнов Каспийского моря и Аральского моря в периоды позднего плейстоцена с использованием данных по колебаниям уровня Мирового океана и запасам воды в ледниках;
- 3) выявлен механизм функционирования “Великой западной приледниковой системы стока” на пространствах: а) река Обь – Аральское море; б) Аральское море – Каспийское море; в) “озерный” и “ледовый” водосборы Пра-Волги – бассейн Пра-Волги – Каспийское море;
- 4) развит теплобалансовый подход к оценке колебаний параметров бессточных озер в геологическом прошлом;
- 5) разработан метод, позволяющий оценивать скорость и время перехода водоема из одного равновесного состояния в другое;
- 6) предложена дифференциальная форма записи уравнения водного баланса бессточного озера, позволившая вскрыть общие черты колебаний характеристик объектов различной физической природы;
- 7) предложен метод оценки реакции параметров водоема на изменения притока в него вод;
- 8) разработана математическая модель и осуществлено моделирование влияния изменений атмосферных осадков на элементы водного и теплового балансов областей внутреннего стока;
- 9) предложен метод выявления периодичностей в колебаниях элементов водного баланса озер. Показано его использование при разработке методик долгосрочного прогнозирования элементов водного баланса.

Практическая ценность, внедрение результатов исследований, поощрения.

Разработанные методы и полученные результаты являются новыми. Получены новые знания о динамике увлажнения бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш за период времени, продолжительностью 115000

лет. Эти результаты можно использовать в курсах лекций по отдельным разделам палеоклиматологии, палеогидрологии и гидросфере, а также в научной деятельности.

Предложенный путь выявления периодичностей в колебаниях элементов водного баланса озер может быть успешно использован при аналогичных исследованиях метеорологических и гидрологических характеристик суши (атмосферные осадки, температура воздуха, атмосферное давление, речной сток и др.) с целью их успешного прогнозирования на ближайшее будущее. Таким образом, предложенные подходы могут быть использованы при разработке методик метеорологических и гидрологических прогнозов с большой заблаговременностью.

Полученные теоретическим путем формулы по оценке равновесных состояний бессточных водоемов и перехода их из одного равновесного состояния в другое, формулы по оценке скорости и времени переходов могут быть использованы в практике расчетов времени и объемов наполнения котловин озер в зависимости от величины притока вод.

Предложенные методы и модели могут быть использованы для решения аналогичных задач областей внутреннего стока всех обжитых континентов Земли.

Работа выполнялась при финансовой поддержке:

1. Администрации Санкт-Петербурга по итогам конкурса персональных грантов за 2000 г.
2. Правительства Санкт-Петербурга по итогам конкурсов персональных грантов молодых кандидатов наук за 2002 и 2003 гг.;
3. Министерства образования России и Администрации Санкт-Петербурга (Грант PD02–1.5–303 за 2002–2004 гг.);
4. Президиума РАН за 1997–2003 гг. (научная стипендия для молодых ученых);
5. РФФИ (Грант РФФИ 02–05–74513 за 2002 год на поездку на международную конференцию в Кувейт).

Результаты исследований, их научный уровень и значимость для практики были отмечены соответствующими дипломами и медалями:

1. Диплом за доклад на конференции “Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия” (Томск, 2000);
2. Диплом победителя Санкт-Петербургского конкурса персональных грантов 2000 года для студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов (АСП N300035);

3. Диплом победителя конкурса грантов 2002 года для молодых кандидатов наук вузов Санкт-Петербурга (АСП N602006);
4. Диплом победителя конкурса грантов 2003 года для молодых кандидатов наук вузов Санкт-Петербурга (АСП N603006);
5. Юбилейные памятные медали к 165-летию Гидрометеорологической службы России и 150-летию Главной геофизической обсерватории за доклад на конференции молодых ученых национальных Гидрометслужб стран СНГ (Москва, 1999);
6. Диплом и медаль Российской Академии Наук с премией для молодых ученых по итогам конкурса 2002 года за цикл работ “Увлажнение засушливых территорий и колебания уровня воды внутренних водоемов”, направление – океанология, физика атмосферы и география;
7. Юбилейная памятная медаль “За преданность науке” Дирекции проекта “Политехнический симпозиум: Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона”.

Апробация работы.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на различных конференциях и симпозиумах, в том числе: на международном симпозиуме “Расчеты речного стока”, СПб., 1995; на конференции молодых ученых национальных Гидрометслужб стран СНГ, Москва, 1999; на международной конференции “Hydrological consequences of global climate change”, Москва 2000; на международной конференции “Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия”, Томск, 2000; на пятой Санкт-Петербургской ассамблее молодых ученых и специалистов, СПб., 2000; на одиннадцатой международной конференции молодых ученых “Человек. Природа. Общество. Актуальные проблемы”, СПб., 2000; на итоговых сессиях Ученого Совета РГТМУ, СПб., 2001-2003 гг.; научной конференции “Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования”, Чита, 2001; на международной конференции “Water resources management in arid regions”, Кувейт, 2002; на научной конференции “Природно-ресурсный потенциал Азиатской России и сопредельных стран”, Иркутск, 2002; на второй международной конференции по экологической химии, Кишинев, 2002; на Политехнических симпозиумах “Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона”, СПб., 2002-2004; на четвертой международной конференции “ХЕЛЕСО’03”, Афины, 2003; на пятой – седьмой научно-практических конференциях аспирантов, молодых ученых РАН и Высшей школы “Социально-экономическое развитие и экологическая безопасность регионов России”, СПб.,

2002-2004 гг.; на международной научной конференции “The rational use and conservation of water in changing environment”, Ереван, 2003; на XXX конгрессе международной ассоциации IANR, Салоники, 2003; на Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 2003; на Европейских курсах атмосферных исследований, Гренобль, 2004; на международной конференции инженеров “Mutah 2004”, Амман, 2004; на VI Всероссийском гидрологическом съезде, СПб., 2004.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 48 работ, в том числе 15 -- в центральных рецензируемых журналах РАН (Водные ресурсы; Известия РАН, сер. географическая; Региональная экология); Метеорология и гидрология; Известия Русского географического общества.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы в 333 наименований работ. Объем диссертации составляет 355 страниц, включая 43 таблицы, 45 рисунков.

Основные защищаемые положения

На защиту вынесено 10 групп научных положений и результатов исследований:

1. Метод оценки и данные о современном водном балансе бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш.
2. Научная концепция о взаимосвязи увлажнения регионов суши и уровня Мирового океана.
3. Комплекс научных вопросов, связанных с исследованием функционирования Великой западной приледниковой системы стока на пространствах а) р. Обь – Палео-Арал; б) Палео-Арал – Палео-Каспий; в) “ледовый” и “озерный” водосборы Пра-Волги – бассейн самой реки – Палео-Каспий; г) Палео-Каспий – Новозвксинский бассейн.
4. Научная концепция, методология исследования увлажнения и его реконструкции для бассейнов Аральского моря и Каспийского моря в периоды позднего плейстоцена с использованием данных по колебаниям уровня Мирового океана и запасам воды в ледниках.
5. Реконструкция климатических условий и увлажнения бассейна Палео-Балхаша в периоды двух трансгрессий (максимума Валдайского оледенения и оптимума голоцена) с использованием усовершенствованного теплобалансового подхода.

6. Методология и исследование взаимосвязи уровня и элементов водного баланса внутренних водоемов суши при их переходах из одного равновесного состояния в другое.

7. Модель взаимосвязи колебаний уровня водоема и элементов его водного баланса, разработанная на основе использования единого подхода общей теории колебаний.

8. Метод оценки периодичностей в элементах водного баланса замкнутых водоемов.

9. Методология учета выявленных периодичностей для целей долгосрочных прогнозов увлажнения (элементов водного баланса озер).

10. Математическая модель исследования динамики водно-теплового режима засушливой территории при изменении атмосферных осадков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность проблемы – динамики увлажнения областей внутреннего стока Евразии (бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш) в прошлом, настоящем и в ближайшем будущем, сформулированы цель и задачи исследований, предмет защиты, новизна, основные научные положения, представляющие предмет защиты. В нем отражены научная и практическая значимость работы, сведения об ее апробации, публикациях по теме, а также кратко изложено содержание работы.

В первой главе рассматриваются закономерности распространения областей внутреннего стока и внешнего стока на земном шаре, бассейны Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш; а также дано описание Великой западной приледниковой системы стока Вюрмского оледенения, составной частью которой являлись Палео-Арал и Палео-Каспий (Гросвальд М.Г., 1997).

В период позднего плейстоцена в северной части Евразии находился сплошной ледниковый покров. Этот покров служил своеобразным ледовым барьером, преграждавшим реки, сбрасывавшие ранее свои воды в Северный Ледовитый океан. Это обстоятельство было основной причиной перестройки существовавшей ранее гидрографической сети (Квасов Д.Д., 1976; Гросвальд М.Г., 1997 и др.). В указанный период происходило образование очень больших по площади озерных систем. Эти системы являлись составной частью существовавших тогда двух Великих приледниковых систем стока – западной и восточной.

В эпоху максимума Валдайского оледенения (М.Г. Гросвальд, 1997) пресноводные бассейны и протоки западной системы, связанные с бассейнами Арала и Каспия, простирались от Верхоянского хребта до Альп. Они собирали воду с площади, которая примерно была равна 21 млн. км². Главными элементами этой системы являлись Лено-Виллойское озеро, Мансийское море, Палео-Арал, Хвалынское море. Суммарная площадь водной поверхности этих морей и озер, а также более мелких водоемов, превышала 3.0 млн. км². Весь сток западной системы поступал в Нововоксинский бассейн (в современное Черное море), а из него – в Эгейскос. Таким образом, часть стока рек Оби, Енисея и Лены в итоге достигала Средиземного моря.

В начале 60-х годов XX века уровень Аральского моря составлял порядка 53.0 м. Под влиянием антропогенного фактора на начало 1992 г. его отметка была равна лишь 37.3 м (Турсунов А.А., 2002; Глазовский Н.Ф., 1990; и др.).

Общие представления о распределении по территории элементов увлажнения бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и Балхаш-Ала-Кольских озер можно получить при анализе карт атмосферных осадков, речного стока и испарения (Атлас Мирового водного баланса, 1974). Данные об элементах водного баланса бассейнов Аральского моря, Балхаш-Ала-Кольских озер и Каспийского моря, оцененные для современного периода, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Водный баланс бассейнов Аральского моря, Балхаш-Ала-Кольских озер и Каспийского моря в современный период, мм/год

Элементы баланса	Бассейн Аральского моря	Балхаш-Ала-Кольский бассейн	Бассейн Каспийского моря
Испарение	243	282	429
Сток	64	67	144
Осадки	307	349	573

Испарение с поверхности бассейна Аральского моря и Балхаш-Ала-Кольских озер и речной сток оценивались путем планиметрирования карт испарения и стока (Атлас Мирового водного баланса, 1974). Атмосферные осадки оценены как сумма указанных элементов водного баланса.

Для бассейна Каспийского моря значения элементов водного баланса взяты из монографии (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974).

Из данных таблицы 1 видно, что из трех рассматриваемых водосборов наиболее увлажненным является бассейн Каспийского моря (осадки равны 573 мм/год), а менее увлажненным – Аральского моря (осадки равны 307 мм/год). Наиболее благоприятные условия формирования стока характерны для бассейна Каспийского моря: коэффициент стока равен 0.25. Для двух других бассейнов его значение примерно равно 0.20.

Вторая глава посвящена исследованию увлажнения бассейнов Каспийского моря, Аральского моря и озера Балхаш в геологическом прошлом (в позднем плейстоцене). В геологическом прошлом увлажнение отдельных территорий суши существенно отличалось от современного (Зубаков В.А., 1986; Зубаков В.А., Борзенкова И.И., 1983; Варущенко С.И., Варущенко А.Н., Клиге Р.К., 1987; и др.). Оно было обусловлено соответствующими соотношениями элементов водного баланса Мирового океана и суши. В многочисленных работах (Калинин Г.П., Клиге Р.К., Шлейников В.А., 1976; Джон Б., Дербишер Э., Фейрбридж Р. и др., 1982; Гросвальд М.Г., 1987; Клиге Р.К., 1985; 1992; 1998; Гросвальд М.Г., Глазовский Н.Ф., 1988; Марков К.К., Суетова И.А., 1964; Мысливец и др., 1976; Селиванов А.О., 1996; и др.) показаны изменения уровня Мирового океана на нашей планете в прошлом, достигавшие 100 – 400 м и более, по сравнению с его современным положением.

На рисунке 1 показаны колебания уровня Мирового океана в позднем плейстоцене на протяжении 115000 – 8000 лет тому назад (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997). В этот период времени области внешнего и внутреннего стока имели, естественно, значительно различающиеся соотношения в элементах водного баланса, по сравнению с современным периодом. Эти соотношения, главным образом, определялись водообменом Мирового океана и суши, приводившим к изменениям климатических условий на континентах и островах, в равнинных и горных областях. Поэтому изучение водного баланса земного шара в прошлом имеет основополагающее значение не только для исследования современного состояния увлажнения, но также и для реконструкции климата в прошлом и его оценки в ближайшем будущем.

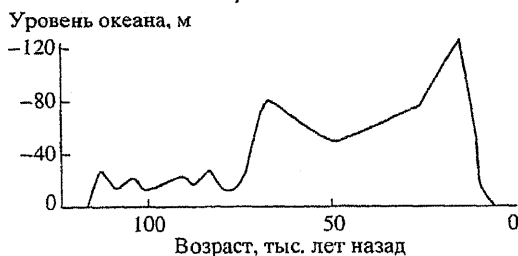


Рисунок 1 – Изменение уровня Мирового океана в период позднего плейстоцена

В работах по оценке современного Мирового водного баланса использовалась система трехчленных уравнений (Брикнер Е.А., 1905; Львович М.И., 1974;

Соколов А.А., 1974; и др.). Применение системы трехчленных уравнений при исследовании элементов водного баланса в прошлые эпохи затруднительно, поскольку она не учитывает изменения запасов воды в Мировом океане (на суше). В настоящем исследовании предложена система четырехчленных уравнений водного баланса Мирового океана и суши, учитывающая накопление либо убыль запасов воды в них:

$$P_1 + Y - E_1 = \pm U, \quad (1)$$

$$P_2 - Y - E_2 = \mp U. \quad (2)$$

где P_1 и P_2 – атмосферные осадки, выпадающие соответственно на поверхности океана и суши, км³/год;

Y – речной сток (приток вод в Мировой океан), км³/год;

E_1 и E_2 – испарение соответственно с поверхности океана и суши, км³/год;

U – накопление (либо убыль) запасов воды в океане (либо на суше) за рассматриваемый период времени.

Оценка элементов водного баланса земного шара осуществлялась для следующих периодов позднего плейстоцена: 1) 115000 – 100000 лет назад; 2) 100000 – 70000 лет назад; 3) 70000 – 50000 лет назад; 4) 50000 – 18000 лет назад; 5) 18000 – 8000 лет назад.

Определение элементов водного баланса земного шара производилось по специально разработанной методике. В частности, для суши (бассейн Северного Ледовитого океана и Антарктиды) оценивались осадки, участвующие в формировании поверхностного (жидкого) стока, а также ледникового стока, айсбергового стока и стока подземных вод, недренируемых реками (Клиге Р.К., Данилов И.Д., Конищев В.Н., 1998; Джамалов Р.Г., Зекцер И.С., Месхетели А.В., 1977).

Отдельно определялись элементы стока (поверхностный, ледниковый с учетом поступления айсбергов, подземный, не дренируемый реками) и суммарный, включающий указанные составляющие. С учетом этих составляющих в современный период объем осадков больше в 1.28 раза их суммы, затраченной только на поверхностный сток. Это соотношение было использовано для оценки общей суммы осадков исследуемой территории. Изменения запасов воды на суше (в океане) оценивалось с использованием рисунка 1 по данным о запасах воды в ледниках. Испарение с океана и суши оценивалось согласно системе выражений (1) – (2).

Водный баланс Мирового океана для периодов позднего плейстоцена оценивался следующим образом: 1) принималось, что соответствующие изменения атмосферных осадков, выпадавших на акваторию Северного Ледовитого океана, определяли изменения их сумм для всего Мирового океана; 2) сток с территории суши в океан приравнялся к притоку в него поверхностных вод; испарение с поверхности Мирового океана оценивалось по выражению (1).

Установлено что в период максимального развития оледенения (50000 – 18000 лет тому назад) происходило значительное падение уровня Мирового океана и резкое парастание оледенения на суше. Примерно 1215 км^3 воды ежегодно изымалось из океана и накапливалось на суше. Для этого периода было характерно снижение величин и интенсивности всех процессов водообмена между сушей и океаном, по сравнению с современным периодом: осадков на суше – на 6.4 %, испарение влаги с ее поверхности – на 13.2%, стока в океан – на 0.6%. На поверхность океана осадков выпадало на 0.6% меньше, а испарение было меньше современной величины на 0.3%.

В период дегляциации (18000 – 8000 лет назад) происходило быстрое таяние ледников, объем вод на суше сокращался в среднем на $6480 \text{ км}^3/\text{год}$. В это время атмосферные осадки на суше, испарение и сток увеличивались по сравнению с предыдущим периодом. Однако, осадки были ниже современного значения на 3.2%, сток – на 0.3%, а испарение было выше на 3.1%. Атмосферные осадки, выпадавшие на поверхность океана, были ниже современных значений на 0.3%, а испарение с его поверхности – на 1.5%.

Элементы водного баланса суши в позднем плейстоцене являются фоновыми характеристиками ее увлажнения для этого периода. Региональные изменения увлажнения суши, в отличие от общего для земного шара, были более значительными. Рассмотрим эти изменения на примере бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш.

Водный баланс бассейна Аральского моря для периодов позднего плейстоцена рассчитывался следующим образом:

1) слой осадков в соответствии с исследованиями (Борзенкова И.И., 1992; Предстоящие изменения климата, 1991) для периода максимума Валдайского оледенения принимался для рассматриваемого бассейна на 50 мм/год больше современного значения. Для остальных периодов позднего плейстоцена выполнялась оценка изменений атмосферных осадков относительно современного значения ΔP_i методом пропорций (пропорционально значениям запасов воды в ледниках). Осадки за конкретный расчетный интервал позднего плейстоцена P_i оценивались по сумме их современного значения P и соответствующей величины ΔP_i ;

2) для оценки испарения с поверхности бассейна Палео-Арала необходимы сведения о сумме положительных температур воздуха. Эта сумма для теплого периода года в современных условиях определялась по данным, приведенным в Атласе (Физико-географический атлас мира, 1964), а ее уменьшение для периода максимума оледенения принималось в соответствии с работами (Борзенкова И.И., 1992; Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997). Путем вычитания из месячных температур отдельных метеорологических станций за теплый период года значений 4°C (для станций, расположенных на равнине) и 7°C для станций горных районов и осреднения полученных величин определялось среднее значение Δt для периода максимума оледенения. Для остальных расчетных периодов аналогичные разности сумм положительных температур оценивались методом пропорций (пропорционально запасам воды в ледниках). Эти разности соответствующих расчетных интервалов времени суммировались с температурой воздуха современного периода. Таким путем были определены положительные температуры воздуха и суммы положительных температур для рассматриваемых интервалов плейстоцена.

Определялись параметры β_i , равные отношению сумм положительных температур рассматриваемых периодов плейстоцена к современной сумме положительных температур. Параметры β_i для периодов плейстоцена 115000 – 100000; 100000 – 70000; 70000 – 50000; 50000 – 18000 лет тому назад оказались равными: $\beta_1 = 0.967$; $\beta_2 = 0.796$; $\beta_3 = 0.872$; $\beta_4 = 0.684$.

Для современного периода по данным об осадках и испарении обратным путем оценивалось максимально-возможное испарение E_m , а для остальных интервалов плейстоцена его значение корректировалось путем умножения на соответствующий параметр β_i . Таким образом, для оценки испарения E_i с поверхности бассейна Аральского моря для отдельных периодов позднего плейстоцена использовалась формула Э.М. Ольдекопа в виде:

$$E_i = \beta_i E_m \cdot th \frac{P_i}{\beta_i E_m}. \quad (3)$$

Речной сток в бассейне Палео-Арала (водные ресурсы бассейна) оценивался по разности атмосферных осадков и испарения. Средние за рассматриваемые периоды значения изменений запасов воды в ледниках, в виду их малости, в расчетах по формуле (3) не учитывались. Данные о водном балансе Палео-Арала в периоды позднего плейстоцена приведены в таблице 2.

Для современного периода существует несколько оценок водного баланса Аральского моря (Асарин, 1975; Водные ресурсы и водный баланс территории

Советского Союза, 1967; Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974; Водные ресурсы СССР и их использование, 1987; и др.). В настоящем исследовании для площади Аральского моря, равной 64100 км², (1926 – 1960 гг.) приняты данные об элементах водного баланса, опубликованные в монографии (Водные ресурсы СССР и их использование, 1987): атмосферные осадки, выпадающие на зеркало озера, равны 8.7 км³/год, приток вод к озеру – 54.7 км³/год (Асарин А.Е., 1973; 1975), испарение с поверхности озера равно 64.1 км³/год.

Таблица 2 – Водный баланс Аральского моря в периоды позднего плейстоцена, км³/год

Периоды, тыс. лет тому назад	Элементы баланса				Отток в Каспийское море
	осадки	приток	испарение	изменени запасов воды	
115–100	9.7	59.8	67.3	2.2	1.78
100–70	20.2	90.9	104	7.4	5.92
70–50	15.4	75.2	89.8	0.8	0.64
50–18	44.6	118+59	163	58.6	46.7
1926–1964 гг.	8.7	54.7	64.1	-0.7	

Для периода максимума Валдайского оледенения площадь акватории Аральского моря составляла 240000 км² (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997).

Элементы водного баланса Палео-Арала для расчетных периодов позднего плейстоцена определялись следующим образом: значения притока вод в море оценивались по данным о водных ресурсах бассейна этого водосма с учетом их потерь в естественных условиях на испарение и фильтрацию в руслах и дельтах впадающих в него рек (Асарин А.Е., 1973; 1975).

Испарение в период максимума оледенения принималось равным 680 мм/год. В остальные периоды оно корректировалось на соответствующие параметры β_i для моря. Осадки принимались в период максимума оледенения на 50 мм/год больше современных. В другие периоды плейстоцена они определялись аналогично, как для бассейна моря.

В настоящих исследованиях реконструируются увлажнение бассейна Каспийского моря и водный баланс этого водоема в периоды последней ледниковой эпохи (периоды позднего плейстоцена), продолжительностью более 100000 лет.

На климат, гидрографию и водный режим рек Европейской части России в периоды позднего плейстоцена оказывали влияние два ледниковых щита: Скандинавский и Карский (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997). Истоками р. Волги в это время являлись р.р. Ока и Унжа, а Верхняя Волга до современного створа у г. Плеса не относилась к ее бассейну. Верхняя Кама впадала в р. Вычегду. Однако, в это время вследствие наличия сплошного ледникового покрова бассейны Волги и Камы существенно увеличивались. По оценкам (Квасов Д.Д., 1968; 1976) площадь “ледового” бассейна Волги в этот период составляла 1.3 млн. км².

В настоящих исследованиях границы “ледового” водосбора Волги приняты в соответствии с работой (Квасов Д.Д., 1976). Объем льда “ледового” водосбора Волги для периода максимума Валдайского оледенения по данным работы (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997) составил $2.15 \cdot 10^6$ км³, что соответствует объему воды в $1.935 \cdot 10^6$ км³. Объем воды в ледовом покрове бассейна в другие расчетные периоды позднего плейстоцена определялись в соответствии с их изменениями на земном шаре с учетом изменения уровня Мирового океана (см. рисунок 1). Установлено, что в период 115000 – 100000 лет тому назад запасы воды в “ледовом” водосборе Волги составили около 186000 км³. Эти запасы были сосредоточены, главным образом, на шельфе в местах зарождения ледников. В остальные исследуемые периоды запасы воды во льдах были значительно больше. Ледники находились не только на шельфе, но и в пределах материковой части “ледового” водосбора Пра-Волги.

Около 80000 лет назад началось резкое падение уровня океана. Это падение вероятно было вызвано перемещением ледовых масс с шельфа на материк, консервацией атмосферных осадков на суше и сокращением объемов притока вод с территории суши в океан. Примерно 73750 лет назад ледники перегородили реки, несущие свои воды в Северный Ледовитый океан. На суше начали формироваться многочисленные приледниковые озера. Именно с этого времени начали функционировать “озерный” и “ледовый” бассейны Пра-Волги.

Существенный научный интерес представляет водный баланс бассейна Палео-Каспия в ледниковый период. Этот баланс определялся путем суммирования однотипных элементов водного баланса всех речных, “озерного” и “ледового” водосборов бассейна Палео-Каспия.

Атмосферные осадки в пределах “ледового” водосбора принимались по данным работы (Квасов Д.Д., 1976) равными 200 мм/год для периода максимума Валдайского оледенения. Для остальных расчетных периодов позднего плейстоцена изменения в суммах осадков определены пропорционально запасам воды в ледниках.

Испарение с поверхности речных, и “ледового” водосборов определялось по формуле Э.М. Ольдекопа (3). Для “ледового” водосбора при этом учитывались изменения запасов воды в ледниках и вынос снега с его поверхности.

Испарение с поверхности “озерного” бассейна в расчетные периоды позднего плейстоцена определялось путем введения параметров β_i , оцениваемых аналогично как и для бассейна Палео-Арала, к сумме испарения с водной поверхности в современный период (Чеботарев А.И., 1968). Сток определялся по разности осадков и испарения.

Итоговые данные для бассейна Каспийского моря для периода Вюрмского оледенения приведены в таблице 3. Видно, что в период 50000 – 18000 лет назад значение стока (водных ресурсов) в бассейне Палео-Каспия достигало 751.6 км³/год, а коэффициент стока в 2 раза превышал его современное значение.

Таблица 3 – Водный баланс бассейна Каспийского моря в периоды наступления и деградации оледенения, км³/год

Периоды, тыс. лет тому назад	Осадки	Испарение	Сток	Аккумуляция	Коэффициент стока
115–100	1057	789	268		0.254
100–70	1065	669	391	4.8	0.369
70–50	1638	1052	605	-19.0	0.365
50–18	1387	596	752	39.0	0.558
115–18	1288	743	535	10.4	0.419
18–15	1338	1160	373	-195.4	0.243
15–14	1190	994	293	-96.8	0.228
14–13	982	787	195		0.198
13–9	1074	841	236	-3.0	0.219
9–8	1133	882	251		0.222
18–8	1161	951	280	-69.5	0.225
Современный период	1271	933	338		0.266

Из таблицы 3 видно, что период деградации оледенения в целом был засушливым. Коэффициент стока за этот период составил 84.6% от современного значения.

С целью характеристики увлажнения бассейна Каспийского моря по величинам его элементов водного баланса и выявления функционирования Великой западной приледниковой системы стока на пространствах: “ледовый” и “озер-

ный” водосборы Пра-Волги – Пра-Волга – Каспийское море, другие реки, впадающие в Палео-Каспий, Палео-Каспий – Манычско-Азовская река – Ново-эвксинский бассейн, эти компоненты были рассчитаны для рассматриваемого палео-водоема для периодов наступления и деградации оледенения позднего плейстоцена. Приближенная оценка элементов водного баланса Палео-Каспия для периода максимума Валдайского оледенения производилась ранее (Квасов Д.Д., 1976; Калинин Г.П., Марков К.К., Суегова Л.А., 1966; Рычагов Г.И., 1977; 1997). Однако, в этих исследованиях осадки не корректировались на их недоучет при измерении (на влияние скорости ветра, испарения из прибора и смачивания его стенок).

Для оценки элементов водного баланса Палео-Каспия в периоды наступления оледенения в Северном полушарии в качестве исходных данных использовались их современные значения (Викulina З.А., Кашинова Т.Д., Натрус А.А., 1975). При этом необходимо располагать данными о притоках в него вод и площадях акватории моря в расчетные отрезки времени.

Водные ресурсы Палео-Каспия, сформировавшиеся тогда в его бассейне, отличались от величин притока в него вод, вследствие потерь части их на испарение и фильтрацию. В современных условиях в низовьях рек, относящихся к бассейну Каспийского моря, суммарные потери стока составляют 7.74% от величины их водных ресурсов (Шикломанов И.А., 1976; Шикломанов И.А., Кожевников В.П., 1974; Цыценко К.В., 1999; и др.). С учетом этих процессов был осуществлен переход от значений стока в бассейне Палео-Каспия в исследуемые периоды плейстоцена к расчетному притоку вод в этот водоем (с учетом стока из Палео-Арала). Расчетные значения притока вод были использованы для оценки площадей водной поверхности в периоды позднего плейстоцена. В исследованиях (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997) площадь водной поверхности Палео-Каспия в период максимума оледенения оценена в 920000 км². В другие интервалы времени эти площади были оценены методом пропорций: пропорционально значениям расчетного притока.

Атмосферные осадки в период максимума оледенения, выпадавшие на акваторию моря, оценивались с учетом их изменений, по сравнению с современным периодом, приведенных в работе (Борзенкова И.И., 1992) для трех частей водоема: современной, дополнительной юго-западной и дополнительной северо-восточной. В остальные периоды плейстоцена для каждой из частей моря изменения осадков определялись методом пропорций (пропорционально запасам воды в ледниках). Эти изменения суммировались с соответствующими современными данными об осадках. Методом среднего взвешенного (взвешивание

на полные площади моря в расчетные периоды позднего плейстоцена) оценивались окончательно значения атмосферных осадков в исследуемые интервалы времени.

Испарение с поверхности Палео-Каспия в периоды позднего плейстоцена оценивалось отдельно для трех указанных выше его частей с использованием данных по параметрам β_2 , рассчитанных аналогично, как и для Палео-Арала на основе карты, приведенной в работе (Борзенкова И.И., 1992). Общие значения параметров β_1 определялись методом среднего взвешенного (с учетом доли его указанных выше дополнительных площадей в общей площади водоема).

Путем умножения численных значений полученных параметров для Палео-Каспия на величину испарения с поверхности моря в современный период были получены оценки данного элемента баланса для всех расчетных интервалов времени.

Вследствие увеличения площади водной поверхности Палео-Каспия в периоды наступления оледенения позднего плейстоцена площадь его бассейна уменьшалась. Была выполнена оценка уменьшения притока вод в Палео-Каспий из-за сокращения этой площади и в полученные ранее величины расчетного притока вод в море были введены поправки. Результаты оценки основных элементов водного баланса Палео-Каспия для периодов наступления оледенения позднего плейстоцена указаны в таблице 4.

Из таблицы 4 видно, что приходная часть уравнения водного баланса Палео-Каспия превышала расходную во все периоды наступления оледенения, за исключением первоначального (115000 – 100000 лет тому назад). Поэтому сток по Маныч-Азовской реке вероятнее всего существовал значительно раньше, чем предполагалось в исследованиях (Квасов Д.Д., 1976). В период максимума оледенения значение стока превышало $300 \text{ км}^3/\text{год}$, что в 3.5 раза больше оценки (Квасов Д.Д., 1976) и в 4 раза меньше оценки М.Г. Гросвальда (Клиге Р.К., Данилов И.Д., Конищев В.Н., 1998).

В таблице 4 приводятся также данные о водном балансе Палео-Каспия в периоды деградации оледенения. Из этой таблицы видно, что в период 18000 – 15000 лет назад, вероятно, осуществлялся небольшой сток из Палео-Каспия по Манычско-Азовской реке в Новоэвксинский бассейн и в залив Кара-Богаз-Гол. В последующие периоды запасы воды в Палео-Каспии стали убывать, а его уровень понижаться. Получено, что в период 14000 – 13000 лет тому назад уровень Палео-Каспия упал на 37 м по сравнению с современным. В целом, за период отступления оледенения (18000 – 8000 лет тому назад) уровень Палео-Каспия был ниже современного на 8.65 м.

Таблица 4 – Водный баланс Палео–Каспия в периоды развития и деградации оледенения на земном шаре, км³/год

Периоды плейстоцена, тыс. лет тому назад;	Элементы баланса				Разность прихода и испарения	Сток из Палео- Каспия
	Осад- ки	приток	испаре- ние	приход вол		
115–100	65.2	251.6	318.0	316.8	-1.2	
100–70	143.0	350.0	404.0	493.0	89.0	66.0
70–50	207.5	548.4	626.8	755.9	129.1	124.5
50–18	295.0	719.4	697.7	1014.4	316.7	313.3
18–15	133.0	375.8	473.2	508.8	35.6	31.6
15–14	98.0	273.1	379.7	371.1	-8.6	
14–13	52.7	181.9	259.6	234.6	-25.0	
13–9	63.6	218.4	305.7	282.0	-23.7	
9–8	67.7	233.1	325.8	300.8	-25.0	
18–8	87.2	268.9	360.8	356.1	-4.7	

Геологические и геоморфологические данные свидетельствуют о значительной изменчивости площадей и уровней озер Балхаш-Ала-Кольского бассейна (Балхаша, Ала-Коля, Сасык-Коля, Уялы, Джаланапш-Коля и др.) Проведена реконструкция гидролого-климатических условий существования озер во время трансгрессий максимума Вюрмского оледенения и климатического оптимума голоцена.

Исследования проводились с помощью модели, описывающей взаимосвязь элементов теплового и водного балансов озера и его бассейна, предложенной в работах (Kutzbach J.E., 1980; Бабкин А.В., 1997; Babkin A.V., 2002). Поверхность бассейна озера, начиная от водораздела, рассматривалась в виде двух типов ландшафта, последовательно сменявших друг друга: 1) лед (ледник); 2) безледная суша бассейна и водная поверхность озера.

Уравнение теплового баланса, использованное в расчетах, имеет следующий вид:

$$LP \approx \frac{1}{1+B_0} R_0 a_0 + \frac{1}{1+B_B} R_B a_B + LE_n a_n, \quad (4)$$

где P – среднее по площади бассейна годовое количество осадков, мм/год;

L – удельная теплота парообразования, (Вт год)/(мм м²);

R_0, R_B – годовые значения радиационного баланса озера и суши, Вт/м²;

$B_0, B_{\text{л}}$ – годовые значения отношения Боуэна озера и суши, в долях от 1;

$E_{\text{л}}$ – испарение с поверхности ледника, мм/год;

$\alpha_0, \alpha_B, \alpha_{\text{л}}$ – весовые коэффициенты для площади озера, безледной суши и ледника, т.е. их сумма тождественно равна 1.

Для Балхаш-Ала-Кольского палеозера параметр α_0 равен отношению суммарной площади акваторий Балхаша, Ала-Коля, Сасык-Коля, Уялы и Джаланаш-Коля к площади их общего бассейна, которая по данным работы (Шнитников А.В., 1976) составляет 501000 км². Значения R_0 и B_0 принимались по работе (Адаменко В.Н., 1985), а данные о радиационном балансе и отношении Боуэна для суши определены по картам изолиний (Будыко М.И., 1971).

При проведении расчетов по формуле (4) учитывалась связь между площадью ледника, климатическими характеристиками озера и безледной суши бассейна. Взаимосвязь между атмосферными осадками и испарением с поверхности безледной суши оценивалась с помощью формулы Э.М. Ольдекопа.

Установлено, что с увеличением площади оледенения площадь озера растет по мере сокращения территории безледной суши бассейна при любом количестве выпадающих осадков. В результате расчетов получено, что во время климатического оптимума голоцена в Балхаш-Ала-Кольском бассейне осадков выпадало на 110 мм/год больше, чем в современный период. Эти результаты согласуются с оценками работы (Предстоящие изменения климата, 1991), где указано, что во время климатического оптимума голоцена осадки в рассматриваемом районе превышали их современные значения на 100 – 150 мм/год.

Во время максимума Валдайского оледенения осадки в районе Балхаш-Ала-Кольского бассейна превышали их современное значение на 50 мм/год (Борзенкова И.И., 1992). При указанной сумме атмосферных осадков оледенение, по данным расчетам, занимало 25% от площади бассейна, фактически охватывая всю его горную часть. Примерно эта же величина оледенения в рассматриваемом бассейне получена в работе (Атлас снежно-ледовых ресурсов мира, 1997).

Для оценки масштаба изменений климатических условий в периоды Валдайского оледенения и оптимума голоцена относительно современной эпохи были оценены значения радиационного индекса сухости безледной суши – R/LP (Будыко М.И., 1971). В настоящее время радиационный индекс сухости близок к его значению на границе пустынной и полупустынной природных зон.

Во время трансгрессии оптимума голоцена индекс сухости рассматриваемого бассейна примерно равнялся его значению на границе полупустынной и степной зоны. Во время Валдайского оледенения максимальная трансгрессия происходила при доминировании степного ландшафта в безледной части бассейна. Таким образом, подтверждается вывод (К.В. Курдюков, 1952) о том, что

огромный Балхаш-Ала-Кольский водоем позднего плейстоцена мог существовать в климатических условиях близких к современным, когда преобладающий в настоящее время пустынно-полупустынный ландшафт его бассейна сменялся сухой степью (Бабкин А.В., 1997; 2002).

В третьей главе представлены основы методологии исследования изменений площади, уровня и элементов водного баланса озер. Развиваются положения, связанные с понятием равновесного состояния водоема, впервые предложенного в работе (Зайков Б.Д., 1946).

Охарактеризуем произвольный водоем суммарным притоком воды в него J (суммой притока речных вод, подземного притока и атмосферных осадков, выпадающих на его акваторию), испарением с его поверхности E , оттоком вод R , площадью акватории S и уровнем воды H . Зависимости между уровнем и площадью озера, испарением с поверхности его акватории и площадью, оттоком вод и его уровнем упрощенно представим линейными:

$$H = kS + k', \quad (5)$$

$$E = eS + e', \quad (6)$$

$$R = rH + r', \quad (7)$$

где коэффициенты k и e характеризуют изменения соответственно уровня и испарения при единичном изменении площади водоема, а r – изменение оттока вод при единичном изменении его уровня; k' , e' и r' – дополнительные слагаемые.

Сумма испарения и оттока вод составляет расход воды водоема Q :

$$Q = E + R. \quad (8)$$

Используя выражения (5) – (7) связь Q и H можно записать следующим образом:

$$\frac{H}{1000} = \frac{Q}{\frac{e}{k} + r} - \frac{r' + e' + rk'}{\frac{e}{k} + r} + k'. \quad (9)$$

Если Q уравновешивается притоком J , то озеро находится в равновесном состоянии с определенным уровнем тяготения (Раткович Д.Я., Жданова И.С., Привальский В.Е., 1973; Раткович Д.Я., 1986; Хубларян М.Г., Найденов В.И., 2000 и др.). Заменяя в формуле (9) расход воды притоком, можно рассчитать

уровни тяготения произвольного водоема в зависимости от величины притока, а, используя выражения (5) – (7) – соответствующие им значения площади, испарения и оттока вод.

Изложены основы методологии исследования перехода водоема из одного равновесного состояния в другое. С учетом зависимостей (5) – (8), уравнение водного баланса озера

$$\frac{dV}{dt} = J - (E + R), \quad (10)$$

где V – объем котловины озера, может быть представлено в виде:

$$S \frac{dS}{dt} = \frac{J}{k} - \frac{e' + rk' + r'}{k} - \left(\frac{e}{k} + r \right) S. \quad (11)$$

При постоянном во времени притоке вод можно получить аналитическое решение уравнения (11) методом разделения переменных. Это уравнение позволяет исследовать динамику уровня и элементов водного баланса озера при изменении притока в него вод, выраженном в виде скачка.

Рассмотрим два произвольных равновесных состояния водосма:

$$1) \text{ низкое } J = J_1, H = H_1, S = S_1, E = E_1, R = R_1, J_1 = Q_1, v = 0; \quad (12)$$

$$2) \text{ высокое } J = J_2, H = H_2, S = S_2, E = E_2, R = R_2, J_2 = Q_2, v = 0, \quad (13)$$

где v – скорость изменения уровня озера (производная уровня по времени).

Если в водоем, находящийся в состоянии 1, увеличивается приток вод на величину ΔJ , он переходит в равновесное состояние 2. Процесс перехода 1 → 2 представляет собой изменение величин H, S, E и R от значений H_1, S_1, E_1 и R_1 до H_2, S_2, E_2 и R_2 при фиксированном притоке высокого равновесного состояния J_2 . Взяв за начало отсчета времени момент увеличения притока вод ($t_0 = 0$), когда площадь водоема равна S_1 , с учетом, что площадь равновесного состояния, к которому стремится водоем, равна S_2 , решение уравнения динамики характеристик водоема (11) при его переходе из низкого равновесного состояния в высокое представим следующим образом:

$$t = -\frac{S - S_1}{\frac{e}{k} + r} - \frac{S_2}{\frac{e}{k} + r} \ln \frac{S_2 - S}{S_2 - S_1}. \quad (14)$$

Если из водоема, находящегося в состоянии 2 изымается часть его притока в объеме ΔJ , он переходит в низкое равновесное состояние.

Процесс перехода $2 \rightarrow 1$ представляет собой изменение величины H, S, E и R от значений H_2, S_2, E_2 и R_2 до H_1, S_1, E_1 и R_1 при фиксированном притоке вод низкого равновесного состояния J_1 . Полагая, что в момент времени $t_0 = 0$, площадь водоема равна S_2 , и площадь равновесного состояния, к которому стремится водоем, равна S_1 , решение уравнения (11) при переходе водоема из высокого равновесного состояния в низкое примет вид:

$$t = -\frac{S - S_2}{\frac{e}{k} + r} - \frac{S_1}{\frac{e}{k} + r} \ln \frac{S - S_1}{S_2 - S_1}. \quad (15)$$

На рисунке 2 представлены результаты расчетов изменения площади Аральского моря при переходах $1 \rightarrow 2$ и $2 \rightarrow 1$.

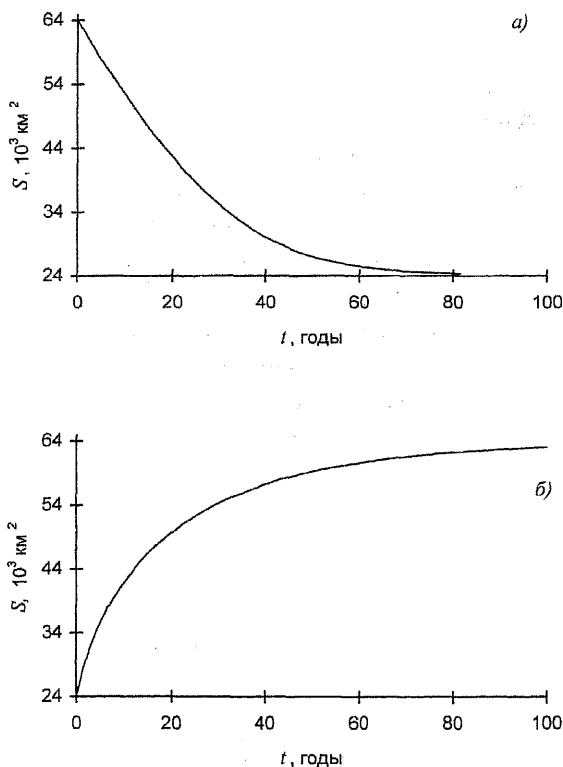


Рисунок 2 – Изменение во времени площади Аральского моря при его переходе из высокого равновесного состояния в низкое (а) и из низкого состояния в высокое (б)

За высокое равновесное состояние Аральского моря приняты значения его характеристик, согласно выражениям (5) – (9), соответствующие отметке его уровня 53.3 м:

$$S_2 = 64100 \text{ км}^2; E_2 = 64.1 \text{ км}^3/\text{год}.$$

Согласно работам (Б.Д. Зайков, 1969; А.С. Кесь и И.А. Клюканова, 1990; и др.) эти значения уровня моря, его площади и испарения с водной поверхности наблюдались в 1950 – 1960 гг.

За низкое равновесное состояние примем значения характеристик моря, соответствующие его уровню 33.3 м. Такая низкая отметка уровня моря характерна для начала 90-х годов XX века.

$$S_1 = 24100 \text{ км}^2; E_1 = 24.1 \text{ км}^3/\text{год}.$$

Данные об уровне, площади и испарении низкого равновесного состояния согласуются с теоретическими расчетами водного баланса моря на перспективу, выполненными в работе (Зайков Б.Д., 1946). Разность притока вод рассматриваемых равновесных состояний, а также значений испарения составляет 40 км³/год. Разность уровней моря равна 20 м, а объем воды высокого состояния больше объема вод низкого на 882 км³.

На рисунке видно, что со временем площадь моря, и связанные с нею условиями (5) – (7) уровень и испарение с его поверхности асимптотически приближаются к их значениям нового равновесного состояния. Время, за которое изменения площади моря достигнут 99% от разностей этих характеристик при переходе 2 → 1 равно 70 лет, а при переходе 1 → 2 – 115 лет.

Характерное время перехода озера из одного равновесного состояния в другое может быть оценено как отношение средней скорости изменения уровня (площади) к разности уровней двух равновесных состояний. Средняя скорость изменения уровня озера оценивалась по выражению

$$\bar{v} = \frac{1}{S_2 - S_1} \int_{S_1}^{S_2} v dS. \quad (16)$$

Получено, что при переходе 2 → 1 средняя скорость изменения уровня равна -0.411 м/год, а характерное время перехода – 49 лет. При переходе 1 → 2 средняя скорость изменения уровня составляет 0.568 м/год, а характерное время перехода – 35.2 года.

Проводились также расчеты динамики изменений объема вод озера.

В четвертой главе изложены основы математической модели взаимосвязи колебаний уровня, площади и элементов водного баланса озера. Динамика ха-

характеристик озера моделируется в рамках единого подхода к исследованию колебаний систем различной физической природы (Мандельштам Л.И., 1972)..

Сходство дифференциальных уравнений водного баланса бессточного озера и механического движения позволило установить аналогию понятий массы (в механике) и морфометрии (взаимосвязи уровня озера и площади его водной поверхности) (Бабкин А.В., 1996). Приток вод в озеро аналогичен внешней вынуждающей силе, а испарение с его поверхности – силе трения.

Водоем тем более инертен, чем больше тангенс угла наклона его морфометрической зависимости. Инерционный смысл морфометрии теоретически обосновывает вывод, сформулированный в работе (Шнитников А.В, 1963) о том, что у водоемов, занимающих плоские депрессии (с небольшим наклоном морфометрической зависимости), как трансгрессивные, так и регрессивные проявления обнаруживаются быстрее, чем у глубоких озер.

Приближенное решение дифференциального уравнения водного баланса озера позволило разработать основу модели динамики его характеристик при колебаниях притока вод (Бабкин А.В., 1998; 2002). Анализ результатов моделирования производился сопоставлением параметров воздействия, описывающего изменения притока:

$$\lambda = \frac{J - J_0}{J_2 - J_1} = 0.5 \cdot \sin \omega t, \quad (17)$$

и отклика, описывающего колебания взаимосвязанных по условиям (5) – (8) характеристик озера:

$$\beta = \frac{S - S_0}{S_2 - S_1} = \frac{H - H_0}{H_2 - H_1} = \frac{E - E_0}{E_2 - E_1} = \frac{R - R_0}{R_2 - R_1}. \quad (18)$$

Здесь S_0, H_0, E_0, R_0 – значения площади, уровня, испарения с водной поверхности и оттока вод равновесного состояния, обусловленного притоком J_0 , согласно системе (5) – (7).

На рисунке 3 представлена динамика уровня, площади водной поверхности, испарения и оттока вод Каспийского моря в залив Кара-Богаз-Гол при колебаниях притока. По данным наблюдений средний уровень Каспийского моря примерно равен -27 м (Георгиевский В.Ю., 1982). Согласно выражениям (5) – (9) этой отметке уровня тяготения соответствуют следующие значения характеристик моря: $S_0 = 389$ тыс. км², $E_0 = 376$ км³/год, $R_0 = 14$ км³/год, $Q_0 = 390$ км³/год. В качестве иллюстрации на рисунке 3 а представлены колебания характеристик Каспийского моря при $J_0 = 390$ км³/год, $\Delta J = 64$ км³/год и $T = 140$ лет.

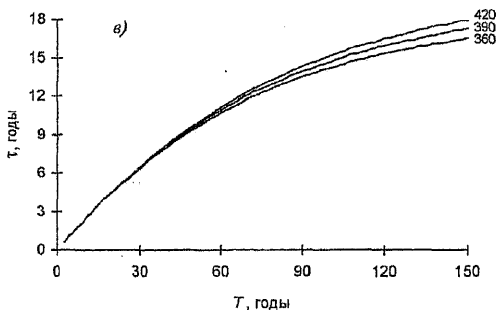
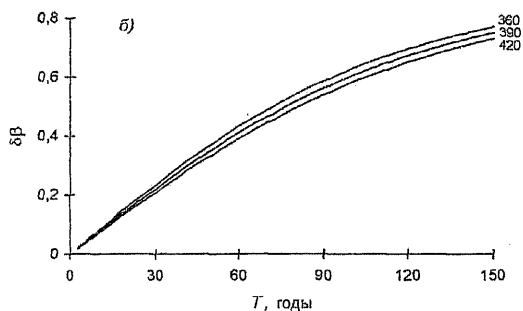
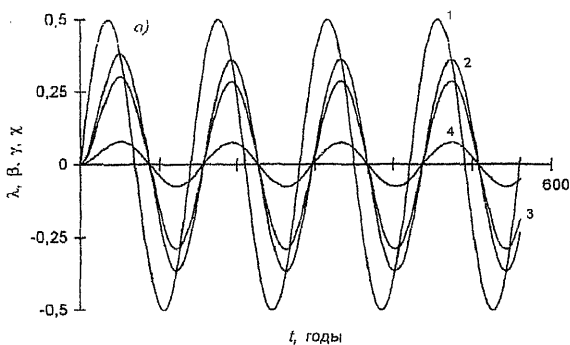


Рисунок 3 – Изменения уровня, площади, испарения с поверхности акватории Каспийского моря и оттока вод при колебаниях притока: колебания параметров λ , β , γ и χ (кривые 1, 2, 3 и 4) (а); зависимости амплитуды параметра β (б) и времени запаздывания характеристик моря по отношению к притоку (в) от периода колебаний (цифрами у кривых указан приток J_0)

На этом рисунке кривая 1 отражает колебания притока вод в море, кривая 2 – описываемый параметром β , в соответствии с выражением (18), отклик на эти

колебания расхода воды и других характеристик моря. Кривыми 3 и 4 параметрами γ и χ показаны изменения испарения и оттока вод в залив Кара-Богаз-Гол.

Амплитуда кривой отклика характеристик озера $\delta\beta$ представлена отношением амплитуд колебаний уровня, площади, испарения, поверхностного оттока вод (если водоем проточный) и расхода воды к разностям соответственно уровней, площадей акватории, значений испарения, оттока вод и расхода воды двух равновесных состояний, обусловленных максимальным и минимальным притоком.

На рисунке 3 (б,в) представлены зависимости амплитуды параметра β и времени запаздывания τ максимумов и минимумов характеристик Каспийского моря по отношению к соответствующим максимумам и минимумам притока вод от периода колебаний притока. Зависимости построены для значений притока $J_0 = 360 \text{ км}^3/\text{год}$, $J_0 = 390 \text{ км}^3/\text{год}$ и $J_0 = 420 \text{ км}^3/\text{год}$.

Согласно выражению (9), приток вод в Каспийское море в объеме $360 \text{ км}^3/\text{год}$ предполагает отметку его уровня -28.6 м . Такие пониженные значения уровня моря наблюдались в 70-х годах XX века. Если приток вод в море равен $420 \text{ км}^3/\text{год}$, то отметка его уровня составит -25.4 м . Подобные повышенные значения уровня имели место в 80-х годах XIX столетия.

Видно, что при одинаковом периоде колебаний с ростом притока амплитуда кривой отклика уменьшается, тогда как время запаздывания уровня, площади акватории, испарения и расхода воды к притоку увеличивается.

Аналогичные зависимости амплитуды кривой отклика и времени запаздывания характеристик озера к притоку рассчитаны для Аральского моря и озера Балхаш.

Пятая глава посвящена исследованию колебаний во времени уровня воды и элементов водного баланса озер. Колебания уровней и элементов водного баланса озер во времени являются сложными. В естественных условиях на динамику характеристик озер оказывают влияние простые колебания природных факторов, имеющих различные периоды. Эти колебания накладываются друг на друга. В результате наложения колебаний, имеющих различные периоды, амплитуды и фазы, а также влияния неперIODических факторов и шумов, простые колебания становятся скрытыми.

Актуальной проблемой исследования уровней и элементов водного баланса озер является обнаружение периодичностей в их изменениях. Выявление скрытых периодов (или циклов) временных рядов характеристик озер может быть

использовано при анализе причинности их изменений и прогнозе их динамики в будущем.

В настоящей главе излагается методология и проводится оценка периодичностей рядов наблюдений за уровнем и элементами водного баланса Каспийского моря, Аральского моря и озера Балхаш. С использованием метода наименьших квадратов данные наблюдений за указанными элементами аппроксимируются периодическими функциями последовательно с пошаговым изменением периода. Для каждого периода рассчитываются амплитуды, фазы и аддитивные константы аппроксимирующих синусоид с наименьшими суммами квадратических разностей с членами рассматриваемых рядов.

Периодические свойства устанавливаются с помощью принятого “критерия качества” (зависимости наименьших сумм квадратических разностей от периода аппроксимирующих синусоид). Они проявляются для тех периодов, у которых отмечаются минимумы сумм квадратических разностей значений соответственно рядов наблюдений и аппроксимирующих их функций; при этом время запаздывания синусоид, аппроксимирующих уровень озера и расход воды к синусоиде, аппроксимирующей приток, и отношения их амплитуд, близки к результатам моделирования их колебаний.

Пусть имеется n последовательных значений временного ряда наблюдений величины a . Его будем аппроксимировать функцией вида

$$R = a_0 + \frac{\delta a}{2} \sin(\omega t + \varphi) = a_0 + b \sin \omega t + c \cos \omega t. \quad (19)$$

Здесь a_0 – некоторое постоянное для принятого периода аппроксимации значение, у которого происходят колебания исследуемой величины, δa , ω и φ – соответственно амплитуда, частота и фаза этих колебаний.

Параметры b и c связаны с амплитудой и фазой колебаний согласно правилам сложения периодических величин с одинаковой частотой следующим образом (Зисман Г.А., Тодес А.М., 1964):

$$\delta a = 2\sqrt{b^2 + c^2}, \quad (20)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{c}. \quad (21)$$

Аппроксимацию ряда будем проводить с использованием суммы квадратов разностей между значениями ряда и аппроксимирующей функции S_a :

$$S_a = \sum_1^n (a_i - R)^2 = \sum_1^n (a_i - a_0 - b \sin \omega t_i - c \cos \omega t_i)^2. \quad (22)$$

Здесь a_i – значение исследуемой величины, взятое из данных наблюдений в год t_i , i – номер года в ряду наблюдений, n – продолжительность ряда. Выражение (22) аппроксимирует ряд величины a наилучшим образом, если сумма S_a наименьшая.

Были определены три производные выражения (22) по параметрам a_0 , b и c . Они приравнены к 0 и объединены в систему. Ее решение позволяет оценить амплитуду, фазу, постоянное значение a_0 , около которого колеблется аппроксимирующая функция с минимумом суммы квадратических разностей со значениями ряда, для любого периода колебаний, а также их последовательности. При этом, по формуле (22) рассчитывались суммы квадратических разностей между аппроксимирующей синусоидой и значениями ряда.

В настоящей работе определялись параметры аппроксимации и оценивались суммы квадратических разностей соответственно значений рядов уровня Каспийского моря и притока в него вод и аппроксимирующих их синусоид S_H и S_J .

В результате исследований установлено, что наименьшие суммы квадратических разностей временных рядов уровня Каспийского моря и притока вод отмечаются у периода аппроксимации, равного 140 лет (Бабкин А.В, 2002).

На рисунке 4 а,б представлены соответственно временные ряды уровня Каспийского моря и притока в него вод, суммы аппроксимирующих его синусоид, а также аппроксимирующие синусоиды уровня моря и притока вод с периодом 140 лет. Сумму синусоид притока вод составили гармоники с периодами 4, 7, 9, 11, 13, 16, 21, 34 и 140 лет, а уровня – 4, 7, 9, 11, 13, 16, 22, 27, 36 и 140 лет. При сложении указанных гармоник сумма квадратов разностей сумм аппроксимирующих синусоид и значений временных рядов последовательно уменьшалась.

Видно (см. рисунок 4 а,б), что суммы синусоид, аппроксимирующих уровень моря и приток вод, воспроизводят качественные и количественные особенности данных их наблюдений. Так максимумы и минимумы сумм синусоид аппроксимации уровня моря и притока приходятся на те же или соседние годы, что и соответствующие экстремумы их временных рядов.

У 140 летнего периода отношение амплитуды синусоиды, аппроксимирующей уровень Каспийского моря, к разности уровней двух равновесных состояний, обусловленных максимальным и минимальным значениями синусоиды, аппроксимирующей приток вод, и разность времени их экстремумов вполне удовлетворяют результатам расчетов по модели (см. рисунок 3).

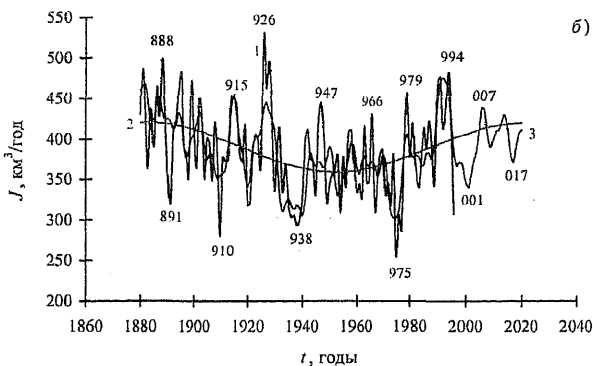
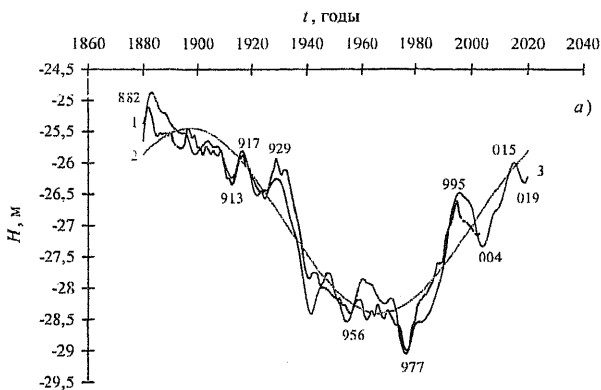


Рисунок 4 – Колебания уровня Каспийского моря (а) и притока в него вод (б); 1 – данные наблюдений, 2 – аппроксимирующие кривые с периодом 140 лет, 3 – суммы периодичностей

Пунктирный участок кривой 1 показывает данные наблюдений за уровнем моря за 1997 – 2003 гг. Эти 7 значений уровня продолжают его временной ряд, использованный в данной работе. Сумма синусоид, аппроксимирующих ряд уровня за период 1880 – 1996 гг., довольно надежно воспроизводит его значения за последующие 7 лет. Отклонения расчетных по кривой суммы синусоид значений уровня за эти 7 лет от наблюдаемых величин находятся в пределах от -15 до 41 см, что значительно меньше его среднего квадратического отклонения (1,16 м) за период 1880 – 1996 гг. Согласно работе (Апполов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д., 1974) эта кривая может рассматриваться как эффективная при ежегодном прогнозе уровня моря на 1; 2; 3 ... до 10 лет включительно.

Полученные результаты подтверждают оценки уровня Каспийского моря в будущем, приведенные в ряде работ (Малинин В.Н., 1994; Мещерская А.В. и др., 2003; Абузязров З.К., 2003; Клиге Р.К., 1995; и др.)

Таким образом, у периодов, длительностью 4, 7, 9, 11, 13, 16, 21-22, 34-36 и 140 лет отмечаются минимумы сумм квадратических разностей временных рядов соответственно уровня моря и притока вод и аппроксимирующих их синусоид. Разность времени наступления экстремумов и отношения амплитуд аппроксимирующих синусоид близки к результатам моделирования динамики уровня и элементов водного баланса Каспийского моря при колебаниях притока в него вод.

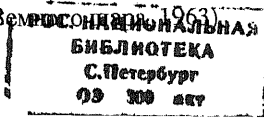
Можно заключить, что во временных рядах уровня моря и притока вод отмечаются соответственные периодичности, длительностью 4, 7, 9, 11, 13, 16, 21-22 и 34-36 лет. В изменениях уровня моря, по видимому, присутствует также 27 летняя периодичность, обусловленная динамикой испарения.

Отдельные периоды изменений уровня моря и притока вод совпадают по длительности с глобальными периодичностями гелиогеофизического происхождения. Так периоды, продолжительностью 9; 13; 16 лет, характерны для изменений скорости суточного вращения Земли, а 11 и 22 года отмечаются в изменениях солнечной активности (Левицкий Л.С., Рыхлова Л.В, Сидоренков И.С., 1995; Саруханян Э.И., Смирнов Н.П., 1971).

Аппроксимация периодическими функциями временных рядов уровня и элементов водного баланса Аральского моря и озера Балхаш указывает на возможные периодичности в них длиной 4 и 34 года, и некоторые другие. Однако, ряды наблюдений за характеристиками Арала и Балхаша значительно короче рядов характеристик Каспийского моря. Ряды для указанных водоемов приходится на различные отрезки времени. Поэтому выявленные периоды характеристик Арала и Балхаша менее достоверны, чем у Каспийского моря.

В шестой главе приводится упрощенная математическая модель и результаты исследований влияния изменений атмосферных осадков на водно-тепловой режим засушливой территории. Основы модели представлены в работах (Бабкин А.В., 1999; 2001; 2003).

В основу модели положены дифференциальные уравнения водного и теплового балансов почвогрунтов. Параметры модели оценивались по среднемесячным значениям гидрометеорологических характеристик с учетом данных, приведенных в работах (Агроклиматический справочник по Астраханской области, 1961; Материалы наблюдений Западно-Казахстанской воднобалансовой станции, 1970; Атлас теплового баланса Земли, 1963).



С учетом установленных зависимостей между приходно–расходными и емкостными характеристиками почвогрунтов уравнения их водного и теплового балансов объединены в систему линейных дифференциальных уравнений первого порядка.

Получено решение этой системы при изменениях осадков в виде скачка, линейного их роста, и их колебаниях, представленных периодической функцией. Увеличение атмосферных осадков в пределах засушливых территорий приведет к повышению запасов влаги почвогрунтов, росту поглощенной солнечной радиации, испарения и стока. Запасы тепла, а также расход тепла на турбулентность и эффективное излучение при этом уменьшатся.

На рисунке 5 представлены результаты расчетов, проведенных на примере территории Прикаспийской низменности и Западного Казахстана. Динамика характеристик водно-теплового режима территории оценивалась при 50 мм/год скачке осадков (а,б) и линейного их тренда со скоростью 5 мм/год² (в,г). Эта величина и тренд повышения осадков в указанном районе прогнозируются рядом ученых в первую половину XXI века в связи с происходящим изменением глобального климата (Будыко М.И., Борзенкова И.И., Менжулин Г.В., Селяков., 1992; Предстоящие изменения климата, 1991; и др).

Результаты расчета элементов водного баланса Прикаспийской низменности и Западного Казахстана при увеличении осадков на 50 мм/год в основном согласуются с реконструкцией их значений для эпохи климатического оптимума голоцена (Винников К.Я., Лемешко Н.А., Сперанская Н.А., 1992; Лемешко Н.А., 1992). С использованием комплексного метода оценки испарения указанными исследователями было получено, что в данном районе во время оптимума голоцена запасы влаги верхнего метрового слоя почвогрунтов были больше их значений второй половины XX столетия на величину, примерно равную 1 см. Сток оптимума голоцена превышал его значение второй половины XX века не более чем на 1 см/год. По результатам настоящей работы запасы влаги в почвогрунтах увеличатся на 8.4 мм, а сток – 5.6 мм.

При скачке осадков основные гидролого-климатические характеристики территории достигают значений нового состояния равновесия за промежуток времени менее года. При линейном росте осадков изменения гидролого-климатических характеристик территории происходят линейно вслед за трендом осадков уже через полгода.

Колебания атмосферных осадков приводят к изменению гидролого-климатических характеристик территории, которые запаздывают по отношению к осадкам. Вслед за экстремумом осадков наблюдается экстремум испарения, некоторое время спустя – экстремум запасов влаги почвогрунтов, стока и поглощенной солнечной радиации.

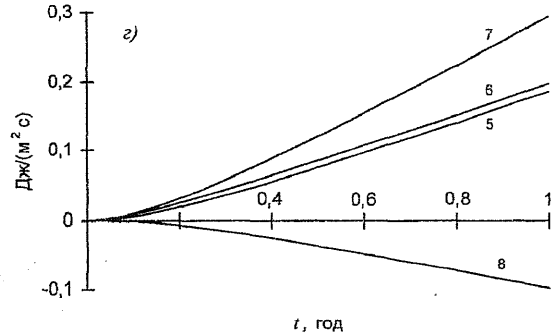
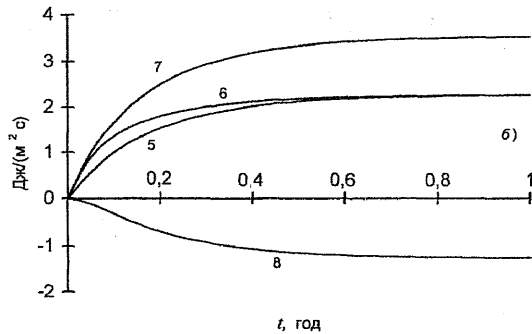
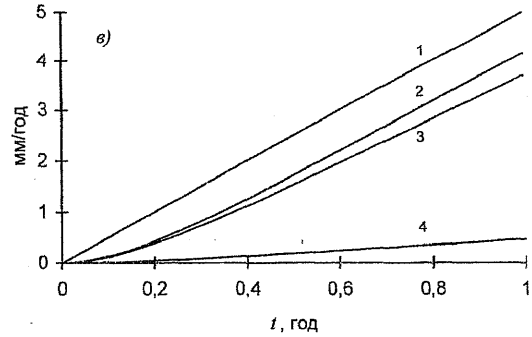
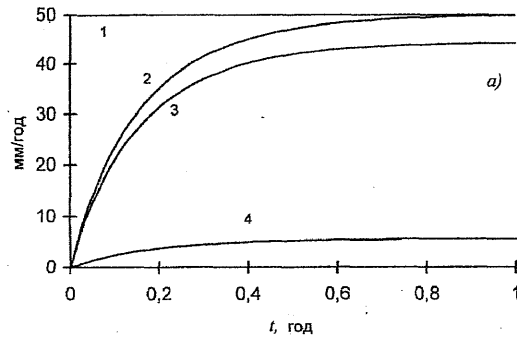


Рисунок 5 – Изменения элементов водного баланса (а) и теплового баланса (б) территории Прикаспийской низменности и Западного Казахстана при скачке осадков (а,б), и их изменениях в виде линейного тренда (в,г): 1 – осадки, 2 – суммарный расход воды (испарение и сток), 3 – испарение, 4 – сток, 5 – поглощенная солнечная радиация, 6 – суммарный расход тепла, 7 – затраты тепла на испарение, 8 – затраты тепла на турбулентный теплообмен и эффективное излучение

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые получены данные о современном водном балансе бассейнов Аральского моря, Каспийского моря и озера Балхаш. Установлено, что наибольшие значения коэффициента стока характерны для бассейна Каспийского моря – 0.25, а для бассейнов остальных водоемов его значение близко к 0.20.

2. Для оценки увлажнения предложено трехчленные уравнения водного баланса Мирового океана и суши А. Брикнера дополнять элементом U , учитывающим изменения запасов воды в указанных объектах. Опираясь на эти новые выражения, а также на колебания уровня Мирового океана в геологическом прошлом и на запасы воды в ледниках в период максимума Валдайского оледенения, сформулирована научная концепция и разработана методология исследования динамики увлажнения областей внутреннего стока в периоды позднего плейстоцена.

3. В соответствии с колебаниями уровня Мирового океана период позднего плейстоцена продолжительностью 115000 – 8000 лет тому назад был подразделен на следующие интервалы времени: 1) 115000 – 100000 лет назад; 2) 100000 – 70000 лет назад; 3) 70000 – 50000 лет назад; 4) 50000 – 18000 лет назад; 5) 18000 – 8000 лет назад.

С помощью предложенных уравнений в эти интервалы оценены элементы водного баланса океана и суши – показатели ее увлажнения в указанное время. Получено, что в период развития оледенения (115000 – 18000 лет назад) на сушу выпадало меньше атмосферных осадков, чем в настоящее время. Для периода 50000 – 18000 лет назад атмосферные осадки были ниже современной суммы на 6.4%, испарение – на 13.2%, сток – на 5.8%. В период деградации оледенения атмосферные осадки были ниже современной суммы на 3.2%, испарение было выше на 3.1%, а речной сток ниже на 2.9%.

4. Опираясь на научные представления Д.Д. Квасова, М.Г. Гросвальда и др. ученых о палеогеографии бассейна Волги, в частности, о существовании в прошлом “ледового” и “озерного” водосборов Пра-Волги, с помощью уравнений типа Э.М. Ольдекопа произведена реконструкция увлажнения бассейна Каспийского моря в расчетные периоды позднего плейстоцена.

Установлено, что за период наступления оледенения атмосферные осадки (в объемном выражении) были выше современных значений на 1.4%, сток – на 58.5%, а испарение было ниже на 20.4%. Для периода деградации оледенения атмосферные осадки составляли 90.1% от их величины для периода наступления оледенения, испарение – 128%, а сток – 52.4%.

5. Вследствие значительного снижения испарения в период максимума Валдайского оледенения и увеличения осадков водные ресурсы бассейна Аральского моря существенно увеличивались. Повышенные, по сравнению с современным значением, величины притока вод в Палео-Арал от впадающих в него рек и по Тургайской котловине из Мансийского моря обусловили наличие из него периодического стока в Палео-Каспий.

6. Реконструировано функционирование Великой западной приледниковой системы стока на пространствах: 1) Мансийское море – Палео-Арал – Палео-Каспий; 2) “ледовый” и “озерный” водосборы Пра-Волги – Пра-Волга – Палео-Каспий – Новозвксинский бассейн. Получено, что в период максимума оледенения приток вод в Палео-Каспий составил около $719 \text{ км}^3/\text{год}$, в том числе с ледового водосбора – $116.6 \text{ км}^3/\text{год}$, с озерного бассейна – $90.2 \text{ км}^3/\text{год}$. В Палео-Арал из Мансийского моря поступало $59.4 \text{ км}^3/\text{год}$ вод, а из Палео-Арала в Палео-Каспий – $46.7 \text{ км}^3/\text{год}$. В этот период из Палео-Каспия происходил отток вод в объеме $313.3 \text{ км}^3/\text{год}$.

7. Развита теплбалансовый подход к реконструкции климатических условий и увлажнения областей внутреннего стока в различные геологические эпохи, основанный на совместном решении уравнений водного и теплового баланса озер и территорий их водосборов. Получено, что огромный Балхаш-Ала-Кольский водоем в период Валдайского оледенения существовал в климатических условиях, характерных для сухой степи, а не современного пустынно-полупустынного ландшафта.

8. Разработана методология изучения перехода водоема из одного равновесного состояния в другое. Обоснованы понятия скорости и времени перехода. Указанная методология апробирована на примере данных по Аральскому морю.

9. На основе решения дифференциального уравнения водного баланса водоема разработана математическая модель для исследования и описания изменений его уровня, площади, испарения и оттока воды при колебаниях суммарного притока вод. Показано, что изменения характеристик озера, в общем, аналогичны изменениям характеристик механического движения. Поэтому при исследовании колебаний лимнологических характеристик во времени может быть использован единый подход общей теории колебаний, разработанный Л.И. Мандельштамом, А.А. Андроновым и др. учеными.

Установлено, что максимумы и минимумы площади озера, его уровня, испарения с поверхности акватории и поверхностного оттока вод запаздывают к соответствующим экстремальным значениям притока вод. Время этого запаздывания может находиться в пределах от 0 до четверти периода колебаний.

10. Предложена методология выявления скрытых периодичностей в элементах водного баланса озер. В изменениях уровня и притока вод Каспийского моря установлены периодичности, длительностью 4, 7, 9, 11, 13, 16, 21–22, 34–36 и 140 лет. При сложении синусоид аппроксимации с этими периодами суммы квадратов разностей их сумм и значений временных рядов уровня моря и притока вод последовательно уменьшаются. Суммы синусоид воспроизводят основные особенности рассматриваемых временных рядов.

При продлении временного интервала суммы синусоид аппроксимации позволяют получить прогностические оценки изменений уровня Каспийского моря и притока вод. Проверка прогноза уровня моря на независимом материале за 1997–2003 гг. показала, что прогноз уровня оправдался во все эти годы. Прогнозные оценки на будущее весьма близки к полученным ранее результатам А.В. Мещерской, В.Н. Малинина, Р.К. Клиге, З.К. Абузярова и др. исследователей.

11. Разработана математическая модель, описывающая динамику основных гидролого–климатических характеристик засушливых территорий при изменении осадков. В основу модели положены дифференциальные уравнения водного и теплового балансов почвогрунтов.

На примере данных по территории Прикаспийской низменности и Западного Казахстана выполнены расчеты изменений водно-теплового режима. Изменения осадков задавались согласно их прогнозу на первую четверть XXI века с учетом изменений климата.

Основные работы, опубликованные автором по теме диссертации:

1 Бабкин А.В. Исследование переходных состояний бессточных водоемов // Метеорология и гидрология.–1995.–N1.– С. 79–87.

2 Бабкин А.В. Исследование реакции бессточных водоемов на колебания притока // Сборник работ по проекту РФФИ (93-05-9411), СПб.: Гидрометеиздат, 1995.– С. 82–90.

3 Бабкин А.В. Об использовании метода аналогии для оценки колебаний гидролого-климатических и морфометрических характеристик бессточных водоемов // Метеорология и гидрология.–1996.–N5.– С. 104–112.

4 Бабкин А.В. Увлажнение аридных территорий (на примере бассейнов Аральского моря и Балхаша) // Автореф. дис. на соискание уч. степени к.г.н. – Изд-во Санкт-Петербургского университета экономики и финансов, 1996.– 17 с.

5 Бабкин А.В. Условия существования озера Балхаш в современную эпоху и в геологическом прошлом // Изв. РАН, сер. геогр., 1997.–N1.– С. 110–115.

- 6 Бабкин А.В. Исследование изменений состояния Аральского моря при колебаниях притока вод // *Метеорология и гидрология*.–1998.– С. 103–110.
- 7 Соколов А.А., Бабкин А.В. Режим и баланс вод суши и океана в плейстоцене (ледниковом периоде) // *Изв. РГО*.–1999.–Вып. 5.– С. 1–12.
- 8 Бабкин А.В. Расчет водно-теплового режима территорий засушливого климата при изменении осадков // *Метеорология и гидрология*.–1999.–№9.– С. 86–97.
- 9 Бабкин А.В. Моделирование реакции водного и теплового режимов засушливых территорий на изменение атмосферных осадков // *Водные ресурсы*.–1999.–№6.– С. 703–709.
- 10 Babkin A.V. Modeling of climatic and moisture conditions of lakes existence in the Balkhash-Ala-Kul Endorheic basin in the Late Pleistocene and Holocene // *The papers and abstracts of Conference “Hydrological CONSEQUENCES OF GLOBAL CLIMATE CHANGE”*: Compiled by Institute of Geography of Russian Academy of Science, Moscow, 2000.– P. 68.
- 11 Бабкин А.В. Моделирование динамики гидролого-климатических характеристик засушливой территории при изменении осадков // *Материалы международной научной конференции “Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия”*. – Томск: Изд-во научно-технической литературы, 2000.– С. 8–11.
- 12 Бабкин А.В. Климатические условия и площади озер юго-восточного Казахстана в позднем плейстоцене и голоцене // *Материалы 11-й международной конференции молодых ученых “Человек. Природа. Общество. Актуальные проблемы”*. – Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2000.– С. 781–782.
- 13 Бабкин А.В. Моделирование водно-теплового режима засушливой территории при увеличении и при колебаниях атмосферных осадков // *Материалы итоговой сессии Ученого Совета РГТМУ*. – СПб.: ООО Концепт, 2001.– С. 68.
- 14 Бабкин А.В. Изменение гидрологических и климатических характеристик засушливой территории при увеличении и при колебаниях атмосферных осадков // *Материалы научной конференции “Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования”*. Чита, 2001.– С. 76.
- 15 Бабкин А.В. Влияние изменения количества осадков на водно-тепловой режим засушливых территорий // *Метеорология и гидрология*.–2001.–№10.– С. 71–79.
- 16 Бабкин А.В. Моделирование динамики площади, уровня и водного баланса Каспийского моря при колебаниях притока вод // *Материалы итоговой сессии Ученого Совета РГТМУ*. – СПб.: ООО Концепт, 2002. – С. 71.

17 Babkin A.V. Climate conditions, moisture and lakes of south-eastern Kazakhstan in the late Pleistocene and Holocene // Proceedings of the International Conference on water resources management in arid regions, vol. 1 "Surface water hydrology". – A.A. Balkema Publishers, Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands, 2002.– P. 185–191.

18 Babkin A.V. The modeling of dynamics of the Caspian Sea characteristics under oscillations of water inflow // Proceedings of the International Conference on water resources management in arid regions, vol. 1 "Surface water hydrology". – A.A. Balkema Publishers, Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands, 2002.– P. 457–469.

19 Бабкин А.В. Исследование влияния колебаний притока вод на динамику элементов водного баланса, уровня и площади акватории Каспийского моря // Метеорология и гидрология.–2002.–№6.– С. 56–64.

20 Бабкин А.В. Реконструкции климатических условий и увлажнения Юго-Восточного Казахстана в геологическом прошлом с учетом сведений об изменениях площадей внутренних озер // Материалы научной конференции "Природно-ресурсный потенциал Азиатской России и сопредельных стран: пути совершенствования использования". – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2002.– с. 42.

21 Бабкин А.В. Моделирование водного и теплового режимов засушливых территорий при изменениях количества атмосферных осадков // Водные ресурсы.–2002.–№6.– С. 755–761.

22 Babkin A.V. The influence of oscillations of water inflow to the level and water balance components of closed lakes // Proceedings of the 4th International Conference "HELECO'03", vol. A.– Technical Chamber of Greece, Athens, 2003.– P. 457–464.

28 Бабкин А.В. Оценка цикличностей в изменениях характеристик Каспийского моря с использованием воднобалансовой модели // Материалы итоговой сессии Ученого Совета РГГМУ. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2003.– С. 67–68.

29 Бабкин А.В. Водный баланс земного шара в эпоху Валдайского оледенения // Материалы итоговой сессии Ученого Совета РГГМУ. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2003.– С. 68–69.

30 Бабкин А.В. Оценка цикличности в изменениях уровня и элементов водного баланса внутренних водоемов суши (на примере Каспийского моря) // Региональная экология –2003.–№1-2.– С. 58–68.

31 Babkin A.V. The response of heat and water balance components of dry area to variation in atmospheric precipitation // Proceedings of XXX IAHR Congress, vol. B

“Urban and rural water systems for sustainable development”. – Thessaloniki, Greece, 2003. – P. 71–77.

32 Babkin A.V. Modeling the dynamics of water and thermal regimes of a dry area under the variation in atmospheric precipitation // Proceedings of the International Conference on water resources management in arid regions, vol. 5 “Hydrology and water resources”. – A.A. Balkema Publishers, Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, The Netherlands, 2003. – P. 271–279.

33 Бабкин А.В. Моделирование водно-теплового режима засушливой территории при колебаниях атмосферных осадков // Метеорология и гидрология. – 2003. – №5. – С. 96–105.

34 Бабкин А.В. Водный баланс земного шара в позднем плейстоцене // Изв. РАН, сер. геогр., 2003. – №6. – С. 26–29.

35 Babkin A.V. The model of oscillations of lakes characteristics and its application for revealing of periodicities in their time series // Proceedings of the International Engineering Conference “Mutah 2004”, vol. B “Dead Sea Studies”, Jordan, 2004. – P. 126–139.

36 Бабкин А.В. Оценка периодичностей в данных наблюдений и прогноз изменений уровня воды и элементов водного баланса озер (на примере Каспийского моря и Ладожского озера) // Материалы семинаров Политехнического симпозиума “Молодые ученые – промышленности Северо-Западного региона”. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, декабрь 2004. – С. 36.

Бабкин

Подписано в печать 28.04.05.г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 2.4. Тираж 110 экз.
Заказ №169

Отпечатано в ООО «Издательство "ЛЕМА"»
199004, Россия, Санкт-Петербург,
В.О., Средний пр., д.24, тел./факс: 323-67-74

№ 11971

РНБ Русский фонд

2006-4

8278