

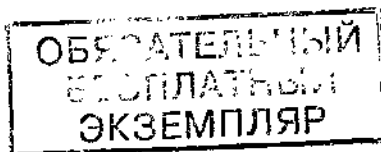
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. М.В. ЛОМОНОСОВА.

---

Географический факультет

*На правах рукописи*

**ТОРОПОВ Павел Алексеевич.**



УДК 551.48:556.54

**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ И УСЛОВИЯ УВЛАЖНЕНИЯ  
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ В КОНТРАСТНЫХ  
КЛИМАТИЧЕСКИХ ЭПОХАХ**

25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук.

Москва 2006

Работа выполнена на кафедре метеорологии и климатологии географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

**Научный руководитель:**

**Кислов А.В.**  
профессор, доктор географических наук

**Официальные оппоненты:**

**Володин Е.М.**  
доктор физико-математических наук,

**Шмакин А.Б.**  
кандидат географических наук

**Ведущая организация:**

Государственный гидрологический институт Росгидромета (ГИ)

Защита состоится 20 апреля 2006 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 501.001.68 при Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992, Москва, ГСП-2, Ленинские горы, МГУ, географический факультет, 18 этаж, ауд. 1801.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке географического факультета МГУ на 21 этаже.

Автореферат разослан марта 2006 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат географических наук

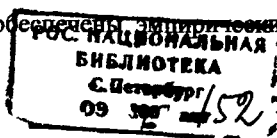
  
Алексеева С.Ф.

2006 А  
3780

## Общая характеристика работы

Актуальность проблемы Естественным этапом развития методологии климатического прогноза является исследование динамики современного климата, а также построение теории палеоклиматов. Событиям прошлых эпох принадлежит особая роль, поскольку для них характерны значительные климатические аномалии (по сравнению с современными условиями). Кроме того, изучение климатов прошлого является одним из важнейших этапов решения задач эволюционной географии, поскольку позволяет понять механизмы изменений окружающей среды. Исследования подобного рода должны основываться на синтезе данных палеоклиматических реконструкций и результатов численного моделирования. Задача моделирования палеоклиматов, с одной стороны имеет смысл оценки чувствительности моделей к изменчивости граничных условий и параметров, а с другой – физической интерпретации происходящих в прошлом климатических изменений. Учитывая разнородность и неоднозначность палеоклиматической информации, моделирование можно считать единственным инструментом согласования палеоклиматических индикаторов. Кроме того, проверка ряда палеогеографических гипотез, объясняющих различные природные феномены, например такие, как крупномасштабные изменения растительного покрова суши или колебания уровня бессточных водоемов, возможна только посредством моделирования климата.

Современный уровень развития численного моделирования позволяет достаточно точно описывать основные черты глобального климата. Воспроизведение региональных особенностей климата менее успешно, а именно это требуется для решения ряда прикладных задач, среди которых одной из наиболее важных является оценка реакции речного стока на климатические изменения. Для оценки качества результатов моделирования, а также в целях изучения генезиса крупномасштабных климатических колебаний, естественно использовать контрастные климатические события прошлого, причем те, которые достаточно полно охарактеризованы имеющимися данными,



позволяющими как задавать граничные условия, так и оценивать качество моделирования.

**Цель работы** состояла в изучении реакции термического состояния и гидрологического режима Восточно-Европейской равнины (ВЕР) на глобальные климатические изменения, происходившие в прошлом. Современный уровень численного моделирования не позволяет надежно воспроизводить приземные поля климатических величин в условиях с резко неоднородными физико-географическими условиями (в горах, вблизи океанских побережий, в районах архипелагов островов, и т. д.). Этим мотивирован выбор в качестве объекта исследования обширной равнинной территории. ВЕР - это единственная на земном шаре равнинная часть суши с площадью более 5 млн. км<sup>2</sup>, сочетающая в себе значительную пространственную однородность физико-географических условий и хорошую обеспеченность как данными гидрометеорологических наблюдений, так и результатами палеорекоконструкций. С этой точки зрения именно ВЕР должна использоваться как эталонная территория при изучении качества моделирования климата.

**В задачи исследования** входило:

- оценка качества воспроизводимого моделями современного термического и гидрологического режимов ВЕР (верификация моделей);
- оценка изменений термического состояния, условий увлажнения и колебаний речного стока на ВЕР в контрастных климатических условиях прошлого;
- изучение климатически обусловленных колебаний уровней Черного и Каспийского морей, проявляющихся на временных масштабах порядка тысяч лет.

**Научная новизна работы** состоит в следующем:

- определены границы применения результатов моделирования и климатических архивов для решения ряда задач климатологии;

- выявлены главные причины долгопериодных колебаний климата ВЕР в последние 25 тыс. лет;
- выявлены главные причины долгопериодных колебаний речного стока с ВЕР за последние 25 тыс. лет;
- выявлены главные причины вариаций уровней Черного и Каспийского морей в последние 25 тыс. лет;

**Практическая значимость.** Оценена степень применимости МОЦА для оценки изменений природной среды крупных равнинных территорий на примере ВЕР. Создан алгоритм оценки качества моделирования, основанный на использовании интегральных климатических показателей. Продемонстрирована климатическая обусловленность крупных вариаций речного стока и уровней Каспийского и Черного морей.

**Апробация работы.** Результаты исследований были представлены на международной научной конференции, проводимой в рамках ERCA (European Research Course on Atmospheres, Франция, Гренобль, 2003); конференции молодых ученых «Яншинские чтения» (Москва, 2003); международной научной конференции по исследованию Арктики и Антарктики ACSYS (Санкт-Петербург, 2003); международной научной конференции «Вычислительно-информационные технологии для наук об окружающей среде» (Новосибирск, 2005); международной научной конференции «Black Sea-Mediterranean corridor during the last 30 ky: sea level change and human adaptation», Турция, Стамбул, 2005.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе 6 статей в рецензируемых изданиях и 1 тезисы докладов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка использованной литературы. Работа включает 155 стр. текста, 57 рисунков, 20 таблиц, и список литературы из 185 наименований, в том числе 80 зарубежных работ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 02-05-06172мас (в рамках проекта 01-05-65432а), 03-05-64544) и Минпромнауки РФ по ФЦП «Школа тропической метеорологии».

### **Краткое содержание работы**

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цели и задачи исследований, отражена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

#### **Глава I. Климатические события позднего плейстоцена и голоцена.**

**Палеоклиматические реконструкции** Основными способами количественной реконструкции климатических условий прошлого являются: а) изотопные методы направленные на анализ содержания  $^{18}\text{O}$  и других изотопов в морских отложениях, ледниковых кернах, повторно-жильных льдах, кораллах, и др.; б) геохимические методы, в которых в качестве индикаторов используется содержание ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и др. в морских осадках; в) палинологические методы; г) геоморфологические методы; д) дендроклиматические методы, и др. Приведем некоторые оценки точности реконструкций климатических характеристик. Например, с помощью кислородно-изотопных и геохимических методов температура поверхности океана восстанавливается с точностью до  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [Борзенкова, 2002]. На суше использование палеоботанических данных позволяет реконструировать сезонные и годовые температуры в точках взятия проб с максимальной точностью  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а годовые суммы осадков —  $\pm 25\text{ мм}$ . [Климанов, 1996; Борзенкова, 2002].

Согласно результатам реконструкций, в эпоху позднелейстоценового криохрона (около 21 т.к.л.н.) температура приземного воздуха, осредненная по территории суши Северного полушария, была ниже современной примерно на  $4\text{-}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а годовая сумма осадков сократилась на 40% по сравнению с современной [Величко, 1989].

В эпоху максимума голоценового потепления температура была выше современной примерно на  $1.2\text{-}1.5$  градуса [Борзенкова, 2002; Величко, 1989;

Климанов 1996], причем максимальные аномалии (3-4°C), наблюдались в высоких широтах. Годовая сумма осадков была несколько выше нынешней (на 15-20%), максимальные отклонения, в 2-3 раза превышающие современный уровень, наблюдались в Северной Африке и Аравии [Величко, 1989; Hagissov, 2000].

**Генезис изменений климата.** Изменения климата в четвертичную эпоху обусловлены орбитальными флуктуациями инсоляции на внешней границе атмосферы [Миланкович, 1939; Berger, 1978] и комплексом обратных связей, включающих эффекты запаздывания, «переброса» и стохастического резонанса [Wiesenfeld, Moss, 1995; Кислов 2005]. Согласно результатам моделирования, переход от позднелейстоценового криохрона к голоцену является климатическим откликом на сильное радиационное воздействие (глава II).

Процесс общего потепления, развившийся в послеледниковье (18 – 10 т.к.л.н.), неоднократно прерывался резкими похолоданиями, отличающимися значительной амплитудой и относительно небольшой продолжительностью (несколько сотен лет). Эти короткопериодные климатические колебания, напоминающие события Дансгора-Эшгера [Sarnthein, Stategger, Dregert, 2001], называют дриасовыми похолоданиями. Наиболее ярко в Северной Америке и в Европе проявилось последнее из них, а именно – молодой дриас (10.3-11 т.к.л.н.). По данным реконструкций [Климанов, 1990], величина среднегодовой отрицательной аномалии температуры в Европе и Северной Америке достигала 6..8 °С. Возникновение дриасовых похолоданий обычно связывают с ослаблением термохалинной циркуляции в Северной Атлантике, произошедшей по причине распреснения поверхностных вод вследствие резкого увеличения пресноводного речного и айсбергового стока [Broecker, 1989; Keegwen 1993; Esuer, 2001]

**Глава II. Моделирование глобальных климатических событий  
позднего плейстоцена и голоцена.**

Международный проект PMIP (Paleoclimate Model Intercomparison Project). Обоснованные объяснения генезиса климатических колебаний являются главной целью международной программы PMIP, ориентированной на моделирование контрастных климатических эпох палеовремени, наиболее полно освещенных эмпирическими данными реконструкций, а именно - позднелейстоценового похолодания (21 тысяч календарных лет назад - т.к.л.н.) и теплого события середины голоцена (атлантический оптимум) (6 т.к.л.н.).

**Таблица 1. Модели общей циркуляции атмосферы, участвующие в PMIP 1**

Название модели	Организация и страна.	Разрешение Модели *
BMRC	Bureau of Meteorology Research Center, Австралия	R21L19 **
CCC3	Canadian Center for Climate Modeling, Канада	R32L10 ***
CCM3	National Center for Atmospheric Research, Канада	T42L18 **
CCSR1	Center for Climate System Research, Япония	T21L20 ***
CLIMBER	University of Potsdam, Германия	7x18L1 ***
CNRM2	Centre National de Recherches Meteorologie, Франция	T31L19 **
CSIRO	Comentific and Industrial Research Organiss, Австралия	R21L9 **
ECHAM3	Max-Plank Institute fur Meteoropogie, Германия	T42L19 ***
GEN2	National Center for Atmospheric Research, США	T31L18 ***
GFDL	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, США	R30L20 **
GISS	Goddard Institute for Space Studies, США	72x46L9 **
LMD4	Laboratoire de Meteorologie Dynamique, Франция	48x36L11***
LMD5	Laboratoire de Meteorologie Dynamique, Франция	64x50L11***
MRI2	Meteorological Research Institute, Япония	72x46L15***
MSU	МГУ им. Ломоносова, Россия	24x18L3 ***
UGAMP	Universities Global Atmospheric Modeling Progr., Англия	T42L19 ***
UIUC1	University of Illinois Urbana-Champaign, США	72x46L11 **
UKMO	UK Meteorological Office, Англия	96x73L19 **
YONU	Yonsei University, Корея	72x46L8 **

**Примечания:**

\* под горизонтальным разрешением понимаются спектральные моды (R – ромбоидальное усечение сферических функций, T – треугольное), или число узлов широтно-долготной сетки, L – количество вертикальных уровней.

\*\* участие МОЦА в экспериментах по воспроизведению современного климата и климата теплого события голоцена 6 т.к.л.н.

\*\*\* участие МОЦА в экспериментах по воспроизведению современного климата, теплого события голоцена 6 т.к.л.н. и позднелейстоценового криохрона 21 т.к.л.н.



Таблица 2. Граничные условия и параметры в экспериментах PMIP I.

Граничные условия	«Базовый» эксперимент *	6 т.к.л.н.	21 т.к.л.н.
ТПО и морские льды	Современные	Современные	Расчетные, или заданные по результатам CLIMAP.
Альbedo льдов, океана а также ландшафтов суши	Современные	Современные	Современные
Континентальные льды	Современные	Современные	Заданные по результатам реконструкций [Peltier, 1994]
Уровень моря	Современный	Современный	-105 м. [CLIMAP].
Оптическая толщина аэрозоля	Современная	Современная	Современная
Солнечная постоянная	1365 Вт/м <sup>2</sup>	1365 Вт/м <sup>2</sup>	1365 Вт/м <sup>2</sup>
Параметры орбиты **	Есс=0.016724 ° ε=23.446 ° λ=102.04 °	Есс=0.018682 ° ε=24.105 ° λ=0.87 °	Есс=0.018994 ° ε=22.949 ° λ=114.42 °
Концентрация CO <sub>2</sub> *	280 ppm (доиндустриальный уровень)	280 ppm	200 ppm

**Примечания.**

\* «базовый» эксперимент является тестовым и направлен на воспроизведение современного климата.

\*\* параметры орбиты: Есс – эксцентриситет орбиты, ε – угол наклона плоскости экватора к плоскости орбиты, λ – гелиоцентрическая долгота перигелия

В первой стадии PMIP (с 2005 г. выполняется вторая фаза проекта – PMIP II) участвовало 19 МОЦА (табл. 1.), многие из которых принимали участие и в других родственных проектах: AMIP, CMIP, SMIP, и др. Тестирование качества моделей заключалось в воспроизведении современного климата. Оно показало [Joussame, Taylor, 2001], что в целом МОЦА правильно воспроизводят основные глобальные особенности атмосферной циркуляции, термического режима и увлажнения. Следующим этапом явилось моделирование условий контрастных климатических эпох. В рамках PMIP осуществлялось 2 типа экспериментов Первый - с фиксированной температурой поверхности океана (ТПО), которая для позднелейстоценового хронона задавалась согласно [CLIMAP, 1976]. Второй – с ТПО, рассчитываемой по подключенной к МОЦА

модели деятельного слоя океана. В данной работе использовались результаты экспериментов с фиксированной ТПО, которые оказались более надежными результаты.

Граничные условия и параметры (табл.2) формируются из предположений о причинах климатических изменений, которые были изложены в главе I. Используются данные всех МОЦА, за исключением CLIMBER, MSU и LMD4, пространственное разрешение которых признано слишком грубым для оценок регионального масштаба.

**Результаты моделирования глобального климата 21, 11, и 6 т.к.лн.** Анализ результатов 16 МОЦА продемонстрировал значительно более холодные, по сравнению с современным состоянием, условия. Величина среднегодовой отрицательной аномалии над сушей составила, в среднем,  $5^{\circ}\text{C}$ , максимальные значения (до  $30^{\circ}\text{C}$ ) приурочены к ледовым полям Скандинавии и Северной Америки. Все модели воспроизвели рост засушливости во внетропических широтах – осреднение модельных результатов свидетельствует о том, что осадков в Северном полушарии стало выпадать на 35-40% меньше, чем в современных условиях. В целом, результаты моделирования неплохо соответствуют данным реконструкций (глава I), причем следует подчеркнуть, что величина межмодельного разброса оказывается, как правило, меньше значения самих аномалий. Анализ циркуляционных эффектов [Kageyama, 1998; Суркова, 2003] показал, что в эпоху позднелайстоценового криохрона все МОЦА воспроизвели ослабление муссонной циркуляции в тропиках, усиление западного переноса и бароклинной неустойчивости в умеренной зоне.

Наращение инсоляции на внешней границе атмосферы в северном полушарии в летние месяцы в послеледниковье и в начале голоцена стали причинами существенных изменений климата. Над сушей северного полушария, согласно результатам моделирования, зима был несколько холоднее современной, (на  $0.5-1^{\circ}\text{C}$ ), а температура летнего сезона была выше на  $1-2^{\circ}\text{C}$ , причем последняя величина оказалась статистически значимой.

В работе [Кислов, 1993] было выполнено моделирование климата молодого дриаса. Выполнялась оценка реакции климата на отрицательную аномалию температуры поверхности Северной Атлантики, заданную по данным [Муратова, 1990]. В зимнее время температура воздуха в Европе и Северной Америке оказалась, в среднем, на 6...8 градусов ниже современной, а летом – на 3...5 градусов, что неплохо соответствует результатам реконструкций. Годовая сумма осадков, и их сезонное распределение в умеренной климатической зоне практически не отличались от современных.

Одним из важнейших механизмов климатической изменчивости рассматриваемого масштаба является распреснение вод океана и нарушение термохалинной циркуляции Северной Атлантики. С целью проверки того, способно ли реконструированное на суше количество талой воды обеспечить этот эффект, выполнялось моделирование «океанской ветви» данного события. Численные эксперименты осуществлены на модели общей циркуляции океана (МОЦО) ИВМ РАН [Алексеев, Залесный, 1993]. В МОЦО в устье реки Св. Лаврентия подключался пресноводный источник интенсивностью 0.35 Sv, действующий 4 модельных года. Эти параметры заданы по данным палеогидрологических реконструкций [Leverington, 1994]. Модельная реакция Северной Атлантики оказалась квазилокальной и не вызвала климатически значимых изменений. С одной стороны, это может быть связано с отсутствием обратных связей модельного океана с атмосферой. Однако, с другой стороны, известно, что современные модели совместной циркуляции океана и атмосферы недостаточно хорошо воспроизводят глобальный отклик климатической системы на локальные воздействия [Manabe, Stouffer, 1997; Stocker, 2002].

**Глава III. Качество моделирования современного температурного режима и условий увлажнения Восточно-Европейской равнины.**

**Используемые данные.** В данной работе использовались следующие модельные и эмпирические данные.

1. *Результаты моделирования:* среднемесячные поля приземной температуры, осадков и испарения, представляющие собой результаты МОЦА, полученные в рамках экспериментов РМIP I по воспроизведению современного климата, а также условий 6 и 21 т.к.л.н.

2. *Современные климатические данные:* среднемесячные поля приземной температуры, осадков и испарения реанализа NCEP/NCAR, реанализа ECMWF, архива LEEMENS; архивные данные об осадках GPCP, LEGATES и JAEGER. При оценке качества воспроизведения моделями годового речного стока на ВЕР, результаты моделирования сопоставлялись со средними многолетними данными гидрологических наблюдений.

3. *Палеорекострукции.* а) температурного режима и условий увлажнения ВЕР; б) динамики уровенного режима Черного и Каспийского моря; в) гидрологического режима рек ВЕР в позднеледниковье.

**Методика оценки качества модельных данных.** Валидация МОЦА должна выполняться с акцентом на специфику решаемых задач. В данной работе основное внимание уделяется приземным климатическим величинам, поэтому оценивалось качество моделирования средних многолетних месячных и годовых значений температуры, осадков и испарения. Валидация МОЦА осуществлялась в пределах области, включающей большую часть ВЕР (20° - 60° в.д., и 45° - 65° с.ш.).

1. В каждом узле регулярной сетки 2.5x2.5° вычислялись разности между модельными и «эталонными» климатическими величинами, перечисленными выше. Для осадков и испарения рассчитывалась относительная ошибка. Помимо разности «модель минус климат», был вычислен межмодельный среднеквадратический разброс оцениваемых величин.

2. Вычислялись разности «модель минус климат» для территорий с разными площадями. Сначала для каждой элементарной ячейки размером  $2.5 \times 2.5^\circ$  вычислялись разности «модель минус климат», затем эта процедура выполнялась для результатов осреднения между двумя соседними ячейками, затем между 4, 8, 16, 32, 64, и, наконец, 128 ячейками, покрывающими большую часть ВЕР. Подобная процедура позволяет установить зависимость ошибки от площади территории, по которой производится осреднение.

3. Оценивалось качество воспроизведения МОЦА пространственной изменчивости климатических полей на ВЕР путем сравнения модельного и фактического среднего квадратичного отклонения (СКО) по пространству. Помимо этого, анализировался коэффициент пространственной корреляции между фактическими и модельными климатическими полями.

4. Выполнялся расчет некоторых климатических характеристик, позволяющих интегрально оценить качество сезонной изменчивости модельного климата. Это разность между модельной и реальной амплитудами годового хода приземной температуры, индекс континентальности Хромова, и гидротермический коэффициент Селянинова.

Если разница между реальной и модельной среднегодовой температурой или СКО, осредненной по всей ВЕР, оказывалась по модулю больше  $1^\circ\text{C}$ , а осадков и испарения (и их СКО) – более 10 %, то считалось, что модель неадекватно воспроизводит температуру и режим увлажнения. Большие погрешности означают несоответствие модельных и реальных климатических условий, когда, например, вместо климата средней полосы реализуются таежные или степные условия.

**Результаты валидации МОЦА.** Выявлены значительные ошибки воспроизведения среднегодовых климатических характеристик на территории ВЕР ансамблем 16 МОЦА. Так, ошибка среднегодовой температуры составила, в среднем,  $1-2^\circ\text{C}$ , а осадков и испарения - 30-40%. Большинство МОЦА воспроизводят значительно большую, по сравнению с реально наблюдаемой, амплитуду годовой температуры на ВЕР, генерируя более континентальный

климат (ошибка, в среднем, составляет 3–4 °С, при этом максимальная ошибка (у моделей BMRC, CCSR, UGAMP) достигает 10 °С. Большая часть моделей переувлажняют рассматриваемую территорию (в основном, за счет таежных районов, где осадков оказывается в 1.5-2 раза больше по сравнению с наблюдаемыми), в результате чего гидротермический коэффициент Селянинова оказывается сильно завышенным. Одновременно, на юге ВЕР отмечается дефицит осадков (преимущественно за счет значительных погрешностей во время теплого полугодия). Межмодельный разброс среднегодовой температуры составляет по ВЕР, в среднем, 2 °С, а осадков – 40% от годовой нормы. Плохо воспроизводится и пространственная структура полей: ошибки пространственного СКО составляют для температуры около 2°С, а для годовой суммы осадков они достигают 30-40 %.

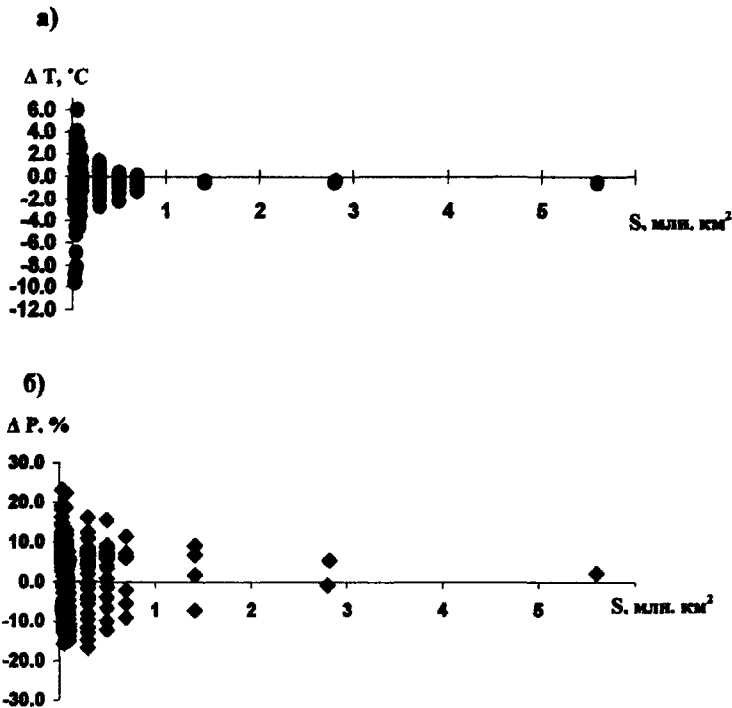


Рис. 1. Зависимость модельной ошибки от площади осреднения для а) среднегодовой приземной температуры (Т, °С), б) годовой суммы осадков (в % от наблюдаемой годовой нормы).

На рис. 1 представлена зависимость модельной ошибки для температуры и осадков от площади осреднения. Видно, что ошибки выходят на постоянной уровень при осреднении результатов по площади, превышающей 1 5-2 млн. км<sup>2</sup>. Оценка качества каждой модели показала, что только 3 МОЦА (GFDL, CSIRO, UKMO) адекватно воспроизводят все выбранные климатические показатели. При этом сезонную изменчивость хорошо воспроизводят 2 МОЦА – CSIRO и UKMO, а для расчета годовых характеристик целесообразно применять данные следующих МОЦА: CCM3, CSIRO, GEN2, GFDL, GISS, UKMO. Ошибка среднегодовой приземной температуры по данным этого ансамбля составляет 0.2 °С, осадков – 5% , а испарения – 7% годовой суммы; амплитуда годовой температуры оказывается завышена на 1.3°С, а ошибка коэффициента Селянинова составляет 0.1. По-видимому, использование полного ансамбля МОЦА для решения прикладных задач оказывается нецелесообразным – необходимо отбирать «лучшие» модели. Однако нет сомнений в том, что подобный ансамбль будет регионально зависимым.

Итак, в результате жесткой селекции, число членов ансамбля МОЦА, с помощью которых можно успешно воспроизводить климатические условия 6 т.к.л.н. сократились до 6, а позднелейстоценового криохрона - до 3. В таком случае, невозможно оценивать межмодельный разброс моделируемых характеристик, который является одной из важнейших мер статистической достоверности воспроизводимых событий. Поэтому мы выполнили более «мягкий» отбор МОЦА, исключив из рассмотрения только те модели, которые воспроизводили среднюю годовую температуру воздуха с погрешностями более, 1.5 °С, осадков и испарения – более, чем 25% годовой суммы. В итоге, для описания климатических условий 6 т.к.л.н. на территории ВЕР отобрано 10 МОЦА: CCC2, CCM3, CSIRO, ECHAM3, GEN2, GFDL, GISS, UGAMP, UKMO, YONU, а для изучения климатических условий позднелейстоценового криохрона – 7 МОЦА: CCC2, CCM3, ECHAM3, GEN2, GFDL, UGAMP, YONU. Отметим, что ансамбль этих МОЦА дает результат, близкий к ансамблю 6 «лучших», речь о котором шла выше.

Глава IV. Моделирование температурного режима и условий  
увлажнения Восточно-Европейской равнины в условиях позднего  
плейстоцена и голоцена.

Позднеплейстоценовый криохрон. Многочисленные результаты палеогеографических исследований свидетельствуют о формировании на ВЕР 21 т.к.л.н. холодного и засушливого климата. Осадков выпадало, в среднем, на 30-40% меньше, чем в современных условиях. Максимальные температурные аномалии наблюдались в зимние месяцы над областями ледникового щита в северо-западных районах ВЕР (13-15 °С), а минимальные – в низовьях Волги и на Северном Кавказе (3...5 °С).

Величина аномалии средней годовой температуры, воспроизведенная ансамблем из 7 «лучших» МОЦА, составила в среднем по территории ВЕР 7-8 °С при межмодельном разбросе порядка 3-4 °С, что указывает на ее статистическую значимость. Сезонная изменчивость температуры характеризуется существенно большей (на 8-10 °С), по сравнению с современной, амплитудой годового хода. Осадков по данным моделирования выпадало на 30-40 % меньше, чем в настоящее время. В холодное полугодие их максимальная аномалия (60-70% от их современной сезонной суммы) отмечена над ледовыми и мерзлотным полям Карелии, Скандинавии и современного Баренцева моря. В теплое время года отрицательная аномалия осадков максимальна на Урале (50-60 %). Следует отметить, что при значении межмодельного разброса в 25-30%, дефицит осадков статистически значим. Испарение по данным моделирования уменьшилось на 20-30 % на большей части ВЕР (что также близко к значению межмодельного разброса). В целом, по результатам моделирования, климатические условия ВЕР напоминали современный климат Якутии, с суровой зимой, прохладным летом и годовой суммой осадков порядка 300-350 мм, что хорошо согласуются с данными реконструкций [Хотинский, 1989].

Молодой дриас. Согласно результатам палеорекоkonструкций, термический режим ВЕР в это время был близок к позднеплейстоценовому



[Зубаков, 1986; Климанов, 1996]. Об этом свидетельствуют и данные численного моделирования. В холодное полугодие температура была ниже современной на  $8...10^{\circ}\text{C}$ , а в теплое – на  $3...5^{\circ}\text{C}$ . Преобладание стланиковой и степной растительности в эту эпоху [Хотинский, 1989] говорит о том, что климат был суше современного. Однако по данным [Сидорчук, Панин, Чернов, 2002; Rotnicki, 1991] сток рек ВЕР (в том числе, в эпоху молодого дриаса) был больше современного. Согласно результатам моделирования, по режиму увлажнения молодой дриас был близок к современным условиям.

**Атлантический оптимум голоцена (6 т.к.лн.).** Результаты моделирования показали, что статистически значимая положительная аномалия летней температуры на территории ВЕР, явившаяся реакцией на положительную аномалию инсоляции на внешней границы атмосферы, составила  $1.5-2^{\circ}\text{C}$ . Осадков по данным моделирования выпадало примерно на 5 % меньше, чем в настоящее время. Это существенно меньше величины межмодельного разброса, который, в среднем по ВЕР, колеблется около 20%. Таким образом, аномалия осадков, воспроизведенная МОЦА, оказывается статистически не значима. Результаты моделирования температуры и осадков хорошо совпадают с данными реконструкций в средней полосе и на юге России, и существенно отличаются в субарктических районах.

**Глава V. Моделирование вариаций речного стока с Восточно-Европейской равнины в позднем плейстоцене и голоцене и колебания уровней Черного и Каспийского морей.**

**Методы воспроизведения речного стока.** Моделирование вариаций стока, с одной стороны служит критерием качества воспроизведения МОЦА режима увлажнения изучаемого региона, а с другой позволяет оценить региональный отклик стоковой составляющей водного баланса на глобальные изменения климата. Верификация климатических архивов и данных МОЦА проводилась индивидуально только для одной реки - Волги. Другие реки ВЕР существенно меньше, осреднение по их бассейнам составляющих водного баланса, а значит и вычисление годового стока с их водосборов,

осуществляется с большими погрешностями (Глава III). В этом случае рассчитывались величины суммарного стока всеми реками, принадлежащими к бассейнам Каспийского, Черного и Балтийского морей, а также морям европейской Арктики.

Существует ряд способов воспроизведения речного стока посредством различных гидрологических моделей, спектр которых весьма велик – от простых балансовых [Георгиади А.Б., Милокова, 2002; Шмакин, Попова, 2003], до сложных гидродинамических, основанных на уравнениях Сэн-Венана [Дебольская, 2003]. Однако, вне зависимости от используемых подходов, водно-физические свойства почв и растительности задаются параметрически и, часто, в соответствие с их современными значениями. Это порождает большую неопределенность результатов. Поэтому в данной работе использован следующий простой метод моделирования гидрологического режима ВЕР.

В пределах перечисленных выше водосборов (с учетом площадей элементарных ячеек  $(2.5 \times 2.5^0)$ ), и с учетом долей ячеек на границах бассейнов) вычислялись годовые суммы осадков ( $P$ ) и испарения ( $E$ ), годового слоя стока ( $Y = P - E$ ) и расхода воды в замыкающем створе. Отметим, что при использованной дискретизации территории, площадь, например, волжского бассейна определяется данным методом с погрешностью 1%.

Таблица 3. Средние многолетние осадки ( $P$ ) и испарение ( $E$ ) в условиях современного климата, осредненные по волжскому бассейну, и вычисленная величина климатического слоя стока ( $P-E$ ) \*

ДАННЫЕ	ОСАДКИ, ММ	ИСПАР, ММ	СТОК, ММ	РАСХОД, М <sup>3</sup> /С*
NCER	590	586	4	163
ECMW	507	431	76	3096
GPCP	543	-	-	-
JAEGER	677	-	-	-
LEEMENS	474	437	37	1512
LEGATES	538	-	-	-
АНС	555	489	66	2697
НАБЛЮД			179	7320

Прочерки означают то, что данный источник информации содержит только лишь климатологию осадков. АНС– результат осреднения всех сортов информации, НАБЛЮД - средние многолетние гидрологические характеристики Волги, полученные по данным наблюдений на станции Верхнее Лебяжье.

Таблица 4. Качество воспроизведения моделями современного годового стока (км<sup>3</sup>) с Восточно-Европейской равнины и части Скандинавского полуострова (под ошибкой относительное отклонение в % от современного среднего многолетнего объема стока).

МОЦА	Б А С С Е Й Н Ы							
	ЧЕРНОЕ МОРЕ		КАСПИЙ		АРКТИКА		БАЛТИКА	
	СТОК	ОШИБКА	СТОК	ОШИБКА	СТОК	ОШИБКА	СТОК	ОШИБКА
BMRC	88,9	-71	105	-62	174,2	-62	377,0	-20
CCC2	214,4	-31	266,2	-3	440,6	-3	518,9	10
CCM3	349,9	12	330,1	20	422,5	-7	535,6	14
CCSR	372,8	19	238,5	-13	307,2	-32	491,1	4
CNRM1	268,3	-14	225,6	-18	407,4	-10	568,6	21
CSIRO	260,9	-14	248,4	-10	272,8	-40	372,7	-21
ECHAM3	201,0	-35	210,7	-23	462,7	2	488,7	4
GEN2	274,6	-12	139,6	-49	222,4	-51	402,9	-14
GFDL	260,6	-17	107,6	-61	250,6	-45	416,4	-12
GISS	110,6	-65	131,1	-52	277,2	-39	308,1	-35
LMD5	673,8	116	208,3	-24	201,6	-55	330,2	-30
MRI2	255,4	-18	165,9	-40	308	-32	425,4	-10
UGAM	376,1	20	264,8	-3	407,5	-10	450,1	-4
UKMO	350,6	12	160,6	-41	339,6	-25	496,3	5
UIUC	521,5	68	228,0	-17	251,8	-44	434,0	-8
YONU	586,2	87	301,0	10	262,3	-42	414,8	-12
АНС *	317 (±142)	4 (±49)	207 (±67)	-25 (±32)	313 (±90)	-31 (±19)	439 (±71)	-7 (±15)
ЛУЧШИ **	308 (±37)	-1 (±12)	263 (±34)	-4 (±13)	428 (±21)	-6 (±5)	454 (±49)	-4 (±11)
НАБЛ ***	312	-	274	-	453	-	471	-

#### Примечания

\* здесь и в табл. 5, 6 - ансамбль из 16 МОЦА RMP, в скобках указаны значения межмодельного разброса, характеризуемые СКО (±σ), \*\* здесь и в табл. 5, 6 - ансамбль МОЦА, относительно успешно воспроизведший объемы стока с ВЕР (эти МОЦА выделены жирным шрифтом), \*\*\* наблюдаемые средние многолетние объемы стока.

Вначале оценивалось качество имеющихся в нашем распоряжении климатических архивов осадков и испарения путем сопоставления фактически измеренной величины среднего многолетнего расхода («гидрометрическим» расходом и стоком) в замыкающем створе Волги (ст. Лебяжья) с рассчитанными по вышеозначенной методике («климатическим» расходом и

стоком). Получилось, что ни один из используемых климатических архивов не может быть использован для расчетов стока и служить эталоном при проверке результатов моделирования (табл. 3)

Оценка качества моделирования представляла собой сравнение объемов среднего многолетнего годового стока по указанным выше четырем водосборам, вычисленного по результатам моделирования с гидрометрическими данными. Результаты оценки качества воспроизведения МОЦА характеристик годового стока с ВЕР приведены в табл. 4. Если относительная ошибка воспроизведения объемов стока  $\Delta Y/Y$  (для каждого водосбора) лежала в пределах  $-20\% \leq \Delta Y/Y \leq 20\%$ , то результат моделирования считался «удовлетворительным», поскольку хоть он и существенно отличался от среднееголетнего, но все же попадал в границы экстремальных колебаний стока, характеризуемой величиной  $\pm\sigma Y$ . Соответственно, в случае превышения этих пределов результаты МОЦА считались нереалистичными. Отобранные в соответствии с такими критериями МОЦА, рассматривались как «лучшие» и в дальнейшем, при исследовании гидрологического режима контрастных климатических эпох прошлого, в первую очередь использовались именно их результаты. И вновь проявилась проблема региональной зависимости результатов моделирования: для каждого водосбора определился свой ансамбль «лучших» МОЦА. По всем четырем бассейнам более или менее успешно годовой сток воспроизвели только модели CCM3 и UGAMP.

**Гидрологический режим ВЕР 21 т.к.л.н.** В таблице 5 приведены результаты модельных расчетов годовых объемов стока в эпоху позднелейстоценового криохрона. Сток с бассейнов европейской Арктики и Балтики не анализируется, поскольку эти территории были частично заняты ледниковым щитом, что затрудняет сопоставление с современным гидрологическим режимом. По данным палеореконовструкций, южная граница ледника находилась к северу от водораздела между бассейнами Балтики, южных морей и Арктики [Каплин, Свиточ, 2005] поэтому притока талых ледниковых вод в бассейны Каспийского и Черного морей не

предусматривались Все МОЦА воспроизвели значительное снижение среднегодового стока рек, впадающих в Черное и Каспийское моря по сравнению с современным. В первую очередь, это связано с уменьшением годовой суммы осадков Межмодельный разброс слоя стока составляет 14-17%, так что полученная аномалия оказывается статистически значимой величиной.

Таблица 5. Годовой сток, км<sup>3</sup>, в Каспийское и Черное моря 21 т.к.л., воспроизведенный МОЦА, и его относительного отклонения, % от современного.

МОЦА	ЧЕРНОЕ МОРЕ		КАСПИЙ	
	СТОК, км <sup>3</sup>	ОТКЛ, %	СТОК, км <sup>3</sup>	ОТКЛ, %
CCC2	273,1	27	183,7	-31
CCSR	154,9	-41	107,7	-68
ECHA	280,8	43	157,1	-20
GEN2	135,2	-51	57,2	-56
LMD5	575,2	-15	209,5	0,5
MR12	158,9	-38	176,4	6
UGAMP	253,0	-33	94,5	-64
АНС*	282 (±70)	-15(±17)	115 (±17)	-33(±13)
ЛУЧШ	175,5	-41	128,6	-50

Таблица 6. Годовой сток, км<sup>3</sup>, в Каспийское и Черное моря 6 т.к.л., воспроизведенный МОЦА, и его относительного отклонения, % от современного

МОЦА	ЧЕРНОЕ МОРЕ		КАСПИЙ		АРКТИКА		БАЛТИКА	
	СТОК	ОТКЛ	СТОК	ОТКЛ	СТОК	ОТКЛ	СТОК	ОТКЛ
BMRC	346,7	289	336,1	232	564,5	224	695	84
CCC2	221,9	4	278,6	5	425,7	-3	494,1	-5
CCM3	382,7	9	391,7	19	419,1	-1	517,5	-3
CCSR	317,1	-15	297,2	-13	311,7	1	442,2	-10
CNRM1	202,3	-25	195,2	-14	404,9	-1	580,4	2
CSIRO	76,5	-71	121,1	-51	217,5	-20	303,3	-19
ECHAM3	145,0	-28	171,7	-18	448,8	-4	501,0	3
GEN2	296,2	8	136,1	-3	193,9	-13	365,6	-9
GFDL	263,8	1	111,8	4	249,8	0	446,7	7
GISS	93,2	-16	154,1	18	315,3	14	279,9	-9
LMD5	1088,4	61	414,8	100	315,3	56	652,4	98
MR12	255,1	0	152,1	-8	238,5	-23	406,7	-4
UGAMP	367	-2	256,2	-3	322,8	-21	371,5	-17
UKMO	379,2	8	165,9	3	293,7	-14	405,8	-18
UTUC	526,7	1	156,4	-32	243,8	-8	390,1	-10
YONU	594,9	2	297,3	1	258	-2	412,4	-1
АНС*	354(±116)	14(±38)	220(±47)	15(±35)	326(±49)	12(±29)	458(±57)	6(±16)
ЛУЧШ	320 (±30)	-2 (±6)	255(±37)	-5 (±8)	404 (±18)	-6 (±4)	459 (±33)	1 (±6)

**Гидрологический режим ВЕР 6 т.к.л.н.** Анализ многочисленных результатов реконструкций показывает, что в эпоху оптимума голоцена увлажнение ВЕР, в целом, мало отличалось от современного [Варушенко 1987; Величко А.А., 1989; Климанов В.А., 1996]. То же самое получается и по результатам моделирования (глава IV). В табл. 6 приведены результаты модельных расчетов. Хорошо видно, что как по результатам полного ансамбля МОЦА, так и по данным «лучших» моделей аномалии стока на территории ВЕР 6 т.к.л.н. получились незначительными и не вышли за пределы межмодельного разброса.

**Гидрологический режим ВЕР в эпоху молодого дриаса.** Согласно результатам моделирования [Кислов, 1993], годовые суммы осадков и испарения в эту эпоху мало отличались от современных. Тем не менее, по данным реконструкций [Панин, Сидорчук, Баслеров, 2000; Rotnicki, 1991], 10-11 т.к.л.н. максимальные расходы рек ВЕР были выше современных в 2-3, а в отдельных случаях – в 4-5 раз. Мы предполагаем, что имело место внутрисезонное распределение стока, связанное, в первую очередь, с увеличением периода снегонакопления, наличием вечной мерзлоты на значительной части ВЕР, и бурного нарастания тепла весной за счет положительной аномалии инсоляции на внешней границе атмосферы. Выполненные на основе результатов моделирования оценки продолжительности снегонакопления, позволили оценить аномалию снегозапаса в бассейнах тех рек ВЕР, по которым имеются результаты палеогидрологических реконструкций (Сейм, Хопер, Вычегда). Используя кривые обеспеченности, построенные для исследуемых рек на основе современных гидрологических данных, мы оценили вклад моделируемой аномалии снегозапаса в сток половодья с учетом и без учета гидрологических потерь. В первом случае оказалось, что максимальные расходы половодья могли быть выше современных примерно в 1.5 раза, а с учетом потерь – в 2.5 раза. Таким образом, реконструируемый в [Панин, Сидорчук, Баслеров, 2000; Rotnicki, 1991] рост стока в эпоху молодого дриаса по всей видимости связан с

увеличением стока половодья при неизменных годовых суммах. Отметим, что полученные результаты носят оценочный характер, поскольку на масштабах исследуемых рек МОЦА воспроизводят климатические характеристики со значительными погрешностями (глава III). Ситуацию исправляет возможность привлечения современных данных наблюдений, в виду того, что МОЦА воспроизвели годовые суммы осадков для эпохи молодого дриаса на территории ВЕР, близкие к современным.

**Вариации уровней Каспийского и Черного морей в последние 25 т.к.лн.** При изменении водного баланса, сопровождающего изменения климата, положение уровня бессточного моря будет меняться до тех пор, пока не займет равновесное состояние [Калинин, 1968]. Условие равенства приходной и расходной части водного баланса для бессточного водоема с площадью  $f$  будет выглядеть следующим образом:

$$ef = YF \quad (1)$$

где  $F$  – площадь водосбора озера,  $Y$  – сток с водосбора площадью  $F$ ,  $e = E - P$  – «видимое» испарение с зеркала озера. Изменения площади озера относительно современного уровня можно записать так:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta Y}{Y_0} + \frac{\Delta F}{F_0} - \frac{\Delta e}{e_0} \quad (2)$$

Здесь величины с индексом «0» относятся к современным климатическим условиям, а величины  $\Delta Y$  и  $\Delta e$  характеризуют отклонения стока и видимого испарения от современных значений.

Изменения уровня  $\Delta h$  связаны с  $\Delta f$  хорошо известной для каждого бассейна эмпирической зависимостью, определяемой морфологией дна и берегов. Используя ее можно записать выражение для оценки изменений уровня моря за счет влияния изменений стока, площади бассейна и видимого испарения:

$$\Delta h = (\Delta h)_Y + (\Delta h)_F + (\Delta h)_e \quad (3)$$

Итак, на основе данных, представленных в табл. 4,5, по формулам 1-3 были вычислены уровни Черного и Каспийского морей 21 т.к.л.н. В изменении площади и уровня Каспийского и Черного морей главную роль сыграло первое слагаемое уравнения (4), описывающее вклад изменений речного стока. Величина  $\Delta e/e_0$ , оценена в работах [Kislov, Surkova, 1997, Kislov, Todorov, 2006]. Показано, что в условиях криохрона 21 т.к.л.н. вклад этого слагаемого не превышал 10 % от изменений, определяемых вариациями речного стока.

Результаты расчетов приведены на рис. 2. Видно, что площадь, занимаемая Каспийским морем 21 т.к.л.н. согласно данным моделирования оказалась почти вдвое меньше современной. Береговая линия примерно соответствует современной изобате -70 метров, то есть уровень моря был на 40 метров ниже современного. Уровень Черного моря по результатам моделирования оказался на 200 метров ниже нынешнего. Тот факт, что модели воспроизвели падение уровня в эпоху позднеплейстоценового криохрона, позволяет предположить, что это соответствует ательской регрессии Каспия [Варущенко, Варущенко, Клиге, 1987]) и посткарангатской регрессии Черного моря [Свиточ, 2003; Каплин, Щербаков, 1986].

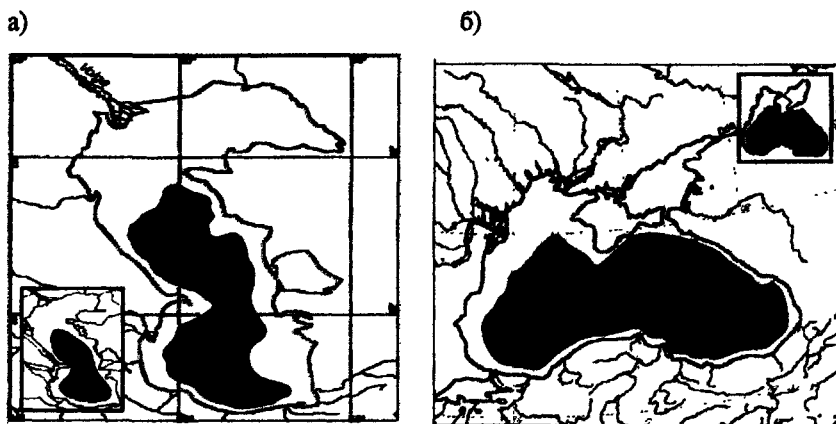


Рис. 2. Площадь Каспийского и Черного морей в эпоху позднеплейстоценового криохрона, вычисленная на основе выходной информации об осадках и испарении «лучших» МОЦА (табл. 4,5); на врезках – реконструированные максимальные регрессионные состояния [Варущенко, Клиге, Клиге и др., 1998; Каплин, Щербаков, 1986].



Генезис хвалынской трансгрессии Каспия, максимум который наблюдался 13-15 т.к.л.н. [Свиточ, 2003], в данной работе не обсуждается, поскольку данная эпоха не обеспечены данными численного моделирования. В эпоху молодого дриаса уровень Каспийского и Черного моря уже мало отличался от современного – сказались малые отличия годовой суммы осадков от современной на территории ВЕР. На основе данных, представленных в табл. 4 и 6, по формулам 1-3 были вычислены уровни Черного и Каспийского морей 6 т.к.л.н. Согласно оценкам, выполненным в [Kislov, Surkova, 1997] видимое испарение в эпоху оптимума голоцена было близким к современному. В итоге, согласно результатам моделирования уровни Каспийского и Черного морей в эпоху оптимума голоцена мало отличались от современных [Kislov A., Tогорov P, 2006]. Близкие к современным состояния морей реконструируются и для теплой эпохи голоцена 6 т.к.л.н. [Рычагов, 1993; Свиточ, 2003].

Итак, анализ результатов численного моделирования показал, что нарастание средней планетарной температуры не всегда вызывает отклик гидрологического режима, по крайней мере, на региональном уровне. Этот результат интересен в аспекте грядущего глобального потепления.

### **Заключение.**

Полученные в рамках данного исследования результаты позволяют сделать следующие выводы:

- Сопоставление результатов моделирования с данными реконструкций показали, что изменения климата в голоцене в общих чертах определяется механизмом Миланковича.
- Результаты моделирования показали, что уменьшение стока и регрессионные состояния Каспийского и Черного моря в эпоху максимума последнего оледенения, являются откликом на планетарные изменения климата, регионально выразившиеся в уменьшении годовых сумм осадков на территории ВЕР.
- Увеличение годовых сумм осадков в голоцене привело к росту объема речного стока, поэтому, начиная с середины голоцена, уровни морей

были близкими к современным. Для Черного моря, кроме этого, важным контролирующим механизмом являлся контакт с Мировым океаном.

- Анализ результатов численного моделирования продемонстрировал принципиальную неоднозначность отклика регионального гидрологического режима на глобальные климатические изменения,
- Моделирование реакции океана на катастрофический сброс талых вод в Северную Атлантику, который, согласно результатам палеорекоконструкций, имел место около 11 т.к.л.н., показало, что термохалинная циркуляция слабо отреагировала на сформировавшуюся аномалию солености.
- Усиление руслообразующей работы рек, типичное для эпохи молодого дриаса, могло быть обусловлено внутригодовым перераспределением стока рек, поскольку рост снегозапаса и увеличение коэффициента стока, обусловленное наличием вечной мерзлоты, приводили к увеличению объема половодья.
- Имеющиеся архивы гидрометеорологической информации неадекватно описывают реальную климатическую картину полей осадков и испарения.

**СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ  
ДИССЕРТАЦИИ.**

1. *Кислов А.В., Мошонкин С.Н., Торопов П.А.* Генезис похолодания Верхнего Дриаса. // Вестник МГУ, сер. Геогр., 2003, №3, стр. 15-23.
2. *Торопов П. А.* Верификация результатов моделирования климата Восточно-Европейской равнины. // В сб: «Международная конференция CITES-2005». Новосибирск, 2005, с.37-38.
3. *Абдувайти Ц., Торопов П.А.* Изменчивость ландшафтов котловин Восточного Тянь-Шаня в голоцене и в настоящее время. // Исследования Земли из космоса, 2005, №5, стр.63-77.
4. *Торопов П. А.* Оценка качества воспроизведения моделями общей циркуляции атмосферы климата Восточно-Европейской равнины. // Метеорология и гидрология, 2005, №5, стр. 5-21.
5. *Kislov A., Toropov P.* Black Sea and Caspian Sea level changes: Links to the East European river runoff and global climate changes. // In: IGCP 521 «Black Sea-Mediterranean Corridor during last 30 ky: Sea level change and human adaptation», First Plenary Meeting, Istanbul, Turkey, October 8-15, 2005, pp. 84-86.
6. *Kislov A., Toropov P.* Climate modeling results for the Circum-Pontic Region from the late Pleistocene to the mid-Holocene. // In: The Black Sea Flood Question: Changes in Coastline, Climate, and Human Settlement. Yanko-Hombach, V, A.S. Gilbert, N. Panin, & P.M. Dolukhanov. Dordrecht, The Netherlands, Springer, 2006.
7. *Кислов А.В., Торопов П.А.* Моделирование стока р. Волги в атлантический оптимум голоцена в рамках моделей общей циркуляции атмосферы // Вестник МГУ. Сер.5, География. № 1, 2006,18-28.



2006A  
3780

№  
- 3780

Напечатано с готового оригинал-макета

Издательство ООО "МАКС Пресс"

Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.

Подписано к печати 15.03.2006 г.

Формат 60x90 1/16. Усл.печл. 1,5. Тираж 150 экз. Заказ 159.

Тел. 939-3890. Тел./Факс 939-3891.

119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова,  
2-й учебный корпус, 627 к.