

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации —
Мировой центр данных»
(ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»)

Б.Г. Шерстюков

**КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КЛИМАТА,
РЕЗОНАНСЫ, ДАЛЬНИЕ СВЯЗИ,
ПРОГНОЗЫ**

Обнинск
2021

УДК 551.583

Шерстюков Б. Г. Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. 222 с.

ISBN 978-5-901579-94-7

Представлены результаты исследований, выполненных в лаборатории исследования последствий изменения климата ВНИИГМИ-МЦД за последние несколько лет в части изучения природных колебаний климата. Основное внимание уделено фундаментальным особенностям климатической системы, обладающей свойствами колебательной системы, взаимодействующей с повторяющимися внешними воздействиями. Наблюдаемые колебания климата представлены как следствие резонансов и биений собственных частот климатической системы и частот повторяющихся внешних воздействий, а также суперпозиции колебаний параметров региональной атмосферы и Мирового океана. Рассмотрены воздействия неучтенных ранее сил барицентрического вращения Солнечной системы, изменений геомагнитной и солнечной активности, изменений наклона оси вращения Земли на температуру поверхности океана и на температуру воздуха в узлах географической сетки, а также на появление Эль-Ниньо и Ла-Нинья, на скорость вращения Земли с вытекающими последствиями. Резонансную основу колебаний климата предлагается рассматривать как продолжение резонансной структуры Солнечной системы.

Показано, что экстраполяция ритмов, возникающих в результате резонансов и биений, позволяет составлять сезонные прогнозы температуры воздуха на станциях с заблаговременностью 9–11 месяцев. Показаны дальние асинхронные связи изменений регионального климата с изменениями глобальной океанической циркуляции и температуры поверхности воды в удалённых районах Мирового океана со сдвигом до 37 лет. Асинхронные связи позволили предложить физико-статистический метод получения прогностических оценок долгопериодных колебаний температуры воздуха Северного полушария на предстоящие три десятилетия.

Рецензент: доктор географических наук, профессор Ю. П. Переведенцев.

ISBN 978-5-901579-94-7



© Шерстюков Б. Г., 2021

© ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Нерешённые проблемы изменений климата	13
1.1. О соотношении природных и антропогенных факторов изменения климата	13
1.2. Принцип Маха в применении к проблеме изменений климата.....	24
1.3. Взаимодействие колебательных систем.....	26
1.4. Резонансы в Солнечной и климатической системах	31
1.5. Пример резонанса внешних воздействий на климат по данным наблюдений	36
Глава 2. Барицентрическое вращение Солнечной системы	46
2.1. Долгопериодные колебания температуры поверхности Мирового океана в связи с барицентрическим вращением Солнечной системы	46
2.2. О связи Эль-Ниньо и Ла-Нинья с барицентрическим вращением Солнечной системы.....	60
2.3. О связи Тихоокеанского декадного колебания с барицентрическим вращением Солнечной системы.....	63
2.4. Важнейшие известные и новые результаты главы 2	67
Глава 3. Солнечная и геомагнитная активность	69
3.1. Колебания температуры поверхности Мирового океана при изменении геомагнитной активности	69
3.2. Колебания температуры поверхности океана в связи с долгопериодными изменениями солнечной активности.....	75
3.3. Распространение солнечно-обусловленных возмущений температуры из Южного океана в другие регионы Земли	83
3.4. Основные результаты главы 3.....	87
Глава 4. Общие причины вариаций в Солнечной и климатической системах.....	89
4.1. Изменения скорости вращения Земли при барицентрическом вращении Солнечной системы.....	89
4.2. Изменения температуры поверхности океана при изменениях скорости вращения Земли	90
4.3. Вариации климата при изменении притока солнечной радиации.....	93
4.4. Тепло в океанах на разломах земной коры	99
4.5. Цикличность солнечной активности.....	103
4.6. Основные результаты главы 4.....	106

Глава 5. Региональные проявления и особенности изменений климата	108
5.1. Пространственно-временные особенности изменения климата атмосферы и океана на разных временных интервалах XX и начала XXI веков	108
5.2. Изменение площади морского льда в Арктике	116
5.3. Дальние асинхронные связи долгопериодных колебаний температуры воздуха в Европе	128
5.4. Основные результаты главы 5	140
Глава 6. Долгосрочные метеорологические прогнозы и прогноз изменения климата	142
6.1. Короткопериодные колебания климата, новые принципы долгосрочного метеорологического прогноза	142
6.2. Сезонные прогнозы температуры воздуха	157
6.3. Прогноз изменений климата на примере температуры в Москве	176
6.4. Прогностические возможности асинхронных связей для вычисления тенденций изменения климата Земли на три десятилетия	182
6.5. Прогноз на 2020–2049 гг. тенденций изменения температуры воздуха и поверхности океана Северного полушария	186
6.6. Основные результаты главы 6	191
Глава 7. Методология исследований и выводов	194
Заключение	200
Список литературы	210

ВВЕДЕНИЕ

Непостоянство климата всегда волновало человечество. В XVIII веке или даже ранее возникли предположения о том, что климатические изменения повторяются через некоторое время. С тех пор не прекращаются попытки найти объяснения причин происходящих колебаний климата. После открытия 11-летней цикличности солнечной активности наиболее часто стали делать попытки связать колебания климата с циклическими изменениями солнечной активности. Не имея представления о природе солнечных пятен, многие исследователи искали и находили солнечный цикл в изменениях климата разных регионов, но результаты получались противоречивыми — в одних регионах с увеличением чисел Вольфа связывали потепление климата, а в других — похолодание. После того, как с увеличением чисел Вольфа стали связывать усиления притока солнечной энергии к Земле, ожидали найти повышение температуры на всей Земле, но этого не случилось. Проблема изменения климата оставалась неразрешенной. «Чудесным кажется то, что хотя происходит и естественно, но причина чего неизвестна... Таковы, например, случаи, когда меньшее осиливает большее». Это цитата из сочинения Аристотеля «Проблемы механики», которую приводил Э. Мах (Мах Э., 2000). В своём примере о меньшем и большем Аристотель имел ввиду свойства рычага, с помощью которого меньшей силой можно преодолеть большую силу. Подобная ситуация сложилась в проблеме изменения климата, без каких-то недостающих знаний «рычага» невозможно понять, как слабые внешние воздействия могут влиять на климат.

Ещё в XIX веке без веры в чудеса впервые возникли предположения о связи изменений климата с деятельностью человека. Это вмешательство в климат усматривали через изменение растительности человеком. Огромные некогда лесные территории были вырублены в XIX веке. По публикации (Боголепов М.А., 2006) одни исследователи утверждали, что из-за уничтожения леса климат

Европы стал суше, а другие по исследованиям данных на территории Америки, Индии и других стран приходили к совершенно другим выводам. Там же (Боголепов М.А., 2006) приводится высказывание Брюкнера из его труда *Klimaschwankungen* (Климатические колебания): «Какая-то психологическая загадка является перед нами, когда сильнейшие представители науки шаг за шагом утверждают изменения климата (в историческое время) в одной и той же стране, но друг друга исключают; и не менее важной психологической загадкой является то обстоятельство, что при самых разнообразных и часто противоречащих изменениях лес оказывает козлом отпущения, который должен брать каждый раз всю вину на себя». Истребление леса в одних работах рассматривалось как причина иссушения климата, а в других — наоборот.

Вопрос о причинах колебаний или изменения климата не решён до сих пор. Пришли другие времена, другие идеи и другие возможности для исследования и решения вопроса о причинах изменения и колебаний климата. Теперь не вырубки леса, а его сжигание и сжигание любого топлива рассматриваются как причина изменений современного климата. Но с таким упрощённым подходом трудно согласиться в XXI веке, учитывая накопленные новые знания, как о самой климатической системе, так и о внешних природных факторах, способных влиять на климат Земли.

Многие специалисты в области наук о Земле во всём мире считают, что существуют долговременные изменения климата, связанные как с долговременными природными процессами космического масштаба, так и с деятельностью человека в последние десятилетия. При этом внешним факторам изменений климата отводится главная роль. Тем не менее в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) утверждается (Climate Change, 2013), что главной причиной современного глобального потепления и усиления экстремальности климата является дополнительный парниковый эффект, который возник в атмосфере от антропогенных выбросов углекислого газа в результате интенсивного сжигания ископаемого топлива человечеством начиная с середины 1970-х гг. Внешние природные факторы этой группой экспертов признаются несущественными.

История знает много примеров заторможенного признания новых открытий и взглядов на устройство нашего мира. В монографии В.В. Кузнецова (Кузнецов В.В., 2011) приводится замечательная цитата из (Кэрри У., 1991): «На протяжении тысячелетий здравый смысл говорил о том, что Земля плоская, пока Пифагор не распознал её тень на Луне; но его представление о сферической Земле отвергалось ещё целое столетие. В течение следующих 16 столетий учёные твердили, что Земля неподвижный центр мироздания, пока Коперник не низвёл её просто до положения одного из спутников Солнца, причём и Солнце вскоре стало казаться ничем не выделяющимся среди миллиардов других солнц; но провидение Коперника было отвергнуто современными ему астрономами и богословами».

Как и раньше сильнейшие представители науки высказывают мнения о разных причинах современного глобального потепления, но в обществе укрепилось самое простое представление в пределах «здравого смысла» и представлений о том, что Земля — неподвижный центр мироздания, а климатическая система является замкнутой. В таких рамках ничего не остается, как назначить человека виновником современных изменений климата. Но достаточно ли для этого доказательств? Это главный вопрос, на который пока нет ответа.

Наблюдаемые современные изменения климата сопровождаются сильнейшими негативными последствиями в климатозависимых отраслях экономики всего мира. Они отражаются на условиях жизни и на здоровье человека, сопровождаются экстремальными погодными явлениями с разрушительными последствиями для населения многих стран с многочисленными жертвами в результате участвовавших стихийных бедствий. Проблема климата вовлекла в дискуссию политиков. В этих условиях из-за недостатка знаний усилиями политиков самым разумным стали считать принцип предосторожности, принятый в Рио-де-Жанейро в 1992 году, согласно которому при опасности непоправимого ущерба окружающей среде недостаток научных знаний о сопутствующих явлениях не может служить причиной отсрочки принятия эффективных мер для её защиты. «Здравый смысл» стал важнее результатов научных исследований. Теперь темпы научного обоснования причин

изменения климата не поспевают за темпами принятия решений по борьбе с предотвращением этих изменений. В борьбу с выбросами парниковых газов, которые (газы) обвинили во всех климатических бедах человечества, включились учёные, далёкие от климатологии. Опираясь на поверхностные знания в области наук о Земле, они только обострили проблему понимания причин происходящих изменений климата. Поспешные апокалиптические предостережения настроили общество на борьбу с предполагаемым виновником стихийных бедствий — с углекислым газом. Эта борьба сводится к коренной перестройке всей мировой промышленности и хозяйственной деятельности. Для этого потребуются затраты, которые не выдержит ни одна экономика мира, включая экономики самых высокоразвитых стран. Уже никого не останавливает признание того, что экономические последствия от ошибок в понимании проблемы климата значительно опаснее самих негативных последствий наблюдаемых и возможных будущих изменений климата. На межправительственном уровне ведётся борьба за сокращение выбросов парниковых газов, вводятся квоты и налоги на выбросы углекислого газа.

Но эта борьба больше похожа на игру, в которую вовлечено всё человечество. Реально никто не пойдёт на дополнительные затраты в борьбе с углекислым газом, не предполагая извлечь из этого какую-либо выгоду в кратчайшие сроки. Более реалистичным может быть стремление сократить темпы роста выбросов парниковых газов за счёт усовершенствования и повышения эффективности использования углеводородов и только при условии, что эти усовершенствования дадут экономическую прибыль. В Европе строятся планы о переходе на безуглеводородную экономику и одновременно реализуют проекты по наращиванию трубопроводной системы для увеличения потребления нефти и газа. В США объявленная борьба с парниковыми газами не мешает стремлению к наращиванию экспорта своего газа в другие страны и т.д.

Не все понимают, что даже если, пройдя через обвал всей экономики мира, удастся остановить рост выбросов парниковых газов в атмосферу и при этом подтвердится, что в этом была истинная причина всех климатических бед, то через три десятилетия

замедлятся только темпы потепления климата, а само потепление будет продолжаться за счёт уже накопленного количества углекислого газа в атмосфере. Климатическая система обладает многолетней инерционностью, три десятилетия уйдут на перестройку системы. Если удастся добиться ещё больше и свести выбросы к доиндустриальному уровню, то возврата климата к нормальному состоянию тоже придётся ждать десятилетия. Даже после этого природные многолетние и межгодовые колебания климата останутся, они значительны. Останутся также цунами и землетрясения, которые с парниковыми газами не связаны, но сейчас воспринимаются в общем списке как продукт деятельности человека.

Если антропогенная гипотеза является ошибкой, то, несмотря на все напрасные усилия, будет то, что всегда было — фазы потепления и похолодания будут поочерёдно сменять друг друга, но каждый раз на новом уровне сверхвековых колебаний. Сверхвековые колебания тоже останутся, причины их появления возникли раньше появления человечества, в этом никто не сомневается.

В 1930-е годы произошло потепление Арктики, которое позволило открыть Северный морской путь, а потом были сравнительно холодные десятилетия. В конце XX века опять пришло потепление и опять Северный морской путь доступен для прохождения судов. Всё повторяется, но на более высоком уровне, поэтому после современного потепления опять следует ожидать относительно холодные десятилетия. Так было всегда. Цикличность — основное свойство климатической системы.

Выводы об антропогенной причине современного глобального потепления получены на основе полуэмпирических математических моделей. При всей их сложности модели несовершенны, они показывают только то, что в них заложили авторы. Принципиальный механизм влияния парниковых газов на радиационный баланс известен, но не известна количественная сторона отклика всей климатической системы на антропогенные выбросы парниковых газов. Недостаток знаний заменяют в математических моделях эмпирической настройкой. Путём подбора коэффициентов форсинга парниковых газов математическую модель изначально настраивают так, чтобы результаты её работы приблизить к фактическим

данным об изменении климата. Настройка удаётся, но без научного обоснования, без доказательств. Поэтому методически не верно использовать такую модель в качестве доказательства антропогенной причины потепления климата.

Правильнее считать, что в настоящее время нет никаких доказательств достаточности антропогенного парникового эффекта для заметного влияния на современный климат. Это означает, что главный вопрос о климате остаётся открытым, поэтому необходимо развивать исследования по другим направлениям. Накопленные сведения о других внешних факторах, способных повлиять на климат, в моделях не используются по причине недостатка знаний.

В сложившихся условиях наиболее разумный выход предложил С.М. Семёнов: «...представляется целесообразным оставить попытки объяснения наблюдаемых изменений глобального климата каким-то одним фактором — антропогенным или же естественным — и сосредоточиться на количественной оценке вкладов каждого из существующих факторов» (Семёнов С.М., 2012). Надо признать, в настоящее время мы таких оценок не имеем с достаточной точностью и достоверностью.

Необходим сбалансированный подход к острейшей научной проблеме климата — необходима «перезагрузка» в исследованиях причин глобального потепления. Необходимо разработать физические основы космических влияний на изменения климата. Необходимы новые климатические модели с учётом космических влияний. А начать надо с признания того, что все существующие модели климата полуэмпирические, настроенные по неполному перечню влияющих факторов. Отсутствие в модели космических факторов автоматически восполняется некорректным приписыванием доминирующей роли антропогенным факторам в процессе эмпирической настройки по данным наблюдений. Так возник «доминирующий» фактор — антропогенные парниковые газы. Признание доминирующей антропогенной гипотезы потепления климата — это следствие методической ошибки.

В монографии сделана попытка уравновесить поспешные выводы консенсуса МГЭИК (Climate Change, 2013) недостающими знаниями о проявлениях космических влияний на изменения

климата, знаниями об особенностях восприимчивости космических воздействий климатической системой, без учёта которых никакие модельные оценки не дадут достоверных результатов.

В настоящее время нет оснований для обвинений человечества в современных бедах климата и нет оснований для принятия необоснованных дорогостоящих мер по ограничению использования углеводородов. Дешевле будет развёртывание полномасштабных мультидисциплинарных научных исследований всех факторов, влияющих на климат. Рассматривать необходимо все взаимосвязанные физические процессы, начиная от ядра Земли до ядра Солнца с учётом динамики Солнечной системы. Геоцентризм в проблеме климата уже исчерпал свои возможности.

В монографии предложен принципиально новый подход к пониманию механизма передачи повторяющихся воздействий космических факторов на колебательную систему климата через механизм резонансов. Резонансный механизм работает на слабых взаимодействиях двух колебательных систем на равных, близких или соизмеримых частотах. В резонансном механизме космических влияний на климат порог необходимых энергетических соотношений воздействия и конечного результата полностью снимается. Резонансный механизм — это тот «рычаг», который способен объяснить колебания климата слабыми внешними повторяющимися воздействиями. Ранее малая энергия космических воздействий на Землю трактовалась как доказательство невозможности влияния космических факторов на климатическую систему.

Колебательная система климата — многочастотная система, обладающая разными собственными частотами в разных её составляющих в разных регионах Земли. Это означает, что космические повторяющиеся воздействия разных частот должны находить отклик в разных районах Земли там, где сложатся благоприятные условия для резонансов частот воздействия и собственных частот места на Земле. Поэтому в работах автора крайне важным считалось сначала найти район восприимчивости того или иного космического воздействия, а затем проследить распространение по планете результата этого воздействия. Ранее региональные различия эффекта от космического воздействия могли трактоваться как доказательство

случайности статистических связей, теперь неизбежность появления региональных особенностей связей вытекает из самого резонансного механизма и строения климатической системы.

В резонансном механизме допускается возникновение космического воздействия на климат на одном интервале лет и потеря связей на другом интервале. Позднее связи опять могут восстановиться. Такими свойствами обладают взаимодействия колебаний на близких частотах — возникают биения с усилением и ослаблением связей в разные годы.

Ещё одно принципиальное новшество подхода заключается в том, что Мировой океан рассматривается как первое звено в передаче космических воздействий на климатическую систему, приводящих в последствии к изменениям (колебаниям) климата атмосферы. Впервые на всех этапах исследования учитывается многолетняя инерционность климатической системы, ответственная за передачу первичных возмущений из одних районов океана в другие и от океана к атмосфере.

В монографии приведены факты, полученные из анализа данных наблюдений, — факты, которые являются важным обоснованием для уточнения или создания новых физико-математических моделей климата. Все существующие несовершенные полуэмпирические модели климата можно использовать в прикладных задачах, но не как инструмент доказательств.

Цель монографии — запустить упомянутую перезагрузку в исследованиях проблем климата, обойти методические ошибки интерпретации результатов моделирования, представить возможные пути установления истинной причины изменений климата и дать обоснование необходимости варьировать в широких пределах поиск всех возможных причин изменений климата, а также определить те условия, при которых изменения усиливаются или ослабевают.

В первых четырёх главах рассматриваются физические предпосылки изменений климата, полученные на основе анализа данных наблюдений, а в последующих главах анализируются пространственно-временные особенности современных изменений климата, в которых проявляются предполагаемые механизмы внешних воздействий на современный климат.

ГЛАВА 1. НЕРЕШЁННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

1.1. О соотношении природных и антропогенных факторов изменения климата

Несмотря на огромные усилия мирового научного сообщества в изучении причин изменений климата, до сих пор нет однозначного ответа на вопрос «Почему изменяется климат». Главное в проблеме изменений глобального климата состоит в том, что, хотя факт его потепления в XX веке не вызывает сомнений, причины потепления, и особенно количественные оценки вкладов различных факторов в изменения глобального климата, остаются во многом не ясными. В ещё большей степени это относится к прогнозам климата с учётом антропогенных воздействий. Одна из главных нерешённых проблем состоит в отсутствии достоверных количественных оценок вклада, как антропогенных, так и природных факторов в формирование глобального климата (Жеребцов Г.А. и др., 2011). Академик К.Я. Кондратьев предостерегал, что усиление парникового эффекта атмосферы, обусловленное предполагаемым удвоением концентрации CO_2 в атмосфере, по некоторым оценкам составит около 4 Вт/м^2 , а неопределённости количественной оценки могут достигать $10\text{--}15 \text{ Вт/м}^2$ (Кондратьев К.Я., 2004а; Кондратьев К.Я., 2004б). Это не позволяет сделать однозначный вывод о том, что потепление в XX в. обусловлено исключительно антропогенными факторами и тем более утверждать, что только CO_2 является ответственным за наблюдаемое глобальное потепление климата (Жеребцов Г.А. и др., 2011).

Современное глобальное потепление климата берёт начало в 1930-х гг. XX века. Особенностью потепления тех лет было более выраженное потепление в высоких полярных широтах Северного полушария. Сначала даже считалось, что это потепление касается

только Арктической области. Одними из первых предвестников потепления в начале 1920-х гг. были сообщения о том, что воды Баренцева моря стали заметно теплее, затем аномалии были обнаружены во многих характеристиках атмосферы высоких и средних широт. Позднее было отмечено, что это было глобальное потепление. Отметим, что первое потепление началось с океана. После 40-х гг. стала проявляться тенденция к похолоданию. Первое в XX веке потепление сменилось не продолжительным и не сильным похолоданием.

Второе потепление XX века началось во второй половине 1970-х гг., оно началось более стремительно и сразу проявлялось как в атмосфере, так и в океане. Темпы повышения глобальной температуры в последней четверти XX века удивительным образом оказались похожи на прирост концентрации углекислого газа в атмосфере, вызванного человеческой деятельностью. Это послужило толчком к возрождению старой гипотезы о возможности потепления климата Земли в результате усиления парникового эффекта из-за изменения газового состава атмосферы планеты.

В настоящее время в проблеме понимания причин изменения климата накопилось много противоречий между доминирующей гипотезой и данными наблюдений. Противоречия возникли из-за того, что идея опережала изучение данных наблюдений. Плохую услугу оказали средства массовой информации, подхватившие предварительные поспешные высказывания специалистов об антропогенной причине потепления климата и об ожидаемых негативных катастрофических последствиях изменений климата для человека к концу XXI века.

Слишком большую роль в росте внимания к проблемам климата сыграли различного рода преувеличения и апокалипсические прогнозы последствий воздействия человечества на климат. Проблема изменений климата, сведённая к концепции антропогенного происхождения глобального потепления, стала инструментом геополитики (Кондратьев К.Я., 1998; Демирчян К.С. и др., 2010).

По мнению тех же авторов (Кондратьев К.Я.; 1998, Демирчян К.С. и др., 2010) принятие руководящего принципа «избежать наихудшего» ориентировало общество на самый опасный из всех возможных сценариев изменения климата в результате деятельности человека.

Этому способствовала изначальная предубеждённость некоторых специалистов в усиливающемся влиянии человечества на климат.

Многие публикации по проблемам климата начинаются со слов: «По мнению большинства учёных человек повинен в изменениях климата...». Действительно, таких публикаций много, но использование понятия «консенсуса» неприемлемо с научной точки зрения. Такой способ доказательства противоречит научному подходу. Истина должна определяться не путём голосования, а сопоставлением различных взглядов, основанных на наблюдениях и теоретических исследованиях на основе научных дискуссий. Оснований для дискуссий достаточно, так как не меньшее количество публикаций выходит с критикой гипотезы антропогенного влияния на климат. Во введении уже приводился пример с Коперником, открытие которого долго не признавали на основе «голосования».

Не понимая сути проблемы и достоверности высказанных в XX веке предположений об антропогенных причинах потепления, «зеленые» и политики создали и распространили по всему миру массовое движение против углеродной экономики. Это движение вышло из рамок необходимости научных обоснований и живёт своей жизнью несмотря на то, что Академия наук России официально назвала научно необоснованным Киотский протокол об ограничении сжигания ископаемого топлива, несмотря на то, что в 2018 году на основе результатов отчётной конференции РАН по исследованиям климата Президент России В.В. Путин на Международном форуме «Российская энергетическая неделя» 3 октября 2018 года (Москва) заявил: «Мы наблюдаем глобальное потепление, только не понятны причины этого потепления. Антропогенные выбросы, скорее всего, не основная причина потепления. Это могут быть космические изменения, сдвиги в Галактике, не видимые для нас. Мы даже не понимаем, что происходит. Судя по мнению многих специалистов, антропогенные выбросы влияют незначительным образом». Подобные слова разума уже не воспринимаются борцами с углекислым газом. Слова Президента не услышаны, борьба с углекислым газом продолжается.

Выводы отчётной конференции РАН 2018 года по исследованиям климата, кратко озвученные В.В. Путиным, были основаны

на результатах представленных докладов, в которых не было единодушного согласия с парниковой гипотезой потепления климата в XX веке. Не только в 2018 году стало известно о многолетних колебаниях климата, не зависящих от деятельности человека. Потепления, подобные состоянию конца XX века, наблюдались и раньше примерно 1000 и 1700 лет назад. Об этом свидетельствуют реконструкции климата за последние 2000 лет. Накопилось уже много фактов, противоречащих антропогенной гипотезе. Арктические льды в последние несколько десятилетий сокращаются, но в публикациях ААНИИ регулярно утверждается, что потепление в конце XX века было результатом природных колебаний. Академик РАН А.П. Лисицын (Институт океанологии РАН) заявил: «В последние годы было сделано два крупных научных открытия. Во-первых, было установлено, что климат на планете менялся во времени циклически и что его потепление — это естественный процесс. Во-вторых, главную роль в глобальных изменениях климата играет океан». Ведущая роль океана подтверждена в исследованиях академика Национальной академии наук Беларуси В.Ф. Логинова. Им также показано, что пространственно-временные особенности проявления трендовых составляющих в температуре воды Мирового океана не позволяют уверенно соотнести их с ростом содержания парниковых газов в атмосфере (Логинов В.Ф., 2020). Ю.П. Переведенцев (с соавторами) современные изменения климата связывает прежде всего с циркуляционными процессами во всей толще атмосферы (Perevedentsev Y.P. et al., 2019). В.М. Фёдоров в своих исследованиях показывает зависимость потепления климата от изменения наклона оси вращения Земли (Фёдоров В.М., 2018). В работах автора (Шерстюков Б.Г., 2011; Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б., 2021; Шерстюков Б.Г., 2021) изменения климата атмосферы связываются с процессами в Мировом океане, которые модулируются динамическими воздействиями барицентрического вращения Солнца и планет, а вклад антропогенного парникового эффекта оценивается не более 25 %. Академики Р.И. Нигматуллин и В.М. Котляков (Котляков В.М., 2012) утверждают, что деятельность человека может повлиять на климат, но в основном наблюдаемые изменения климата являются следствием природных процессов.

Ещё больше ведущих учёных утверждают, что антропогенные и природные факторы примерно в равной мере оказывают влияние на современные изменения климата (Семёнов В.А., 2015).

В работе (Малинин В.Н. и др., 2018) показано, что свой вклад в современное глобальное потепление внесли усиление влагосодержания атмосферы и дополнительный парниковый эффект от водяного пара, который появился в результате усиления вертикального влагообмена океана с атмосферой в последние десятилетия и не связан с деятельностью человека. В работе (Малинин В.Н. и др., 2018) отмечено, что усиление влагосодержания не является следствием глобального потепления, напротив, влагосодержание играет заметную роль в формировании современного глобального потепления и его (влагосодержание) следует рассматривать как климатообразующий фактор.

Научный метод решения проблемы климата требует взвешенного всестороннего подхода и с привлечением разных специалистов всех наук о Земле. К сожалению, вопрос о климате перестал считаться научной проблемой и стал вопросом политики. Ни для кого не секрет, что Парижское соглашение по климату подписано Россией из политических соображений. Призывы к переходу на низкоуглеродную экономику не имеют достаточных оснований, однако это движение набирает силу, не опасаясь ещё больших негативных последствий такой перестройки экономики, сопоставимой с переустройством мира.

Как случилось, что антропогенная гипотеза получила широкое распространение? Основная причина — это недостаток длительности инструментальных наблюдений для того, чтобы изучать долгопериодные природные колебания климата, и для того, чтобы корректно отделить предполагаемый антропогенный вклад в современное потепление климата от восходящей фазы природного долгопериодного колебания климата.

Современные изменения глобального климата состоят из трендовой составляющей однонаправленного изменения его параметров, на которую накладываются колебания метеорологических величин разного временного масштаба. Сравнение данных метеорологических наблюдений за последние 200 лет с данными

об увеличении антропогенных выбросов парниковых газов показывает явную несогласованность их изменений во времени (Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б., 2021; Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С., 2020).

В.М. Котляков отмечает (Котляков В.М., 2012), что ход глобальной температуры значительно сложнее роста мирового потребления топлива. Интенсивные антропогенные выбросы парниковых газов в атмосферу начались во второй половине XX века, а потепление климата во многих регионах Земли началось на несколько десятилетий раньше. Кроме того, во многих регионах обнаружена циклическая составляющая изменений климата с периодом около 60–80 лет (Монин А.С., Сонечкин Д.М., 2005; Логинов В.Ф., 2020; Логинов В.Ф. и др., 2020), которую нельзя связать с антропогенным влиянием.

В работе (Полонский А.Б., 2010) отмечалось, что причины изменений в климатической системе на временных масштабах от нескольких лет до тысячелетий обусловлены внутренней океанической динамикой и взаимодействием океана с атмосферой.

По данным (Lebedev S.A., Kostianov A.G., 2008; Панин Г.Н. и др., 2015; Бышев В.И. и др., 2016) на территории Европы и северо-западной Азии в течение последних 100 лет выделялись интервалы по 25–35 лет усиления и ослабления континентальности климата, колебаний водности рек, уровня Каспийского моря и экстремальных сезонных температур воздуха, которые являются следствием квазишестидесятилетнего цикла.

О существовании подобных циклов известно на протяжении нескольких столетий. В работе (Логинов В.Ф., 2020) упоминается, что в спектре значений ширины годовых колец деревьев Гренландии и Лапландии известны циклы около 70 и 90–110 лет. Длительность таких колебаний климата в разные эпохи изменяется от 60 до 120 лет.

В колебаниях современного климата Европы особое значение имеет понимание причин появления цикла 60–80 лет, который внёс свой вклад в потепление всего глобального климата в конце XX века (Полонский А.Б., 2008), но до настоящего времени недостаточно изучен. По этой причине потепление климата во время его восходящей фазы, начиная с последней четверти XX века, иногда

полностью отождествляется с антропогенным усилением парникового эффекта (Climate Change, 2013).

Наиболее заметно этот цикл проявляется в Северной Атлантике и в прилегающих регионах. На рис. 1.1 показаны изменения зимней (декабрь – февраль) температуры воздуха в Центральной Англии (T) за 1800–2020 гг. и изменения антропогенной эмиссии CO_2 .

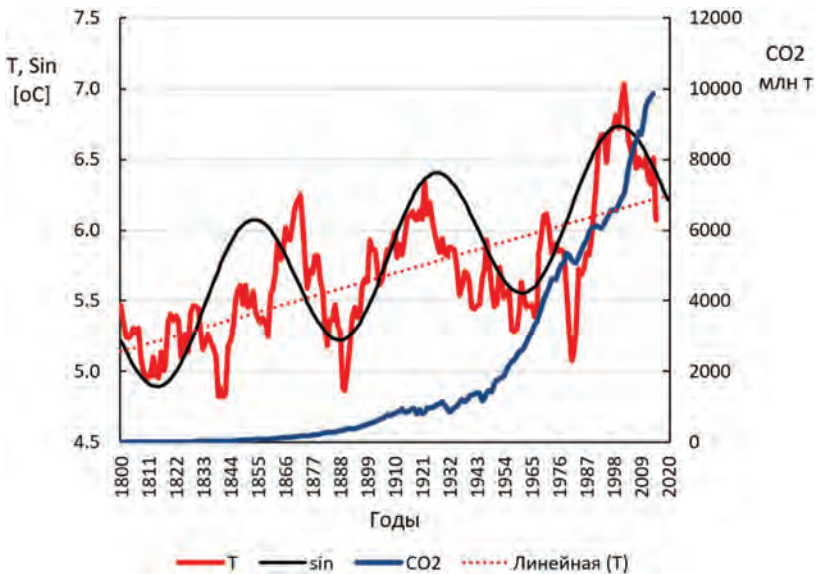


Рис. 1.1. Зимняя температура (T) в Центральной Англии, сглаженная по 11 годам, её трендовая составляющая, модель колебаний ($\sin$) и антропогенная эмиссия CO_2 , выраженная в млн тонн углерода (C)

Сопоставление графиков рис. 1.1 показывает, что тренд потепления климата в Центральной Англии начался на полтора столетия раньше появления антропогенного усиления парникового эффекта атмосферы Земли и не может быть следствием антропогенной деятельности. Данные наблюдений также показывают (рис. 1.1), что на фоне тренда потепления за последние более 200 лет происходили долгопериодные колебания температуры в виде волн повышения и понижения, которые известны как 60–80-летние колебания.

Накопление CO_2 в это время происходило без подобных колебаний. Причём интенсивное антропогенное увеличение выбросов CO_2 началось только во второй половине XX века. Именно этим увеличением углекислого газа в атмосфере пытаются объяснить современное потепление климата (Climate Change, 2013), не учитывая, что за два последних века долгопериодные колебания температуры через каждые 60–80 лет уже неоднократно создавали подобные потепления даже в те годы, когда ещё не было интенсивных антропогенных выбросов CO_2 . Следовательно, ни двухсотлетний тренд, ни 60–80-летние колебания климата не связаны с деятельностью человека. Спектральный анализ представленного ряда зимней температуры воздуха в Англии показал наличие в нём колебаний температуры с периодом 73,3; 44,0 и 24,4 года. По данным (Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С., 2020), колебания с указанными тремя периодами описывают 35 % изменчивости температуры (Т) без учёта тренда, а вместе с линейным трендом они описывают 97 % общей изменчивости. Наиболее сильной является волна 73 года. На рис. 1.1 показана модель синусоиды с периодом 73 года, наложенная на линейный тренд потепления. Колебания температуры (Т) и модельная синусоида (Sin) не согласуются с графиком накопления антропогенного углекислого газа. Начиная с 1800 года рис. 1.1 демонстрирует три волны потепления с периодом приблизительно 73 года. Третью волну потепления климата нельзя отрывать от первых двух, поэтому потепление в последней четверти XX века нельзя полностью приписать антропогенному влиянию. Существование долгопериодных циклических изменений температуры на всём интервале за 221 год статистически достоверно (Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С., 2020). Есть основания полагать, что волна потепления климата Центральной Англии во второй половине XX века является продолжением того колебательного процесса, который обеспечил появление первых двух волн потепления климата без участия человека. Нет причин для того, чтобы третьей волне потепления придавать исключительную значимость в связи с усилением сжигания топлива в эти годы.

Такой вывод согласуется с выводами других авторов о том, что влияние антропогенного накопления парниковых газов в атмосфере

играет второстепенную роль или вообще не оказывает заметного влияния на климатическую систему, поскольку не объясняет основные особенности реальных изменений климата Земли (Котляков В.М., 2012; Логинов В.М., 2020; Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б., 2021; Фёдоров В.М., 2018; Малинин В.Н. и др., 2018).

Три волны потепления климата в Центральной Англии за последние два века являются проявлением особенностей колебательных процессов основных океанических течений в Мировом океане. Быстрое потепление климата Европы во второй половине XX века является следствием наложения восходящей фазы природных колебаний климата с периодом 60–80 лет на многовековой тренд потепления. Указанные колебания и тренд наблюдаются за всю историю метеорологических наблюдений более 200 лет и не могут быть связаны с интенсификацией сжигания топлива человеком, начавшейся во второй половине XX века.

Отмеченные природные колебания климата происходят не только в Центральной Англии. Колебания климата с периодами 50–70 лет наблюдаются также в северной части Тихого океана, в температуре воздуха в Северной Америке и в ТПО тропического Индийского океана (Shoshiro Minobe, 1997). Ряд публикаций (Монин А.С., Сонечкин Д.М., 2005; Weihong Qian, Yafen Zhu, 2001) позволяет утверждать, что 60–70-летний цикл в изменениях температуры встречается во многих регионах Земли, а не только в Северной Атлантике и прилегающих регионах.

Далее приводим сомнительные аргументы (Climate Change, 2013) в пользу подтверждения парниковой природы потепления климата. Аномалии средней глобальной температуры приземного воздуха, представленные на рис. 1.2 из (Climate Change, 2013), рассчитаны по отношению к средним значениям за 1901–1950 гг. На рис. 1.2(а) представлены результаты 58 расчётов по 14 моделям климата. Результаты расчётов по разным моделям показаны тонкими жёлтыми линиями, а среднее по мультимодельному ансамблю показано жирной красной линией. Аналогично на рис. 1.2(б) представлены результаты 19 расчётов по пяти моделям. Результаты расчётов по разным моделям показаны тонкими голубыми линиями, а среднее по мультимодельному ансамблю показано жирной синей линией. Серыми линиями

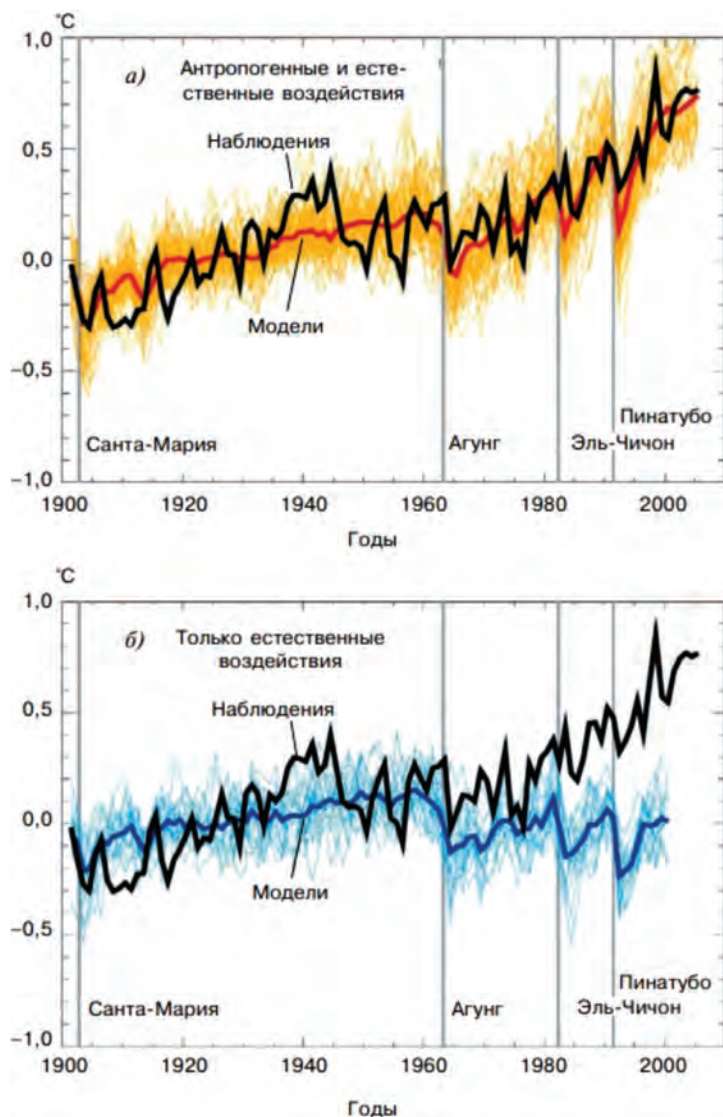


Рис. 1.2. Аномалии средней глобальной температуры приземного воздуха по данным наблюдений (чёрная линия) и по данным моделирования с учётом антропогенных и естественных внешних воздействий (а) и по данным моделирования только естественных колебаний (б).
Рисунок из работы (Hegerl G.C. et al, 2007).

отмечено время наиболее значительных извержений вулканов. Действительно, в работе (Hegerl G.C. et al., 2007) приводятся сведения о том, что модели на основе описания только природных колебаний показывают отсутствие повышения температуры на интервале XX века и не описывают ни первое, ни второе глобальные потепления, достоверно установленные по данным наблюдений. Добавление в модель антропогенной парниковой составляющей приводит к согласованию модельных данных с фактическими.

В дальнейшем результаты этого эксперимента становятся в МГЭИК основным аргументом в пользу принятия антропогенной гипотезы. Но методически это совершенно не верно. Нельзя искусственно введённую якобы антропогенную добавку к температуре считать доказательством существования этой добавки.

Ничто не даёт оснований думать, что в модели (рис. 1.2б) недостаёт именно учёта увеличения концентрации CO_2 . С таким же основанием можно предположить, что модели не учитывают известные природные колебания климата с периодом 60–80 лет и не описывают существующий сверхвековой природный тренд температуры, а также не описывают многие другие природные факторы, которые проявляются при анализе данных наблюдений. Авторы моделей не нашли способа учесть внешние природные факторы в своих моделях из-за недостатка знаний или из-за отсутствия правильного понимания механизма воздействия внешних факторов на климатическую систему. Возможно поэтому модель не может описать современное потепление без антропогенной эмпирической добавки.

Вместо искусственного введения фактора антропогенного CO_2 можно было ввести известный фактор изменения наклона земной оси, от которого зависит перераспределение солнечной радиации по планете (Фёдоров В.М., 2018), и тоже всё получилось бы при помощи настроечных коэффициентов. Можно было бы ввести в модель любую переменную с положительным трендом и добиться согласования такой модели с данными наблюдений. В этом случае парниковая гипотеза оказалась бы лишней.

Таким образом, следует признать, что основное доказательство антропогенной гипотезы изменения климата на самом деле доказательством не является.

Далее в монографии приведены сведения о некоторых особенностях природных факторов изменений климата, которые выявлены автором в последние годы и дополнены сведениями из публикаций. Приводятся далеко не все факторы и не все особенности, которые уже известны.

Отсутствие правильных полных математических моделей климата не может служить основанием для принятия судьбоносных решений человечества по плохим моделям. Проблема изменения климата — это та проблема, ошибки понимания в которой могут дорого обойтись человечеству.

1.2. Принцип Маха в применении к проблеме изменений климата

Более ста лет назад австрийским физиком Эрнстом Махом был сформулирован принцип, согласно которому должна существовать глубокая связь между структурой Вселенной в больших масштабах и локальными физическими явлениями (Мах Э., 2000). Этот принцип в полной мере должен распространяться на связь климатической системы с космическими процессами. Глобальный климат Земли определяется испускаемой энергией Солнца и астрономическими характеристиками орбитального и осевого вращения Земли. Земля, как часть Солнечной системы, подвержена повторяющимся циклическим воздействиям на неё со стороны самого Солнца и находится в циклических взаимодействиях с другими планетами Солнечной системы. Многие особенности этих воздействий на Землю и на её климатическую систему недостаточно изучены.

Колебания являются основным свойством климатической системы, так же, как орбитальные вращения являются основным свойством всех планет и их спутников, комет и астероидов в Солнечной системе. Колебания климата были всегда и не затухают в настоящее время только благодаря поступлению энергии от внешних воздействий. Наиболее изученными проявлениями этих воздействий являются годовой и суточный ход метеорологических величин, но эти характеристики не дают представлений об изменениях климата, которыми обеспокоено человечество. К сезонным и внутрисуточным изменениям метеорологических величин всё

живое на Земле хорошо адаптировано. Проблемой являются наблюдаемые изменения климата в масштабах десятилетий. Величина этих изменений на два порядка меньше сезонных различий климата во многих регионах Земли, но по негативному воздействию на человека многократно превосходит влияние сезонных изменений.

Нет оснований считать, что весь спектр колебаний внутренней изменчивости климата генерируется только сезонными различиями воздействий, как наиболее сильными по амплитуде. Более оправданным является предположение о том, что многочастотные космические воздействия возбуждают колебания в климатической системе на самых разных частотах, соизмеримых с частотами космических воздействий. Частоты, равные, кратные или находящиеся в рациональных отношениях, называются соизмеримыми.

На Земле одновременно происходят колебания климата разного временного масштаба и амплитуды. Механизмы, поддерживающие эти колебания, различны. Нельзя не учитывать возможность срабатывания резонансных механизмов влияния повторяющихся внешних слабых космических воздействий на климат на протяжении всей истории существования климатической системы.

Согласно Г.Я. Смолькову: «Без учёта всех внешних факторов воздействия на Землю невозможно объяснить механизмы, энергетику, цикличность, полярную асимметрию, инверсию, синхронность событий и процессов, нестабильность суточного вращения Земли, скачкообразные и другие особенности их проявлений. Наряду с воздействиями на Землю солнечной активности и потоков галактических космических лучей, необходимо учитывать роль и вклад во внешне-земные связи эндогенной активности Земли, обусловленной гравитационным воздействием на неё со стороны Луны, Солнца и других планет Солнечной системы при её барицентрическом движении в гравитационном поле Галактики, а также возмущений Солнечной системы в целом, процессами и событиями ближнего и дальнего космоса» (Смольков Г.Я., 2020). Изучение орбитальных движений планет, колебаний солнечной активности, климата и тектонической активности Земли показывает, что изменения в этих процессах происходят на одинаковых или соизмеримых частотах, как будто под влиянием одного общего

внешнего фактора, существующего в Солнечной системе и связанного с вращением планет.

Вращательное движение чрезвычайно широко распространено в природе — вращаются галактики, планеты и планетные системы. Вращение наблюдается в виде вихрей (циклонов) в атмосферах Земли, Сатурна, Юпитера, в виде замкнутых течений — в Мировом океане Земли. В Солнечной системе на протяжении нескольких миллиардов лет планеты вращаются вокруг Солнца, их спутники — вокруг планет, а сами планеты — вокруг собственных осей. Единство природы прослеживается во всём пространственно-временном масштабе от макро- до микромира: вращение присуще всем материальным объектам Вселенной от галактик до элементарных частиц. Согласно гипотезе Гамова-Вейцмана (Савченко В.Н., Смагин В.П., 2006), вихревые движения во Вселенной связаны с процессами, объясняющими её рождение — вращение возникло в момент Большого взрыва. В Солнце сосредоточено более 99 % всей массы Солнечной системы, но на него приходится менее 2 % момента количества движения, остальные 98 % момента количества движения принадлежат планетам. В связи с этим в поисках истоков повторяющихся внешних воздействий на климатическую систему Земли следует уделить особое внимание движениям планет с их неиссякаемыми повторяющимися воздействиями на Землю.

С учётом принципа Маха в следующей главе начнём описание возможных внешних факторов с самого общего фактора для всей Солнечной системы — с вращения Солнца и планет вокруг их общего центра масс. Но сначала отметим особые общие свойства воздействия повторяющихся внешних воздействий на колебательную систему климата.

1.3. Взаимодействие колебательных систем

Колебания климата происходили во все времена и продолжают в настоящее время. Установлено, что длительные атмосферные процессы формируются под действием внешних по отношению к атмосфере источников энергии, главным образом тепловой. Важнейшим компонентом климатической системы является океан. Для климата атмосферы он же является важнейшим внешним

источником энергии. Переменный межширотный перенос тепла и переменный теплообмен океан–атмосфера являются важнейшими источниками колебаний климата атмосферы. Теплоёмкость и тепловая инерционность океана многократно превосходят теплоёмкость и инерционность атмосферы, поэтому в системе океан–атмосфера океан является определяющим в поддержании долгопериодных колебаний потоков тепла, которые находят своё отражение в колебаниях климата.

В колебаниях климата известны интенсивные нерегулярные составляющие: глобальные колебания с периодами от недель до месяцев, межгодовые колебания с периодами 2–5 лет, явления Эль-Ниньо, 35-летние колебания северной части Гольфстрима и др. (Монин А.С., 1982). Краткосрочные процессы (до 1–2 недель) развиваются под действием начальных условий — исходного распределения энергии в атмосфере (Лоренц Э.Н., 1970; Марчук Г.И., 1974). Обусловленность колебаний климата по аналогии часто тоже описывают начальными условиями во всей климатической системе, полагая, что при неизменных внешних условиях начальное состояние климатической системы полностью определяет её эволюцию, а колебания определяются исходным распределением энергии во всех составляющих климатической системы. При такой трактовке допускается, что причина колебаний кроется в самой климатической системе как результат сложных нелинейных взаимодействий между элементами климатической системы без внешних влияний.

Необоснованность такого предположения вытекает из сопоставления известных фактов и законов физики. В любой реальной системе существует диссипация энергии колебаний, которая неизбежно приводит к их затуханию. Возникает вопрос: если внешние условия неизменны, если существует диссипация, а пополнения энергии нет, то почему колебания климата существуют и не затухают миллионы лет? Поскольку они действительно не затухают, то необходимо признать климатическую систему открытой, и остаётся только определить какие внешние факторы компенсируют диссипацию энергии и поддерживают эти колебания.

Единственным неоспоримым и самым сильным внешним колебательным фактором в климатической системе является годовой

ход инсоляции. Ограничивается ли этим открытость системы? Поиски других внешних факторов проводят на основе анализа данных наблюдений и на основе физико-математического моделирования, но в каждом случае, выбирая методы, неосознанно накладывают ограничения на поиск возможных механизмов воздействия внешних факторов на климатическую систему.

Практически всегда предметом поиска являются вынужденные колебания климата как реакция на внешние воздействия. До сих пор аксиомой считалось утверждение о том, что количество энергии каждого импульса внешнего воздействия должно быть не меньше, чем количество энергии последовавшего за ним изменения в климатической системе. На основе данных наблюдений проводят сопоставление изменений во времени состояния климата и показателей, характеризующих предполагаемые источники внешних воздействий на климат. Даже при обнаружении статистически связанных колебаний характеристик климатической системы и колебаний во внешних факторах их физическая связь отвергается на основе упомянутой аксиомы и энергетического несоответствия предполагаемого слабого воздействия и заметных изменений климата. Требования энергетического соответствия каждого воздействия и последовавшего за ним изменения в климатической системе справедливы для вынужденных колебаний или для оценки одиночного воздействия на состояние системы, но не для повторяющихся резонансных воздействий на колебательную систему климата.

Энергии каждого отдельного внешнего воздействия может быть недостаточно для вынужденного изменения состояния климата, но в любой колебательной системе (и в климатической тоже) повторяющиеся внешние импульсы энергии могут оказаться в резонансном соотношении со свободными колебаниями системы. Многократные повторяющиеся даже очень слабые, но резонансные воздействия могут раскачать колебательную систему на её собственных частотах до колебаний с заметной амплитудой. Кроме простого накопления передающейся импульсной внешней энергии в нелинейной колебательной системе резонансы могут вызывать изменения, по своей энергии многократно превосходящие приток энергии от внешнего фактора. В моменты наступления резонанса

колебания могут усиливаться за счёт высвобождения внутренней энергии системы. Именно такой сложной и нелинейной является климатическая система, резонансы с внешними воздействиями и с выделением внутренней энергии в ней возможны.

Возникают вопросы о достаточности существующих сил внешних воздействий для раскачки климатической системы, и обладает ли возникший колебательный контур необходимой добротностью, чтобы колебания не затухали, а усиливались при каждом следующем внешнем воздействии.

Земля является частью Солнечной системы, в которой все объекты подвержены циклическим взаимодействиям. Согласно теории колебательных систем (Блехман И.И., 1971), малая величина внешних сил воздействия на колебательную систему не является препятствием для модуляции в ней резонансных колебаний на соизмеримых частотах. Соизмеримыми называют такие частоты, которые имеют малые целочисленные соотношения между собой, например 1:2, 1:3, 2:3, 3:2 и т.д. Резонанс может возникнуть даже при предельно слабой связи между объектами, если слабость сил компенсируется многократным их воздействием. Теория взаимодействия колебательных систем снимает требование о необходимости энергетического соответствия космических вариаций и наблюдаемых колебаний климата.

Важнейшее свойство колебательной системы можно пояснить на простом примере. Аналогом простейшей колебательной системы является маятник (груз, подвешенный на нити). Период колебания маятника зависит только от длины его нити и не зависит от силы воздействий на него. Раскачать его можно слабыми повторяющимися воздействиями с его собственной частотой или воздействиями с частотой, соизмеримой собственной частотой маятника. На другой частоте раскачать этот маятник не удастся. Подобно маятнику, колебательная климатическая система избирательно по частоте воспринимает повторяющиеся внешние воздействия независимо от силы их воздействия. Такой механизм влияния космоса на климат принципиально отличается от тех механизмов, которые обычно подразумеваются в исследованиях космико-земных связей. Важна не столько величина энергии воздействия, сколько частота повторения таких воздействий.

Вопрос о добротности колебательного контура климата и космоса снимается, если учесть, что долгопериодные колебания характеристик атмосферы с периодами нескольких десятилетий поддерживаются океаном, а в океане колебания, связанные с глобальной системой океанических тёплых и холодных течений, имеют периоды до 1000 лет и более (Birchfield G.E. et al., 1994; Лаппо С.С., 1984; Лаппо С.С. и др., 2000). Время жизни таких колебаний — тысячелетия, поэтому возникновение резонансных колебаний в климатической системе возможно.

Признание того, что климатическая система обладает свойствами колебательной системы, ни у кого не вызывает возражений. Поэтому следует признать, что эта особенность климатической системы кардинально влияет на восприимчивость её внешних повторяющихся слабых воздействий.

Повторяющиеся воздействия из космоса на Землю имеют широкий спектр частот, близкий к широкому спектру колебаний климата океана. Собственные частоты в разных частях и на разных глубинах Мирового океана различны и определяются физико-географическими условиями места (географической широтой, расстояниями до континентов, рельефом дна океана и т.д.), а также плотностью воды и другими параметрами. Океан мало изучен, но можно уверенно допустить, что на планете обязательно найдутся места, в которых собственные частоты океана окажутся равными или соизмеримыми с частотами повторяющихся космических воздействий, возникнут резонансные колебания климата.

Повторяющиеся воздействия на Землю возникают из-за неравномерности осевого и орбитального вращения Земли при взаимодействиях с другими планетами и с Луной, под воздействием неоднородностей и переменности межпланетного магнитного поля, при изменениях солнечной активности и интенсивности космических лучей, при высыпаниях в ионосферу заряженных частиц во время магнитных бурь и так далее. Элементы упомянутых воздействий неоднократно подтверждены, но сила этих воздействий невелика (Мохов И.И. и др., 2012; Пудовкин М.И. и др., 1977; Елисеев А.В., Мохов И.И., 2015). Механизм повторяющихся воздействий на колебательную систему принципиально отличается

от распространённых представлений о механизме изменения состояния системы под воздействием каждого отдельного импульса.

В связи с этим выдвигается гипотеза о резонансной природе передачи возмущений из космоса в климатическую систему, с участием которых формируется набор наблюдаемых резонансных частот колебаний характеристик климатической системы, включая колебания климата атмосферы и океана.

При такой гипотезе условие необходимости энергетических соответствий воздействия и отклика на него теряет смысл. С учётом этого принципиально должны измениться методы анализа данных наблюдений и сопутствующие интерпретации результатов. Должны появиться другие модели климата, учитывающие резонансные внешние воздействия. И внутри климатической системы между её составляющими резонансные взаимодействия возможны.

Фактически признание реалистичности резонансной гипотезы должно принципиально изменить все подходы к проблеме климата. Поэтому выдвинутая гипотеза требует более широких и разнообразных убедительных доказательств с привлечением специалистов как в области анализа данных наблюдений, так и в области физико-математического описания резонансных взаимодействий и колебаний в климатической системе. Необходимо участие как специалистов климатологов и океанологов, так и специалистов из смежных наук о Земле и космосе.

1.4. Резонансы в Солнечной и климатической системах

Подходы к пониманию резонансных явлений в климатической системе необходимо начинать с космоса.

Вся Солнечная система построена на резонансах и является свидетельством того, как слабые силы проявляются в гигантских масштабах и определяют устройство этого мира. В движениях планет Солнечной системы обнаружены строгие закономерности, описываемые законами движения Кеплера. Эти закономерности движений планет и спутников объясняются взаимодействиями по закону всемирного тяготения. Однако наклоны плоскостей орбит и их эксцентриситеты могли бы быть любыми. Закон всемирного тяготения не накладывает ограничений ни на размеры орбит, ни

на направление обращения планет вокруг Солнца. Но в Солнечной системе орбиты всех планет почти круговые, лежат почти в одной плоскости, близкой к плоскости солнечного экватора. Обращаются планеты вокруг Солнца в одну сторону, совпадающую с направлением собственного вращения Солнца, а средние расстояния планет от Солнца подчиняются общему закону. Восемь планет от Меркурия до Нептуна и многие их спутники имеют периоды обращения, связанные между собой резонансными соотношениями, строение их орбит задаётся соотношением целых чисел. Например, частота обращения Юпитера и частота обращения Сатурна вокруг Солнца относятся как 5:2 с небольшим отклонением. Ближайшие друг к другу планеты или спутники планет находятся в резонансах друг с другом, отклонение истинных частот от резонансных не превосходит 1,5 %. Существуют резонансные соотношения между периодом обращения по орбите и периодом вращения планеты вокруг оси.

Теоретические основы резонансов в многочастотных нелинейных колебательных системах описаны А.М. Молчановым в 1966 году (Молчанов А.М., 2013), а гипотеза о резонансной структуре Солнечной системы была предложена им в качестве наглядного примера.

Независимо от своей природы нелинейные колебательные системы в ходе динамической эволюции проявляют тенденцию выходить на особый синхронный режим движения. Совокупность изолированных друг от друга объектов, совершающих колебания с различными частотами, при наложении иногда даже очень слабых связей переходят в такой режим движения, при котором частоты объектов становятся равными, кратными или находящимися в рациональных отношениях. Как уже отмечалось, такие частоты называют соизмеримыми. В процессе синхронизации помимо соизмеримости частот устанавливаются также определённые фазовые соотношения между колебаниями. По мнению А.М. Молчанова (Молчанов А.М., 2013), при изучении эволюции нелинейных колебательных систем следует принимать во внимание всегда существующие в реальных условиях слабые силы взаимодействия. Эти силы направлены на погашение взаимодействующих колебаний, которые случайны по отношению друг к другу. Но эти же силы приводят к резонансному усилению колебаний, находящихся между собой в

рациональных соотношениях. Силы взаимодействий могут быть больше или меньше, от этого зависит скорость выхода системы в стационарный резонансный режим.

Способность сложных колебательных систем к самосогласованию — это результат естественной оптимизации системы по минимуму затрат энергии. Резонансное самосогласование является фундаментальной закономерностью эволюции и устройства современной Солнечной системы (Молчанов А.М., 2013). Конечное стационарное состояние системы, достигаемое к концу эволюции, обязательно должно быть резонансным. Эволюционно зрелые колебательные системы неизбежно резонансны, а их строение задано, подобно квантовым системам, набором целых чисел.

В реальном времени диссипативными силами взаимодействий можно пренебречь, они исчезающе малы, но в эволюционном масштабе времени накапливающиеся эффекты малых сил становятся определяющими.

По аналогии с Солнечной системой можно предположить, что в результате слабых внешних циклических воздействий на оболочки Земли (океан и атмосферу) и в результате длительной резонансной эволюции динамических процессов в них в климатической системе установились колебания на её собственных частотах, которые не только соответствуют строению климатической системы, но и находятся в резонансных соотношениях с циклическими внешними воздействиями. Логически предположение основано на том, что наиболее эффективный отклик колебательной системы на периодические внешние воздействия должен наблюдаться на тех собственных частотах системы, которые совпадают с частотами периодических внешних воздействий или находятся с ними в резонансных соотношениях. Слабость внешних сил воздействия компенсируется длительным временем резонансной раскачки. Резонансное согласование усиливает колебания каждого компонента климатической системы на избранных его собственных частотах. Колебания в системе на других возможных частотах ничем не поддерживаются и поэтому не наблюдаются. Инерционность динамических процессов в глубинах океана позволяет сохранить там колебания длительное время, а многолетние явления на поверхности океана являются

отражением глубинных процессов. Атмосфера не обладает такой инерционностью, поэтому колебания в ней либо вынужденные, либо собственные, генерируемые колебаниями потоков тепла из океана.

Согласование внешних и собственных частот обязательно выводит колебательную климатическую систему на оптимальный резонансный уровень. Вопрос заключается в том, какое время является достаточным для резонансного согласования каждой составляющей климатической системы и в какой мере согласованности она находится в наше время. Для Солнечной системы эволюционный масштаб времени составляет миллиарды лет (Молчанов А.М., 2013). Для климатической системы эволюционный масштаб времени должен быть значительно меньше, учитывая более тесные внешние и внутренние связи. Судя по тому, что в атмосфере существуют ритмы (Шерстюков Б.Г., 2008), самосогласование в климатической системе в некоторой мере произошло.

Ещё раньше А.С. Монин и Д.М. Сонечкин (Монин А.С., Сонечкин Д.М., 2005) предлагали появление колебаний и циклов в климатической системе рассматривать как реакцию системы на внешнее воздействие — прямую резонансную раскачку на собственных частотах на основе параметрического резонанса.

Энергии многократных импульсов внешних воздействий может оказаться недостаточно для возникновения простого резонанса, но достаточно для возникновения стохастического резонанса (Roberto Benzi, 1981; Анищенко В.С. и др., 1999).

В работе (Roberto Benzi, 1981) при исследовании периодичности наступления ледниковых периодов было обнаружено усиление слабого периодического сигнала при наложении шума. Такое явление возможно в нелинейных колебательных системах. Климатическая система обладает свойствами странного аттрактора и может находиться в нескольких квазистабильных состояниях, в каждом из которых все колебания её параметров находятся в некоторых пределах. Под действием внешнего возмущения система сможет перейти из одного состояния в другое, если воздействие окажется достаточным. При этом изменятся пределы колебаний параметров системы и её статистические свойства. Если такое внешнее воздействие

периодическое, то система также будет периодически переходить из одного состояния в другое. Если внешнее воздействие хаотическое и достаточное по своей силе, то в этом случае переходы системы из одного состояния в другое будут тоже хаотическими. Если воздействие будет недостаточным по своей силе, подпороговым, то в этом случае оно не будет вызывать отклика системы.

Но в природе одновременно могут существовать слабые (подпороговые) периодические и слабые хаотические воздействия. Подпороговое периодическое возмущение и подпороговый шум каждый отдельно не могут перевести систему в другое состояние, но подпороговый шум подводит систему к критическому состоянию, а дополнительные периодические подпороговые воздействия в сумме с хаотическими возмущениями переводят систему в другое состояние. В результате в отклике системы проявляется периодичность, определяемая слабым периодическим воздействием. Доводы в пользу существования стохастического резонанса приведены в работе (Roberto Benzi, 1981).

Стохастический резонанс возможен только в нелинейной системе, иначе отклик системы на суммарное воздействие будет только суммой откликов и не приведёт к усилению эффекта. Климатическая система является именно такой сложной нелинейной системой, многие колебания в которой являются шумом в статистическом смысле (в физическом смысле в природе не бывает ничего случайного, бывают неизученные закономерности). Подпороговые квазипериодические внешние воздействия тоже имеются. Есть основания предполагать возможность существования квазипериодических возмущений в климатической системе, поддерживаемых внешними факторами по принципу простого или стохастического резонанса.

Слабые циклические воздействия космоса на климатическую систему раскачали в климатической системе (в океане и др.) такие колебания на её собственных частотах, которые имеют резонансные соотношения с циклами космоса. Среди широкого спектра собственных частот собственных и вынужденных колебаний климатической системы присутствуют колебания на близких частотах, сопровождающиеся биениями. Неточное соответствие частот внешних воздействий и собственных частот климатической системы также

должны приводить к биениям в колебаниях климата. Это означает, что амплитуда колебаний климата может со временем усиливаться, ослабляться или изменяться по фазе.

В работе (Бышев В.И. и др., 2016) приводятся результаты, подтверждающие, что вариации в динамике современной климатической системы относятся к категории автоколебаний и отмечается, что такой тип изменчивости динамики природных процессов по определению характеризует их флуктуации на собственных частотах, не обязательно совпадающих с частотой вынуждающего сигнала.

1.5. Пример резонанса внешних воздействий на климат по данным наблюдений

В первой половине XX века в долгосрочных прогнозах погоды применялся метод с использованием представлений о существовании так называемых календарных особенностей изменений метеорологических величин, таких, как температура воздуха, атмосферные осадки и др. (Байдал М.Х., 1961). Суть календарных особенностей температуры заключалась в том, что по данным наблюдений за несколько десятилетий по суточным значениям температуры на станции вычисляли средние отклонения от годового хода температуры на каждый отдельный день года, т.е. на каждый календарный день. Оказывалось, что по многолетним средним значениям температуры в отдельные календарные даты года обнаруживались неслучайные средние аномалии температуры (отклонения от годового хода). Предполагая, что эти календарные особенности сохраняются и в предстоящий год, можно было заведомо предсказать даты ожидаемых наиболее вероятных аномалий температуры. Оправдываемость прогнозов аномалий по календарным особенностям была невысока, но не была случайной. Календарные особенности использовались совместно с другими методами в комплексных прогностических методах. Но постепенно неслучайные ранее календарные особенности начинали смещаться по датам года или совсем становились ниже уровня значимости. До сих пор не было известно, чем были обусловлены упомянутые особенности. Предполагалось, что особенности атмосферной циркуляции из года в год преимущественно в одни и те же даты обеспечивают однотипные условия для появления

однотипных температурных условий на метеорологической станции. Когда подмеченные особенности растворились, о них забыли. Резонансные представления позволяют по-новому исследовать эти особенности, их происхождение и причины исчезновения.

Рассмотрим календарные особенности температуры поверхности океана (ТПО). По данным о ТПО в узлах географической сетки через $2 \times 2^\circ$ по широте и долготе (Smith T.M. et al., 2008; ERSST V3b; Xue Y. et al., 2003) вычислены средние месячные погодичные значения ТПО для Северного полушария в широтной зоне $45\text{--}70^\circ$ с.ш. и для Южного полушария — в зоне $45\text{--}70^\circ$ ю.ш. Начнём анализ с Северного полушария. Для изучения внутригодовых колебаний получен ряд отклонений среднемесячных значений ТПО от среднегодовых значений за каждый год: $D_{i,j} = \theta_{i,j} - Q_i$, где $\theta_{i,j}$ — текущее значение ТПО в месяце j за год i ; Q_i — среднегодовое значение ТПО за год i ; $D_{i,j}$ — отклонения среднемесячных значений ТПО от среднегодовых. Так из ряда исключены колебания с периодами более одного года. При этом полученный ряд отклонений $D_{i,j}$ ещё содержит сильный годовой ход ТПО как результат сезонных различий количества поглощённой солнечной радиации. По значениям $D_{i,j}$ за 1884–2014 гг. получены средние значения d_j отклонений ТПО за

каждый месяц: $d_j = \frac{\sum_i D_{i,j}}{n}$, где n — число лет. И затем получены аномалии ТПО для каждого отдельного месяца: $A_{i,j} = D_{i,j} - d_j$. Таким образом, годовой цикл, связанный с сезонными изменениями инсоляции, был исключён.

По значениям $A_{i,j}$ была построена диаграмма изменений многолетних аномалий ТПО в широтной зоне $45\text{--}70^\circ$ Северного полушария без долгопериодных колебаний (рис. 1.3). На рис. 1.3 по горизонтальной оси отложены годы, а по вертикальной — месяцы с номерами от 1 до 12, и далее под номерами 13–24 показаны аномалии за январь – декабрь следующего года. Шкала вертикальной оси на графике от 1 до 24 месяцев необходима для наглядного представления изменений ТПО при переходе от декабря к январю следующего года.

Диаграмма (рис. 1.3) позволяет проследить за местоположением аномалией ТПО одного знака в разные годы. Жёлтым и

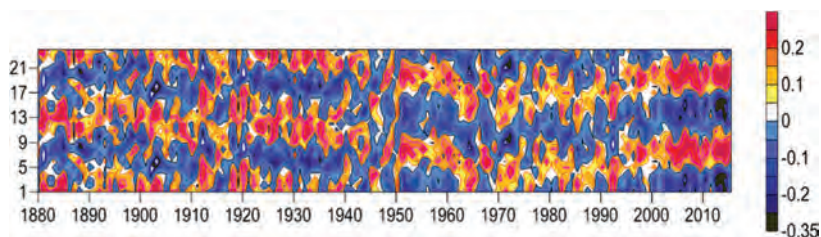


Рис. 1.3. Аномалии годового хода температуры поверхности океана в широтной зоне 45–70° Северного полушария

красным цветом показаны положительные аномалии, а голубым и синим — отрицательные аномалии. Длительное время в разные годы аномалии часто появлялись в одни и те же месяцы года.

На рис. 1.4 показаны значения аномалий температуры, сглаженные по оси «годы» по семилетиям. Сглаживание проводилось по одноимённым месяцам соседних лет.

Начинается диаграмма в 1880-х гг. (рис. 1.3) с положительной аномалии зимой (месяцы с номерами 1 и 13). Далее до 1930-х гг. положительная аномалия на диаграмме прерывисто и многократно появляется в зимние месяцы. В последующие годы появление положительных аномалий более часто происходит в осенние месяцы, затем переходит на летние месяцы и так далее.

По рис. 1.4 видно более чётко, как положительные и отрицательные аномалии длительное время (годы и десятилетия) появляются в определённых узких сезонных интервалах. Эти аномалии формируют

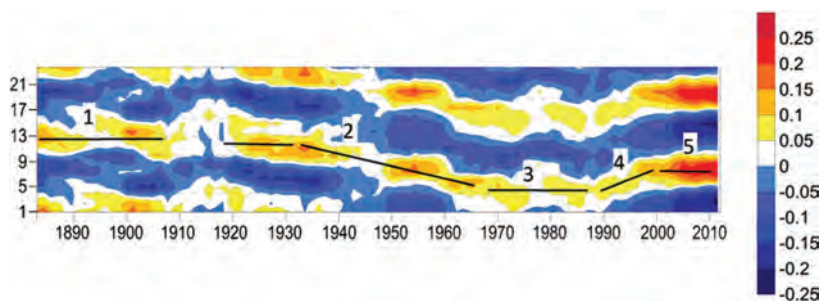


Рис. 1.4. Аномалии температуры поверхности океана в широтной зоне 45–70° Северного полушария. По горизонтальной оси значения сглажены по семилетиям.

календарные особенности (сезонные аномалии) изменения ТПО в течение года. Календарные особенности в зимние месяцы сохраняются с 1885 и примерно до 1910 года, затем в течение нескольких лет аномалии становятся малыми и смещены на более поздние месяцы. С 1920 по 1940 год аномалии опять приходится на зимние месяцы. В эти годы прогностические оценки появления аномалий могли быть успешными. Но в течение следующих трёх десятилетий аномалии одного знака медленно смещаются в сторону начала года, далее на два десятилетия опять календарные особенности стабилизируются. В последующие годы было опять смещение и последующая стабилизация календарных особенностей. Календарные особенности (аномалии) сохранялись в течение длительного времени в одни и те же месяцы, а затем терялись, и позднее устанавливались новые календарные особенности.

По данным о ТПО в широтной зоне $45\text{--}70^\circ$ Южного полушария была построена аналогичная диаграмма аномалий ТПО (рис. 1.5).

Рис. 1.5 показывает, что в Южном полушарии наблюдались устойчивости и смещения аномалий ТПО, аналогичные тем, которые были отмечены в аномалиях Северного полушария. Несмотря на известное зеркальное отражение годового хода поглощённой солнечной радиации в Северном и в Южном полушариях, аномалии ТПО на рис. 1.4 и 1.5 одного знака наблюдались одновременно в двух полушариях.

Столь длительное существование колебаний, которые много лет проявляются в виде сезонных аномалий ТПО в одни и те же месяцы в Северном и Южном полушариях, а также их согласованные

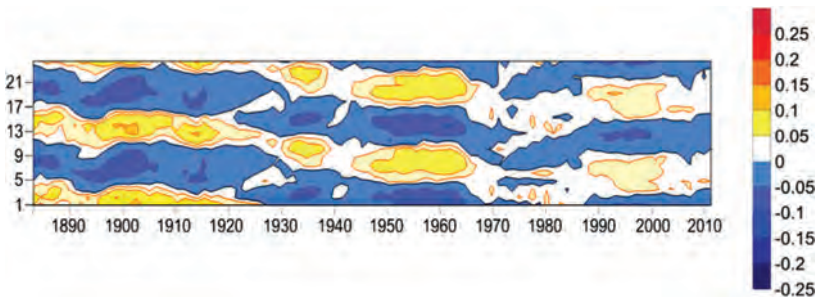


Рис. 1.5. Аномалии температуры поверхности Мирового океана в широтной зоне $45\text{--}70^\circ$ Южного полушария

медленные смещения по сезонам внутри года, являются доказательством существования некоторого глобального механизма, поддерживающего колебания в климатической системе многие десятки лет на частоте, соизмеримой с длительностью одного года, но не связанного с сезонными изменениями склонения солнца над горизонтом.

Глобальный синхронный эффект некоторого неизвестного воздействия на Мировой океан в Северном и Южном полушариях вынуждает строить предположения о его космическом происхождении.

В годы, когда календарные особенности сохранялись, период колебаний, обеспечивающих их повторение в одни и те же даты, должен был быть равным 365 суткам. В годы медленного смещения аномалий к началу года период должен был быть равен приблизительно 355 суток для того, чтобы каждый год однотипные аномалии появлялись чуть раньше фиксированной даты. В 1990 году началось смещение аномалий на более поздние сроки. В это время период повторения мог быть 382 суток для того, чтобы каждый год аномалии не успевали повториться ровно через год и появлялись чуть позднее, поэтому на рис. 1.4 и 1.5 они смещались вправо.

Полученные значения периодов повторения месячных аномалий ТПО не случайны. Из публикаций известна длительность года по лунному календарю, которая бывает 355 или 382 суток (Сидоренков Н.С., Сумерова К.А., 2011), это так называемый лунно-солнечный год. Лунно-солнечный год — это интервал времени, содержащий целое число лунных месяцев и максимально близкий к солнечному году. По сведениям Н.С. Сидоренкова (Сидоренков Н.С., 2002) со ссылкой на А.И. Дуванина (Дуванин А.И., 1999), большая часть лунно-солнечных лет имеет продолжительность 355 суток, реже лунно-солнечный год завершается через 382 суток. Земля делает полный оборот вокруг Солнца за 365,24 суток, увлекая Луну за собой, но Луна имеет собственное движение вокруг Земли в том же направлении с периодом 27,32 суток. За год она успевает сделать 13 оборотов (за 355,16 суток) и на 13-м обороте завершает свою годовую траекторию на ~9,84 суток раньше, чем Земля пройдёт весь путь вокруг Солнца. Следующий свой оборот вокруг Земли Луна завершит на 382,48 сутки.

Периоды 355 и 382 суток, полученные из анализа диаграммы аномалий ТПО на рис. 1.4, точно соответствуют периодам лунно-солнечных лет, поэтому дальнейшие исследования проводились на предмет проверки причастности Луны к формированию устойчивых сезонных аномалий ТПО Мирового океана.

В работе (Сидоренков Н.С., Сумерова К.А., 2011) было высказано предположение о наличии источника аномалий погоды, связанного с месячным обращением Земли вокруг барицентра системы Земля – Луна. Завершение тринадцати лунных оборотов происходит раньше завершения года, и поэтому с каждым годом происходит смещение всех закономерностей лунных воздействий на более ранние месяцы солнечного года со скоростью 9,84 суток в год.

Вращение Земли и Луны вокруг их барицентра совершается с периодом 27,32 суток. В месячных значениях ТПО, которые анализируются в работе, возмущения с таким периодом должны автоматически сглаживаться до полного их уничтожения. Поэтому очевидно, что аномалии ТПО, заметные на рис. 1.4 и 1.5, не могут быть простым следствием возмущений, связанных только с вращением Земли и Луны вокруг их барицентра с периодом 27,32 суток. Но обнаруженное на диаграмме смещение на $9,6 \div 9,8$ суток в год, совпадающее со свойствами лунного периода 27,32 суток, повторно приводит к гипотезе о причастности Луны к формированию аномалий ТПО, показанных на рис. 1.4 и 1.5.

Длительное сохранение аномалий ТПО в узком сезонном интервале при участии лунного цикла всё же возможно, например в результате биений Лунных возмущений ТПО с периодом 27,32 суток и собственных колебаний, присущих климатической системе, с периодом, близким к $T_1 = 27,32$ суток и целым числом раз укладывающимся в интервал одного года. Таким периодом может быть $T_2 = 28,095$ суток ($365,24/13 = 28,095$ суток). По резонансной гипотезе цикл с такой собственной частотой может резонансно поддерживаться в климатической системе лунными возмущениями с периодом 27,32 суток. А небольшие различия в периодах вынужденных колебаний с $T_1 = 27,32$ суток и собственных колебаний с периодом T_2 обеспечат биения в амплитуде результирующих колебаний в фиксированных сезонных интервалах и календарные особенности ТПО.

Период биений $T_б$ при этом составит:

$$\frac{1}{T_б} = \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}.$$

Подставим значения:

$$\frac{1}{T_б} = \frac{1}{27,32} - \frac{1}{28,095} = \frac{1}{990,39} \text{ или } T_б = 990,095 \text{ сут} = 2,7123 \text{ лет}.$$

Полученные оценки показывают, что если календарные особенности в метеорологических характеристиках формируются так, как в предложенной выше гипотезе, то появляться в разные годы в одном и том же месяце они должны не каждый год, а через $T_к = nT_б$ лет (n — целое число), $nT_б$ — количество лет, близкое к целому числу. Например: при $n = 1$ $T_к = 2,7 \sim 3$ года; при $n = 3$ $T_к = 8,14 \sim 8$ лет; при $n = 4$ $T_к = 10,84 \sim 11$ лет. Такое нечёткое постоянство соответствует сведениям о календарных особенностях, которые известны из наблюдений за ними.

Экспериментальная проверка гипотезы о причастности Луны к формированию календарных особенностей ТПО заключалась в том, чтобы проверить, могут ли циклы лунных приливов найти резонансный отклик в климатической системе, наиболее заметный во время максимальной фазы биений приливообразующей силы Луны с периодом 27,32 суток и колебаний ТПО на её предполагаемой собственной частоте около 28,095 суток.

Строилась экспериментальная статистическая модель нелинейного воздействия лунных приливов на собственные колебания ТПО с близким периодом, в которой высвобождение скрытой энергии океана под воздействием лунных приливов описывалось произведением приливообразующей силы и некоторой периодической функции с периодом собственных колебаний климатической системы $T \sim 28,095$.

Результирующее колебание описывалось функцией f :

$$f = k \cdot d \cdot \text{Cos}\left(\frac{2\pi i}{T}\right),$$

где d — вычисленная по астрономическим характеристикам приливообразующая сила по формуле Н.С. Сидоренкова (Сидоренков Н.С., 2002); $T \sim 28,095$ — период модельной синусоиды собственных

колебаний; i — номер текущего дня, начиная от 1 января 1900 года; k — масштабный множитель $k = 10$ для приведения чисел к масштабу реальных аномалий ТПО. На рис. 1.6 показана диаграмма изменения модельных аномалий f по месяцам за 1900–2014 гг.

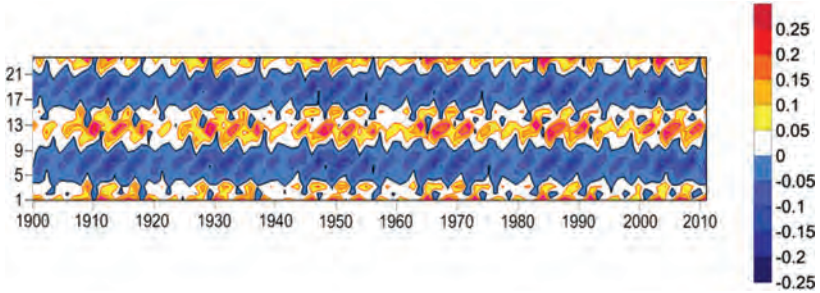


Рис. 1.6. Модель биений лунно-солнечных приливов и предполагаемых колебаний ТПО на собственных частотах с периодом 28,095 суток

Из рис. 1.6 видно, что два периодических процесса на близких частотах дают биения колебаний, синхронизированные с годовым периодом. Календарные особенности (сезонные аномалии) модельных возмущений получились устойчивые на всём интервале лет. От диаграммы фактических аномалий ТПО (рис. 1.4) модельная диаграмма (рис. 1.6) отличается отсутствием медленных перемещений аномалий с одного сезона на другой.

Термодинамические характеристики верхнего слоя океана (температура, солёность, плотность, толщина слоя взаимодействия с атмосферой и т.д.) с течением лет изменяются. Поэтому частоты собственных колебаний не могут быть неизменными в течение более века. Отличия периода собственных колебаний T от значения 28,095 неизбежно должны приводить к смещению внутри года максимальной фазы биений, т.е. должны приводить к смещению календарных особенностей аномалий модельной ТПО (синусоиды). Проследим на модели результат изменения периода T . Подстраивая задаваемый период T предполагаемых собственных модельных колебаний ТПО, можно добиться перемещения модельных аномалий по диаграмме.

Оказалось нетрудно подобрать экспериментально периоды модельной синусоиды на разных интервалах лет так, чтобы смещение модельных календарных особенностей приблизить к тем смещениям,

которые были получены по фактическим данным (рис. 1.4). Оказалось, что, если по интервалам лет, указанным в табл. 1.1 в модель биений с расчётной (фактической) приливообразующей силой вставлять периоды, приведённые в табл. 1.1, то модельные аномалии и их смещения по годам (рис. 1.7) полностью повторяют смещения фактических аномалий температуры (календарных особенностей).

Таблица 1.1

Модельные периоды (в сутках) колебаний ТПО на собственных частотах по интервалам лет

Годы	1900–1937	1938–1975	1976–1985	1986–2002	2003–2014
Периоды (сутки)	28,096	28,05	28,099	28,14	28,096

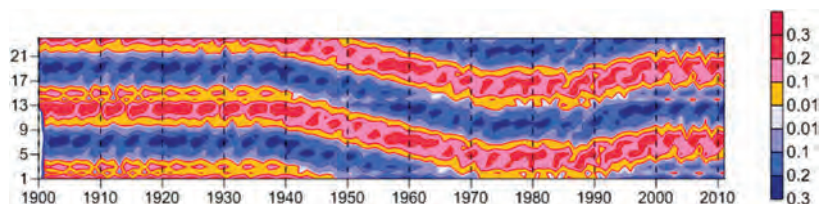


Рис. 1.7. Модель календарных особенностей сезонных возмущений ТПО на основе биений колебаний приливообразующей силы Луны по Н.С. Сидоренкову и колебаний ТПО на собственной частоте около 28,095 суток

Подобие наблюдаемых календарных особенностей ТПО (рис. 1.4) и модельных (рис. 1.7) показывает, что многолетнее повторение аномалий ТПО в пределах одного сезона или медленные перемещения аномалий от одного сезона к другому можно описать моделью биений предполагаемых собственных колебаний ТПО и колебаний, вызванных изменениями склонения Луны при их синхронизации с полным оборотом Земли вокруг Солнца. Наблюдаемые смещения календарных особенностей происходят при изменениях частоты собственных колебаний ТПО не более чем на 0,3 %.

Согласие модельных результатов по сезонным аномалиям ТПО и данных наблюдений является одним из возможных подтверждений резонансного механизма повторяющихся внешних воздействий на климатическую систему.

Если гипотеза о резонансной природе колебаний в климатической системе верна, тогда картину наблюдаемых колебаний климата можно представить в общих чертах.

Смена сезонов, сферичность Земли и неоднородность её поверхности (океан во всей его толще, суша, горы) создают практически непрерывный спектр собственных частот климатической системы. А циклические изменения внешних условий — неравномерность движения Земли по орбите, воздействия Луны и планет, солнечной и геомагнитной активности и, возможно, дополнительных неизвестных факторов — создают условия для возникновения резонансов с колебаниями в климатической системе на её избранных собственных частотах. Нечёткое совпадение частот воздействия и собственных частот климатической системы сопровождается биениями с выделением внутренней энергии системы, превосходящей энергию воздействия.

Высвобождение внутренней энергии на каждой фазе максимума биений на практике выглядит в данных наблюдений как увеличение аномалии некоторой климатической характеристики. На минимуме биений аномалии исчезают. Создаётся впечатление случайности появления аномалий. Малейшие изменения собственных частот приводят к изменениям периода биений, а в данных наблюдений появляются аномалии в другие сезоны.

Здесь была описана картина появления и исчезновения колебаний по принципу биений на одном примере, а в природе подобный механизм может реализовываться одновременно на нескольких собственных частотах климатической системы со своими биениями. Суммарная картина осложняется. Внешние воздействия планетарные, а биения колебаний по регионам Земли возникают разные на разных собственных региональных частотах климатической системы. Легче считать климатическую систему стохастической, чем по данным наблюдений найти закономерности колебаний во времени её характеристик.

Без знания физической основы формирования колебаний нельзя построить статистическую модель этих колебаний, а тем более физико-математическую.

ГЛАВА 2. БАРИЦЕНТРИЧЕСКОЕ ВРАЩЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

2.1. Долгопериодные колебания температуры поверхности Мирового океана при изменении центра масс Солнечной системы

При изучении причин колебаний климата неоднократно ставился вопрос о влиянии планет на состояние климата Земли (Коваленко В.Д. и др., 1987; Байдал М.Х., 1987; Завалишин Н.Н., Виноградова Г.М., 1990; Беязо В.А., 1999; Дмитриев А.А., Беязо В.А., 2006; Монин А.С., 2000; Монин А.С., Сонечкин Д.М., 2005; Котляков В.М., 2012). Во всех работах отмечался циклический характер влияния. В работе (Коваленко В.Д. и др., 1987) рассматривалось вращение Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы, смещённого относительно центра Солнца. При этом предполагалось, что при появлении диссимметрии положение Земной орбиты остаётся неизменным в космическом пространстве, но из-за смещения Солнца происходит изменение расстояния Солнце – Земля. Следствием предполагаемого смещения Солнца внутри орбиты Земли считалось изменение длительности сезонов и перераспределение солнечной радиации внутри года, которые приводили к изменению среднегодовой температуры. Позднее в статье (Богданов М.Б., Сурков А.Н., 2004) было показано, что изменения инсоляции при диссимметрии Солнечной системы не могут повлиять на климат, но что воздействие диссимметрии на Землю не ограничивается переменной инсоляцией.

В работе (Гудкович З.М. и др., 2005) при анализе внутривековых климатических изменений ледовитости евразийских арктических морей и некоторых других показателей климата Земли была обнаружена 60-летняя цикличность, которая опять объяснялась колебаниями притока солнечной радиации, вызванными изменениями расстояния между Землёй и Солнцем при диссимметрии Солнечной системы, возникающей при движении трёх тел — Солнца, Юпитера и Сатурна.

Аналогично в работе (Дмитриев А.А., Беязо В.А., 2011) вековые изменения атмосферной циркуляции Северного и Южного полушарий связывались с вековым циклом диссимметрии Солнечной системы и утверждалось, что эта связь реализуется через изменения расстояния Солнце – Земля под влиянием Урана.

В работе (Шерстюков Б.Г., 2021) рассматривался динамический механизм зависимости климатических характеристик от движения планет Солнечной системы, не связанный с изменением расстояния Солнце – Земля и не связанный с изменением притока солнечной радиации к Земле.

Суть предполагаемого механизма заключается в изменениях циркуляции вод Мирового океана и генерации дополнительных потоков тепла из океана в атмосферу при появлении момента вращения Солнца относительно центра масс Солнечной системы.

В первом приближении Солнечная система состоит из планет, которые движутся по слабозмущённым эллипсам вокруг Солнца. В климатологии принято считать, что гелиоцентрическая система координат, центр которой совмещён с Солнцем, а оси направлены на соответствующим образом выбранные звёзды, является инерциальной. Но на самом деле планеты движутся не вокруг центра Солнца, а каждая пара Солнце – планета движется вокруг их общего центра масс. Преимущественно под влиянием орбитальных вращений планет-гигантов Солнце тоже не стоит на месте, а совершает некоторые неравномерные перемещения в космическом пространстве.

На рис. 2.1 показан выход центра вращения Солнечной системы за пределы самого Солнца, а на рис. 2.2 дана схема траектории перемещения центра масс Солнечной системы в разные годы XX века.

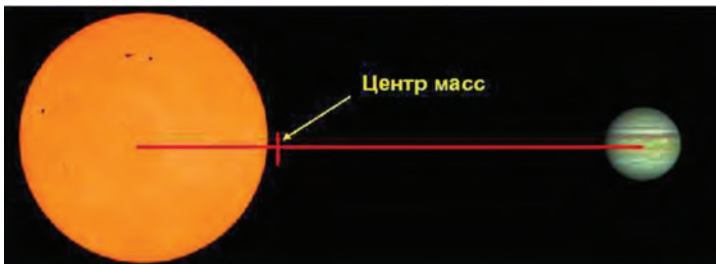


Рис. 2.1. Смещение Солнца относительно центра масс Солнечной системы

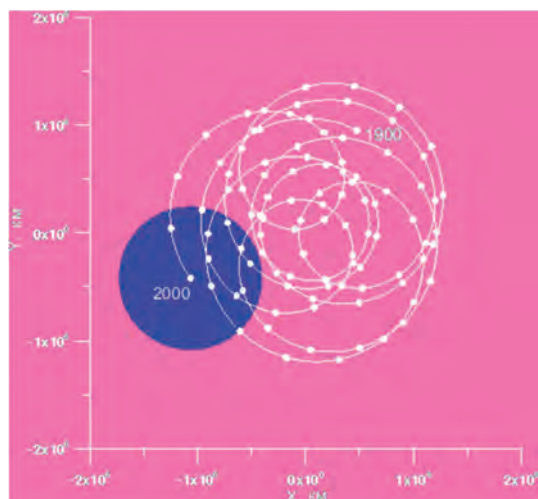


Рис. 2.2. Перемещение в космическом пространстве центра масс Солнечной системы в XX веке

Земля — малая планета, она не может заметно сдвинуть общий центр масс Солнце – Земля относительно центра Солнца, и поэтому Земля действительно вращается вокруг Солнца, но одновременно следует за Солнцем в его барицентрическом вращении под влиянием планет-гигантов.

С учётом барицентрического вращения гелиоцентрическая система не является инерциальной, законы Ньютона в ней не выполняются. Появляются не учтённые в гелиоцентрической системе координат дополнительные силы и дополнительные составляющие в движении Земли. Вызванное планетами-гигантами движение центра Солнца по некоторой траектории в пространстве вокруг центра масс Солнечной системы увлекает за собой Землю так, что вся орбита Земли, как единое целое, перемещается в космосе вокруг центра масс Солнечной системы. Траектория такого движения петлеобразная (рис. 2.2), скорость движения неравномерная.

Для обнаружения воздействия неучтённых движений Земли и неучтённых сил, гипотетически способных воздействовать на циркуляцию океана, на теплообмен океан-атмосфера и на межширотный теплообмен, выполнено исследование корреляций одной из

динамических характеристик Солнечной системы на температуру поверхности океана (ТПО). Во время «парада» планет-гигантов центр Солнца может смещаться относительно центра масс Солнечной системы на величину, превышающую два радиуса Солнца. Количественной оценкой появления неучтённых сил при таком дополнительном движении Солнца может служить суммарный момент инерции орбитального вращения планет-гигантов вокруг оси, проходящей через центр масс Солнечной системы.

Момент инерции J орбитального вращения планет i массой m_i , находящихся на расстоянии r_i от оси вращения:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2,$$

где m — масса планеты; r — векторное геоцентрическое расстояние до планеты с учётом её гелиоцентрической долготы, характеризующей в каждый момент направление вектора момента инерции. Момент инерции каждой i -й планеты — векторная величина.

$$j_i = \{x_i; y_i\},$$

где x_i и y_i — составляющие момента инерции на плоскости.

Суммарный момент инерции вращения планет:

$$J = \left\{ \sum_{i=1}^n x_i; \sum_{i=1}^n y_i \right\},$$

где n — число планет.

Составляющие вектора момента инерции вращения каждой планеты:

$$x_i = -m_i r_i^2 \sin\left(\frac{\pi}{180} d_i\right), \quad y_i = -m_i r_i^2 \cos\left(\frac{\pi}{180} d_i\right), \quad (1)$$

где m_i — масса планеты; r_i — расстояние от Солнца до планеты; d_i — гелиоцентрическая долгота планеты (она определяет направление действия момента инерции).

Суммарные составляющие вектора момента вращения планет-гигантов за год:

$$X = \sum_{k=1}^{365} \sum_{i=1}^n x_i, \quad Y = \sum_{k=1}^{365} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (2)$$

где k — перебирает номера суток внутри года от 1 до 365.

Скалярная величина суммарного за год момента вращения планет-гигантов:

$$J = \sqrt{X^2 + Y^2}. \quad (3)$$

Погодичные ежесуточные значения гелиоцентрических долгот планет и расстояний от Солнца до планет получены из Института прикладной астрономии Российской академии наук. Расстояния до планет были выражены в астрономических единицах, а массы планет — в долях массы Земли. Суммарные скалярные значения момента вращения больших планет (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) вычислены по формулам (1)–(3) за 1700–2050 гг.

Для сравнения величин, составляющих суммарный момент инерции, в табл. 2.1 приведены средние значения вклада каждой планеты в суммарный момент Солнечной системы, выраженный в процентах от вклада Юпитера.

Таблица 2.1

Вклад каждой планеты в суммарный момент Солнечной системы относительно центра масс, выраженный в процентах от вклада Юпитера

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Вклад (%)	0,00001	0,00099	0,00021	0,00157	100,0	100,1	63,1	198,8

Из табл. 2.1 видно, что планеты Земной группы практически не влияют на момент инерции вращения Солнечной системы, а четыре другие планеты дают вклады, сопоставимые между собой. Это означает, что планеты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун при движениях по своим орбитам придают Солнцу движение по некоторой траектории в космическом пространстве. Каждая отдельная планета придаёт движение, при котором центр Солнца смещается относительно общего центра масс на величину меньше радиуса Солнца, но сочетание нескольких планет в одном секторе гелиоцентрических долгот может привести к смещению Солнца на величину больше двух радиусов Солнца.

На рис. 2.3 приведены по годам вычисленные значения суммарного момента инерции вращения больших планет относительно центра масс Солнечной системы.

На рис. 2.3 видны повторяющиеся циклы момента вращения длительностью около 12–13 и 37–39 лет. Наличие минимумов

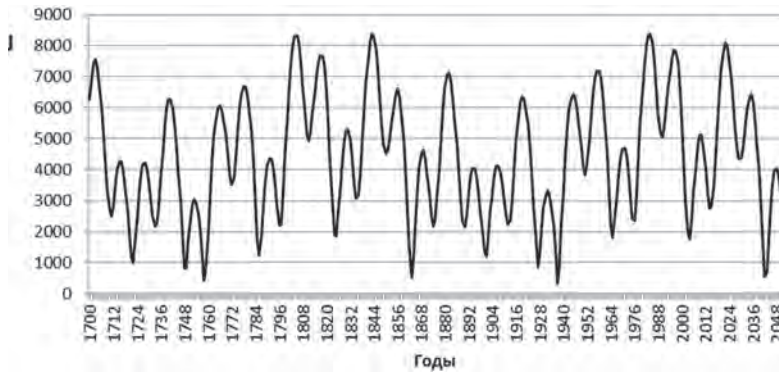


Рис. 2.3. Суммарный момент инерции вращения больших планет относительно центра масс Солнечной системы

значений суммарного момента в 1758 и 1937 гг. с интервалом 179 лет можно связать с известным циклом повторения парада планет. Колебания момента вращения во все последующие годы после минимума 1937 года точно повторяют колебания, которые были с 1758 по 1936 год.

Смещение центра вращения Солнечной системы относительно центра Солнца сопровождается смещением всей орбиты планеты Земля вслед за центральным телом её орбитального движения — за Солнцем. Земля вовлекается в дополнительное движение в космосе вместе с Солнцем. При этом в гидросфере и атмосфере Земли появляются моменты инерции, пропорциональные массам гидросферы и атмосферы. Так как масса гидросферы почти в 300 раз больше массы атмосферы, то влияние не учтённых ранее сил следует ожидать прежде всего в изменениях циркуляции океана.

В работе использовались данные о температуре поверхности океана ERSST v3b в узлах географической сетки $2 \times 2^\circ$ широты и долготы за 1854–2019 гг. (Smith T.M. et al., 2008; ERSST V3b; Xue Y. et al., 2003).

Массив данных ERSST v3b представляет собой восстановленные ряды месячных аномалий ТПО относительно норм за 1971–2000 гг. Восстановление пропущенных данных статистическими методами выполнено авторами массива. В отличие от версии ERSST v3, новая версия ERSST v3b не включает спутниковые данные, которые, как было установлено, вызывают слишком сильное смещение. Данные

ТПО в узлах севернее 80° с.ш. и все данные до 1960 года получены были авторами массива по фрагментарным сведениям; мы их сочли ненадёжными, поэтому не использовали в своей работе. В анализе участвовали среднегодовые значения ТПО за 1960–2019 гг.

За многолетнюю историю в среднегодовых значениях ТПО можно обнаружить составляющие колебаний климата с разными периодами — от нескольких лет до нескольких десятилетий, которые накладываются на медленный тренд потепления. Исключим линейный тренд потепления, вычисленный по всему ряду. Полученные отклонения от тренда содержат многолетние колебания, которые предстоит исследовать.

Аналогичную обработку сделаем с рядом среднегодового момента инерции вращения Солнечной системы. Будем искать район в Мировом океане с наилучшей корреляцией между ТПО и J по наилучшим асинхронным коэффициентам корреляции в каждом узле географической сетки. Предполагалось, что изменения ТПО могут отставать от изменений J из-за большой тепловой и динамической инерционности океана. Предельное запаздывание допускалось на основе известных свойств об океане.

Существует глобальная система океанической циркуляции, которая перераспределяет тепло по всему миру. Теория большого океанического конвейера (рис. 2.4) утверждает, что региональные океанические течения объединены в одну общую систему (Broecker W.S., 1991).

Двигателем конвейера является термохалинная циркуляция. Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло и влагу из одних регионов и слоёв океана в другие по сложным, не совсем понятным траекториям. Выход аномалий на поверхность океана в разных его частях возможен с запаздыванием в несколько лет или десятилетий. Допускается существование колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких до 1000 лет (Birchfield G.E. et al., 1994; Лаппо С.С., 1984; Лаппо С.С. и др., 2000). Термохалинная циркуляция является глобальным явлением, распространяющимся на Атлантический, Индийский и Тихий океаны. В работе (Бялко В.А., 2012) на основе анализа климатических циклов высказано предположение



Рис. 2.4. Большой океанический конвейер Брокера, рисунок из (Climate Change, 2013)

о том, что изменение в глобальном теплообмене Мирового океана через большой конвейер представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров. Анализируя асинхронную ковариационную структуру климатических индексов, в работе (Smith T.M. et al., 2008) описывается распространение сигнала изменения температуры по всему Северному полушарию через последовательность многократных превращений асинхронных атмосферно-океанических дальних связей. По оценкам тех же авторов, первоначальный сигнал изменения температуры в Северной Атлантике, распространяясь, достигает удалённых регионов полушария примерно 30 лет спустя.

Аналогичная оценка запаздывания реакции атмосферы на внешнее воздействие получена совершенно иным способом в работе (Бялко В.А., 2012). Отклик состояния атмосферы на внешнее воздействие происходит с запаздыванием, которое определяется необходимым временем релаксации, свойственным всей климатической системе. В (Бялко В.А., 2012) оценивалось время релаксации атмосферы на изменение концентрации CO_2 в атмосфере. Оптимальные значения такого времени релаксации оказались 25,1–27,5 лет по мнению автора (Бялко В.А., 2012). Время релаксации является

некоторой общей характеристикой инерционных свойств климатической системы. Приведённые оценки должны быть справедливыми для любых внешних воздействий на климатическую систему.

Учитывая возможное запаздывание распространения возмущений ТПО, о котором было сказано выше и величина которого заведомо не известна для каждого узла, будем исследовать асинхронные корреляции ТПО с J со сдвигами от 0 до 40 лет (изменения ТПО отстают от изменения J). В расчётах асинхронных коэффициентов корреляции при сдвигах ряда J не изменяется количество парных членов рядов, по которым вычисляется корреляция, так как сдвигаемый ряд J вычислен с середины XVII века.

В каждом исследуемом узле из серии асинхронных коэффициентов корреляции ТПО с J при сдвигах от 0 до 40 выделялся один максимальный по модулю коэффициент корреляции R и при нём фиксировалась величина L запаздывания колебаний ТПО в узле относительно колебаний J .

Для построения карты пространственного распределения максимальных коэффициентов корреляции были отобраны узлы только со значимыми коэффициентами корреляции $|R| \geq 0,40$ (вероятность случайности менее 5 %). В узле для каждого наилучшего асинхронного коэффициента корреляции был известен сдвиг, при котором этот наилучший коэффициент получен. Узлы с $|R| \leq 0,39$ исключались из дальнейшего анализа. Анализ карты коэффициентов и сдвигов при них показал, что наиболее обширные поля значимых положительных и отрицательных асинхронных коэффициентов корреляции $|R| \geq 0,40$ наблюдаются при запаздываниях 32–37 лет. На карту (рис. 2.5) вынесены поля коэффициентов корреляции, модули которых оказались максимальными при сдвигах 32–37 лет. На этой карте максимальный положительный коэффициент составил $R = 0,73$, а максимальный по модулю отрицательный коэффициент корреляций оказался $R = -0,71$. Стрелками на рис. 2.5 показаны местоположения и направления основных океанических течений.

На рис. 2.5 чётко видны обширные поля положительных и отрицательных значимых корреляций. Стрелками показаны океанические течения: 1 — Антарктическое циркумполярное; 2 — Перуанское; 3 — Южное Пассатное; 4 — Восточно-Австралийское;

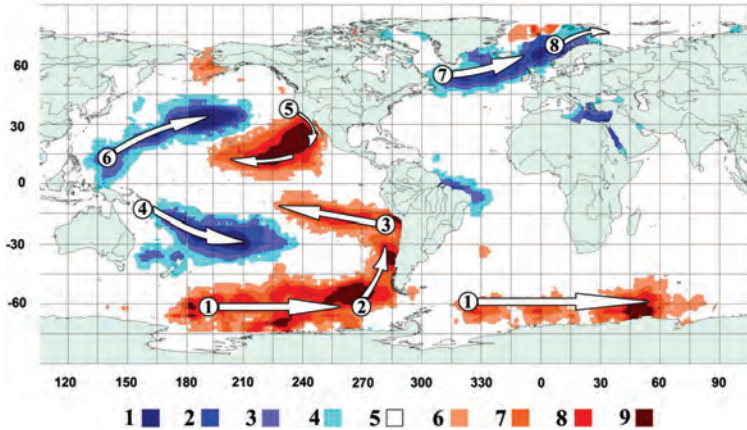


Рис. 2.5. Поля значимых асинхронных положительных и отрицательных коэффициентов корреляции между J и ТПО со сдвигами 32–37 лет.
 Градации коэффициентов на карте: 1) $\leq -0,70$; 2) $-0,60 \div -0,69$;
 3) $-0,50 \div -0,59$; 4) $-0,40 \div -0,49$; 5) $-0,39 \div +0,39$; 6) $+0,40 \div +0,49$;
 7) $+0,50 \div +0,59$; 8) $+0,60 \div +0,69$; 9) $\geq +0,70$.

5 — Калифорнийское и Северное Пассатное; 6 — Куроисио и Северо-Тихоокеанское; 7 — Северо-Атлантическое; 8 — Норвежское.

В Южном полушарии от широт $45\text{--}50^\circ$ ю.ш. и южнее до самой Антарктиды почти всё пространство в Тихом океане от его западной до восточной границы занимает на карте поле положительных корреляций. Здесь положительные корреляции покрывают область (фрагмент) самого мощного на Земле холодного Антарктического течения. Запаздывание изменений ТПО относительно J в южной части Тихого океана составляет 32–35 лет. Затем поле положительных корреляций с запаздыванием 35–36 лет распространяется в сторону умеренных южных широт и вдоль западного побережья Южной Америки охватывает область холодного Перуанского течения, которое является ответвлением от Антарктического течения. Ещё ближе к экватору с запаздыванием 37 лет поле положительных корреляций охватывает область Южного Пассатного течения. Перечисленные течения составляют часть круговорота течений южной половины Тихого океана по направлению против часовой стрелки. Замыкает этот круговорот тёплое Восточно-Австралийское течение, вдоль которого на рис. 2.5 вытянулось обширное поле

отрицательных корреляций от берегов Австралии на юго-восток до 240° в.д. Запаздывание изменений ТПО относительно J составляет 35 лет вблизи Австралии и 36 лет — на долготах $180\text{--}225^\circ$ в.д.

В Северном полушарии в Тихом океане область положительных корреляций совпадает с районом холодного Калифорнийского течения вдоль западного побережья Северной Америки, направленного на юго-запад, которое затем переходит в Северное Пассатное течение. Запаздывание здесь составляет 35 лет. А поле отрицательных корреляций вытянулось от Филиппинского моря на северо-восток вдоль тёплого Северо-Американского течения до центральной части северной половины Тихого океана. Запаздывание здесь составило 35–37 лет. Перечисленные течения составляют северный круговорот течений Тихого океана по направлению часовой стрелки.

По знакам корреляций мы имеем, что при увеличении момента инерции барицентрического вращения повышается поверхностная температура в области холодных течений и понижается температура в области тёплых течений, то есть ослабляется вынос холодных вод из приполярных широт северной и южной половин океана в сторону тропиков и ослабляется вынос тёплых вод из тропиков в приполярные районы северной и южной половин Тихого океана — при увеличении момента барицентрического вращения ослабляется круговая циркуляция в каждой половине океана, а при уменьшении момента вращения круговая циркуляция усиливается.

В Атлантическом и Индийском океанах положительные корреляции между J и ТПО наблюдаются только в Южном полушарии и опять в области Антарктического течения с запаздыванием изменений ТПО на 35 лет.

Отрицательные корреляции между J и ТПО в Атлантике наблюдаются в Северном полушарии в области Северо-Атлантического течения с запаздыванием 35 лет и области Норвежского течения с запаздыванием 36–37 лет.

В Атлантическом океане так же, как в Тихом, при усилении момента инерции барицентрического вращения повышается ТПО на холодном течении у Антарктиды и понижается ТПО на тёплом Северо-Атлантическом течении. В тропической части Атлантики значимых корреляций не обнаружено, но по корреляциям в приполярных

широтах можно предположить, что и в этом океане ослабляется круговая циркуляция в каждой половине Атлантического океана.

Если рассматривать вместе весь Южный океан, то несколько разрозненных очагов высокой корреляции на юге Тихого, Атлантического и Индийских океанов можно объединить в одно кольцо значимых корреляций вдоль течения вокруг Антарктиды. Запаздывание преимущественно 28–36 лет.

В перечисленных районах Мирового океана в областях важнейших океанических течений вклад изменений момента инерции вращения Солнечной системы в изменения среднегодовой поверхностной температуры океана составляет от 40 до 70 % от общей изменчивости ТПО в этих районах.

В качестве наглядного примера высокой корреляции колебаний ТПО с колебаниями J на рис. 2.6 приводятся графики изменения среднегодовой ТПО в области Калифорнийского течения по наблюдениям в узле с координатами 118° з.д. и 24° с.ш. (сглажено по трёхлетиям) и момента инерции вращения Солнца (J) относительно центра масс Солнечной системы со сдвигом на 35 лет (изменения ТПО запаздывают). Коэффициент корреляции между ними $R = 0,84$.

На рис. 2.6 ось времени соответствует значениям ТПО, а графики изменения момента инерции сдвинуты вправо на величину запаздывания реакции ТПО 35 лет.

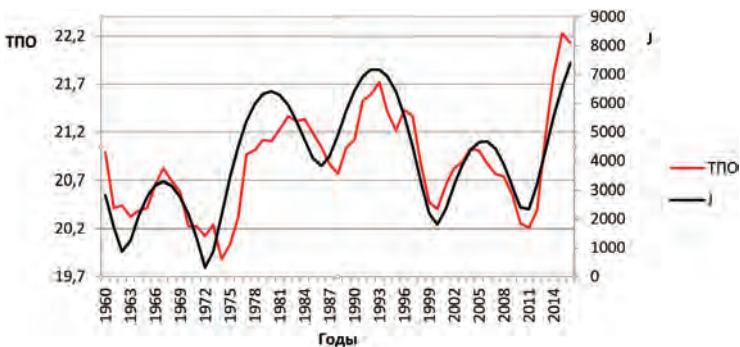


Рис. 2.6. Температура поверхности океана в области Калифорнийского течения по наблюдениям, сглаженная по трёхлетиям (ТПО), и момент инерции вращения Солнца относительно центра масс Солнечной системы со сдвигом на 35 лет.

Обнаружены также важные особенности корреляций в связи с рельефом дна Мирового океана. На рис. 2.5 можно заметить повышенные коэффициенты корреляции ТПО с J в Индийском океане там, где ось Антарктического течения проходит над Африканско-Антарктической глубокой котловиной с запада на восток и упирается на глубинах в отрог Австрало-Антарктического поднятия, образующего гряду островов Хёрд и Кергелен на широтах $50-65^\circ$ ю.ш. в долготном интервале от 30° в.д. до 85° в.д. В Тихом океане максимальные корреляции наблюдаются над Восточно-Тихоокеанским поднятием (на широтах $45-60^\circ$ ю.ш. в интервале $250-280^\circ$ в.д.), в Атлантическом океане — у южной оконечности Южно-Атлантического хребта (на широтах $60-65^\circ$ ю.д. в долготном интервале 10° з.д. – 15° в.д.).

Полученные результаты показывают, что с изменениями момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы связаны изменения глобальной океанической циркуляции, видимые на поверхности. Эти изменения наилучшим образом проявляются вдоль траекторий основных океанических течений Мирового океана.

Из всех упомянутых течений наиболее показательными являются самое мощное циркумполярное Антарктическое течение и северное продолжение Гольфстрима под названием Северо-Атлантическое течение, а также Норвежское течение. Южный океан с его циркумполярным течением — это единственное место на Земле, в котором континенты не мешают появлению зонального океанического течения вокруг Земли. Циркумполярное Антарктическое течение охватывает значительные территории — от умеренного пояса Южного полушария до берегов Антарктиды. Известно, что в ряде районов Южного океана поток включает всю массу вод до океанского дна (Жуков Л.А., 1976). Западными ветрами такую особенность объяснить невозможно несмотря на то, что Антарктическое течение называют течением Западных ветров. Данные глубоководных наблюдений (Щевьёв В.А., 2012) не подтверждают утверждение В.В. Шулейкина, ставшее классическим, о том, что самые сильные течения возникают под действием ветра на водную поверхность (Шулейкин В.В., 1968). К Антарктическому течению такое объяснение не подходит. Течение, которое охватывает всю массу вод до океанского дна, скорее является следствием некоторых

массовых сил, воздействующих на водную массу на всех глубинах. Именно такие силы возникают при изменениях момента инерции барического вращения Солнечной системы.

Западно-восточный поток циркумполярного Антарктического течения является объединяющим звеном для обмена водными массами на всех глубинах между основными океаническими бассейнами мира (White W.B., Peterson R.G., 1996). Изменения, происходящие на Антарктическом течении, взаимосвязаны с изменениями в характеристиках течений в других океанических бассейнах мира. Такие глобальные изменения в океане не могут не отразиться на изменениях глобального климата атмосферы. Южный океан играет ключевую роль в этих изменениях. В значениях атмосферного давления на уровне моря, в скорости ветра, в ТПО и в протяжённости морского льда над Южным океаном выявлены (White W.B., Peterson R.G., 1996) значительные межгодовые изменения. При этом отмечается, что возникают аномалии вдоль всего циркумполярного течения. По мнению авторов (White W.B., Peterson R.G., 1996), эта система связанных аномалий имеет важное значение в динамике климата, как в Южном океане, так и за его пределами.

Протяжённое поле высоких корреляций между J и ТПО в области циркумполярного течения вокруг Антарктиды в Тихом, Атлантическом и Индийских океанах позволяет предположить, что в Южном океане берёт начало единый процесс формирования аномалий ТПО Мирового океана при изменениях J . На разных участках Антарктического течения вклад изменений J в изменения ТПО составляет от 25 до 50 % общей изменчивости ТПО. В то же время аналогичные процессы возникают в Северном полушарии, наиболее заметные в Атлантике в области Северо-Атлантического и Норвежского течений.

Высокие корреляции ТПО с J в местах основных океанических течений показывают, что изменение момента инерции барического вращения создают в Мировом океане не учтённые ранее внешние силы, которые влияют на динамику течений в Большом океаническом конвейере. Этот результат совпадает с выводом (Бялко В.А., 2012) о том, что теплообмен Большого конвейера представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров.

Усиление корреляций ТПО с J в узлах на пересечениях океаническими течениями препятствий в виде подводных хребтов и поднятий дна океана можно объяснить воздействием массовых сил, при изменении J на всю толщу океана, включая глубинные течения. А проявление эффекта на поверхности океана объясняется вертикальным переносом возмущений в океане вблизи препятствий на пути течений.

Описанные результаты были получены по данным ТПО начиная с 1960 года. Позднее вся работа была повторена по данным с 1900 года. Все основные ранее полученные результаты подтвердились, но значения коэффициентов корреляции при этом были слабее. В разделе 2.3 будут даны пояснения по этому поводу на примере индекса Тихоокеанских декадных колебаний.

2.2. О связи Эль-Ниньо и Ла-Нинья с барицентрическим вращением Солнечной системы

Ярким проявлением колебаний ТПО в экваториальной части Тихого океана является Эль-Ниньо. Оно связано с пассатными океаническими течениями. Северное Пассатное течение является продолжением Калифорнийского течения, а Южное Пассатное — это продолжение Перуанского течения, которое в свою очередь является ответвлением Антарктического циркумполярного течения. Ранее было показано, что изменения ТПО на всех перечисленных океанических течениях тесно связаны с изменениями момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы. В Южном полушарии возмущения ТПО, связанные с внешним воздействием, начинаются сначала на Антарктическом течении, а затем с запаздыванием переносятся на Перуанское и далее — на Южное Пассатное течения. Можно предположить, что далее возмущения ТПО могут повлиять на явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Сравнение изменений ТПО по годам в области Антарктического течения в узле 214° в.д. и 68° ю.ш. с изменениями индекса NINO3 показало тесную связь между ними (коэффициент корреляции — $R = 0,56$). Вклад изменений ТПО на Антарктическом течении в изменения индекса NINO3 составляет 31 %.

На рис. 2.7 показаны сглаженные по скользящим трёхлетиям изменения ТПО на Антарктическом течении и синхронные изменения индекса NINO3 за 1982–2018 гг.

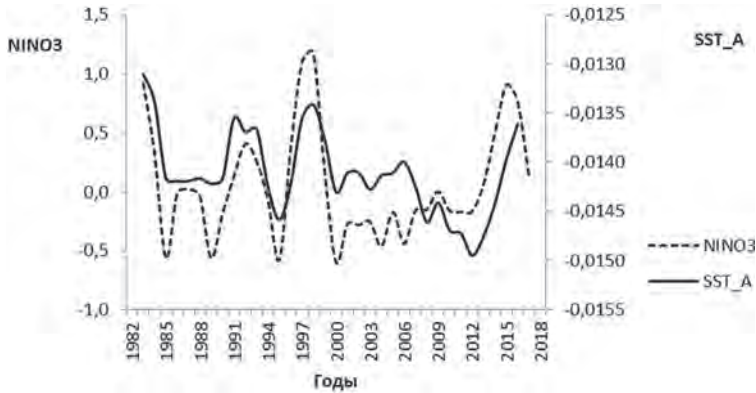


Рис. 2.7. ТПО на Антарктическом течении (ТПО_A) и NINO3

Посредником передачи возмущений ТПО от Антарктического течения в экваториальные воды является Перуанское течение. Коэффициент корреляции между NINO3 и ТПО на Перуанском течении в узле 74° в.д. и 22° ю.ш. оказался $R = 0,83$. В Северном полушарии на ТПО экваториальных вод влияет Калифорнийское течение. Коэффициент корреляции между NINO3 и ТПО на Калифорнийском течении в узле 112° з.д. и 22° с.ш. оказался $R = 0,81$.

На рис. 2.8 показаны сглаженные по скользящим трёхлетиям изменения NINO3 и изменения ТПО на Перуанском течении за 1982–2018 гг.

Справа на рисунке на карте отмечен узел в Тихом океане у берегов Южной Америки, по данным о ТПО которого был построен упомянутый график. Там же на рис. 2.8 показаны графики изменения ТПО на Калифорнийском течении и изменения NINO3 за те же годы. Справа на рисунке на карте отмечен узел в Тихом океане у берегов Северной Америки, по данным о ТПО которого был построен последний график.

Сведения о ТПО в областях Перуанского (ТПО_П) и Калифорнийского (ТПО_К) течений имеются с 1854 года. Сравнение изменений ТПО на Калифорнийском и Перуанском течениях за 165 лет (1854–2018 гг.) показало высокую синхронную корреляцию между ними ($R = 0,58$). На рис. 2.9 показаны сглаженные по скользящим трёхлетиям изменения ТПО_П и ТПО_К.

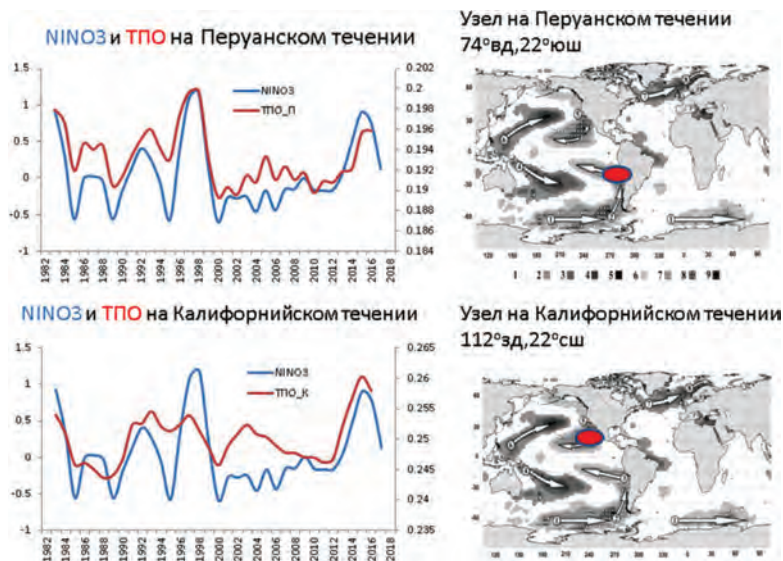


Рис. 2.8. Изменения NINO3 и ТПО на Перуанском (ТПО_П) и Калифорнийском (ТПО_К) течениях по данным за последние почти четыре десятилетия (значения ТПО сглажены по скользящим трёхлетиям)

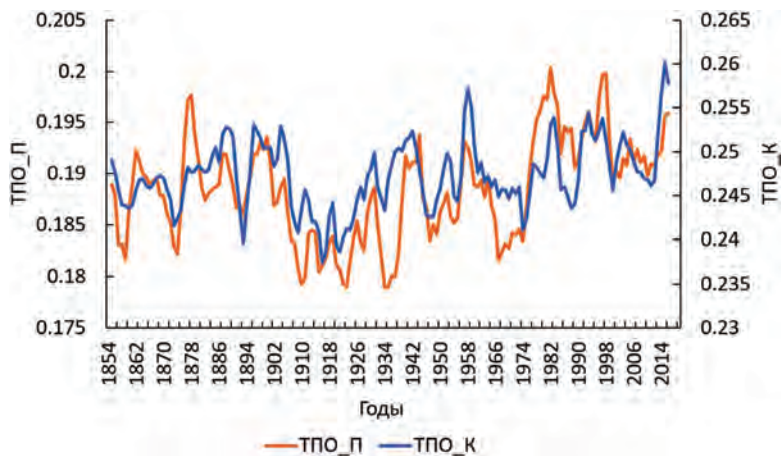


Рис. 2.9. Изменения температуры поверхности океана в области Перуанского (ТПО_П) и Калифорнийского (ТПО_К) течений (значения сглажены по скользящим трёхлетиям)

Тесная многолетняя связь между изменениями ТПО на основных океанических течениях Тихого океана в двух разных полушариях Земли должна иметь некоторую общую причину. Ранее было отмечено, что долгопериодные изменения ТПО на Антарктическом, Перуанском и Калифорнийском течениях находятся в зависимости от изменений момента инерции барицентрического вращения Солнца. Продолжением указанных течений являются Южное и Северное Пассатные течения.

В свою очередь явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья формируются под воздействием пассатных течений. Отсюда напрашивается вывод о том, что циклические динамические внешние воздействия через цепочку взаимосвязанных океанических течений участвуют в формировании явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Учитывая, что изменения ТПО появляются с запаздыванием более чем на три десятилетия после изменения момента барицентрического вращения, обнаруженные зависимости имеют прогнозистический потенциал.

2.3. О связи Тихоокеанского декадного колебания с барицентрическим вращением Солнечной системы

Наиболее существенные изменения ТПО при изменениях момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы ранее были обнаружены в Тихом океане. Долгопериодные колебания в нём описываются индексом Тихоокеанского декадного колебания (PDO). Это долгоживущая мода изменения климата Тихого океана, подобная Эль-Ниньо/Южного колебания, но PDO имеет иные временные периоды.

Предварительное сравнение графиков многолетних изменений PDO и J показало, что наилучшее подобие изменений между ними устанавливается начиная примерно с 1960 года. Изменения J опережают изменения PDO. Вычисление асинхронных корреляций между PDO за 1960–2019 гг. и индексом J при сдвигах от 0 до 40 лет показало, что наилучшая асинхронная корреляция (коэффициент корреляции — $R = 0,72$) между ними появляется при сдвиге J на 36 лет. Этот сдвиг означает, что изменения PDO с 1960 года сочетаются с изменениями J с 1924 года. При расчёте асинхронных коэффициентов

корреляции не происходило уменьшения количества случаев, так как ряд значений J заведомо был вычислен с 1700 года. На рис. 2.10 показаны изменения момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы (J) и изменения индекса Тихоокеанской декадной осцилляции (PDO). Индекс J сдвинут на 36 лет вправо. Шкала времени на рис. 2.10 соответствует шкале индекса PDO.

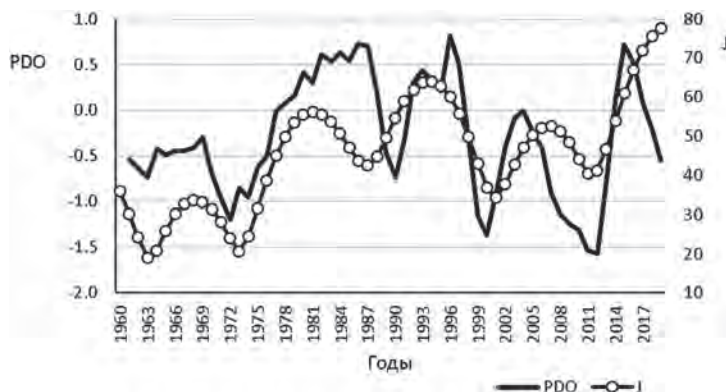


Рис. 2.10. Изменения момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы (J) и изменения индекса Тихоокеанской декадной осцилляции (PDO) с запаздыванием на 36 лет. Горизонтальная ось соответствует датам индекса PDO.

За начало анализируемого ряда PDO был взят 1960 год с учётом изменения структуры колебаний PDO за более ранние годы. Но для сравнения были выполнены аналогичные расчёты асинхронных корреляций по данным с 1940 года. В этом случае наилучшая зависимость также оказалась при сдвиге J на 36 лет, но коэффициент корреляции уменьшился — $R = 0,5$. Причин ослабления связи может быть две. Первая причина может быть связана с тем, что за ранние годы значения индекса PDO менее надёжны. Это следует из описания архива ТПО в узлах географической сетки, по которому был получен ряд индекса PDO, но, если связь между J и PDO основана на резонансном механизме, тогда возможна вторая причина — ослабление связи с 1960-х гг. является следствием иной структуры колебаний J за более ранние годы и отсутствием резонанса между частотами колебаниями J до 1960-х гг. с собственными частотами

индекса PDO. Структура колебаний J изменяется в результате биеений на соизмеримых частотах, составляющих основу колебаний J .

Отмеченное предположение имеет важное методическое значение для исследования космико-климатических связей. Если передача возмущений от J к ТПО и PDO происходит с участием резонансов, тогда изменение частоты индекса J может влиять на эффективность восприятия климатической системой внешних воздействий. Резонансная передача повторяющихся возмущений возможна только при совпадающих или при соизмеримых частотах воздействия и собственных частот системы.

Рассмотрим этот вопрос на конкретном примере. На протяжении трёх столетий изменялась структура колебаний индекса J (рис. 2.11). В середине 1920-х гг. началась триада колебаний по 38 лет, которая завершится в 2042 году. А внутри каждого 38-летнего интервала наблюдалось ещё три вложенных колебаний по 10–14 лет. Ранее, в XVI–XIX веках, аналогичная триада колебаний по 38 лет наблюдалась с 1750 по 1862 год. Между отмеченными интервалами — с середины XIX до начала XX веков, колебания с периодом 38 лет отсутствовали. На рис. 2.11 интервалы лет, в которых отчётливо наблюдались колебания J с периодами 38 лет, отмечены жирными участками графика.

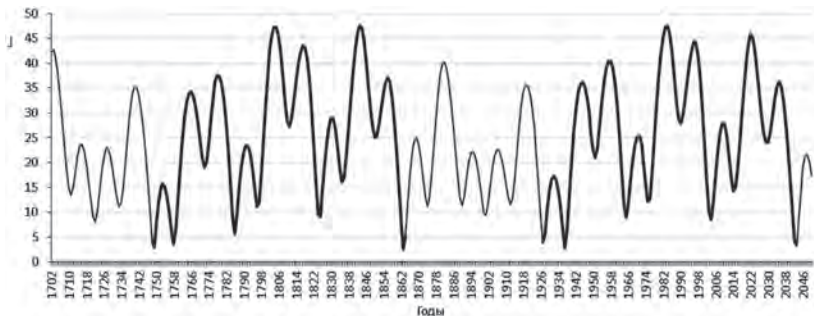


Рис. 2.11. Изменения индекса J

По асинхронным корреляциям обнаружилось, что изменения PDO с 1960 года оказались связанными с теми изменениями J , которые начинались в середине 1920-х гг. То есть наилучшая корреляция изменений PDO начиная с 1960-х гг. установилась с запаздыванием

на 36 лет с изменениями индекса J с того момента, когда в изменениях индекса J установились 38-летние колебания. Полученный результат показывает, что от частоты повторяющихся внешних воздействий на Землю может зависеть эффективность появления соответствующих повторяющихся изменений в характеристиках климатической системы. По этой причине статистические связи климата с внешними воздействиями могут усиливаться на одних интервалах лет и ослабевать или полностью исчезать на других интервалах лет. Но при этом физический механизм связи сохраняется, его работа проявится вновь на следующем благоприятном интервале лет вместе с наступлением очередного периода резонанса.

Колебания климата с периодами, близкими к 38 годам, известны давно в самых разных климатических показателях. Так называемый квази-35-летний период колебаний Брикнера хорошо известен в изменениях многих метеорологических величин (Боголепов М.А., 2006). Его существование подтверждается и в наше время (Сидоренков Н.С. и др., 2012).

На основании последовательной смены влажных и сухих, холодных и тёплых годов в 1890 году Брикнер пришёл к выводу о том, что в среднем в течение 35,5 лет проходит один минимум осадков и максимум температуры, один минимум температуры и максимум осадков. Его выводы были основаны на материале, собранном за семь веков, начиная почти с 1000 года, а также на многочисленных метеорологических, фенологических и других наблюдениях начиная с XVII века. При среднем значении 35,5 лет период Брикнера в разные эпохи оказывался в пределах 20–50 лет (Боголепов М.А., 2006). Ещё в начале XX века в своём обзоре М.А. Боголепов сообщает о достижении американского автора — Хэнтингтона (E. Huntington), который построил гипотезу о существовании ритма колебаний климата. Согласно этой гипотезе, климат Земли на протяжении всех геологических времён пульсирует следующим образом: времена интенсивных колебаний сменяются периодическими временами сравнительной вялости. Промежуток времени от середины одной эпохи до середины другой составляет большой климатический цикл. В каждом большом климатическом цикле происходит несколько мелких колебаний.

Подобно гипотезе Хёнтингтона, по нашим наблюдениям оказалось, что изменения PDO чувствительны к воздействиям повторяющихся изменений момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы только в те годы (с 1960-х гг.), когда эти воздействия повторяются с частотой 38 лет — с частотой, близкой к собственной частоте колебаний ТПО в северной части Тихого океана. В годы с другими частотами повторяющегося внешнего воздействия на ТПО эффективность этого воздействия ослабевает, наступает период «сравнительной вялости» по Хёнтингтону.

2.4. Важнейшие известные и новые результаты главы 2

1. Планеты вращаются не вокруг Солнца, а Солнце и планеты вращаются вокруг их общего центра масс, который не совпадает с центром Солнца и может выходить за пределы Солнца на расстояние более двух солнечных радиусов. При этом само Солнце совершает циклические вращения вокруг некоторой точки в космическом пространстве по траектории, похожей на кардиоиду, увлекая за собой Землю в это барицентрическое вращение.

2. Барицентрическое вращение неравномерно, циклические изменения момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы создают в Мировом океане не учтённые ранее внешние силы, которые влияют на динамику течений в Большом океаническом конвейере. Следствием этой неучтённой динамики являются обнаруженные изменения температуры поверхности Мирового океана вдоль траекторий основных поверхностных океанических течений. В разных частях Мирового океана на основных течениях вклад изменений момента инерции в изменения ТПО составляет от 25 до 50 % общей изменчивости ТПО.

3. При циклических изменениях момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы наблюдаются изменения температуры на поверхности океана в обоих полушариях Земли с запаздыванием на 32–37 лет. Увеличению момента инерции соответствует ослабление круговых океанических циркуляций в северной и одновременно в южной половинах Тихого океана, а при уменьшении момента круговые циркуляции в северной и южной частях усиливаются. Аналогично в Атлантическом океане через 35–37 лет после

увеличения момента инерции происходит ослабление переноса тёплых вод Северо-Атлантическим и Норвежским течениями в Северном полушарии и одновременно — ослабление участка Антарктического течения в Южной Атлантике, а при уменьшении момента инерции усиливаются указанные течения в Северной и Южной Атлантике.

4. Наилучшие асинхронные корреляции изменений поверхностной температуры океана с изменениями момента инерции барицентрического вращения наблюдаются в тех районах Мирового океана, в которых траектории течений проходят через препятствия на своём пути в виде подводных хребтов и поднятий дна океана или в виде гряды островов.

5. Связь возмущений ТПО с подводными хребтами объясняется участием глубинных океанических вод в возмущениях океана при барицентрическом движении Солнечной системы под действием массовых сил на всю океаническую толщу. Запаздывание эффекта на поверхности океана объясняется термодинамической инерционностью океанических вод и временем, необходимым для вертикального переноса возмущений из нижележащих слоёв к поверхности.

6. Первичные синхронные изменений ТПО в Тихом океане на Калифорнийском течении в Северном полушарии и на Перуанском течении в Южном полушарии, связанные с барицентрическим вращением, через Южное и Северное Пассатные течения оказывают воздействие на формирование в экваториальной части Тихого океана явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

7. Предполагается, что передача циклических слабых внешних воздействий в климатическую систему происходит через резонансный механизм на избранных частотах внешнего воздействия, соизмеримых с собственными частотами климатической системы. В каждом районе Земли собственные частоты разные, поэтому резонансы и биения возникают в разных районах Земли в разные годы. Изменение со временем структуры колебаний (частоты) внешнего воздействия может приводить к усилению космико-земных связей в одни интервалы лет при сближении частот и к ослаблению связей — в годы расхождения частот. Региональные различия собственных частот должны приводить к региональным различиям интервалов лет усиления и ослабления связей.

ГЛАВА 3. СОЛНЕЧНАЯ И ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ

3.1. Колебания температуры поверхности Мирового океана при изменении геомагнитной активности

Одним из наиболее давних предположений является гипотеза о влиянии солнечной активности на состояние климата. Под солнечной активностью понимается комплекс явлений, происходящих в недрах Солнца и на его поверхности, а также модулированные Солнцем явления в межпланетном пространстве, в магнитосфере и в других оболочках Земли.

Геомагнитные возмущения, регистрируемые на Земле, являются индикатором активности Солнца и его влияния на Землю при взаимодействии с магнитосферой Земли заряженных частиц, приходящих из активных областей Солнца. Траектории потоков заряженных частиц не всегда пересекаются с Землёй, и поэтому не каждый поток частиц геоэффективен. Появление геомагнитных возмущений — это гарантия того, что энергия корпускулярных потоков Солнца достигла Земли.

Сложный комплекс солнечной активности соприкасается с не менее сложной климатической системой, в которой изменяющиеся характеристики климата атмосферы являются следствием неизвестной последовательности не изученных процессов превращения изменяющейся активности Солнца в изменения температуры воздуха и других характеристик. Рассматривая составляющие климатической системы и их взаимодействия, более уверенно можно говорить о том, что Мировой океан является генератором изменений климата атмосферы, но не наоборот. По данным (Climate Change, 2013), за 1961–2003 гг. произошло увеличение теплосодержания климатической системы на $15,9 \cdot 10^{22}$ джоулей. Из них увеличение теплосодержания океана произошло на $14,2 \cdot 10^{22}$ джоулей, атмосферы — на $0,5 \cdot 10^{22}$ джоулей, суши — на $0,76 \cdot 10^{22}$ джоулей,

льда — на $0,45 \cdot 10^{22}$ джоулей. Из общего увеличения теплосодержания 89,3 % пришлось на океан и только 3,1 % — на атмосферу.

На основе приведённых сведений показатель геомагнитной активности выбран в качестве одной из характеристик влияния солнечной активности на Землю, а на самой Земле Мировой океан выбран в качестве места наиболее вероятного проявления изменений геомагнитной активности.

В работе использованы среднегодовые данные планетарного геомагнитного индекса *aa* за 1868–2018 гг. (Mayaud Pierre-Noel, 1972) и среднегодовые данные о температуре поверхности Мирового океана (ТПО) в узлах географической сетки через два градуса по широте и долготе за 1901–2018 гг., массив ERSST v3b (Smith T.M. et al., 2008; ERSST V3b; Xue Y. et al., 2003).

Наиболее яркой особенностью многолетних изменений геомагнитной активности является 11-летний цикл. В работе основное внимание уделено поиску проявления этой 11-летней цикличности в изменениях ТПО, поэтому методом скользящих средних по пятилетиям были сглажены колебания индекса *aa* с периодами менее 5 лет. А удаление линейного тренда из *aa* за 1868–2018 гг. позволило избавиться от сверхвековой тенденции. Ряд ТПО был обработан скользящими средними по пятилетиям аналогично, а линейный тренд исключён за 1901–2018 гг. Далее эти обработанные ряды будем также называть *aa* и ТПО, помня, что в них сглажены короткопериодные вариации и исключены сверхвековые тренды.

Применялся метод асинхронного корреляционного анализа ряда индекса *aa* с рядами ТПО в каждом узле сетки Мирового океана. Многолетние изменения ТПО определяются глубинными процессами в океане, которые обладают многолетней инерционностью, поэтому поиск проявления геомагнитных колебаний в ТПО проводился в предположении возможного запаздывания изменений ТПО относительно изменений *aa*.

При вычислениях асинхронных корреляций текущее состояние ТПО сравнивалось со значениями *aa*, которые наблюдались ранее. Число значений каждого ряда, по которым вычислялась корреляция, было 118 при нулевом сдвиге и на 12 значений меньше — при максимальном сдвиге. При всех сдвигах до 33 лет потери сопоставляемых

значений не происходило и их количество оставалось всегда 118, так как ряд индекса *aa* начинается на 33 года раньше ряда ТПО.

Корреляции вычислялись при сдвигах ряда индекса *aa* от 0 до 50 лет. При этом в каждом узле из каждой серии асинхронных корреляций находился максимальный по модулю коэффициент и фиксировался сдвиг, при котором этот коэффициент был получен. Затем строилась карта полей вычисленных наилучших корреляций с нанесением на неё цифрами величин сдвигов в каждом узле со значимым значением коэффициента наилучшей асинхронной корреляции.

Карта наилучших асинхронных корреляций *aa* и ТПО показала, что максимальные по модулю значимые корреляции обнаруживаются только при сдвигах от 20 до 44 лет (рис. 3.1).

Все обширные очаги наилучших корреляций оказались в районах вдоль траекторий основных океанических течений. В Северном полушарии преобладают отрицательные корреляции на тёплых течениях: в Атлантическом океане — Гольфстрим, Северо-Атлантическое течение, Норвежское течение; в Тихом океане — Куроисио, Северо-Тихоокеанское течение, а в Южном полушарии значимые положительные корреляции обнаруживаются на холодных течениях, главным и самым мощным из которых является циркумполярное

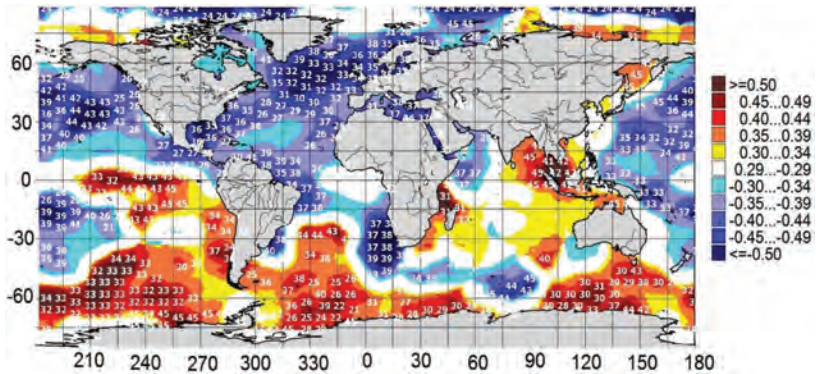


Рис. 3.1. Поля коэффициентов наилучшей асинхронной корреляции ТПО с индексом геомагнитной активности *aa* и значения запаздывания (количество лет запаздывания показано цифрами) изменений ТПО относительно изменений *aa*

Антарктическое течение, проходящее по южным районам Тихого, Атлантического и Индийского океанов.

Примечательно, что самые высокие коэффициенты корреляции, по модулю превышающие 0,5–0,6 и до 0,7, обнаруживаются в тех местах океанов, в которых основные течения пересекают подводные хребты или проходят через гряды островов. Так, например, тёмными пятнами высоких отрицательных корреляций на карте (рис. 3.1) в Атлантическом океане отметились: узкое место выхода Гольфстрима из Мексиканского залива (запаздывание — 35–36 лет), район пересечения Северо-Атлантическим течением Срединно-Атлантического хребта в Северной Атлантике (запаздывание — 32–34 года) и район пересечения Бенгальским течением Китового подводного хребта в Атлантическом океане юго-западнее Африки (запаздывание — 37–39 лет). В Тихом океане самые высокие отрицательные корреляции обнаружили в районе пересечения Северо-Тихоокеанским течением Северо-Западного подводного хребта и далее по течению с переходом на прилегающий район северной части Северо-Восточной котловины (запаздывание — 39–44 года). На юге Тихого океана высокие коэффициенты корреляции видны на карте вблизи прохождения Восточно-Австралийским течением островов Полинезии (запаздывание — 37–39 лет).

Высокие положительные корреляции — 0,5–0,6 и выше — обнаружили на Антарктическом течении в районе пересечения им Восточно-Тихоокеанского поднятия дна океана (запаздывание — 32–33 года), а также на пересечении Антарктическим течением южной оконечности Срединно-Атлантического хребта (запаздывание — 22–26 лет) и в узком месте между Австралией и Антарктидой (запаздывание — около 30 лет). Такие же высокие корреляции видны на карте в центральной экваториальной части Тихого океана, в том районе, в котором появляются Эль-Ниньо и Ла-Нинья (запаздывание — около 43 лет), и в районе активного взаимодействия Индийского и Тихого океана, с известным Южным колебанием (запаздывание — 42–44 года).

Во всех перечисленных случаях наилучшие асинхронные корреляции наблюдались при запаздывании изменений ТПО относительно aa на 2 или 3, или 4 одиннадцатилетних цикла. При наличии

известной 11-летней цикличности можно заподозрить ошибочный статистический эффект сдвига на один или несколько циклов, но индекс *aa*, кроме 11-летнего цикла, ещё содержит вековой цикл, который не даёт ошибочно сместиться на 1–3 одиннадцатилетних цикла. Подробнее остановимся на двух примерах.

На рис. 3.2 показан график временного хода ТПО в районе Южного колебания (точка с координатами 4° с.ш. и 104° в.д.) и график изменения *aa*, сдвинутый на 42 года в будущее. Это пример положительной связи. Коэффициент корреляции — $R = 0,66$. На рис. 3.3 показан график ТПО в Атлантике юго-западнее Африки (точка с координатами 28° ю.ш. и 10° в.д.) и график изменения *aa*, сдвинутый на 38 лет в будущее. Это пример отрицательной связи. Коэффициент корреляции — $R = -0,70$.

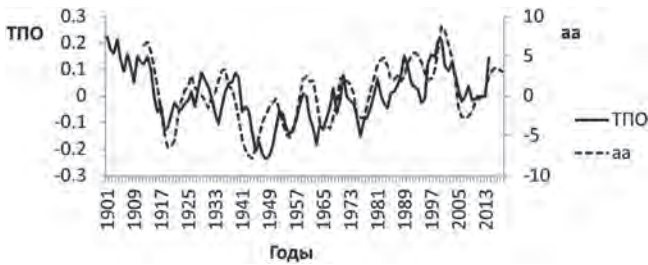


Рис. 3.2. Изменение ТПО в географическом узле с координатами 4° с.ш. и 104° в.д. и изменение планетарного геомагнитного индекса *aa* со сдвигом на 42 года

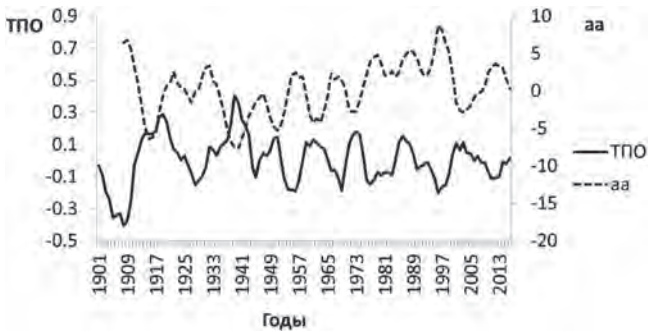


Рис. 3.3. Изменение ТПО в географическом узле с координатами 28° ю.ш. и 10° в.д. и изменение планетарного геомагнитного индекса *aa* со сдвигом на 38 лет

Высокие корреляции являются доказательством неслучайной связи изменений ТПО и *aa*. Рис. 3.2 и 3.3 показывают, что при найденных наилучших сдвигах совпадают циклические изменения ТПО и *aa*, как в одиннадцатилетнем цикле, так и в вековом цикле. Совпадение в вековом цикле не позволяет ошибочно сдвинуться на один или более одиннадцатилетних циклов. За рассмотренный интервал 118 лет наблюдалось 10 одиннадцатилетних циклов активности *aa* (рис. 3.2 и 3.3) и 10 видимых на этих рисунках откликов в изменениях ТПО. Совпадение десять из десяти не может быть случайным. Обнаруженные зависимости и описанное выше длительное запаздывание реакции ТПО являются реальностью.

Реальность обнаруженных связей подтверждается не только статистически по высоким значимым коэффициентам корреляции, но и физическими особенностями проявления обнаруженных связей. Карта рис. 3.1 уверенно демонстрирует, что все самые тесные зависимости ТПО от *aa* проявляются на основных океанических течениях, а не разбросаны хаотично по Мировому океану.

Возникает вопрос о механизме передачи энергии, связанной с изменениями геомагнитной активности, в изменения ТПО Мирового океана на течениях.

Предположения о механизме можно строить исходя из основных свойств явлений в токопроводящих средах Земли, возникающих при геомагнитных возмущениях планетарного масштаба. Геомагнитные возмущения являются следствием выпадения заряженных солнечных частиц в магнитосферу Земли и появления магнитных бурь. В моменты магнитных бурь эти частицы взаимодействуют с магнитосферой-ионосферой Земли и создают ионосферные токи в миллионы ампер по величине, а также вызывают индуцированные токи в проводящих средах на Земле и даже в проводящих технологических конструкциях (энергетические системы, трубопроводы, кабельные сети) (Сушко В.А., Косых Д.А., 2013). Зафиксировано, что в технологических конструкциях во время магнитных бурь наблюдались геоиндуцированные токи до 200–300 А (Pirjola R. et al., 2003). Хотя наиболее мощные возмущения геомагнитного поля, приводящие к возбуждению интенсивных токов, происходят в высоких широтах, в последнее время обнаружено, что опасные

величины индуцированных токов могут наблюдаться также на средних и низких широтах (Kelly G.S. et al., 2017).

Новые исследования (Пилипенко В.А. и др., 2018) подтвердили наличие геомагнитно-индуцированных токов в проводящих средах на Земле не только в широтном, но и в долготном направлениях.

Океан является проводящей средой, и в нём неизбежно должны появляться индуцированные токи преимущественно в широтном направлении в высоких широтах Северного и Южного полушарий, а также в других направлениях. Судя по большому запаздыванию изменений ТПО после усиления геомагнитной активности в 11-летнем цикле, в передаточном механизме участвуют прежде всего глубинные слои Мирового океана. А передача этих возмущений на поверхность происходит с многолетним запаздыванием, которое соответствует скоростям распространения возмущений в океане. Об участии глубинных слоёв океана в этом механизме говорит и тот факт, что самые тесные связи температуры на поверхности с геомагнитными возмущениями обнаружены в местах пересечения течений подводных хребтов. В этих местах подводные препятствия на пути океанических течений усиливают вертикальный обмен в океане и усиливают вынос глубинных возмущений на поверхность океана. Следовательно, возмущения ТПО действительно идут из глубин океана, а на их вертикальное распространение требуется время. И, следовательно, обнаруженное запаздывание реакции ТПО на геомагнитные возмущения не противоречит существующим знаниям.

Долгое время предполагалось, что энергия солнечных заряженных частиц, приходящая к Земле, не может повлиять на состояние нижней атмосферы, так как вся она задерживается магнитосферой. Но не учитывалось, что возникающие при этом возмущения магнитного поля Земли беспрепятственно передают свою энергию электрическим токам в океане. Предстоит ещё изучить, в какой мере эти токи влияют на нагрев океана и на отклонение течений от их обычных траекторий.

3.2. Колебания температуры поверхности океана в связи с долгопериодными изменениями солнечной активности

В разделе 3.1 показаны особенности влияния магнитных бурь на ТПО с предполагаемым механизмом связи между ними на основе

возникающих индукционных токов в океане. Совершенно другие механизмы солнечно-земных связей могут срабатывать при усилении светимости Солнца. Поэтому в настоящем разделе рассмотрены связи изменений ТПО и температуры воздуха с изменениями чисел Вольфа (W).

В работе использовались данные наблюдений:

- среднегодовые значения количества солнечных пятен (W) за 1700–2020 гг. (Sunspot data, ссылка — в списке литературы);
- аномалии среднегодовой температуры воздуха (T) над континентами вычислены по месячным данным из объединённого набора данных глобальной температуры поверхности суши и океана NOAA с названием NOAAGlobalTemp, версия v5 (NOAAGlobalTemp V5; Smith T.M. et al., 2008; Zhang H-M., 2019) с пространственной сеткой ($5 \times 5^\circ$). Самые ранние данные в этом массиве начинаются с января 1880 года, но во многих регионах данные начинаются не раньше 1935 года, поэтому в работе использовались данные о температуре воздуха с 1935 по 2020 год;
- данные за 1854–2020 гг. о среднегодовых значениях температуры поверхности океана (ТПО). Они вычислены по месячным данным из массива The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST V5) на сетке $2 \times 2^\circ$. Это глобальный ежемесячный набор данных о температуре поверхности океана, полученный из Международного всеобъемлющего набора данных об океане и атмосфере (ICOADS) (ERSST V5; Huang B. et al., 2017; Huang B. et al., 2018).

По аналогии с ограничениями рядов температуры воздуха данные ТПО использовались в вычислениях начиная с 1935 года. Анализировались только долгопериодные изменения климата, поэтому короткопериодные вариации в рядах T и ТПО были сглажены методом скользящих средних по трёхлетиям. Сглаженные таким методом данные использовались в дальнейших расчётах.

По данным наблюдений солнечная активность изменяется циклически. Наиболее отчётливо прослеживается 11-летний и квазивековой циклы. Ставилась задача исследования возможного влияния долгопериодных изменений солнечной активности на долгопериодные изменения климата, поэтому все ряды о температуре поверхности океана и температуры воздуха были сглажены

по скользящим трёхлетиям. Связи между изменениями анализируемых параметров оценивались по коэффициентам асинхронной корреляции в предположении запаздывания передачи возмущений. В вычислениях асинхронных корреляций ТПО с W и T с W количество сопоставляемых членов рядов составляло 86 лет. Оно определялось длительностью используемых рядов о температуре воздуха (1935–2020 гг.). При сдвигах в асинхронных вычислениях количество сопоставляемых членов рядов не уменьшалось, так как при вычислениях сдвигался только ряд W с более ранним началом данных (W — с 1700 года). Значимыми коэффициентами корреляции принимались значения $R > 0,6$ с достоверностью $> 95\%$.

О влиянии солнечной активности на климат писали многие исследователи. Например, в недавней работе (Veretenenko S., Ogurtsov M., 2020) показано, что глобальные колебания температуры могут быть связаны с долговременными изменениями светимости Солнца. Обзор таких работ и новый взгляд на проблему недавно опубликован в монографии В.Ф. Логинова (Логинов В.Ф., 2020). В.Ф. Логинов, как и многие другие, рассматривал синхронные связи. Авторы (Swingedouw D. et al., 2011) оценивали реакцию климата на изменения солнечной активности и установили, что колебания средней ТПО Северного полушария коррелируют ($R = 0,74$) с колебаниями солнечной активности. Также они обнаружили, что солнечная активность влияет на Северо-Атлантическое колебание, но это влияние проявляется с запаздыванием 40 лет. Атмосфера не обладает достаточной памятью для подобной задержки колебаний. Можно предположить, что долгопериодные изменения солнечной активности сначала влияют на состояние океана, а затем возмущения передаются из океана в атмосферу.

Долгопериодные изменения (в масштабах десятилетий) климата атмосферы поддерживаются термодинамической инерционностью океана. Океан можно рассматривать как ведущего, а атмосферу как ведомую в изменениях климата Земли. Термодинамическая инерционность океана создаёт предпосылки для запаздывания отклика климата на внешнее воздействие, поэтому можно ожидать появление асинхронных связей климата с внешними воздействиями.

С учётом накопленных сведений проводилось исследование связей ТПО Мирового океана и T над континентами с изменениями

солнечной активности. В работе (Шерстюков Б.Г. и др., 2020) рассматривались асинхронные связи долгопериодных изменений температуры воздуха в Приволжском федеральном округе России (ПФО) с изменениями солнечной активности. При этом было обнаружено, что до 1990 года в изменениях температуры воздуха просматривалась 11-летняя цикличность. С каждым новым циклом активности Солнца температура воздуха в ПФО повышалась после максимумов активности Солнца и понижалась — после минимумов, но в конце XX века и в XXI веке после максимумов солнечной активности температура стала достигать таких высоких значений, после которых она перестала возвращаться в исходное состояние после минимумов активности Солнца. Возможно, к этому времени в атмосферной циркуляции или во всей климатической системе произошла некоторая перестройка, после которой время релаксации системы увеличилось, поэтому температура после повышения на максимуме солнечной активности перестала успевать восстанавливаться (понижаться) до начального уровня в годы минимумов солнечной активности. После 1990 года с каждым новым 11-летним циклом активности Солнца температура воздуха повышалась ещё больше. Происходило накопление тепла в атмосфере и, как следствие, потепление климата.

Если время релаксации параметров климатической системы больше, чем у солнечной активности, то для сравнения температуры с изменениями солнечной активности необходимо сгладить ряд солнечной активности так, чтобы имитировать время релаксации показателя солнечной активности, близкое ко времени температурной релаксации. Хорошее согласие хода температуры и солнечной активности получилось при сглаживании ряда солнечной активности W по скользящим девяти годам. В таком случае сглаженный показатель солнечной активности повышается на максимумах 11-летнего цикла и не совсем опускается до начального уровня на минимумах активности Солнца. В настоящей работе ряд солнечной активности предварительно был сглажен по скользящим девяти годам.

На рис. 3.4 показан график изменения солнечной активности W и сглаженных значений солнечной активности W_s .

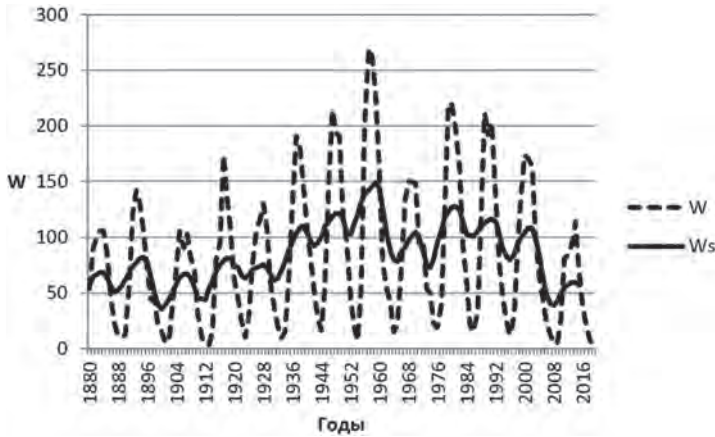


Рис. 3.4. Числа солнечных пятен W и их сглаженные значения по скользящим девяти годам W_s

Рис. 3.4 показывает 11-летнюю цикличность и долгосрочные колебания солнечной активности. Методом корреляционного анализа оценивались связи изменений ТПО и T в каждом узле географической сетки Земли со сглаженными значениями солнечной активности W_s .

С учётом особенностей связей, выявленных на примере ПФО, предстояло оценить возможное влияние солнечной активности на ТПО в разных районах Мирового океана и на температуру воздуха на континентах T . Вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции изменений T и ТПО в узлах сетки с солнечной активностью при сдвигах ряда солнечной активности от 0 до 50 лет. Среднегодовые значения ТПО и T использовались за 1935–2020 гг., а данные о солнечной активности W_s — за 1800–2020 гг. При вычислении асинхронных корреляций сдвиг ряда W_s имитировал предполагаемое запаздывание отклика температуры на внешнее воздействие.

В каждом узле из набора всех полученных асинхронных коэффициентов корреляции выбирался один максимальный коэффициент и фиксировалась величина сдвига (годы) при наилучшем коэффициенте корреляции. Сдвиг рассматривался как время запаздывания отклика температуры на внешнее воздействие. Коэффициенты асинхронных корреляций при сдвигах меньше 28 лет

оказались слабее заданного критерия $R > 0,6$ на всей планете. Но при сдвигах от 28 до 37 лет обнаружены районы на Земле с надёжными связями изменений температуры с изменениями солнечной активности. Коэффициенты корреляции оказались значимыми $R > 0,6$ с ТПО в приполярных районах Южного полушария. На рис. 3.5 показана карта пространственного распределения коэффициентов корреляций ТПО и Т с солнечной активностью W_s при запаздывании реакции температуры на 28–37 лет.

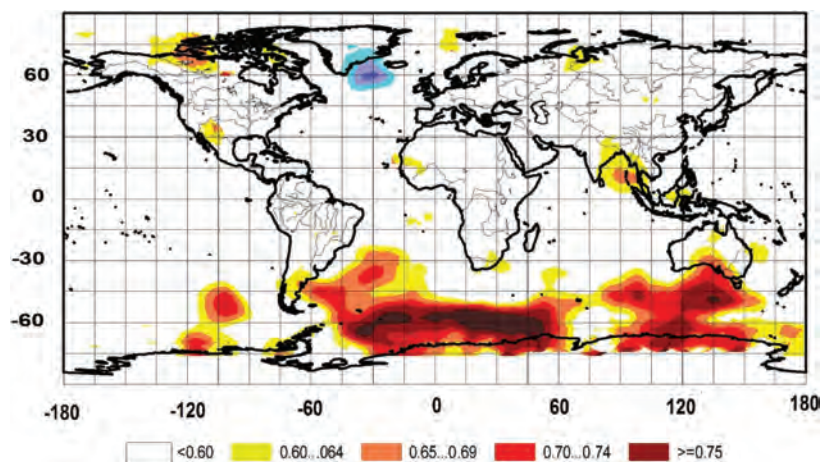


Рис. 3.5. Коэффициенты асинхронных корреляций температуры воздуха и температуры поверхности океана с солнечной активностью при сдвигах от 28 до 37 лет

Обнаружено (рис. 3.5) обширное поле значимых положительных коэффициентов связи изменений ТПО с солнечной активностью (коэффициенты корреляции — от 0,6 до 0,85) в южной широтной зоне от 50° ю.ш. до берегов Антарктиды в Атлантическом и в Индийском океанах. Значимых корреляций с температурой воздуха не обнаружено. На рис. 3.5 видна область больших коэффициентов корреляций $R > 0,7$ ТПО с солнечной активностью на Антарктическом течении над Африкано-Атлантической котловиной, которая тянется от южной оконечности Срединно-Атлантического хребта до плато Кергелен и вторая область больших коэффициентов корреляции — над Австрало-Антарктическим поднятием. На обширной территории

в Южном океане вклад изменений солнечной активности в изменения ТПО составил около 50 % общей изменчивости (дисперсии). В других частях Мирового океана не обнаружено столь тесных связей ТПО с W_s . Также не обнаружено столь тесных связей изменений температуры воздуха в узлах сетки с солнечной активностью.

Как пример на рис. 3.6 показано изменение ТПО на Антарктическом течении западнее южной оконечности Срединно-Атлантического хребта в реперном узле с координатами 60° ю.ш. и 24° з.д. На том же рис. 3.6 показан график изменения солнечной активности W_s . Изменения солнечной активности опережают изменения ТПО в этом районе на 30 лет, поэтому график W_s смещён по оси времени на 30 лет так, что значение W_s за 1905 год совмещено со значением ТПО за 1935 год. Шкала времени на рис. 3.6 соответствует данным наблюдений ТПО.

С учётом запаздывания температурного отклика, коэффициент корреляции между ТПО и солнечной активностью при сдвиге на 30 лет оказался $R = 0,81$. График рис. 3.6 показывает, что в приполярном регионе Южной Атлантики на Антарктическом течении последние четыре десятилетия происходит понижение ТПО, которое тесно связано с ослаблением солнечной активности.

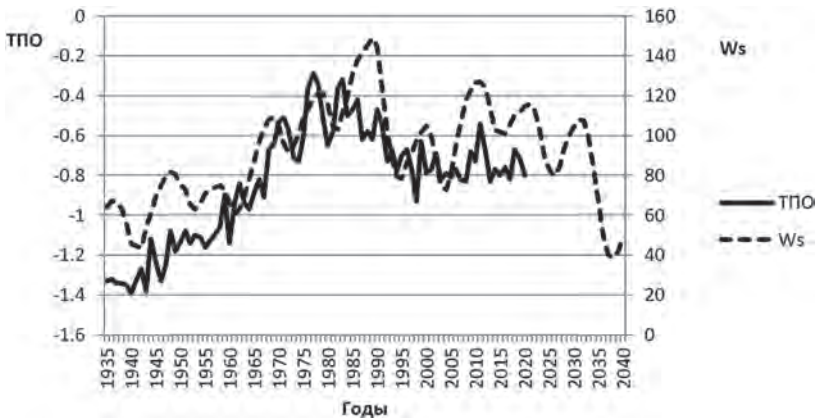


Рис. 3.6. Температура поверхности океана на Антарктическом течении в узле с координатами 60° ю.ш. и 24° з.д. и солнечная активность W_s со сдвигом на 30 лет

Ещё один пример графического представления изменений ТПО и W_s показан на рис. 3.7 для узла с координатами 56° ю.ш. и 16° в.д. на Антарктическом течении на границе Южной Атлантики и Индийского океанов. Коэффициент корреляции ТПО с W_s в этом районе оказался $R = 0,82$ при запаздывании температурных изменений на 37 лет (рис. 3.7). Шкала времени на графике соответствует данным наблюдений за ТПО, а график W_s сдвинут на 37 лет.

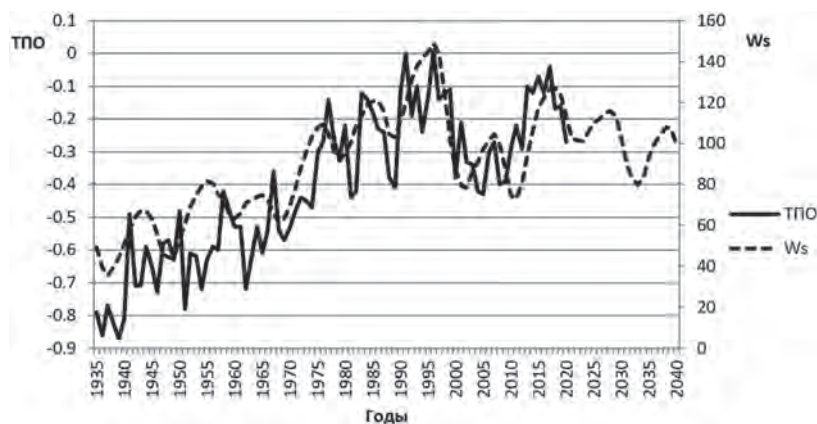


Рис. 3.7. Температура поверхности океана на Антарктическом течении в узле с координатами 56° ю.ш. и 16° в.д. и солнечная активность W_s со сдвигом на 37 лет

Рис. 3.7 показывает, что и в этой части Южного океана ТПО понижается в XXI веке вслед за ослаблением солнечной активности. Судя по асинхронным связям, представленным графически на рис. 3.6 и 3.7, температура ТПО в южном океане в последующие 20 лет будет понижаться.

Широтная зона, в которой проявилась связь ТПО с изменениями солнечной активности, уникальна в том, что в этой зоне нет материков, препятствующих круговому зональному течению океанических вод вокруг Антарктиды. Именно поэтому там возможно циркумполярное Антарктическое течение, самое мощное на всей Земле, в которое вовлечены не только верхние, но и глубинные слои океана. Это течение является важной частью глобальной системы океанических течений, в которую вовлечён весь Мировой океан.

Но в Тихом океане на этом же течении связей ТПО с солнечной активностью не обнаружено. Напомним, что в Тихом океане наиболее тесные связи ТПО были обнаружены с внешними воздействиями при барицентрическом вращении Солнечной системы. А с геомагнитными возмущениями связи ТПО обнаружили во всех океанах.

Механизм влияния солнечной активности на океан не изучен, не известно на каких глубинах океана появляется первоначальное влияние солнечной активности. Запаздывание изменений ТПО на три десятилетия после изменений солнечной активности подсказывает, что в механизме задействованы глубинные слои океана и его тепловая и динамическая инерционность. Ранее аналогичные выводы были получены при анализе связей ТПО с геомагнитной активностью и с барицентрическим вращением Солнечной системы. Во всех случаях связи обнаружены были при многолетнем запаздывании изменений ТПО на внешние циклические воздействия. Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло и влагу из одних регионов и слоёв океана в другие по сложным, не совсем понятным траекториям (Broecker W.S., 1991). Выход аномалий на поверхность океана в разных его частях возможен с запаздыванием в несколько лет или десятилетий.

Итак, многолетние долгопериодные изменения солнечной активности сопровождаются изменениями температуры поверхности океана в области Антарктического течения в южных широтах Атлантического и Индийского океанов с запаздыванием на 28–37 лет на разных его участках. В этих районах изменения солнечной активности определяют около 50 % общей дисперсии долгопериодных колебаний ТПО.

Задержка на три десятилетия первичной реакции ТПО в Южном океане на внешние воздействия имеет прогностическое значение для асинхронной регрессионной экстраполяции на три десятилетия колебаний климата в Южном океане.

3.3. Распространение солнечно-обусловленных возмущений температуры из Южного океана в другие регионы Земли

Проследим распространение долгопериодных колебаний ТПО из района тесных связей изменений ТПО с солнечной активностью (Южный океан) в другие районы Земли.

Анализ проводился по данным о среднегодовой ТПО в узлах географической сетки $2 \times 2^\circ$ массив ERSST V5 и по данным о среднегодовой температуре воздуха (Тв) над континентами в узлах сетки $5 \times 5^\circ$ массив данных NOAA GlobalTemp, версия v5 (Smith T.M. et al., 2008; Zhang, 2019). Для анализа был выбран реперный узел в Южном океане с координатами 60° ю.ш. и 24° з.д., в котором ранее была обнаружена тесная связь изменений ТПО с изменениями солнечной активности. Предполагалось проследить распространение первичных возмущений из реперного узла в другие регионы Земли. Вычислялись асинхронные коэффициенты корреляций между ТПО в заданном узле и ТПО и Тв во всех других узлах географической сетки Земли. Сдвиги задавались от 0 до 50 лет. В этих вычислениях величина сдвига эмитирует время запаздывания переноса возмущений температуры из заданного района в Южной Атлантике в другие районы Земли. На рис. 3.8 показана карта коэффициентов наилучших асинхронных коэффициентов корреляции, а на рис. 3.9 — сдвиги, при которых получены указанные наилучшие коэффициенты асинхронной корреляции.

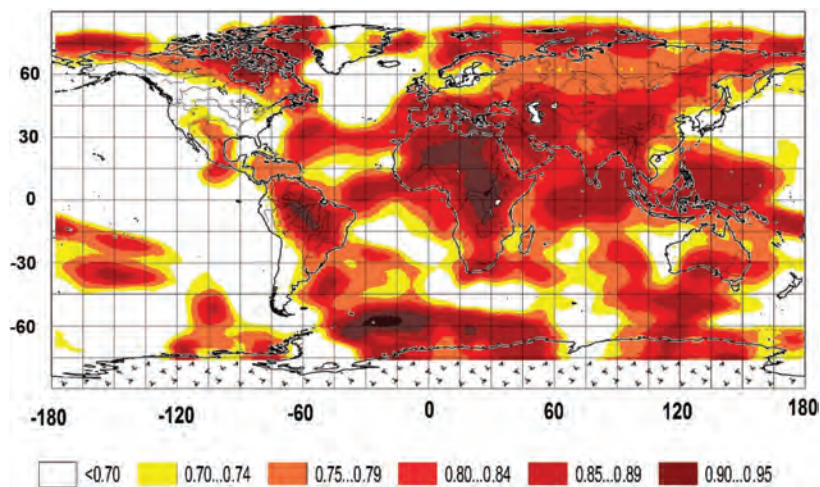


Рис. 3.8. Коэффициенты асинхронной корреляции ТПО и Тв в узлах географической сетки с температурой ТПО на Антарктическом течении в заданном узле с координатами 60° ю.ш. и 24° з.д.

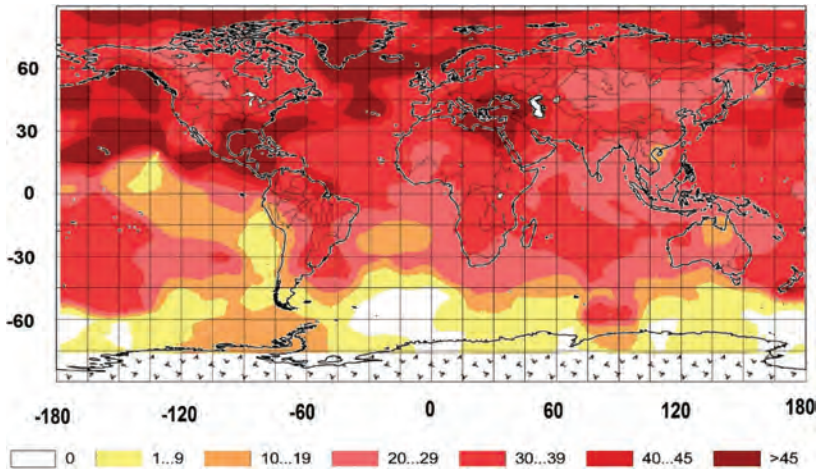


Рис. 3.9. Время запаздывания (годы) долгопериодных колебаний ТПО и T_v в узлах географической сетки относительно колебаний ТПО на Антарктическом течении в заданном узле с координатами 60° ю.ш. и 24° з.д.

Значения коэффициентов корреляции оказались очень высокими на обширных территориях на всех широтах и долготах Земли, но при разных сдвигах. Во многих узлах коэффициенты корреляции оказались от 0,7 до 0,9 и выше. Области с коэффициентами менее 0,7 на рис. 3.8 не показаны. Вклад изменений ТПО в реперной точке на Антарктическом течении в долгопериодные изменения ТПО и T_v в обширных районах Земли составил более 60 % от общей изменчивости температуры в этих районах.

Совместный анализ карт рис. 3.8 и 3.9 показывает, что во всех узлах Южного океана наилучшими оказались синхронные связи или связи с малыми временами запаздывания изменений ТПО относительно первичных изменений ТПО в реперном узле. Вдоль Антарктического течения возмущения происходили синхронно или на некоторых участках с запаздыванием 3–7 лет.

Рис. 3.8 показывает, что в области Антарктического течения коэффициенты корреляции между ТПО в реперном узле и ТПО в других узлах составляет от $R = 0,85$ до $R = 0,95$, а в небольшой широтной зоне севернее Антарктического течения связи ослабевают ($R < 0,7$).

Примерно от 40° ю.ш. и дальше к северу связи восстанавливаются — $R > 0,7$ и $R > 0,9$.

Распространение первичных возмущений на север можно проследить по рис. 3.9 по временам запаздывания от 0 до 45 лет с градациями запаздываний через 10 лет. По табличным данным (не приводятся) запаздывания можно описать точнее. Итак, солнечно-обусловленные возмущения температуры воздуха и поверхности океана в Южном полушарии от 40° ю.ш. и севернее появляются с запаздыванием на 27–35 лет, относительно изменений в реперном узле с первичными возмущениями. В эту зону входят северная половина Южной Америки, Африка, Австралия, южная половина Азии, северная половина Индийского океана, два района в низких широтах Северной Атлантики и область в приэкваториальных широтах на западе и в центре Тихого океана. В средние и высокие широты Северного полушария возмущения доходят с запаздыванием от 38 до 47 лет. Долгопериодные изменения температуры, которые начинаются в Южном полушарии на циркумполярном Антарктическом течении, постепенно переносятся на север до самых высоких широт Северного полушария. Весь путь от Южного океана до самых северных широт Земли занимает около 40–47 лет.

Ослабление связей на некоторых широтах и последующее их усиление на других широтах можно объяснить тем, что возмущения не везде распространяются по верхнему слою океана. Иногда они слабее проявляются на поверхности, но живут, видимо, в подповерхностных слоях, а затем опять выходят на поверхность. Медленный перенос температурных долгопериодных колебаний из зоны Антарктического течения в южном полушарии через экватор в Северное полушарие возможно через Большой океанический конвейер Брокера, который объединяет все течения Мирового океана в единую систему.

Итак обнаружено, что долгопериодные колебания ТПО, возникающие в Южном океане, продвигаются в Северное полушарие с нарастающим запаздыванием. До самых крайних северных широт колебания доходят через 40–47 лет.

В Южной Атлантике в узле с координатами 60° ю.ш. и 24° з.д. с 1930-х по 1980-е гг. наблюдалась фаза повышения ТПО. В 1980-х гг.

значения ТПО на Антарктическом течении достигли максимума, а в последующие три десятилетия температура в южном океане понижалась. Описанная многолетняя волна повышения и понижения ТПО с запаздыванием на 40–47 лет пришла в высокие широты Северного полушария Земли. В Северном полушарии, начиная с середины XX века, сформировалось потепление климата, которое ошибочно стали увязывать с антропогенным парниковым эффектом в атмосфере. Количественных оценок для подтверждения антропогенной гипотезы потепления до сих пор получить никому не удалось. Все существующие математические модели климата полуэмпирические, настроенные экспериментально под антропогенную гипотезу без количественного научного обоснования настроечных коэффициентов. Оценки антропогенного форсинга по таким моделям не могут служить доказательством реальности антропогенной гипотезы.

3.4. Основные результаты главы 3

1. Обнаружены тесные корреляции долгопериодных изменений температуры поверхности Мирового океана в районах основных океанических течений с изменениями планетарной геомагнитной активности. Изменения ТПО в разных частях Мирового океана следовали за изменениями индекса aa с запаздыванием от 20 до 44 лет.

2. В Северном полушарии преобладают отрицательные корреляции ТПО с геомагнитной активностью на тёплых течениях: в Атлантическом океане — Гольфстрим, Северо-Атлантическое течение, Норвежское течение; в Тихом океане — Куроисио, Северо-Тихоокеанское течение, а в Южном полушарии значимые положительные корреляции обнаруживаются на холодных течениях, главным и самым мощным из которых является циркумполярное Антарктическое течение, проходящее по южным районам Тихого, Атлантического и Индийского океанов.

3. Наилучшие связи ТПО с геомагнитной активностью обнаружались в местах пересечения океаническими течениями препятствий в виде подводных хребтов или гряд островов. Участие в формировании описанных связей подводных препятствий на больших глубинах усилили предположение об участии глубинных

слоёв океана в формировании механизма передачи энергии, сопутствующей планетарным геомагнитным возмущениям, в изменениях ТПО Мирового океана.

4. Многолетнее запаздывание реакции ТПО на изменения *aa* предположительно объясняется временем передачи возмущений в океане с больших глубин на поверхность.

5. Связь изменений ТПО с солнечной активностью обнаружена на Антарктическом течении над Африкано-Атлантической котловиной от южной оконечности Срединно-Атлантического хребта до плато Кергелен и над Австрало-Антарктическим поднятием.

6. На обширной территории в Южном океане вклад изменений солнечной активности в изменения ТПО составил около 50 % общей изменчивости (дисперсии).

7. Изменения солнечной активности опережают изменения ТПО на 30–37 лет.

8. Антарктическое течение является одним из ключевых регионов восприятия внешних воздействий. Южный океан уникален в том, что в его широтной зоне нет материков, препятствующих круговому зональному течению океанических вод вокруг Антарктиды. Поэтому циркумполярное Антарктическое течение — самое мощное на всей Земле, в которое вовлечены не только верхние, но и глубокие слои океана. Это течение является важной частью глобальной системы океанических течений, в которую вовлечён весь Мировой океан. Все течения объединены в один так называемый конвейер Брокера. Глобальная система океанических течений способна переносить возмущения по всему трёхмерному Мировому океану.

9. Из Южного океана колебания ТПО медленно переносятся в сторону экватора и продолжают продвижение на север в Северном полушарии с нарастающим запаздыванием. До самых крайних северных широт Земли долгопериодные колебания климата доходят через 40–47 лет. Асинхронные связи объясняют более 60 % общей дисперсии долгопериодных изменений ТПО и Т Северного полушария.

10. Асинхронные связи дают возможность получать статистические прогностические оценки будущего состояния климата Северного полушария на три-четыре десятилетия вперёд.

ГЛАВА 4. ОБЩИЕ ПРИЧИНЫ ВАРИАЦИЙ В СОЛНЕЧНОЙ И КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ

4.1. Изменения скорости вращения Земли при барицентрическом вращении Солнечной системы

Скорость осевого вращения Земли является одним из основных факторов циркуляции атмосферы и океана. По фундаментальным публикациям (Сидоренков Н.С., 2002) небольшие изменения скорости оказывают заметное влияние на перераспределение тепла и влаги в атмосфере и океане. Причины изменений осевой скорости вращения Земли могут быть внутренними (земными) и внешними (космическими). Рассмотрим возможность обнаружить влияние изменений момента инерции барицентрического вращения J на продолжительность суток LOD (Bizouard C. et al., 2019). Продолжительность суток — это величина обратная скорости вращения Земли. Искать будем отклик изменений LOD на воздействия изменений J , повторяющихся с периодом около 38 лет. Поэтому из LOD и J уберём их полиномиальные тренды 2-й степени. Коэффициент наилучшей асинхронной корреляции между полученными отклонениями от трендов LOD и J оказался $-0,57$ при сдвиге на 43 года. Изменения продолжительности суток LOD запаздывают на 43 года относительно изменений момента инерции J . На рис. 4.1 отклонения LOD от тренда обозначены $dLOD$, а отклонения J от тренда показаны с обратным знаком, сдвинуты на 43 года и обозначены dJ . На рис. 4.1 при сдвиге графика dJ к 1940 году на горизонтальной оси отнесено значение dJ за 1897 год, к 1941 году — значение за 1898 год и т.д.

Наличие 38-летней волны в индексе J даёт также положительную связь между $dLOD$ и dJ при сдвиге на 5 лет, но такая связь слабее. Учитывая также ранее полученные оценки запаздывания изменений ТПО на основных океанических течениях относительно J на величину около 43 лет, из двух оценок 5 лет и 43 года, видимо,

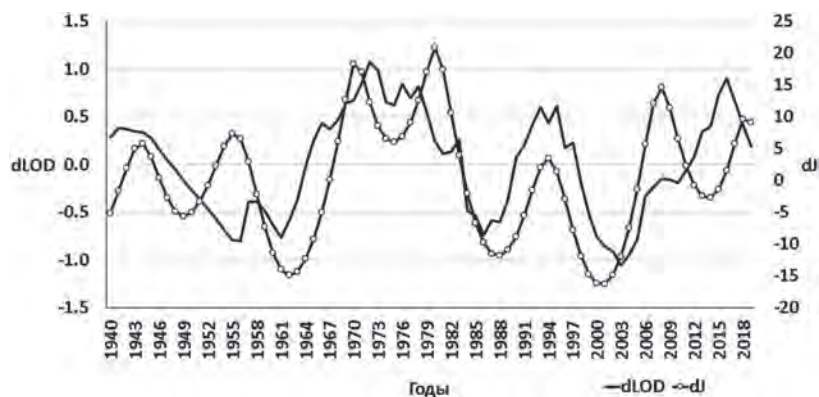


Рис. 4.1. Отклонения от трендов момента барицентрического вращения Солнечной системы (с обратным знаком) dJ и продолжительности суток $dLOD$ с запаздыванием на 43 года

следует признать правильной оценку запаздывания изменений LOD на 43 года.

Обнаруженная связь показывает, что увеличению момента инерции барицентрического вращения соответствует увеличение скорости осевого вращения Земли с запаздыванием на 43 года.

4.2. Изменения температуры поверхности океана при изменениях скорости вращения Земли

Оценим связь изменений ТПО в узлах географической сетки с изменениями скорости осевого вращения Земли (продолжительности суток LOD). О существовании таких связей сообщалось неоднократно по локальным исследованиям. В работе (Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., 2003) были рассмотрены связи изменений температуры поверхностного слоя воды и уровня моря нескольких прибрежных станций Атлантического и Тихого океанов с вариациями угловой скорости вращения Земли и обнаружены тесные связи между ними (коэффициент корреляции — 0,70–0,82). Там же сделан вывод о том, что и в динамических процессах Мирового океана в его крупномасштабных течениях, как и в глобальной атмосферной циркуляции, присутствуют возмущения, подобные вариациям скорости вращения Земли.

Наши более подробные исследования подтвердили основной вывод о связи изменений ТПО с вариациями скорости вращения Земли и позволили выявить дополнительные важные особенности.

Вычислены асинхронные корреляции между продолжительностью суток LOD и изменениями ТПО в узлах географической сетки Земли $2 \times 2^\circ$ по данным за 1935–2020 гг. (ERSST V5, ссылка в списке литературы). Значения LOD (Bizouard C. et al., 2019) были предварительно сглажены по скользящим трём годам. Возможное запаздывание (сдвиг) колебаний ТПО задавалось от 0 до 10 лет. В каждом узле из ансамбля асинхронных коэффициентов корреляции выбирался максимальный по модулю коэффициент и фиксировался сдвиг, при котором он был получен. На рис. 4.2 показаны поля коэффициентов корреляции $R > 0,6$ и $R < -0,6$. Цифрами показаны сдвиги, при которых они были получены.

В Северном полушарии наилучшими отрицательными связями LOD с ТПО ($R < -0,75$) оказались на тёплом течении Гольфстрим — на его квазизональном участке траектории при прохождении Гольфстрима над Срединно-Атлантическим хребтом (сдвиг — 0). И второй очаг наилучших отрицательных корреляций ($R < -0,75$) оказался на Северо-Атлантическом течении между Исландией и Великобританией (сдвиг — 1–2 года). Указанные районы наилучших

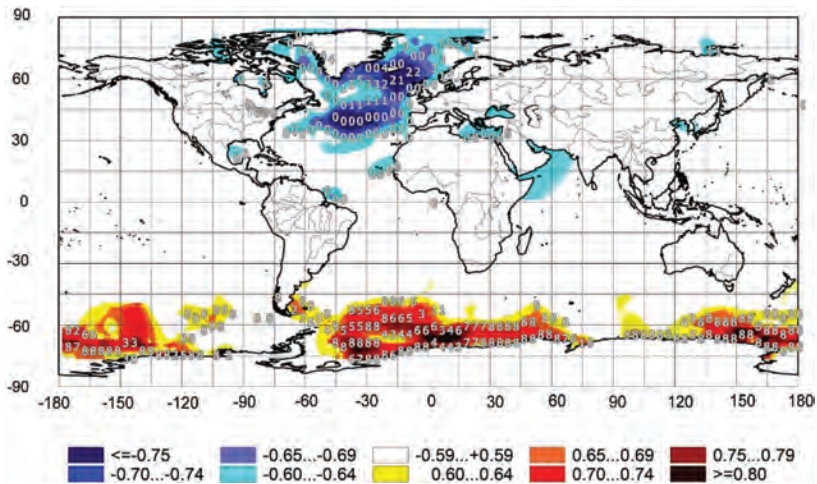


Рис. 4.2. Асинхронные коэффициенты корреляции между ТПО и LOD

квазисинхронных связей приходится на участки наименьших глубин океана на траекториях течений.

В Южном полушарии наилучшими асинхронные положительные связи LOD и ТПО ($R > 0,75$) оказались на квазизональном циркумполярном холодном Антарктическом течении над Африканско-Антарктической котловиной в Атлантическом и Индийских океанах, а также в западной и центральной частях юга Тихого океана в местах пересечения Антарктическим течением Австрало-Антарктического поднятия и Южно-Тихоокеанского поднятия. В Южном океане изменения ТПО отстают от изменений LOD на 3–5 лет в узлах с корреляцией $R > 0,7$. Запаздывание изменений ТПО на 3–5 лет на Антарктическом течении предположительно связано с большой массой воды, вовлечённой в Антарктическое течение (почти до дна глубина от 2000 до 4000 метров и более) и её динамической и тепловой инерционностью.

На рис. 4.3 показан пример отрицательной связи в Северном полушарии в узле 62° с.ш. и 10° з.д. Коэффициент корреляции $R = -0,85$ между ТПО и LOD при запаздывании ТПО на один год.

На рис. 4.4 показан пример положительной связи в Южном полушарии в узле с координатами 64° ю.ш. и 10° в.д. Коэффициент корреляции между ТПО и LOD $R = 0,83$ при запаздывании ТПО на три года.

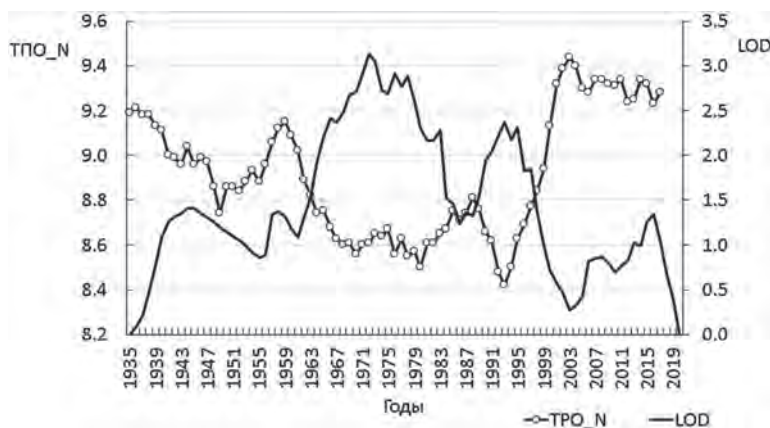


Рис. 4.3. Изменения ТПО в избранном узле Северного полушария (ТПО_N) и LOD в узле с отрицательной связью с координатами 62° с.ш. и 10° з.д. Кривая LOD сдвинута на один год. Шкала времени соответствует изменениям ТПО_N.

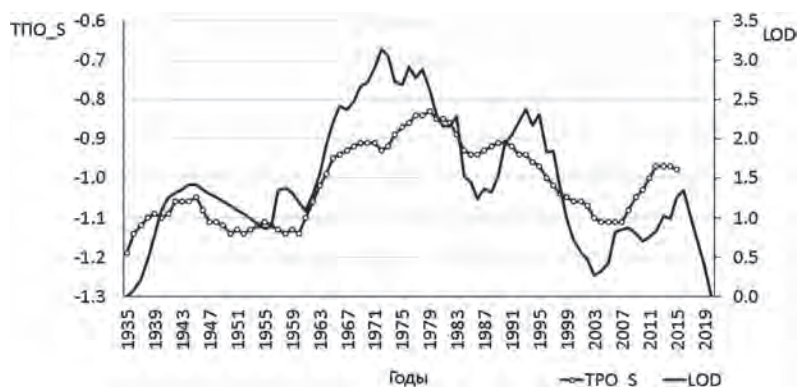


Рис. 4.4. Изменения ТПО в избранном узле Южного полушария (ТПО_S) и LOD в узле с положительной связью с координатами 64° ю.ш. и 10° в.д. Кривая LOD сдвинута на три года. Шкала времени соответствует изменениям ТПО_S.

Выполненный анализ показал, что изменения скорости осевого вращения Земли сопровождается изменениями ТПО с запаздыванием от одного до пяти лет преимущественно на траекториях основных зональных океанических течений Северного и Южного полушарий Земли. Замедление вращения сопровождается в Северном полушарии ослаблением выноса тепла из низких широт в высокие (температура понижается), а в Южном полушарии при замедлении осевого вращения Земли ослабевает выход холодных вод на поверхность океана на холодном Антарктическом течении (температура повышается).

4.3. Вариации климата при изменении притока солнечной радиации

Распределение инсоляции по Земле (без учёта атмосферы) зависит от трёх орбитальных характеристик: эксцентриситета орбиты, наклона оси вращения и положения точек равноденствия. Наиболее полный учёт всех зависимостей инсоляции от орбитальных характеристик и формы Земли достигнут в работах В.М. Фёдорова с соавторами. Ими также описаны связи изменения климата с изменениями инсоляции. Обобщающие результаты собраны в монографиях (Фёдоров В.М., 2002; Фёдоров В.М., 2018). Установлено (Фёдоров В.М., 2002;

Фёдоров В.М., 2018), что при общем малом сокращении приходящей к земному эллипсоиду за тропический год солнечной энергии в районах южнее 45° широты каждого полушария проявляется более заметная тенденция к увеличению, но на широтах севернее 45° с.ш. и на широтах южнее 46° ю.ш. проявляется тенденция к сокращению инсоляции. В результате усиливается контрастность инсоляции экватор – полюс. Тенденция усиления широтной контрастности в инсоляции Земли связана со сверхвековой тенденцией уменьшения наклона оси вращения Земли. Под инсоляционной контрастностью автором работы (Фёдоров В.М., 2018) понимается разность между годовой инсоляцией на широтах $0-45^\circ$ и на широтах $45-90^\circ$ в полушариях. Эта величина отражает разность между инсоляцией в области источника тепла и инсоляцией в области стока тепла. Исследования показали, что многолетние изменения (тренды) температуры воздуха и температуры поверхности океана всей Земли и полушарий характеризуются тесными положительными корреляционными связями с многолетними изменениями инсоляционной контрастности и отрицательными связями с многолетними изменениями угла наклона земной оси (Фёдоров В.М., 2002; Фёдоров В.М., 2018; Фёдоров В.М., 2020).

Солнечная радиация является основным источником энергии для всех процессов в климатической системе, определяющих погоду и климат. Количество солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы, определяется светимостью Солнца и астрономическими параметрами Земли. Ставилась задача оценить возможные изменения ТПО в разных частях Мирового океана в связи с вариациями инсоляции Земли при циклических изменениях наклона оси вращения Земли. Рассматривались изменения наклона оси вращения, связанные с небесной механикой.

Расчёты инсоляции выполнены (Фёдоров В.М., Костин А.А., 2019) по данным высокоточных астрономических эфемерид (Giorgini J.D. et al., 1996) для всей поверхности Земли (без учёта атмосферы) за 1800–2050 гг. Исходными астрономическими данными для расчётов инсоляции были склонение и эклиптическая долгота Солнца, расстояние от Земли до Солнца, разность хода равномерно текущего (координатного времени) и всемирного корректируемого времени. Поверхность Земли аппроксимировалась эллипсоидом (Moritz H.,

1979). Изменение активности Солнца не учитывалось. Светимость Солнца задавалась константой. Настоящий раздел подготовлен по материалам (Шерстюков Б.Г. и др., 2020).

В работе использовались среднегодовые значения ТПО в узлах географической сетки через два градуса по широте и долготе за 1950–2019 гг., вычисленные по месячным значениям из массива ERSST версия 5 (ERSST V5, ссылка в списке литературы). Авторы массива предупреждают, что из-за редких данных в первые годы значения ТПО в эти годы менее надёжны. После 1880 года данные стали лучше, надёжными данные стали после 1940-х гг. Массив данных ERSST больше подходит для исследования крупномасштабных долгопериодных изменений ТПО, так как мелкомасштабные и короткопериодные вариации в массиве сглажены. Для большей надёжности результатов в наших исследованиях использовались данные ТПО начиная с 1950 по 2019 год.

Привлекался ряд месячных данных индекса Nino4 за 1950–2019 гг. (Nino4, ссылка в списке литературы). По этим данным был вычислен ряд среднегодовых значений Nino4.

Временные ряды значений ТПО, индекса Nino4 и данных об инсоляции были сглажены методом скользящих средних по пятилетиям с целью выделения и дальнейшего анализа долгопериодных вариаций. Предполагалось, что изменение суммарной для всей Земли инсоляции может сопровождаться перестройкой крупномасштабной океанической циркуляции, обладающей большой инерционностью. А короткопериодные вариации ТПО на поверхности океана могут вызываться другими термодинамическими процессами независимо от вариаций глобальной инсоляции. От таких поверхностных короткопериодных вариаций ТПО необходимо было избавиться.

Многолетний ход инсоляции после проведения скользящего сглаживания по пятилетиям показан на рис. 4.5. Многолетние тренды также были удалены из рассматриваемых рядов с целью поиска связей между вариациями рассматриваемых характеристик. Допускалось запаздывание отклика изменений ТПО на изменение притока солнечной радиации, поэтому применялся метод асинхронного корреляционного анализа. Ставилась задача поиска регионов в Мировом океане с наиболее заметным влиянием межгодовых вариаций инсоляции на

ТПО. Для каждого узла сетки вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции между сглаженными значениями инсоляции всей Земли (без трендов) и сглаженными значениями ТПО (без трендов) в узлах географической сетки. Определялись значения запаздывания (количество лет) отклика вариаций ТПО в каждом узле на вариации инсоляции. Запаздывание отклика изменений ТПО определялось в каждом узле по сдвигу при максимальном асинхронном коэффициенте корреляции. На рис. 4.5 показаны изменения общей среднегодовой инсоляции Земли (I), сглаженной по скользящим пятилетиям

Рис. 4.5 демонстрирует чёткие циклы инсоляции со средней длительностью 11,7 лет и слабый многолетний тренд уменьшения инсоляции.

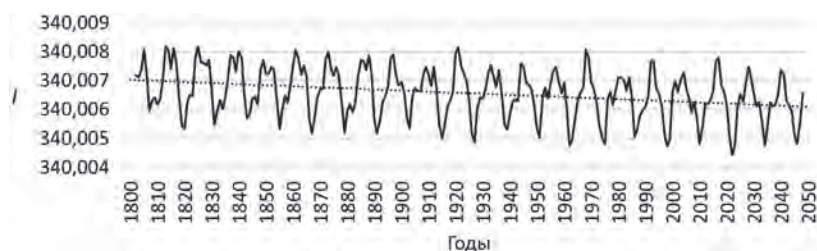


Рис 4.5. Общая среднегодовая инсоляция Земли (I), сглаженная по скользящим пятилетиям

О многолетней инерционности процессов в океане хорошо известно. По некоторым оценкам запаздывание изменений температуры в океане на внешнее воздействие может достигать 30–40 лет (Бялко В.А., 2012; Smith et al., 2008; Swingedouw D. et al., 2011). Однако время запаздывания при разных внешних воздействиях может сильно отличаться. Оно зависит от глубины океана, от массы воды, которая участвует в анализируемых процессах и явлениях, а также от региона.

Асинхронные коэффициенты корреляции вычислялись при сдвигах (запаздывание вариаций ТПО) от 0 до 40 лет. При сдвигах не уменьшалось количество парных членов рядов, по которым выполнялись вычисления, так как ряд инсоляции начинался (с 1800 года) заведомо много раньше 1950 года.

Подсчитывалось количество полученных по всем узлам сетки значимых наилучших асинхронных коэффициентов корреляции

отдельно положительных ($R > 0,45$) и отрицательных ($R < -0,45$). Оказалось, что количество узлов с отрицательной асинхронной корреляций примерно в 100 раз больше количества узлов с положительной корреляцией. Почти все наилучшие корреляции оказались при сдвигах 6 и 18 лет. Это означает, что запаздывание реакции ТПО на изменения инсоляции составляет преимущественно 6 лет, а сдвиг 18 лет является статистическим эффектом от наличия 11,7-летней цикличности в инсоляции. Осталось узнать локализацию наилучшего отклика вариаций ТПО на вариации инсоляции. Для этого была построена карта асинхронных коэффициентов корреляции инсоляции и ТПО при запаздывании вариаций ТПО на 6 лет (рис. 4.6).

На карте (рис. 4.6) видно, что вариации инсоляции сопровождаются (с запаздыванием на 6 лет) вариациями ТПО в Тихом океане в области Северного пассатного течения и в западной части Межпассатного экваториального противотечения. Отрицательные коэффициенты корреляции достигают значений $-0,5$.

Район экваториального противотечения известен как место появления Эль-Ниньо и Ла-Нинья. В западной части океана выделяют район Nino4: 5° с.ш. – 5° ю.ш. и 160 – 210° в.д. (Гущина Д.Ю., 2008; Матвеева Т.А. и др., 2018). Явление Эль-Ниньо с аномалиями ТПО в западной и центральной части Тихого океана, в отличие от

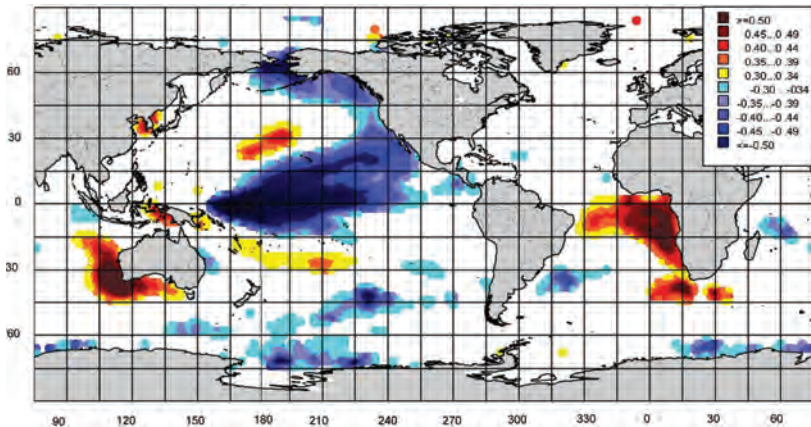


Рис 4.6. Коэффициенты корреляции между вариациями суммарной инсоляции Земли и ТПО с запаздыванием вариаций ТПО на 6 лет

канонического Эль-Ниньо, развивающегося на востоке (Петросянц М.А., Гущина Д.Ю., 2007), получило название Эль-Ниньо Модокс (Ashok K. et al., 2007). Слово «модокс» означает, что это не совсем похожее на классическое явление Эль-Ниньо. На Межпассатном экваториальном противотечении в узле 2° ю.ш. и 164° в.д. коэффициент корреляции оказался $R = -0,74$ при запаздывании изменений ТПО на 6 лет. Корреляция значима на 95 % уровне.

В Атлантическом океане в районе Южного Пассатного течения (вблизи Африки) и в районе Межпассатного противотечения в Атлантике наблюдается область положительной корреляции ТПО с инсоляцией при запаздывании вариаций ТПО на 6 лет. В узле 14° ю.ш. и 8° в.д. коэффициент корреляции $R = +0,65$. В Индийском океане в районе Западно-Австралийского течения (западнее Австралии) корреляция тоже положительная. В узле 36° ю.ш. и 114° в.д. коэффициент корреляции оказался $R = +0,63$. Корреляция значима на 95 % уровне.

На рис. 4.7 показано изменение сглаженных по 5-летиям значений инсоляции (dl) и индекса Nino4 (dNino4). Вариации Nino4 запаздывают, поэтому на рисунке кривая инсоляции сдвинута на 6 лет. Годы на горизонтальной оси соответствуют значениям вариаций Nino4. Значение инсоляции 1944 года на графике отнесены к 1950 году и т.д.

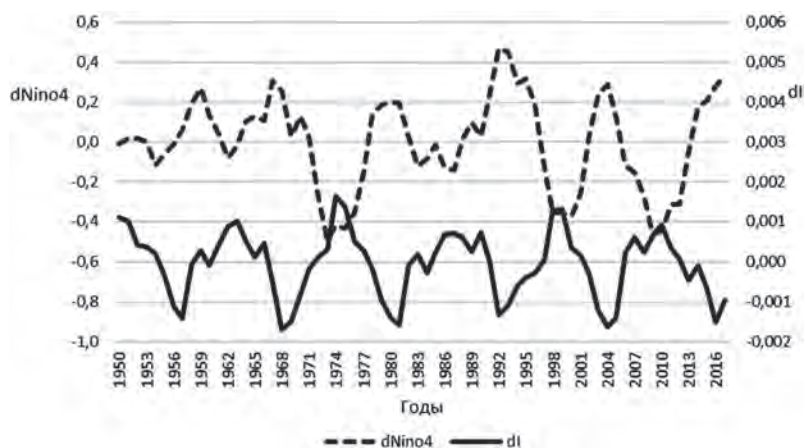


Рис. 4.7. Изменение отклонений от трендов инсоляции (dl) и индекса Nino4 (dNino4), сглаженных по 5-летиям. График инсоляции сдвинут на 6 лет.

Коэффициент асинхронной корреляции между инсоляцией и индексом Nino4 составил $R = -0,64$. Оценка по уравнению регрессии показала, что вклад вариаций инсоляции в вариации среднегодового сглаженного индекса Nino4 составил 41 % от его изменчивости.

Другой расчёт коэффициента корреляции между вариациями среднегодовых значений инсоляции и индекса Nino4 без предварительного сглаживания этих рядов при том же запаздывании Nino4 на 6 лет дали коэффициент $R = -0,25$. Это подтверждает исходное предположение о том, что в формировании Эль-Ниньо и Ла-Нинья участвуют не только вариации инсоляции, но и другие факторы.

Выполненные исследования показали, что вариации инсоляции, вызванные циклическими изменениями наклона оси вращения Земли, сопровождаются с запаздыванием на 6 лет изменениями температуры поверхности Тихого океана в области Северного пассатного течения и на Межпассатном экваториальном противотечении, а также в Атлантическом океане — в районе Южного Пассатного течения и Межпассатного противотечения и в Индийском океане в районе Западно-Австралийского течения.

Сравнение вариаций индекса Nino4 с вариациями инсоляции подтвердило наличие связи между ними. При этом достоверная статистическая связь обнаружена только на долгопериодных вариациях (периоды вариаций более пяти лет), а с учётом короткопериодных вариаций связь между вариациями глобальной среднегодовой инсоляции и вариациями в среднегодовых данных Nino4 практически теряется.

4.4. Тепло в океанах на разломах земной коры

По мнению авторов работы (Клиге Р.К., Школьный Д.И., 2016) концепция о решающем влиянии изменяющегося газового состава атмосферы в результате антропогенной деятельности не может считаться достаточно убедительной, так как при этом игнорируются такие важные факты, как нарастание водяного пара в атмосфере, являющегося самым мощным парниковым газом, а также увеличение облачности и ряд других моментов, таких как нарастание тектонических процессов и вулканизма, о чём свидетельствуют исследования (Гущенко Н.И., 1979; Эйби Дж.А., 1982).

По данным (Клиге Р.К., Школьный Д.И., 2016), развивающееся потепление в Мировом океане происходит одновременно с нарастанием вулканической деятельности, которая охватывает как территорию суши, так и в значительной степени территорию морского дна. Так, положительное развитие вулканизма стало характерным для такого огромного региона, как Тихоокеанский бассейн.

Обработка временных рядов по количеству вулканических извержений за последние 200 лет в разных частях Тихого океана показала (Гамбурцев А.Г., Гамбурцева Н.Г., 1998), что в районе Индонезии, Курил, Японии, Филиппин, Камчатки, Северной и Южной Америки, Аляски, Алеутских островов, Марианских и Гавайских островов, хотя и имеются определённые различия по характеру колебаний активности вулканов, общая тенденция проявляется достаточно определённо к возрастанию вдвое количества действующих вулканов с увеличением их активности за последние 200 лет. Большинство вулканов находятся на дне Мирового океана, и его площадь больше, по сравнению с территорией суши, почти в 2,5 раза. Исследования В.Е. Хаина и Э.Н. Халилова (Хаин В.Е., Халилов Э.Н., 2009) показали, что на дне океанов существуют обширные зоны вулканической деятельности, особенно в районе срединных океанических хребтов, а также в местах многочисленных разломов в земной коре, в поясах сжатия океанских рифтовых зон и внутриплиточных районов. Дно океана является областью интенсивных магматических проявлений, вносящих огромный вклад в энергетический баланс планеты и оказывающих соответствующее влияние на состав гидросферы. Особенно это заметно в самой горячей зоне срединно-океанических хребтов, площадь которых составляет около 15 % всего океанического дна. Срединно-океанические хребты — это величайшие горные системы Земли, протянувшиеся через Арктический бассейн, Норвежское море, Атлантический, Индийский, Южные океаны и через южную часть Тихого океана.

Б.Хизен и П.Д. Фокс (Хизен Б., Фокс П.Д., 1974) показали, что широкая средняя часть срединно-океанических хребтов характеризуется тепловым потоком со значениями выше среднего и что имеются узкие зоны очень высоких значений теплового потока. Помимо экстремальных значений потоков, связанных с отдельными хребтами, имеется громадной протяжённости аномальная

геотермическая зона вдоль западной окраины Тихого океана, которая является следствием единых по механизму и характеру геодинамических процессов, охватывающих всю зону северного, западного и юго-западного сопряжений Тихого океана и расположенных по периферии континентов (Деменицкая Р.М., 1975).

По сведениям из (Клиге Р.К., Школьный Д.И., 2016), исследования А.К. Поповой и других позволили установить, что в Северной Атлантике общие потери тепловой энергии в узкой полосе рифтовой зоны достигают 500 мВт/м². При этом оценка кондуктивных потерь тепла составляет около 20 %, вынос тепла магмой — 50 %, а гидротермами — 30 %. Установлено также, что трансформные разломы в осевой части хребта также выделяются относительно стабильными и аномально высокими значениями теплового потока.

Изучение активных частей Срединно-Атлантического хребта в районе Исландии дали возможность выделить (Иванов В.В., Конов В.И., 1977) особый тип «рифтовых водородных терм», в газовом составе которых в значительной степени присутствует водород мантийного происхождения с температурами до 300 °С. Отмечается в отдельных очагах разгрузки вынос тепла до 108 ккал/с с кипением и образованием газовой-пароводяных струй. Подобные горячие выходы обнаружены и американской экспедицией в восточной части Тихого океана (Spiess F.N. et al., 1980). Там был зафиксирован гидротермальный источник с температурой воды 360 ± 20 °С с голубоватым фонтаном мутной воды, изливавшейся из конусов донных отложений.

По мнению (Клиге Р.К., Школьный Д.И., 2016), происходящее в настоящее время развитие вулканизма на большей части дна океана и вызывающее нарастание теплосодержания его водной массы является основной причиной увеличения температуры морской поверхности.

Крупномасштабные тепловые изменения, как в океане, так и на территории суши, одновременно стали приводить к коренным изменениям всего глобального водообмена. Начало быстро возрастать испарение с водной поверхности океана, которое за последние 30 лет возросло более чем на 10 %. Развитие комплекса глобальных природных процессов на земной поверхности позволяет выявить их тесную взаимосвязь с динамикой развивающихся гелиокосмических факторов и геофизических показателей Земли, определяющих

положительное развитие тектоники и вулканической активности (Клиге Р.К., Школьный Д.И., 2016) .

К аналогичным выводам пришли авторы (Осика Д.Г. и др., 2011), которые указывают, что определяющими факторами наблюдаемых климатических аномалий, вплоть до стихийных бедствий, являются громадные выбросы аномального тепла и парниковых газов в связи с усилением сейсмической активности, начавшейся в последней четверти XX века. В работе (Смольков Г.Я. и др., 2013) при исследовании изменений региональных среднегодовых температур с 1830 по 2010 год сделан вывод о связи изменений температуры с эндогенной активностью Земли и внутренним энергетическим обменом. Основным механизмом эндогенной активности Земли, по мнению тех же авторов, является механизм дополнительных циклических взаимодействий оболочек небесного тела и их вынужденной относительной раскачки из-за гравитационного воздействия больших планет. Смещения жидкого ядра, мантии и других оболочек Земли, их циклические изменения с периодами космических воздействий порождают вариации магнитного поля Земли, внутреннего теплового потока и других физических полей с теми же самыми периодами. Силы взаимодействия оболочек Земли значительны и могут служить в качестве основного энергетического источника всех геодинамических и геофизических процессов и обеспечивать их временные вариации (Баркин Ю.В., 2002; Баркин Ю.В., Клиге Р.К., 2012; Хаин В.Е., Халилов Э.Н., 2009).

Энергия относительных внутренних деформаций Земли черпается из энергии орбитального движения Луны, Солнца и планет. Часть этой энергии расходуется на тектоническую деятельность, включая мантийную конвекцию и движение плит, на формирование теплового потока и др. Циклический обмен энергии обуславливает циклические возобновления активности различных природных процессов на Земле (Смольков Г.Я. и др., 2013).

По результатам исследования авторы (Осика Д.Г. и др., 2013) пришли к выводу о том, что главным поставщиком повышения тепла в атмосфере является сейсмичность плюс синхронные выбросы парниковых газов эндогенного происхождения, которые также несут с собой геотермальную энергию. По оценкам тех же авторов, геотермальные выбросы от сейсмичности на 2–3 порядка выше,

чем в связи с вулканизмом. Эти тепловые выбросы оказывают заметное влияние на температуру воздуха в планетарном масштабе. Кроме того, выбросы геотермальной энергии в связи с сейсмичностью происходят не одномоментно, как в случае с вулканизмом, а длительно — в течение 2–3 лет. Эти потоки аномального тепла постепенно распространяются на другие регионы, приводя к росту среднегодовых температур по всей планете. Тепло из недр в связи с сейсмичностью выносится парами воды, газами, термальными водами, распространяющимися по трещинам и мелким нарушениям осадочного чехла. Этим обуславливается высокая скорость и значительные площади распространения геотермальных и климатических аномалий (Осика Д.Г. и др., 2013).

Во всех приведённых публикациях показано, что при повышении сейсмичности из недр Земли выделяется дополнительное тепло в океан или атмосферу, которое не связано с солнечной радиацией. Попутно из недр выделяется водяной пар и другие парниковые газы, которые способствуют усилению природного парникового эффекта и дополнительному удержанию тепла в нижней атмосфере. Количественные оценки показали, что этого дополнительного тепла достаточно для усиления потепления климата.

Важно заметить, что ключевыми регионами выброса эндогенного тепла и парниковых газов являются обширные зоны сейсмической и вулканической деятельности, особенно в районах срединных океанических хребтов, а также в местах многочисленных разломов в земной коре и поясах сжатия океанских рифтовых зон. Это именно те зоны, связанные с рельефом, в которых ранее в разделах 2.1, 3.2, 4.1, 4.2 отмечались неслучайные связи изменений ТПО с солнечной и геомагнитной активностью, с динамическими возмущениями Земли из-за барицентрического вращения Солнечной системы.

4.5. Цикличность солнечной активности

Самым ярким проявлением цикличности солнечной активности является 11-летний цикл. Ещё в середине XIX века самим Р. Вольфом была предложена гипотеза о том, что цикличность солнечной активности вызывается приливными воздействиями планет Солнечной системы. Гипотеза возникла на том основании, что цикл

солнечной активности близок к периоду обращения Юпитера вокруг Солнца (11,7 года) (Витинский Ю.И., 1983). Влияние динамического влияния на процесс образования солнечных пятен неоднократно рассматривалось рядом авторов. Некоторые факты, такие как отсутствие пятен в высоких широтах, экваториальная симметрия пятен, появляющихся в Северном и Южном полушариях Солнца и т.д., подтверждают предположение о том, что механизм, определяющий характеристики солнечных циклов, может регулироваться воздействием больших планет. При этом предполагался механизм воздействия через приливные силы. Однако сопоставление данных наблюдений с моделированием компонентов приливной силы, влияющих на конвективную зону Солнца, не подтвердило предположения. К.П. Бутусовым (Бутусов К.П., 2011) был предложен другой механизм влияния планет на солнечную активность, согласно которому под действием изменяющегося момента вращения Солнца относительно барицентра Солнечной системы происходит перекачка орбитального момента Солнца в его вращательный момент, а изменения в дифференциальном вращении самого Солнца сопровождаются изменениями площади пятен на Солнце пропорционально скорости изменения орбитального момента Солнца. Известно также о существовании резонансов между внутрисолнечными процессами и циклическими движениями планет (Шугрин С.М., 1999). Сами планеты не могут создавать солнечную активность, они только стимулируют её появление, как бы служат её спусковым механизмом. Исходные же её причины лежат в самом Солнце.

Пока не ясно, на каких глубинах в Солнце зарождается солнечная активность. Ещё раньше А.И. Хлыстов (Хлыстов А.И. и др., 1992) высказал предположение о том, что «в результате иррегулярного движения Солнца относительно барицентра Солнечной системы в его глубинах возникают переменные напряжения, а на границах различных оболочек возникают течения вещества, приводящие к изменениям давления, температуры, вязкости, электропроводности и других физических характеристик». По предположению (Хлыстов А.И. и др., 1992), эти изменения происходят в конвективной зоне Солнца. Однако наши сравнения многолетних изменений индекса инерционности барицентрического вращения с циклами солнечной активности не позволили

обнаружить устойчивых асинхронных связей между ними при сдвигах от 0 до 60 лет, при том, что в цикличностях каждой из этих характеристик много общего. Возникает предположение о том, что связи могут существовать при ещё больших запаздываниях появления солнечных пятен относительно возмущений Солнца в его барицентрическом вращении, величину запаздывания которых пока не удалось установить. Возможно, при правильном сдвиге удалось бы получить согласованность циклов солнечной активности с циклическими изменениями момента барицентрического вращения Солнечной системы.

Ядро Солнца содержит почти половину его массы, поэтому силы, возникающие при барицентрическом вращении, в большей мере относятся именно к ядру Солнца. Тогда и возмущения должны возникать на границе ядра и зоны излучения, которой окружено ядро. Далее излучение путём медленной диффузии выходит наружу в сторону поверхности Солнца. Тепло передаётся за счёт процесса многократного поглощения и излучения атомами квантов электромагнитного излучения. Выделенное на границе ядра тепло проходит через всю звезду и излучается на поверхности в виде светового потока. Происходит медленная диффузия теплового потока, пока он не дойдёт до границы радиационной зоны. В целом фотонам нужны миллионы лет, чтобы пройти через радиационную зону при их постепенном распространении наружу (Мирошниченко Л.И., 2011). На границе зоны механизм передачи тепла излучением меняется на более эффективный конвективный перенос. Внешняя конвективная зона наполнена турбулентной горячей плазмой, вырывающейся в фотосферу Солнца, на которой наблюдают пятна и по которым определяют числа Вольфа. Учитывая время, необходимое на преодоление расстояния от ядра Солнца к его поверхности, получается, что мы наблюдаем на Солнце пятна, обусловленные изменениями процессов в ядре Солнца за миллионы лет до нашего времени. Возможно, по этой причине синхронное сравнение изменений планетных конфигураций и изменений чисел Вольфа показывают близкие циклы, но по фазе они не совсем совпадают. Возможно, точное соответствие циклических воздействий планет на числа Вольфа можно было бы обнаружить при асинхронных сравнениях со сдвигом на миллионы лет, но такой возможности мы не имеем.

Итак, обобщая полученные результаты и высказанные предположения, можно допустить, что первопричиной цикличности солнечной активности (так же, как сейсмичности на Земле и изменений ТПО в связи с барицентрическим вращением Солнечной системы) в той или иной степени являются циклические движения планет и возникающие динамические силы, приложенные к Солнцу и Земле. Если это действительно так, то это бы соответствовало общей гармонии устройства Солнечной системы.

4.6. Основные результаты главы 4

1. Барицентрическое вращение Солнечной системы сопровождается циклическими изменениями не только океанических течений, но и изменениями скорости осевого вращения всей Земли. Увеличению момента инерции барицентрического вращения соответствует увеличение скорости осевого вращения Земли с запаздыванием на 43 года.

2. Изменения скорости осевого вращения Земли сопровождаются изменениями ТПО в разных частях Мирового океана. В Северном полушарии наилучшими отрицательные связи ТПО с продолжительностью суток оказались на тёплом течении Гольфстрим — на его квазизональном участке траектории при прохождении Гольфстрима над Срединно-Атлантическим хребтом (синхронные связи) и на Северо-Атлантическом течении между Исландией и Великобританией на участке наименьших глубин океана (запаздывание ТПО — 1–2 года). В Южном полушарии наилучшие положительные связи оказались на квазизональном циркумполярном холодном Антарктическом течении над Африканско-Антарктической котловиной в Атлантическом и Индийском океанах, а также в западной и центральной частях юга Тихого океана в местах пересечения Антарктическим течением Австрало-Антарктического поднятия и Южно-Тихоокеанского поднятия. В Южном океане изменения ТПО отстают от изменений продолжительности суток на 3–5 лет в узлах. Большое запаздывание предположительно связано с большой массой воды, вовлечённой в Антарктическое течение (почти до дна в слое от 2000 до 4000 метров и более) и её динамической и тепловой инерционностью.

3. Замедление вращения сопровождается в Северном полушарии ослаблением выноса тепла из низких широт в высокие (температура

понижается), а в Южном полушарии при замедлении осевого вращения Земли ослабевает выход холодных вод на поверхность океана на холодном Антарктическом течении (температура повышается).

4. Многолетняя тенденция уменьшения наклона земной оси и усиления разности притока солнечной радиации между экватором и полюсом сопровождается сверхвековым трендом потепления климата.

5. Вариации инсоляции, вызванные циклическими изменениями наклона оси вращения Земли, сопровождаются с запаздыванием на 6 лет изменениями температуры поверхности Тихого океана в области Северного Пассатного течения и на Межпассатном экваториальном противотечении. По долгопериодным вариациям индекса Nino4 (периоды более пяти лет) обнаружена его связь с вариациями инсоляции.

6. В результате накопленных сведений по данным наблюдений возникло предположение, требующее глубокого изучения, о том, что самой общей причиной всех долгопериодных колебательных процессов, касающихся климата Земли, являются возмущения, связанные с барицентрическим вращением Солнечной системы. Эти возмущения сопровождаются на Земле изменениями наклона земной оси, изменениями скорости осевого вращения Земли, изменениями глобальной океанической циркуляции и общей циркуляции атмосферы с перераспределением тепла и влаги по планете. В результате тех же общих причин в теле Земли возникают напряжения, которые сопровождаются сейсмичностью и извержениями вулканов с выделениями эндогенного тепла Земли и парниковых газов в океан и атмосферу. Возможно, барицентрическое вращение регулирует цикличность солнечной активности и возмущения магнитного поля Земли, которые в свою очередь оказывают дополнительное воздействие на глобальную океаническую циркуляцию, перераспределение тепла и влаги по планете и цикличность многолетних колебаний климата.

Накопленные сведения о многофакторных статистических связях имеют физические предпосылки. Перезагрузку в исследованиях причин глобального потепления необходимо начинать с признания климатической системы колебательной системой, с признания открытости климатической системы и с описания внешних связей через законы взаимодействия колебательных систем.

ГЛАВА 5. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

5.1. Пространственно-временные особенности изменения климата атмосферы и океана на разных временных интервалах XX и начала XXI веков

В предыдущих главах рассматривались физические предположения для объяснения современных изменений климата через совокупность многолетних колебаний разной природы, но имеющих предположительно общее начало. Далее будут показаны особенности региональных проявлений этих изменений, которые также подтверждают их колебательный характер с многолетней историей в прошлом и с перспективой на будущее.

Проследим пространственные изменения трендов среднегодовой температуры воздуха и температуры поверхности океана по последовательным 30-летиям начиная с 1940–1969 гг. с шагом 5 лет. Для анализа использовались данные о среднегодовой ТПО в узлах географической сетки $2 \times 2^\circ$ (ERSST V5, ссылка в списке литературы) и данные о среднегодовой температуре воздуха над континентами в узлах географической сетки $5 \times 5^\circ$ (NOAAGlobalTemp V5, ссылка в списке литературы). На рис. 5.1–5.9 по интервалам лет выборочно показаны карты значений линейных трендов среднегодовой ТПО и температуры воздуха на континентах в узлах географической сетки.

Первое глобальное потепление климата Земли, наблюдавшееся в 1930-е гг., наиболее интенсивным было в Северном полушарии и особенно ярко проявилось в высоких широтах Северного полушария. Известно, что после первого глобального потепления до середины 1970-х гг. установилось временное похолодание глобального климата, которое также наиболее заметным было в Северном полушарии. Наибольший интерес представляют истоки второго глобального потепления, которое началось с середины 1970-х гг. и продолжается до сих пор. Если первое потепление климата по единодушному

мнению всех специалистов имеет природное происхождение, то второе потепление вызывает большие споры относительно причины его появления. Все исследования, выполненные по данным наблюдений, говорят о втором потеплении как о восходящей фазе очередного 60–80-летнего природного цикла колебаний. По данным математического моделирования получается, что второе глобальное потепление климата является следствием преимущественно антропогенного усиления парникового эффекта атмосферы.

Карты трендов температуры по 30-летним последовательным интервалам лет на разных участках временной шкалы позволяют получить дополнительные аргументы в пользу природного происхождения второго глобального потепления.

На представленных картах трендов видно зарождение и последующее развитие тенденций изменения климата, которые привели ко второму глобальному потеплению. После первого глобального потепления началось понижение температуры. В 1940–1969 гг. отрицательные тренды ТПО от $-0,4$ до $-0,49$ °/10 лет появились в Северной Атлантике в области Гольфстрима, в Датском проливе и в Гренландском море. На суше такие же тренды понижения температуры воздуха наблюдались в 1940–1969 гг. в северной и западной частях Северной Америки и на севере Западной Сибири (рис. 5.1).

В 1945–1974 гг. ещё сохранялись очаги понижения температуры, отмеченные ранее в Северном полушарии, но в Южном полушарии в эти годы уже начали появляться области с положительными трендами температуры (рис. 5.2).

В 1945–1974 гг. один очаг повышения ТПО со значением тренда $0,40$ – $0,49$ °/10 лет появился в Южной Атлантике на широте около 60° ю.ш. на траектории Антарктического течения в районе пересечения им Срединно-Атлантического хребта. От этого очага область потепления с трендами $0,20$ – $0,29$ °/10 лет распространилась сначала в северном направлении по нулевому меридиану вдоль Южно-Атлантического круговорота течений, а затем, опять следуя направлению круговорота течений, на широте около 20° ю.ш. область потепления расширилась в западном направлении. Здесь на широте около 20° ю.ш. над Срединно-Атлантическим хребтом потепление усилилось до $0,30$ – $0,39$ °/10 лет (рис. 5.2).

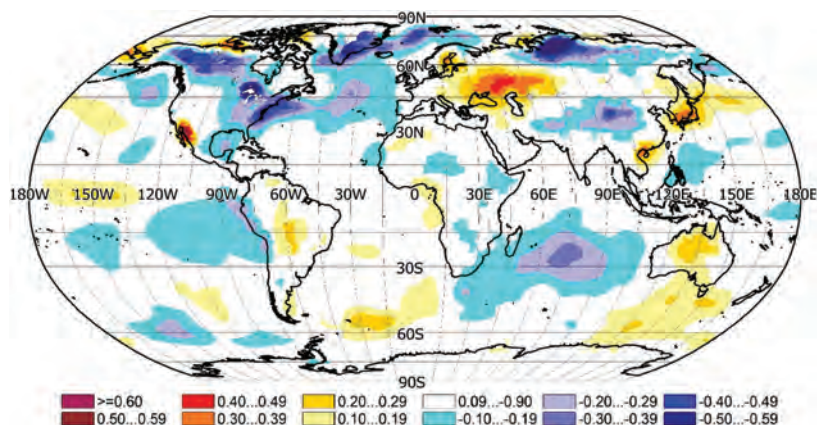


Рис. 5.1. Тренды ($^{\circ}/10$ лет) среднегодовой температуры за 1940–1969 гг. (годы начала понижения глобальной температуры после первого глобального потепления)

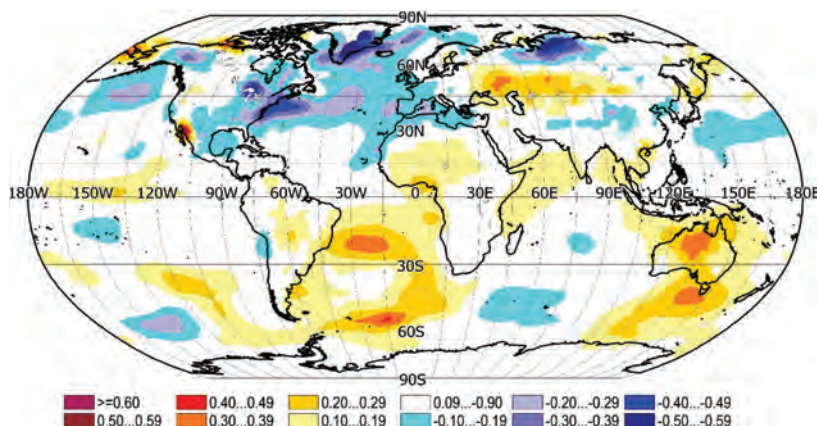


Рис. 5.2. Тренды ($^{\circ}/10$ лет) среднегодовой температуры за 1945–1974 гг. (начало второго глобального потепления в Южном полушарии)

Ещё один очаг потепления океанических вод с трендами $0,30\text{--}0,39^{\circ}/10$ лет в тех же 1945–1974 гг. наблюдался на другом участке Антарктического течения южнее Австралии на долготе около 135° в.д. над Австрало-Антарктическим поднятием. В это же время повышалась температура воздуха над Австралией на $0,30\text{--}0,39^{\circ}/10$ лет (рис. 5.2).

Итак, современное потепление климата, которое в последней четверти XX века стало глобальным, начиналось на поверхности океана в Южном полушарии на три десятилетия раньше, чем в Северном полушарии. Дальше будет показано, как область потепления в последующие годы сначала расширялась в Южном полушарии, а затем потепление распространилось и на Северное полушарие.

В связи доминированием в публикациях антропогенной гипотезы потепления климата следует указать, что связать потепление Южного океана с антропогенными парниковыми газами не представляется возможным, так как интенсивное сжигание топлива началось на три десятилетия позднее южного потепления, при этом сжигание топлива происходило преимущественно в Северном полушарии.

В 1950–1979 гг. расширилась область потепления в Южной Атлантике и усилилось повышение ТПО на Антарктическом течении, при прохождении им над Австрало-Антарктическим поднятием. А в Северной Атлантике в эти годы сократилась область отрицательных трендов.

В 1955–1984 гг. (рис. 5.3) началось более интенсивное повышение ТПО в Тихом океане на Антарктическом течении восточнее пролива Дрейка $0,40\text{--}0,49\text{ }^{\circ}/10\text{ лет}$ в области прохождения этого течения над южной оконечностью Восточно-Тихоокеанского поднятия и в Южной Атлантике, а также на Антарктическом течении

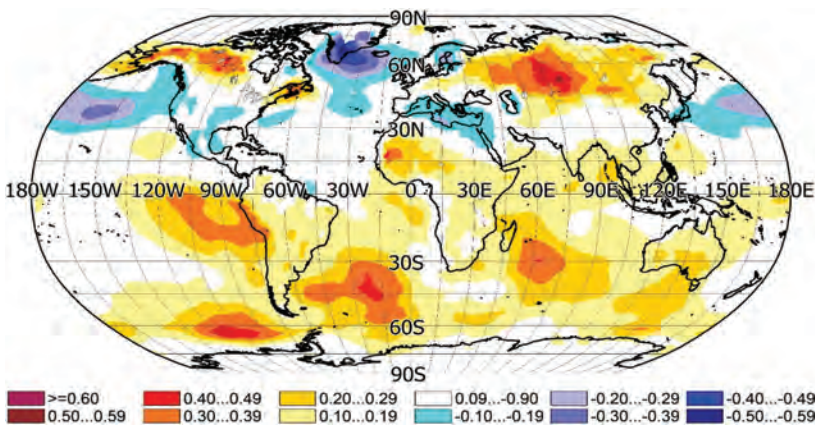


Рис. 5.3. Тренды среднегодовой температуры за 1955–1984 гг. ($^{\circ}/10\text{ лет}$)

в области пересечения им южной оконечности Средино-Атлантического хребта. Тренды температуры $0,30\text{--}0,39^\circ/10$ лет появились в эти годы в области Южно-пассатного течения в Тихом океане и в южной части Индийского океана на Антарктическом течении.

В это же время в Северном полушарии температура воздуха повышалась на $0,30\text{--}0,49^\circ/10$ лет в Западной Сибири и на северо-западе Северной Америки (рис. 5.3). Обширные области с отрицательными трендами сохранялись над средними северными широтами Тихого океана и в Северной Атлантике южнее Гренландии.

В 1955–1984 гг. происходил переход от временного понижения глобальной температуры к началу второго глобального потепления. В это время в Южном полушарии происходило почти повсеместное повышение ТПО. В Северном полушарии в эти годы ТПО понижалась, а температура воздуха повышалась над Сибирью и на северо-западе Северной Америки (рис. 5.3). Важно отметить, что повышение ТПО наиболее сильно происходило на океанических течениях, особенно в местах их прохождения над подводными хребтами и поднятиями. Подводные препятствия на пути течений способствуют более интенсивному вертикальному теплообмену в океане. Возможно, что эти изменения вертикального теплообмена являются причиной колебаний климата атмосферы.

В последующие годы (1960–1994) в Северном полушарии области с отрицательными трендами температур сократились в размерах и уменьшились значения отрицательных трендов, а области с положительными трендами стали более обширными. В Южном полушарии в эти годы (1960–1994 гг.) области положительных трендов всё больше расширялись, охватив обширные площади вплоть до экватора, при этом их значения увеличивались.

Начиная с 1965–1994 гг. (рис. 5.4) потепление стало ослабевать в Южном океане и усиливаться в приэкваториальной зоне, а также в Северном полушарии. Очаг потепления с трендами $0,40\text{--}0,49^\circ/10$ лет образовался в Тихом океане на Калифорнийском течении и на Южно-пассатном течении (рис. 5.4). Сильное повышение температуры воздуха — более чем $0,60^\circ/10$ лет происходило в эти годы на северо-западе Северной Америки и над Евразией.

Начиная с 1970–1999 гг. (рис. 5.5) положительные тренды ТПО и воздуха наблюдались на всех широтах Северного полушария.

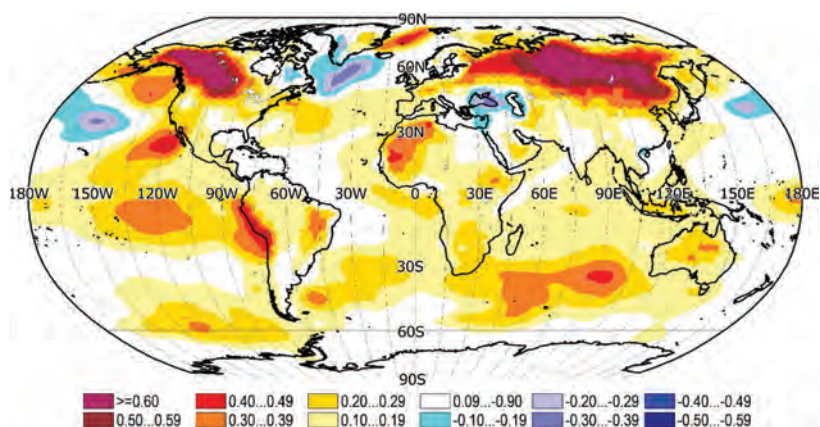


Рис. 5.4. Тренды среднегодовой температуры за 1965–1994 гг. ($^{\circ}/10$ лет)

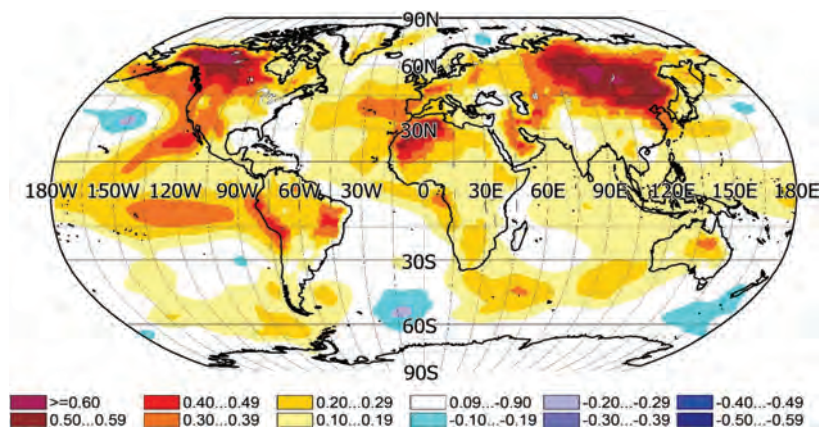


Рис. 5.5. Тренды среднегодовой температуры за 1970–1999 гг. ($^{\circ}/10$ лет)

Небольшие очаги отрицательных трендов появились в Южном океане в области Антарктического течения.

В Южном полушарии в 1970–1999 гг. начался переход к фазе понижения температуры.

В 1975–2004 гг. самые большие тренды потепления $0,50\text{--}0,59^{\circ}/10$ лет оказались над континентами Северной Америки, Азии и Африки (рис. 5.6). В Южном полушарии области с отрицательными трендами ТПО стали расширяться.

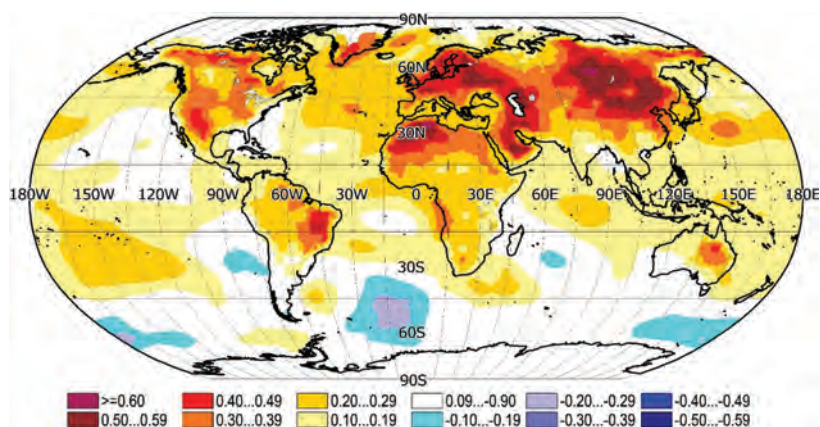


Рис. 5.6. Тренды среднегодовой температуры за 1975–2004 гг. ($^{\circ}/10$ лет)

В 1980–2009 гг. в Южном полушарии получили развитие тенденции понижения ТПО и появились области отрицательных трендов ТПО вдоль циркумполярного Антарктического течения в Тихом, Атлантическом и Индийском океанах (рис. 5.7).

В 1985–2014 и 1990–2019 гг. (рис. 5.8 и 5.9) высокие широты Северного полушария охвачены сплошным кольцом положительных трендов. В Южном океане в эти годы отрицательные тренды ТПО наблюдались только в Тихом океане на Антарктическом течении.

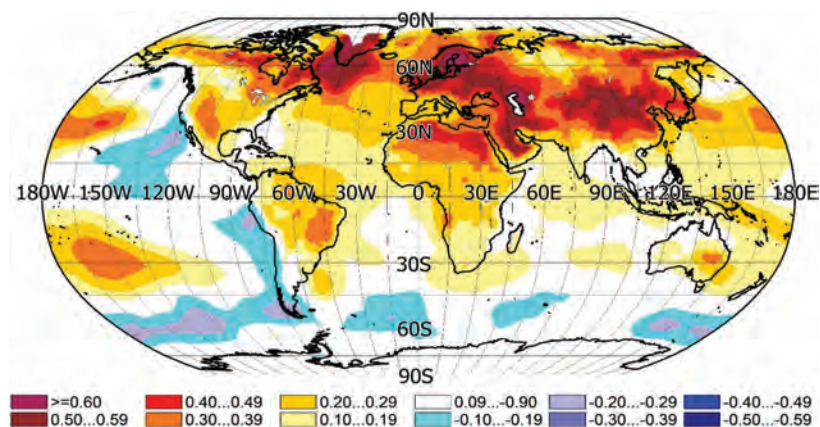


Рис. 5.7. Тренды среднегодовой температуры за 1980–2009 гг. ($^{\circ}/10$ лет)

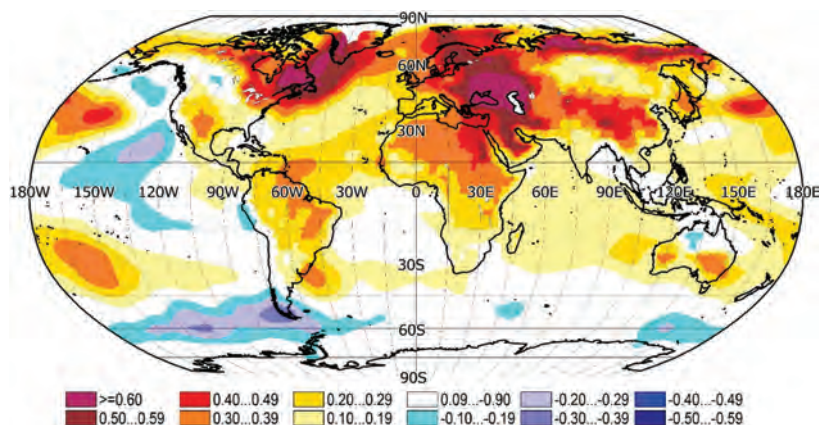


Рис. 5.8. Тренды среднегодовой температуры за 1985–2014 гг. ($^{\circ}$ /10 лет)

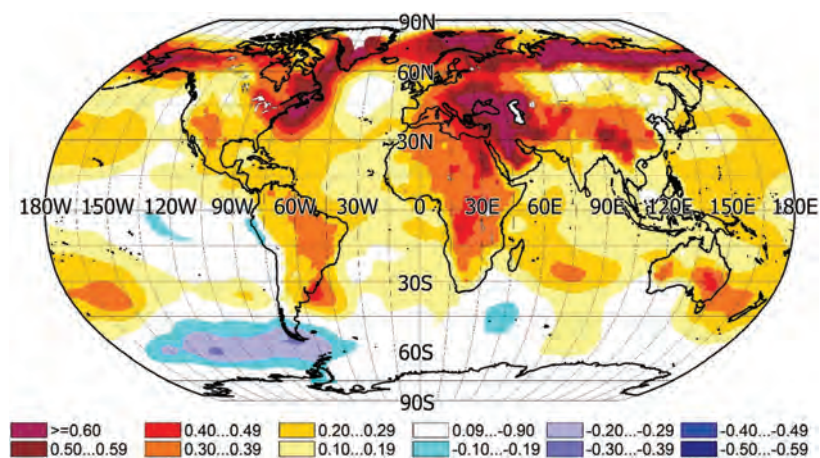


Рис. 5.9. Тренды среднегодовой температуры за 1990–2019 гг. ($^{\circ}$ /10 лет)

С 1995 года зона потепления почти полностью уходит в высокие широты Северного полушария.

Итак, второе глобальное потепление начиналось в 1945–1974 гг. в Южной Атлантике и в последующие десятилетия распространилось на Северное полушарие с одновременным постепенным ослаблением потепления в Южном полушарии. В последние десятилетия в Северном полушарии области наиболее интенсивного потепления

смещались в высокие широты Северного полушария так, что в последнее тридцатилетие во всей Арктической зоне сформировались наиболее интенсивные положительные тенденции потепления.

Важно отметить, что практически все очаги как положительных, так и отрицательных наиболее сильных трендов были обнаружены на основных океанических течениях в местах их пересечения подводных хребтов и поднятий.

Связь изменений ТПО с рельефом дна Мирового океана может означать, что изменения ТПО возникают при изменениях вертикальной циркуляции океана и связанной с этим вертикальной адвекцией тепла.

Второй гипотезой связи изменений ТПО с подводными хребтами могут быть высказанные некоторыми специалистами предположения о циклическом выделении геотермального тепла в местах разломов и поднятий дна океанов в моменты усиления сейсмической активности Земли или в моменты иных процессов в мантии Земли при внешних планетарных воздействиях на Землю (подробнее об этом в разделе 4.4).

5.2. Изменение площади морского льда в Арктике

Высокие широты Земли, Арктика являются уникальным регионом в части формирования температурного режима. Так как радиационный баланс в высоких широтах Земли преимущественно отрицательный, то температурный режим там определяется преимущественно адвективным теплом и способностью атмосферы препятствовать тепловому излучению в космос пришедшего адвективного тепла. С одной стороны, тепло Арктического региона в значительной мере определяется количеством адвективного тепла, принесённого океаническими течениями и воздушными потоками из низких географических широт. С другой стороны, Арктика — это район с климатом, наиболее чувствительным к изменениям количества парниковых газов в атмосфере (водяной пар, углекислый газ, метан и др.). Дополнительную особенность Арктике создаёт геомагнитный полюс, который находится вблизи географического полюса и определяет в высоких широтах наиболее благоприятные условия для вторжения в атмосферу заряженных солнечных и

космических частиц. Интенсивность потоков этих частиц зависит от переменной солнечной активности. Солнечная активность часто рассматривается как один из факторов изменения климата.

Все накопленные знания и гипотезы пока не удаётся объединить и проверить в рамках одной модели. Поэтому на первом этапе необходимо ответить на главный вопрос: изменения Арктического климата являются односторонними антропогенными или это природные колебания с присущими им повторяющимися фазами подъёма и падения, не зависящими от человека. Последствия от неправильного ответа на этот вопрос огромны для стратегических планов развития человечества.

Уменьшение площади льда Арктики в последнее время во многих публикациях представляется как самое яркое доказательство антропогенной гипотезы потепления климата. При этом упускаются важные детали наблюдаемых изменений.

По оценкам (Мохов И.И., Хон В.Ч., 2015; Алексеев Г.В. и др., 2016) арктические регионы характеризуются самыми сильными и быстрыми климатическими изменениями, особенно в последние десятилетия.

Арктике уделяется особое внимание, ведь в некоторых публикациях не исключается полное исчезновение морского льда в Арктике летом уже в этом столетии в результате антропогенного усиления парникового эффекта в атмосфере. Так, например, в работе (Dirk N., 2020) по среднему значению мультимодельного ансамбля моделей 6-го поколения получено, что Северный Ледовитый океан останется практически без морского льда начиная с сентября 2050 года как при самом жёстком, так и при мягких сценариях изменения концентрации углекислого газа в атмосфере.

В публикациях, выполненных по данным наблюдений, изменение климатических условий Арктики объясняется природными циклическими процессами с их поочерёдными фазами уменьшения и увеличения площади морского льда Арктики. В работе (Фролов И.Е. и др., 2006) известными исследователями Арктики обращается внимание на то, что никто из сторонников глобального «парникового» потепления не доказал, что наблюдаемого увеличения концентрации CO_2 достаточно для того, чтобы вызвать потепление

последних 30 лет. По оценкам (Алексеев Г.В. и др., 2015) основной вклад в тренд средней температуры в Арктике за 1969–2008 гг. внесло усиление меридионального переноса тепла в атмосфере. Этот вклад составляет около 80 % в тренды температуры во все сезоны, кроме лета, и почти 90 % — в тренд средней за год температуры. В работе (Алексеев Г.В. и др., 2019) подтверждается, что глобальное потепление в Арктике усиливается под влиянием роста атмосферного и океанского переносов тепла и влаги из низких широт, увеличения притока длинноволновой радиации к поверхности вследствие роста притока водяного пара зимой и усиления таяния морских льдов и увеличения пространств открытой воды — летом. По мнению авторов указанной работы, совместное влияние атмосферных и океанических притоков тепла из низких широт океана на приатлантическую Арктику формирует межгодовые изменения температуры воздуха и площади морского льда.

Ранее уже отмечались важные проблемные вопросы о состоянии климата в Арктике (Катцов В.М., Порфирьев Б.Н., 2012) и они до сих пор остаются открытыми: каковы механизмы, ответственные за столь быстрое таяние льда в Арктике; каков относительный вклад естественных и антропогенных факторов в наблюдаемом ускорении? (Катцов В.М., Порфирьев Б.Н., 2012).

Накопленные данные наблюдений за климатом в Арктике дают возможность проверить, является ли наблюдаемый процесс деградации морского льда Арктики в последние десятилетия однонаправленным процессом, связанным с человеческой деятельностью, или наблюдаемая деградация — это фрагмент природных колебаний на нисходящей фазе.

В работе использованы данные о температуре воздуха (Тв) в узлах регулярной географической сетки $5 \times 5^\circ$ Северного полушария Земли за 1880–2020 гг. (NOAAGlobalTemp V5), данные о температуре поверхности Мирового океана (ТПО) в узлах географической сетки $2 \times 2^\circ$ Северного полушария за 1930–2020 гг. (Huang B. et al., 2017), средние значения за июнь – август индекса Северо-Атлантического колебания (NAO) за 1950–2020 гг. (Barnston A., Livezey R., 1987), данные о площади (S) морского льда в Арктике в сентябре по спутниковым наблюдениям за 1979–2020 гг. (Sea ice. Ссылка в списке литературы).

Вычислялись синхронные и асинхронные коэффициенты корреляции между индексом НАО и общей площадью морского льда Арктики за 1979–2020 гг., а также между площадью ледового покрова и Тв в узлах географической сетки Северного полушария. Для прогностических целей выполнен асинхронный регрессионный анализ зависимости S от Тв и ТПО в избранных узлах географической сетки.

Потепление Арктики сопровождается уменьшением площади ледового покрова Северного Ледовитого океана. Минимальная площадь морского льда бывает в сентябре как следствие летнего притока тепла. На рис. 5.10 показано изменение общей площади, занятой льдом в Северном Ледовитом океане в сентябре по спутниковым данным за 1979–2020 гг.

Представленные на графике изменения площади морского льда Арктики в сентябре часто неоправданно аппроксимируют линейным трендом (Sea ice), но из рисунка (рис. 5.10) видно, что с 1979 по 1991 год площадь морского льда медленно увеличивалась, затем с 1992 по 2010 год — сокращалась, а далее до конца наблюдений — 2020 г. — сокращения площади не наблюдалось. Изменения S на рис. 5.10 демонстрируют не просто уменьшение, они похожи на фрагмент долгопериодного колебания площади ледового покрова.

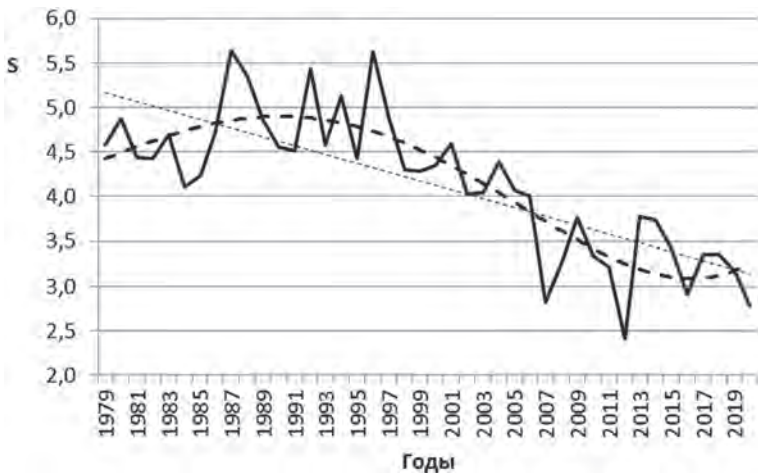


Рис. 5.10. Площадь морского льда Арктики (S) в сентябре (млн км²), линейный и полиномиальный тренды

Они значительно лучше описываются полиномом 4-й степени (73 % общей изменчивости) вместо линейного тренда. Это принципиально важно для исследования причин изменения ледового покрова и для получения прогностических оценок изменения площади льда на предстоящие годы.

Большую часть года радиационный баланс в Арктике отрицательный, поэтому адвективное тепло из низких широт в Арктику, переносимое атмосферой и океаном, имеет решающее значение для климата этого высокоширотного региона. Адвекция определяется особенностями атмосферной и океанической циркуляции. В Арктическом районе хорошо известным показателем атмосферной циркуляции является индекс Североатлантического колебания (NAO). По мнению (Нестеров Е.С., 2013), в последние десятилетия NAO рассматривается как один из возможных источников глобального потепления.

Для сравнения на рис. 5.11 показаны изменения площади морского льда Арктики (S) в сентябре по спутниковым данным и летний (июнь – август) индекс NAO, сглаженный по скользящим трёхлетиям (NAO3). Сглаживание индекса NAO выполнено с целью приведения его межгодовой изменчивости в соответствие с инерционностью изменений площади льда Арктики.

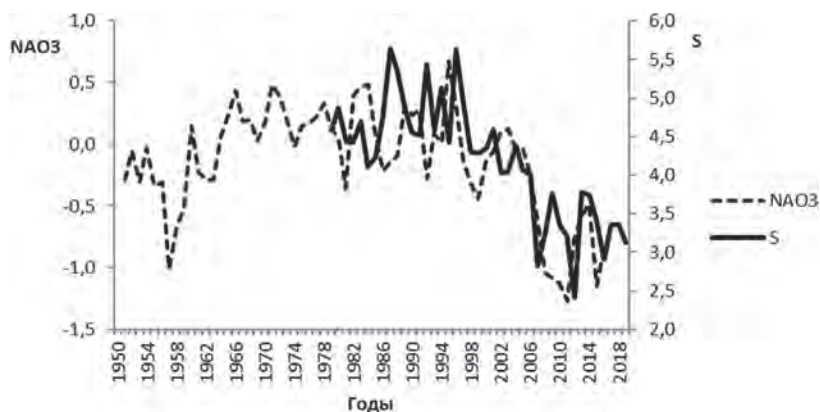


Рис. 5.11. Площадь морского льда Арктики (S) в сентябре (млн км²) по спутниковым данным и летний (июнь – август) индекс Североатлантического колебания, сглаженный по скользящим трёхлетиям (NAO3)

Рис. 5.12 демонстрирует хорошее согласие многолетних изменений площади морского льда и индекса NAO. Коэффициент корреляции между ними $R = 0,77$. Тесная связь изменений площади морского льда с индексом колебаний согласуется с предположением о том, что наблюдаемые изменения площади ледового покрова Арктики являются следствием колебаний адвекции тепла в высокие широты. Связь площади ледового покрова с индексом NAO имеет физическое объяснение. Известно, что в отрицательной фазе NAO происходит усиление меридионального переноса тепла из субтропиков в высокие широты (Нестеров Е.С., 2013), площадь морских льдов при этом уменьшается. А при положительной фазе усиливается зональная циркуляция, приток тепла в высокие широты ослабляется, поэтому в высоких широтах температура воздуха понижается, а площадь морского льда при этом увеличивается. Положительная фаза NAO и большая площадь льда наблюдалась в 1980–1990 гг. Отрицательная фаза NAO началась в 1990-х гг., с этого времени площадь морского льда уменьшалась. После 2007 года ослабление NAO прекратилось и остановилось уменьшение площади морского льда Арктики.

В работе (Гудкович З.М. и др., 2005), по данным наблюдений, выявлен полициклический характер климатических изменений, произошедших с конца XIX до начала XXI веков. В работе показано, что в Арктике наибольшую амплитуду имели 60-летние циклы, с которыми связано чередование тёплых и холодных эпох. Аналогичные циклы обнаружены и в других регионах планеты. Полученные результаты согласуются с выводами работы (Фролов И.Е. и др., 2012) о том, что совместное влияние атмосферных и океанических притоков тепла из низких широт океана в приатлантическую Арктику формирует многолетние колебания площади морского льда.

Североатлантическое колебание является одним из наиболее известных явлений, отражающих естественные колебания климата. Тесная связь изменений площади морского льда с изменениями индекса NAO является дополнительным подтверждением того, что наблюдаемые на интервале 1979–2020 гг. изменения площади морского льда Арктики в сентябре действительно являются фрагментом многолетнего колебания, как следствие хорошо известных колебательных процессов в климатической системе.

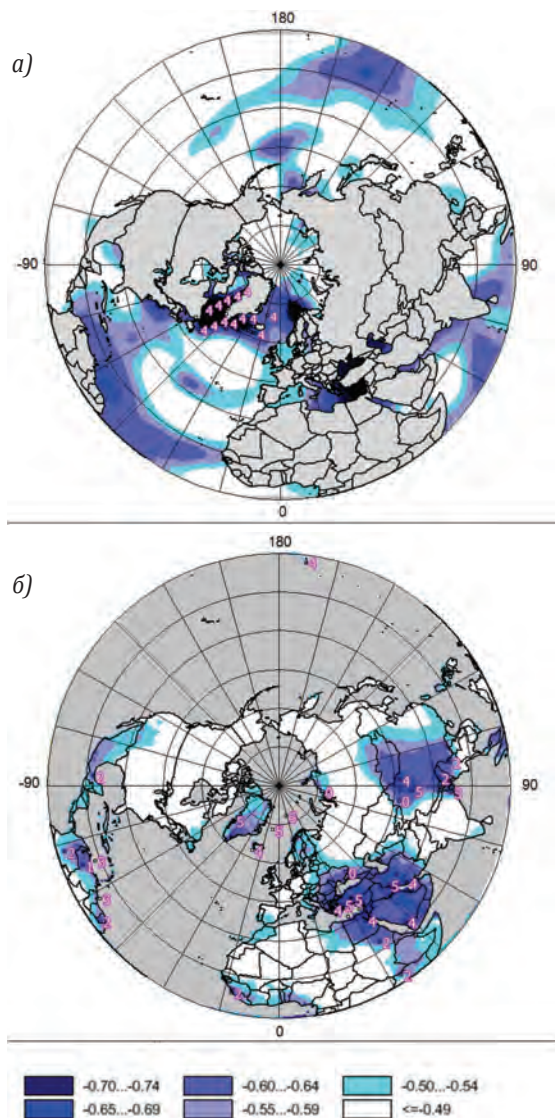


Рис. 5.12. Коэффициенты асинхронной корреляции площади морского льда в сентябре в Арктике с температурой поверхности океана за июнь – август (а) и с температурой воздуха над континентами за июнь – август (б). Цифрами показано время запаздывания (годы) изменений площади льда относительно изменений температуры.

Будет ли в ближайшие годы уменьшение площади льда Арктики? С 1992 по 2012 год индекс NAO уменьшался, а вместе с ним уменьшалась площадь морского льда Арктики. За фазой уменьшения индекса NAO всегда следовала фаза его усиления, наиболее вероятно так будет и в последующие годы. Это может означать, что за современным уменьшением площади морского льда Арктики сначала последует её восстановление (уже началось с 2013 года), а затем может начаться увеличение площади льда. Долгопериодные колебания, а не деградация, являются главной особенностью наблюдаемых изменений площади морского льда Арктики.

Долгопериодные колебания климатических характеристик в Арктике обнаруживаются разными методами. По данным (Delworth T. et al., 1993), в совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана в Северной Атлантике были найдены колебания климата с характерным периодом около 50 лет. В работе (Фролов И.Е. и др., 2006) выявлен 50–60-летний цикл в долговременных изменениях ледовитости морей Евразийской Арктики. На рис. 5.12 этот период очень отчётливо проявляется в изменениях индекса NAO (55 лет между локальными минимума 1957 и 2012 гг.). Связь между NAO и площадью морского льда совершенно очевидна и достоверна. Если связь площади морского льда с изменениями индекса циркуляции не нарушится, то при прочих равных условиях через 50–60 лет после начала 1990-х гг. сентябрьская площадь морского льда может восстановиться до уровня начала 1990-х гг. Не исключено, что эти колебания будут происходить на фоне небольшого тренда вместе с трендом NAO.

Для выявления особенностей влияния атмосферы и океана на общую площадь морского льда Арктики вычислялись коэффициенты корреляции площади морского льда S в сентябре со средней ТПО за июнь – август и со средней T_v за июнь – август в узлах географической сетки Северного полушария. Ледовый покров обладает определённой тепловой инерционностью, поэтому вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции со сдвигами от 0 до 7 лет. Предполагалось, что изменения площади льда могут отставать от изменений ТПО и T_v . В каждом узле из серии асинхронных корреляций выбирался максимальный по модулю коэффициент и фиксировался сдвиг, при котором он был получен. На рис. 5.12 показаны

поля наилучших коэффициентов корреляции $R < -0,5$ площади морского льда с ТПО (а) и с Тв (б) за 1979–2020 гг.

Отрицательные коэффициенты синхронной корреляции между S и ТПО (рис. 5.12а), по модулю превышающие 0,5, обнаружались на Лабрадорском течении в море Баффина и в прилегающей части Атлантического океана, на Восточно-Гренландском течении, а также в Норвежском и частично в Баренцевом морях (рис. 5.12а). Запаздывание изменений площади льда при наилучших коэффициентах корреляции составляло 4 года. Максимальные по модулю коэффициенты корреляций в некоторых районах превышали 0,7. Более слабые связи обнаружались в некоторых удалённых районах океана Северного полушария. Температура воды в перечисленных высокоширотных морях может непосредственно влиять на площадь морского льда, а удалённые очаги более слабых корреляций демонстрируют наличие там синхронных колебаний, но которые на арктические льды повлиять не могут.

Между площадью S и Тв (рис. 5.12б) отрицательные коэффициенты корреляции, по модулю превышающие 0,5, обнаружены на юге Гренландии, в Исландии и на островах в Гренландском и Норвежском морях. Наилучшими оказались коэффициенты корреляции $R < -0,7$ при сдвигах на 4–5 лет (изменения площади отстают от изменений Тв).

Кроме этого, тесная асинхронная корреляция изменений площади льда Арктики обнаружилась с температурой воздуха на юге Европы, на Иранском нагорье и Аравийском полуострове. Удалённые связи не могут оказывать прямого влияния на морской лёд Арктики, они возникают в результате взаимосвязанных крупномасштабных циркуляционных процессов.

На основе представленных оценок можно сделать вывод о том, что изменение общей площади морского льда в Арктике происходит через 4 года после изменения ТПО в высокоширотной Северной Атлантике и в прилегающей части Северного Ледовитого океана, включая следующие акватории: море Лабрадор (коэффициент корреляции $R < -0,7$), Лабрадорская котловина (наилучшая корреляция $R = -0,81$), область южнее Гренландии ($R < -0,7$), Норвежское море ($R < -0,7$), Баренцево море ($R < -0,6$), Гренландское море ($R < -0,6$). Дополнительный вклад в изменения площади льда вносят

изменения температуры воздуха на юге Гренландии, в Исландии и на островах в Гренландском и Норвежском морях.

По узлам с коэффициентами асинхронной корреляции между S и ТПО лучше $R < -0,7$ был получен осреднённый временной ряд температуры поверхности океана (ТПО2). На рис. 5.13 показан график изменения площади морского льда и график изменения ТПО2 со сдвигом изменений ТПО2 на 4 года вперёд.

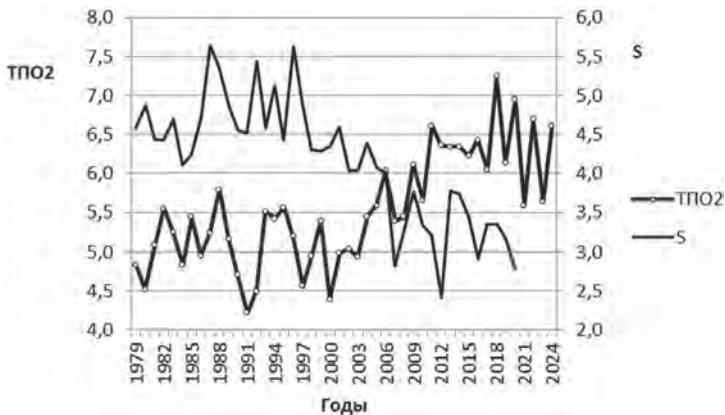


Рис. 5.13. Площадь арктических льдов в сентябре и осреднённый ряд температуры поверхности океана (ТПО2) со сдвигом на 4 года вперёд

Зависимость площади морского льда от ТПО2 оказалась очень тесной при запаздывании изменений площади на 4 года от изменений ТПО. Коэффициент асинхронной корреляции между ними $R = -0,81$.

Аналогичное обобщение было проделано с временными рядами температуры. По узлам с коэффициентами асинхронной корреляции между S и Тв лучше $R < -0,65$ был получен осреднённый ряд температуры воздуха (Тв2). На рис. 5.14 показан график изменения площади морского льда и график изменения Тв2 со сдвигом второго ряда на 5 лет вперёд. За 1979–2020 гг. коэффициент асинхронной корреляции между ними оказался $R = -0,91$.

Опережающие изменения Тв и ТПО имеют прогностическое значение для последующих изменений площади льда. С учётом ранее полученных результатов построено уравнение асинхронной

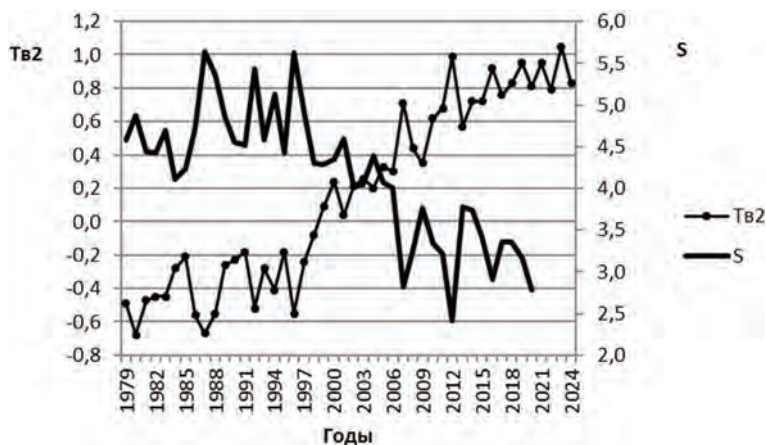


Рис. 5.14. Площадь арктических льдов S в сентябре и осреднённый ряд $Tв2$ (сдвинут на 5 лет вперёд)

регрессии общей площади морского льда Арктики в сентябре от $Tв$ и ТПО за июнь – август в избранных узлах географической сетки. Уравнение асинхронной регрессии позволило построить прогноз изменения площади морского льда Арктики на предстоящие 4 года (рис. 5.15).

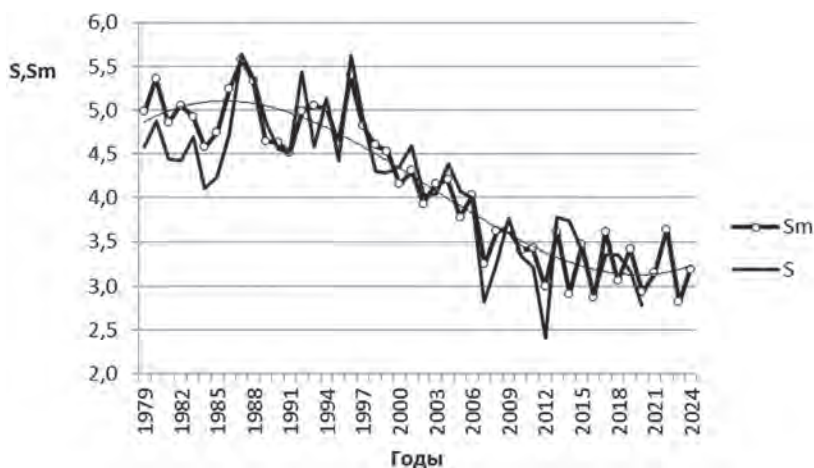


Рис. 5.15. Площадь арктического морского льда в сентябре (S) и модель изменения площади с прогнозом до 2024 года

Регрессионная модель описывает 84 % общей изменчивости общей площади арктического морского льда на интервале 1979–2020 гг.

Прогностические значения площади морского льда, представленные на рис. 5.15, показывают, что в ближайшие годы не ожидается дальнейшего уменьшения площади ледового покрова Арктики. Прогностические оценки на 2021–2024 гг. совместно с данными наблюдений по 2020 год на рис. 5.15 демонстрируют стабилизацию площади ледового покрова Арктики в сентябре в течение 2013–2024 гг.

Для проверки качества такого прогноза были составлены ретроспективные прогнозы изменения площади морских льдов Арктики с заблаговременностью от 0 до 3 лет по пяти последовательным четырёхлетиям на 2001–2004, 2005–2008, 2009–2012, 2013–2016, 2017–2020 гг. По независимым данным выполнялась оценка оправдываемости площади льда на каждый год путём сравнения прогностических значений с данными наблюдений за те же годы. Прогнозы на 2001–2004 гг. составлялись по данным наблюдений за 1979–2000 гг. (заблаговременность — от 0 до 3 лет), на 2005–2008 гг. прогнозы составлялись по данным наблюдений за 1979–2004 гг. (заблаговременность — от 0 до 3 лет) и так далее. Аналогично ретроспективные прогнозы составлялись на все последующие четырёхлетия, указанные выше. Составлено 20 прогнозов. Прогностические значения сравнивались с данными наблюдений на прогнозируемый год.

Средняя квадратическая ошибка по 20 прогнозам оказалась 0,11 млн км², это составляет 6,1 % относительно средней площади в сентябре за 1979–2020 гг.

Вычисленные прогностические значения общей площади морского льда Арктики показали, что в ближайшие 4 года не ожидается уменьшения площади морского льда Арктики. Общая площадь морского льда будет сохраняться около $3,1 \pm 0,11$ млн км² по 2024 год.

Связь изменения площади морского льда в конце тёплого периода года с многолетним колебанием индекса арктической осцилляции позволяет интерпретировать современные изменения площади морского льда Арктики как природные колебания, являющиеся частью глобальных колебательных процессов в климатической

системе. Спутниковые данные об изменении площади морского льда Арктики за 1979–2020 гг. показывают фрагмент колебания площади с периодом около 50–60 лет, известного для многих метеорологических величин в Северной Атлантике и других регионах. Фаза уменьшения площади морского льда 1992–2012 гг. сменилась фазой стабилизации в последние годы.

Тесная асинхронная связь площади льда Арктики с температурой поверхности океана и температурой воздуха в прилегающих районах океана и суши позволяет получать прогностические оценки площади морского льда Арктики на предстоящие 4 года. Согласно таким оценкам, до 2024 года сокращения площади морского льда не ожидается. Вывод о колебательной особенности изменений площади морского льда, полученный при анализе связей ледовых условий с NAO, подтверждается независимыми результатами прогностических оценок по асинхронным связям с ТПО и Тв.

5.3. Дальние асинхронные связи долгопериодных колебаний температуры воздуха в Европе

Сложность изучения причин современного потепления заключается в том, что восходящая ветвь 60–80-летнего цикла изменения глобальной температуры в последней четверти XX века совпала с усилением эмиссии парниковых газов. Очень сложно по коротким рядам наблюдений отделить антропогенную составляющую потепления климата от природной. Задача облегчается при анализе рядов наблюдений за два последних века при сравнении особенностей изменения климата до и после появления антропогенного фактора интенсификации сжигания топлива.

Исследования выполнены по многолетним данным на основе сопоставления изменений температуры воздуха в Центральной Англии с изменениями температуры поверхности океана и температуры воздуха над континентами в узлах географической сетки. Изменения климата Европы происходят не изолированно, они являются следствием глобальных взаимосвязанных термодинамических процессов в климатической системе. В работе ставилась задача поиска источника наблюдаемых в Европе 60–80-летних колебаний климата и причин современного потепления.

В работе использовались среднегодовая (T_a) и зимняя (декабрь – февраль) температура (T) воздуха в Центральной Англии за 1800–2020 гг. (Manley G., 1953; Manley G., 1974; Parker D.E., Horton E.B., 2005; Parker D.E. et al., 1992), данные о количестве антропогенной эмиссии CO_2 за 1800–2020 гг. (Boden T.A. et al., 2017), выраженные в миллионах тонн углерода. Аномалии среднегодовой температуры воздуха (T_v) над континентами вычислены по месячным данным из объединённого набора данных NOAAGlobalTemp (ссылка в списке литературы) глобальной температуры поверхности суши и океана NOAA, версия v5 (Smith T.M. et al., 2019) с пространственной сеткой $5 \times 5^\circ$ по широте и долготе за 1880–2020 гг. Однако до 1935 года данные в этом массиве приводятся не во всех узлах. По полной сетке $5 \times 5^\circ$ данные начинаются с 1935 года. Данные о температуре поверхности океана ERSST V5 (ссылка в списке литературы) на сетке $2 \times 2^\circ$ за 1854–2020 гг. были описаны ранее. В архиве ERSST V5 данные ТПО в узлах географической сетки начинаются с 1854 года, но из-за очень ограниченного количества данных наблюдений до 1880 года во временных рядах ТПО в самые ранние годы данные являются ненадёжными, особенно в высоких широтах (Huang B. et al., 2018). После 1880 года качество данных стало лучше в части пространственного и временного разрешения.

Авторы рекомендуют данные архива ERSST V5 с 1880 года только для исследования долгопериодных крупномасштабных изменений, так как в рядах ТПО за ранние годы всё же остаются сглаженными локальные и короткопериодные вариации. Начиная с 1940 года данные становятся наиболее надёжными и пригодны для многих исследований.

В настоящей работе дальние связи оценивались по укороченным, но более надёжным рядам ТПО за 1940–2020 гг. и дополнительно все вычисления дублировались по длительным рядам данных за 1880–2020 гг. При нашем анализе связей между долгопериодными колебаниями температуры воздуха и температуры поверхности океана допустимо использование рядов с 1880 года в соответствии с рекомендациями авторов массива.

Ставилась задача анализа дальних связей между долгопериодными колебаниями климата в разных регионах Земли, поэтому короткопериодные вариации в рядах T_a , T_v и ТПО были сглажены

методом скользящих средних по трёхлетиям. Сглаженные по трёхлетиям значения использовались в дальнейших расчётах. А для графического представления данные о зимней температуре в Центральной Англии (T) были сглажены по скользящим 11 годам. Колебания климата, возникшие в одном регионе, могут переноситься в другие регионы с некоторым запаздыванием. Так появляются асинхронные дальние связи в колебаниях климата. Дальние связи оценивались по коэффициентам асинхронной корреляции в предположении запаздывания переноса возмущений на большие расстояния.

В океане перенос температурных возмущений на большие расстояния занимает годы (Логинов В.Ф., 2020), поэтому асинхронные корреляции вычислялись при сдвигах от 0 до 37 лет. При вычислении асинхронных коэффициентов корреляции количество сопоставляемых членов двух рядов уменьшалось при сдвигах. Вычисления коэффициентов корреляции между температурой воздуха в Центральной Англии T_a за 1800–2020 гг. и ТПО в узлах за 1940–2020 гг. при нулевом сдвиге выполнялось по данным за 81 год, а в предельном случае при сдвиге на 37 лет оно уменьшалось до 44 лет. В дополнительном анализе асинхронных корреляций, по данным ТПО за 1880–2020 гг., количество сопоставляемых членов рядов составляло от 141 года при нулевом сдвиге и сокращалось до 104 лет при сдвиге на 37 лет.

Ряды температуры воздуха над континентами T_b использовались с 1935 года, поэтому коэффициенты асинхронной корреляции T_b с T_a вычислялись по значениям за 86 лет при нулевом сдвиге и сокращались до 49 лет при максимальном сдвиге на 37 лет.

В работе (Gulev S.K., 2013) отмечается, что в короткопериодных (межгодовых) изменениях климата важное значение имеют атмосферные процессы, а в долгопериодных (междекадных) изменениях климата ведущая роль принадлежит океану. Способность климатической системы длительное время сохранять долгопериодные колебания определяется тепловой и динамической инерционностью океана в глобальном масштабе с участием атмосферы. Океан поддерживает долгопериодные изменения температуры атмосферы. Океаническое тепло переносится в атмосфере на огромные расстояния. Предстояло найти тот район Мирового океана, который

является источником долгопериодных колебаний температуры в Центральной Англии. Учитывалась возможная задержка передачи возмущений из удалённых районов Мирового океана в район Великобритании.

Вычислены асинхронные коэффициенты корреляций изменений температуры T_a с ТПО в узлах географической сетки. Также вычислялись асинхронные коэффициенты корреляции между T_a и T_b над континентами в узлах сетки для того, чтобы над континентами проследить путь возможного продвижения возмущений от удалённых районов Мирового океана к Великобритании. Вычисления коэффициентов выполнялись в каждом узле сетки со сдвигами рядов данных ТПО и T_b относительно ряда T_a на время от 0 до 37 лет с шагом один год. Сдвиг эмитировал возможное запаздывание изменений температуры в Центральной Англии относительно изменений ТПО и T_b в удалённых районах. В каждом узле географической сетки было получено 38 коэффициентов корреляции при сдвигах от 0 до 37 лет. Из 38 полученных коэффициентов асинхронных корреляций в каждом узле выбирался максимальный положительный коэффициент и фиксировался сдвиг, при котором он получен.

На рис. 5.16 показана карта наилучших (максимальных) коэффициентов асинхронной корреляции T_a с ТПО и с T_b в узлах географической сетки (коэффициенты $R < 0,6$ на карту не наносились). А на рис. 5.17 показана карта сдвигов рядов ТПО и T_b , при которых были получены наилучшие коэффициенты асинхронной корреляции. На рис. 5.16 и 5.17 южные широты и западные долготы подписаны с минусами. Использовались данные ТПО за 1940–2020 гг., данные T_a за 1800–2020 гг. и данные T_b за 1935–2020 гг. Коэффициенты корреляции $R > 0,75$ во всех случаях являются статистически значимыми на 95 % уровне.

Рис. 5.16 показывает, что тесные связи изменений температуры в Центральной Англии с ТПО и с T_b наблюдаются как в близких, так и в самых удалённых районах Земли, но обнаружены эти связи при разных сдвигах (при разном времени запаздывания изменений T_a относительно изменений ТПО и T_b в узлах сетки). В узлах, окружающих Великобританию, коэффициенты корреляции T_a с ТПО оказались $R > 0,8$. Неожиданно такие же тесные связи $R > 0,8$

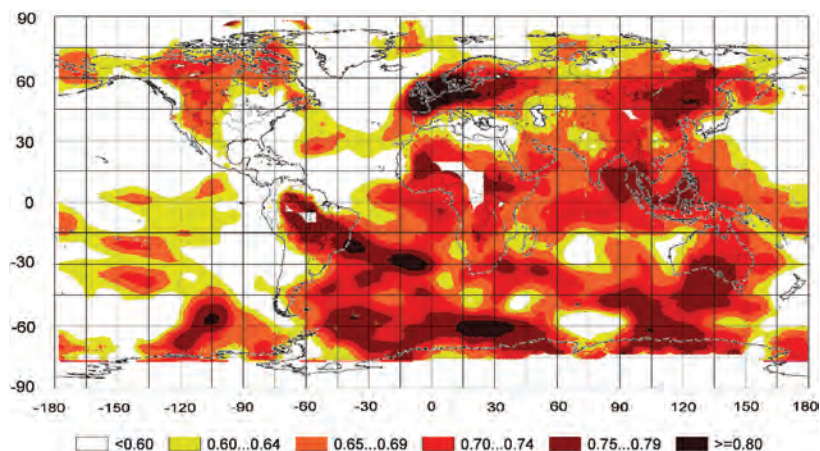


Рис. 5.16. Коэффициенты асинхронной корреляции T_a с ТПО и с T_b в узлах географической сетки при наилучших сдвигах в интервале от 0 до 37 лет (по горизонтали — долготы, по вертикали — широты)

проявились между изменениями T_a и ТПО в Южной Атлантике на широтах 20–30° ю.ш., а также вблизи Антарктиды на широтах 50–60° ю.ш. южнее Африки в долготном интервале 15–40° в.д.

Поля тесных связей T_a с ТПО и T_b с $R = 0,75\text{--}0,79$ охватывают часть Европы, примыкающую к Великобритании, и ближайший район Северной Атлантики, а также часть Восточной Сибири, район на севере и юге Индийского океана, районы в северной и южной частях Южной Атлантики и юго-восточной части Тихого океана вблизи Антарктиды (рис. 5.16). Корреляции с $R > 0,70$ охватывают почти всю Европу и Восточную Сибирь, а также обширные приэкваториальные районы Африки, Индийского океана и Юго-Восточной Азии. Такие же корреляции видны на рис. 5.16 почти во всех узлах Южной Атлантики и во многих узлах Индийского океана.

Обширные дальние связи подтверждают, что долгопериодные колебания температуры в Англии в общих чертах подобны колебаниям во многих других районах Земли, но эти колебания асинхронны. Асинхронность (сдвиги) демонстрируется на рис. 5.17.

Если допустить, что асинхронные связи являются следствием переноса долгопериодных волн тепла и холода в район Великобритании из других районов с задержкой, тогда карта сдвигов рис. 5.17

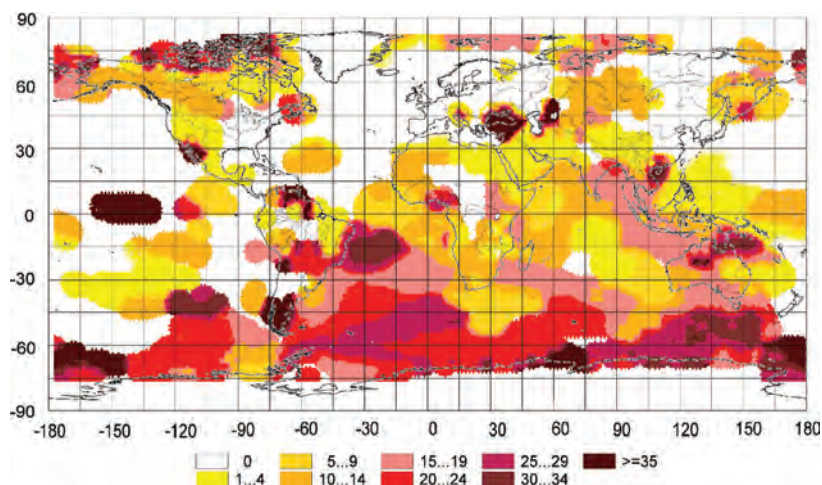


Рис 5.17. Сдвиг (количество лет) при максимальных коэффициентах асинхронной корреляции T_a с ТПО и с T_v в узлах сетки (по горизонтали — долготы, по вертикали — широты)

показывает время (количество лет), необходимое для того, чтобы колебания температуры из разных районов Земли, распространяясь в пространстве, достигли Центральной Англии.

Рис. 5.17 позволяет определить на Земле начальное место возникновения искомых долгопериодных колебаний климата. На рис. 5.17 видно, что раньше всего колебания начинаются в изменениях ТПО в самых южных широтах Атлантического, Индийского и Тихого океанов на циркумполярном Антарктическом течении. Время опережения колебаний температуры в этих районах океана составляет 25–35 лет относительно колебаний температуры в Англии. Более точно — у берегов Антарктиды в Тихом и Индийском океанах колебания наблюдаются за 30–35 лет, а в Атлантике — за 25–29 лет до появления аналогичных колебаний температуры в Центральной Англии.

Аналогичные вычисления асинхронных коэффициентов корреляции были выполнены по рядам ТПО с 1880 года. В этом случае статистически значимыми на уровне 95 % были коэффициенты корреляции $R > 0,6$. По длительным рядам данных ТПО в узлах сетки поля максимальных асинхронных коэффициентов корреляции и поля сдвигов, при которых они были получены, полностью подтвердили

пространственные и временные особенности асинхронных связей, полученных ранее на более коротких рядах данных ТПО. В обоих вариантах вычислений главный вывод заключается в том, что долгопериодные колебания климата с периодом около 60–80 лет первоначально возникают в Южном океане, а затем появляются с запаздыванием на других широтах. По изменению времени запаздывания долгопериодных колебаний ТПО на разных широтах можно судить о переносе волн тепла и холода от берегов Антарктиды в сторону экватора.

Сравнение двух вариантов анализа покажем в обобщённом виде. По описанным ранее значениям сдвигов при максимальных асинхронных коэффициентах корреляции между Та и ТПО на каждой географической широте Атлантического океана с шагом 2° от самых южных до самых северных широт Атлантики в узлах сетки в долготном интервале от 80° з.д. до 20° в.д. были вычислены средние значения сдвигов и средние значения коэффициентов корреляции. Заданный долготный интервал охватывает всю Атлантику. Средние значения сдвигов L и коэффициентов корреляции R на каждой широте показаны на рис. 5.18 по данным за 1940–2020 гг., а на рис. 5.19 — по данным за 1880–2020 гг.



Рис. 5.18. Среднее запаздывание (сдвиг L — количество лет) колебаний Та относительно колебаний ТПО и средний коэффициент асинхронной корреляции (R) между ними на разных географических широтах (F) Атлантики по данным ТПО за 1940–2020 гг. (на оси абсцисс южные широты показаны со знаком минус)

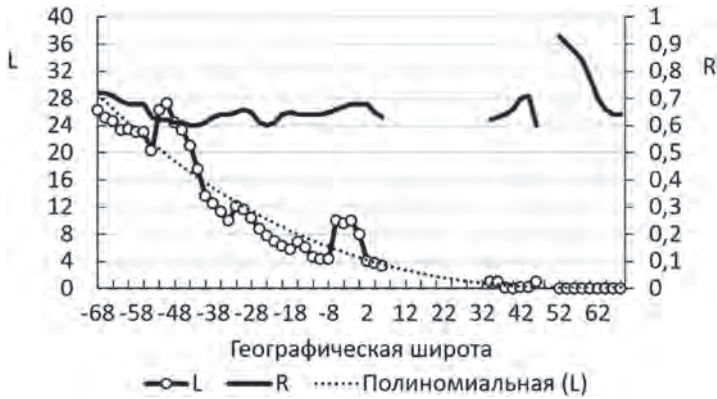


Рис. 5.19. Среднее запаздывание (сдвиг L — количество лет) колебаний T_a относительно колебаний ТПО и средний коэффициент асинхронной корреляции (R) между ними на разных географических широтах (F) Атлантики по данным ТПО за 1880–2020 гг. (на оси абсцисс южные широты показаны со знаком минус)

Средние по широтам коэффициенты асинхронной корреляции оказались в интервале 0,6–0,9 на широтах Атлантики от 68° ю.ш. до 68° с.ш. Кривые L на рис. 5.18 и 5.19 показывают, что в Южной Атлантике на широте 68° ю.ш. изменения ТПО, подобные тем, которые наблюдаются в изменениях T_a , происходят на 25–29 лет раньше (средний коэффициент $R = 0,71$), чем в Центральной Англии. Отсчёты на разных широтах показывают, что при движении на север время сдвига колебаний уменьшается. На широтах 46–64° ю.ш. сдвиг составляет только 20–24 года ($R \sim 0,6$), на широтах 30–36° ю.ш. сдвиг уменьшается до 12 лет, а в экваториальных широтах аналогичные колебания происходят только на 4–10 лет раньше ($R = 0,6–0,7$), чем в Англии. На рис. 5.18 и 5.19 видно, что связи T_a с ТПО обрываются в низких северных широтах связи, но севернее 32° с.ш. вновь появляются значимые корреляции T_a с ТПО. Севернее 32° с.ш. связи T_a с ТПО почти синхронные, на разных широтах сдвиг там составляет 0–1 год (коэффициенты корреляции — от 0,6 до 0,9), а севернее 52° с.ш., вблизи Великобритании, рис. 5.18 и 5.19 демонстрируют самые тесные синхронные связи изменений ТПО и T_a ($R = 0,8–0,9$). Максимальное значения $R = 0,93$ соответствует синхронной связи на географической широте Центральной Англии около 54° с.ш.

Вопрос о меридиональном переносе долгопериодных колебаний температуры очень важен для понимания природы появления 60–80-летней цикличности в Европе. Известно о существовании атлантической меридиональной опрокидывающейся циркуляции (АМОС), которая охватывает Атлантику от Южного океана до северной части Северной Атлантики (Frajka-Williams E. et al., 2019).

Формально меридиональный перенос колебаний подтверждается тесными статистическими связями долгопериодных колебаний температуры воздуха в Центральной Англии с изменениями ТПО на разных широтах Атлантики от берегов Антарктиды до экватора и на некоторых высоких северных широтах. Появление таких связей согласуется с АМОС, но проследить меридиональный перенос долгопериодных колебаний удалось от южных широт Атлантики только до экваториальных широт. Несмотря на появление аналогичных колебаний T_a , а также колебаний T_v в средних и высоких широтах Северного полушария, нельзя сделать вывод о переносе колебаний из Южного полушария в Северное. Разрыв связей в низких широтах Северного полушария не позволяет это сделать.

Ранее аналогичные асинхронные дальние связи были обнаружены между ТПО и изменениями температуры воздуха в Москве (Шерстюков Б.Г., 2019б) и в Казани (Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П., 2019)

В работе (Шерстюков Б.Г., 2019б) было показано, что наилучшая асинхронная связь ($R = 0,55$) колебаний среднегодовой температуры в Москве обнаружилась с ТПО в далёком узле с координатами 18° з.д. и 30° ю.ш. в Южной Атлантике при опережении колебаний ТПО на 30 лет, аналогично тесные связи обнаружились с ТПО в районах Бразильского и Южного Пассатного течений, а также с ТПО в Тихом океане в области Антарктического течения на широтах 30 – 65° ю.ш. ($R > 0,5$) с опережением ТПО на 31–35 лет. Такая же тесная связь температуры в Москве обнаружилась с ТПО на Перуанском течении вдоль его движения на север и далее с поворотом течения на запад вдоль экватора по пути Южного Пассатного течения в Тихом океане (Шерстюков Б.Г., 2019б).

Изменения температуры воздуха в Казани также проходили в тесной асинхронной зависимости от ТПО в районе Антарктического

циркумполярного океанического течения при запаздывании температуры воздуха в Казани на 25–36 лет. Наибольший коэффициент корреляции $R = 0,69$ оказался в узле 106° з.д. и 48° ю.ш. при запаздывании температуры воздуха на 35 лет (Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П., 2019).

Во всех случаях оказывалось, что долгопериодные колебания температуры сначала возникают в Южном океане на циркумполярном Антарктическом течении, а затем через 25–36 лет появляются в изменениях температуры воздуха в Европе. Но пока не ясно, что происходит на широтах 0 – 32° с.ш.

Не случайно Южный океан в области Антарктического течения играет ключевую роль в появлении долгопериодных колебаний климата во многих регионах Южного и, возможно, Северного полушарий. Антарктическое течение — это основной элемент циркуляции вод Южного океана, это самое мощное течение на Земле, оно является частью глобального океанического конвейера Брокера (Broecker W.S., 1991), охватывающего все океаны. Существует глобальная система океанической циркуляции, которая перераспределяет тепло по всему миру. Обнаруженные дальние асинхронные связи согласуются с известными свойствами океанического конвейера. Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло из одних регионов и слоёв океана в другие по сложным траекториям и не всегда на поверхности. Выход аномалий на поверхность океана в разных его частях возможен с запаздыванием в несколько лет или десятилетий. Допускается существование колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких до 1000 лет (Birchfield G.E. et al., 2012; Лаппо С.С. et al., 2006).

На широтах от 0 до 32° с.ш. по данным о поверхностной температуре океана исследуемые связи не обнаружены. Возможны две причины разрыва связи. Меридиональный перенос долгопериодных волн тепла и холода из Южного полушария в Северное на интервале от 0 до 32° с.ш. не прерывается, но он происходит в слоях под поверхность океана, не проявляясь на поверхности, а затем опять выходит на поверхность в более высоких северных широтах. Такое предположение согласуется с АМОС и подкрепляется теорией

большого конвейера (Broecker W.S., 1991), в котором поверхностные и подповерхностные течения составляют единую систему глобальных океанических течений.

Если же разрыв связей на широтах $0-32^{\circ}$ с.ш. означает независимость между собой колебаний ТПО Южной и Северной Атлантики, тогда существование таких же связей севернее 32° с.ш. возможно через общий внешний фактор, который независимо создаёт колебания ТПО как в Южном, так и в Северном полушариях. Таким фактором может оказаться изменение момента барицентрического вращения Солнечной системы (глава 2) или изменения геомагнитной активности (глава 3).

Предположение о внешнем факторе первоначальных возмущений температуры в Южном океане имеет основание. Ранее в области Антарктического течения и других основных океанических течений были обнаружены (Шерстюков Б.Г., 2019в) асинхронные связи долгопериодных колебаний среднегодовой ТПО с изменениями момента инерции барицентрического движения Солнца с запаздыванием изменений температуры на 32–37 лет (глава 2). Неравномерное вращение Солнца вокруг барицентра Солнечной системы сопровождается изменениями вращательного момента океанических вод вдоль широтных кругов. В области циркумполярного Антарктического течения сложились самые благоприятные физико-географические условия для отклика на воздействия вдоль широтных кругов. Вклад изменений момента инерции движения Солнца в изменения ТПО в области Антарктического течения составил тогда около 50 % её общей изменчивости. На основе анализа климатических циклов ещё раньше было высказано предположение (Бялко В.А., 2012) о том, что изменение в глобальном теплообмене Мирового океана через большой конвейер представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров.

Совершенно независимо при исследовании связей колебаний ТПО в узлах географической сетки Земли с планетарной геомагнитной активностью наилучшие связи обнаружили также на Антарктическом течении (Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П., 2020) с запаздыванием изменений ТПО на 32–33 года после изменений

геомагнитной активности. Магнитные бури создают индукционный ток в океане, направленный преимущественно вдоль широтных кругов. Для зонального кольцевого индукционного электрического тока область Антарктического течения является самым благоприятным районом Мирового океана.

Область Антарктического течения обладает особенностями, при которых Южный океан способен воспринимать внешние повторяющиеся воздействия и затем передавать возмущения в другие регионы Мирового океана. По результатам разных независимых исследований получилось, что три-четыре десятилетия — это время задержки отклика изменений ТПО на внешние воздействия.

Уникальность Антарктического течения заключается в том, что на его пути нет препятствий в виде континентов. Это создаёт благоприятные условия существования там циркумполярного течения вокруг Антарктиды, а также для появления возмущений при изменении вращательного момента Земли и для появления там индукционных электрических токов. Предстоит ещё оценить предполагаемую способность индукционных токов корректировать траекторию течения и температуру воды. Все высказанные предположения являются предварительными и требуют многосторонней проверки.

Потепление климата Европы и прилегающих районов находится в тесной асинхронной статистической связи с изменениями в поле температуры поверхности Южного океана в области циркумполярного Антарктического течения. На Антарктическом течении изменения ТПО происходят за 25–29 лет до появления аналогичных изменений температуры воздуха в Центральной Англии.

Установлен меридиональный перенос волн тепла и холода в северном направлении из южных широт Атлантического океана в приэкваториальные широты с запаздыванием до двух десятилетий. В низких широтах Северного полушария связи теряются, но ещё через 4–10 лет колебания появляются в ТПО Атлантики севернее 32° и в температуре воздуха в Европе. Проследить непрерывный путь переноса волн тепла и холода от экватора до Центральной Англии не удалось.

Статистический вклад колебаний ТПО Южной Атлантики в общую дисперсию долгопериодных колебаний температуры воздуха в Центральной Англии составил около 50 %. Предполагается,

что обнаруженные дальние асинхронные связи между Южным и Северным полушариями обеспечиваются глобальной системой океанических течений конвейера Брокера или глобальным фактором циклических внешних воздействий на климатическую систему.

Современное потепление климата в Европе нашло своё объяснение без привлечения гипотезы об антропогенном парниковом эффекте. Данные наблюдений и результаты их анализа не подтверждают выводы (Climate Change, 2013) о преобладающем антропогенном вкладе в современные изменения климата Европы.

5.4. Основные результаты главы 5

1. В 1910–1939 гг. началось потепление, которое охватило арктические регионы России и средние широты Северной Америки с прилегающими районами Тихого и Атлантического океанов. В Южном полушарии потепления тогда ещё не было.

2. В 1940–1969 гг. потепление сменилось понижением температуры в средних и высоких широтах Северной Атлантики, в высоких широтах Азии и некоторых районах Южного полушария.

3. В 1945–1974 гг. в Южном полушарии началась фаза потепления. Появились области с положительными трендами температуры на траектории Антарктического течения в Южной Атлантике над Срединно-Атлантическим хребтом и между Австралией и Антарктидой.

4. В последующие годы потепление охватило большую часть поверхности океана в Южном полушарии, а в 1965–1994 гг. распространилось на обширные районы Северного полушария. Потепление стало глобальным.

5. В 1970–1999 гг. потепление в Южном полушарии начало ослабевать, а в Северном полушарии усиливаться. Наибольшие значения трендов потепления охватили почти всё Северное полушарие от экватора до крайних северных широт. Небольшие очаги отрицательных трендов появились в Южном океане в области Антарктического течения там, где в 1945–1974 гг. начиналось потепление.

6. Начиная с 1985–2014 гг. в Южном полушарии отрицательные тренды усиливались, а в Северном полушарии усиливались положительные тренды с постепенным смещением потепления в высокие

широты. В 1990–2019 гг. наибольшее потепление переместилось в Арктику, началась фаза, подобная потеплению 1910–1939 гг., за которой в 1940–1969 гг. пришла фаза временного похолодания климата.

7. С колебаниями климата тесно связана площадь морского льда Арктики. Современные изменения площади морского льда Арктики являются частью глобальных природных колебательных процессов в климатической системе.

8. По асинхронным связям площади льда Арктики с температурой поверхности океана и температурой воздуха в прилегающих районах океана и суши получены прогностические оценки площади морского льда Арктики на предстоящие четыре года. До 2024 года сокращения площади морского льда не ожидается.

9. Обширные дальние связи показали, что долгопериодные колебания температуры в Европе в общих чертах подобны колебаниям во многих других удалённых районах Земли, но эти колебания асинхронны.

10. Колебания климата Великобритании являются следствием адвекции колебаний из других регионов с задержкой (годы) на время, необходимое для того, чтобы колебания температуры из разных районов Земли, распространяясь в пространстве, достигли Великобритании и других регионов Европы.

11. Долгопериодные колебания климата с периодом около 60–80 лет сначала возникают в Южном океане на циркумполярном Антарктическом течении, а затем через 20–36 лет появляются в изменениях температуры воздуха в Европе.

12. Южный океан в области Антарктического течения играет ключевую роль в появлении долгопериодных колебаний климата во многих регионах Южного и Северного полушарий.

ГЛАВА 6. ДОЛГОСРОЧНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

6.1. Короткопериодные колебания климата, новые принципы долгосрочного метеорологического прогноза

Формирование короткопериодных и долгопериодных колебаний температуры происходит под воздействием многих факторов. Суммарная их картина получается заведомо не известной. За предположением резонансной природы передачи возмущений от внешних факторов в климатическую систему должен следовать специальный метод, учитывающий региональные особенности появления резонансов и биений на изменяющихся частотах внешних воздействий. Успешность создания статистических прогностических методов зависит от уровня понимания причин и закономерностей изменения прогнозируемого параметра. Новые представления о природе колебаний и их закономерностях позволили предложить (Шерстюков Б.Г., 2019а; Шерстюков Б.Г., 2020) метод долгосрочных метеорологических прогнозов, основанный на двух новых принципах.

Краткосрочные процессы (до одной-двух недель) в климатической системе развиваются под действием начальных условий, то есть исходного распределения энергии в атмосфере. Обусловленность колебаний на сезон и год по аналогии часто тоже описывают начальными условиями во всей климатической системе, полагая, что начальное состояние климатической системы полностью определяет её эволюцию, а колебания определяются исходным распределением энергии во всех составляющих климатической системы. При такой трактовке допускается, что причина колебаний кроется в самой климатической системе как результат сложных нелинейных взаимодействий между элементами климатической системы. В основу такого подхода положено представление о преемственности процессов во времени. Это справедливо для самих процессов,

но для их проявлений в конкретной географической точке часто нарушается из-за сезонных смещений воздушных масс по широте.

Долгое время метеорологические прогнозы основывались на анализе преемственности типов атмосферной циркуляции от сезона к сезону. Ещё в 1936 году руководитель Бюро прогнозов СССР Абрам Исаакович Аскназий писал: «Можно ли считать, что приблизительно одинаковые условия гидро-, лито- и атмосферы в одном сезоне приведут приблизительно к одинаковым условиям следующего сезона, или же, наоборот, ... близкие исходные состояния могут ... привести к совершенно разным синоптическим ситуациям? Если верно первое предположение, то рано или поздно проблема долгосрочного прогноза будет решена. Если верно второе, то нужно сказать открыто, что проблема долгосрочной синоптики является ... неразрешимой» (Аскназий А.И., 1936).

Прошло более 80 лет, проблема сезонных прогнозов не решена, но до сих пор все надежды возлагаются на преемственность атмосферных процессов при переходе от сезона к сезону. Несостоятельность такого подхода вытекает из анализа автокорреляционной функции месячных аномалий температуры воздуха, полученных после вычитания многолетнего годового хода. При сдвиге на один месяц автокорреляционная функция аномалий температуры по станции Москва имеет значение около 0,2, а при сдвиге на 5 месяцев уменьшается до нуля. Аналогичные результаты можно получить по любой метеорологической станции. Причиной слабой преемственности атмосферных процессов между месяцами и сезонами является сезонная смена воздушных масс на станции и собственных частот колебаний, присущих каждой воздушной массе.

На полушарии Земли можно выделить три основных класса воздушных масс: тропический воздух, воздух умеренных широт и полярный воздух (Пальмен Э. Ньтон Ч., 1973). Иногда выделяют четыре класса, но в данном случае это не принципиально. Погодные условия в регионе определяются пришедшей воздушной массой. А циклические изменения метеорологических величин в каждой воздушной массе определяются собственными частотами колебаний, характерными для района формирования каждой воздушной массы. Для каждой воздушной массы они различны и определяются

физико-географическими условиями места (географическая широта, рельеф, близость океана и т.д.).

Воздушные массы не стоят на месте, они перемещаются, переходя из одних районов в другие при каждой смене сезонов, и по другим причинам. Смена сезона или даже смена месяца сопровождается на станции заменой воздушной массы и замещением одних циклов другими циклами, поэтому на станции слаба преемственность процессов между сезонами. Надеяться на преемственность аномалий при смене сезонов нет оснований.

Совсем другие прогностические возможности обнаруживаются при анализе автокорреляционной функции в пределах одной воздушной массы. Если составлять ряды многолетних значений температуры отдельно по каждому месяцу и вычислять автокорреляционную функцию отдельно по каждому месяцу, то обнаруживается, что на интервале сдвигов до 30 лет её значения несколько раз циклически возрастают до 0,3. Многократное появление повышенных значений автокорреляции через несколько лет является следствием существования неслучайных многолетних колебаний температуры внутри одной воздушной массы. Следствие: прогностические циклы необходимо искать по многолетним данным в межгодовых колебаниях температуры отдельно по каждому сезону или месяцу и не надеяться на преемственность межсезонных связей.

Для построения прогностической модели необходима физическая гипотеза формирования свободных колебаний в климатической системе, гипотеза о свойствах этих колебаний. Колебания в климатической системе являются основным её свойством. Для их поддержания необходим приток энергии. Иногда полагают, что сезонные изменения инсоляции являются генератором всех колебаний в климатической системе. Но кроме упомянутого генератора возможны и другие причины колебаний в климатической системе. Следует напомнить, что колебания всех параметров космической среды, в которой находится Земля, являются основным свойством этой среды. Земля со своей климатической системой находится под переменным воздействием этой среды. Вопрос заключается только в силе и эффективности такого воздействия. В Солнечной системе вращение планет и переменная солнечная активность являются

наиболее вероятными источниками всех внешних воздействий на Землю и климатическую систему на ней. Если допустить, что циклические космические воздействия на Землю могут генерировать заметные колебания в климатической системе, то под эту гипотезу необходим специальный метод статистического анализа и прогноза.

В простейшем случае предполагаемые внешние воздействия до сих пор рассматривались как возможная причина появления вынужденных возмущений в климатической системе. При таком грубом подходе обязательным является условие сопоставимости по величине энергии воздействия и энергии вынужденных возмущений в климатической системе. Указанное условие снимается, если учесть, что климатическая система является колебательной системой.

К колебательным системам относят физические системы, в которых в результате нарушения состояния равновесия возникают собственные колебания, обусловленные свойствами самой системы. Любое воздействие на диссипативную колебательную систему приводит к появлению в системе затухающих колебаний на её собственных частотах. Амплитуда этих колебаний определяется силой внешнего воздействия, а частота определяется только свойствами самой системы. Если повторяющиеся внешние воздействия на систему по частоте близки к частоте собственных колебаний климатической системы или совпадают с ней, то во временных изменениях её характеристик возникают биения и резонансы. Так как собственных частот у климатической системы много, то биения возникают на разных частотах, при этом возможны резонансы не только на равных, но и на соизмеримых частотах. Амплитуды колебаний при резонансах или биениях многократно возрастают. Соизмеримыми называют такие частоты, которые соотносятся между собой как 1:2, 1:3, 2:3, 3:2 и т.д. Не существует нижнего предела величины воздействия, способного раскачать колебательную систему на резонансной собственной частоте. Даже слабые повторяющиеся внешние воздействия могут оказаться эффективными. С большой вероятностью можно предполагать, что повторяющиеся слабые переменные воздействия космических факторов на Землю возбуждают колебания климата атмосферы и океана на собственных частотах климатической системы через механизм резонансов,

включая резонансы на соизмеримых частотах. Не так просто по данным наблюдений выделить исходные колебания на собственных частотах, если их много и если они скрываются за более мощными биениями и резонансами биений на соизмеримых частотах. Для анализа временных рядов, состоящих из биений колебаний, многие распространённые статистические методы не пригодны.

Первый вариант резонансной гипотезы был описан автором (Шерстюков Б.Г., 2018), к настоящему времени представленная гипотеза уточнена и доработана.

Теоретической основой резонансной гипотезы является известное свойство колебательных систем. В применении к климатической колебательной системе оно означает, что малая величина повторяющихся воздействий космоса на климатическую систему не является препятствием для модуляции в ней резонансных колебаний и биений. Это свойство вытекает из теории динамических систем (Блехман И.И., 1971).

Наиболее эффективный отклик колебательной системы на периодические внешние воздействия должен наблюдаться на тех собственных частотах системы, которые совпадают с частотами периодических внешних воздействий или находятся с ними в соизмеримых резонансных соотношениях. Слабость внешних сил компенсируется многократным их резонансным воздействием. Резонансное согласование усиливает колебания каждого компонента климатической системы на избранных его собственных частотах. Колебания в системе на других возможных частотах ничем не поддерживаются и поэтому не наблюдаются. Температура поверхности океана подвержена влиянию как термодинамических процессов в атмосфере, так и процессов в нижележащих слоях океана. Инерционность динамических процессов в океане способствует появлению в нём долгопериодных колебаний.

Если теория динамических систем верна (Блехман И.И., 1971) и климатическая система обладает свойствами колебательной системы, и при этом существует периодическое, пусть даже очень слабое, космическое воздействие на неё, то бесспорным является утверждение о неизбежности существования в климатической системе колебаний, генерированных космическими воздействиями.

Таким образом, предложенная гипотеза уже не является гипотезой, а отражает свойство колебательной системы климата в строгом соответствии с теорией.

В сложной системе в моменты наступления резонанса могут усиливаться колебания за счёт высвобождения внутренней энергии системы. Именно такой сложной и нелинейной является климатическая система, резонансы с внешними воздействиями и с выделением внутренней энергии в ней возможны. Следует учитывать, что резонансы могут возникать не только при соотношении периодов воздействия и отклика 1:1, но и при соизмеримых периодах.

Исследования выполнены на примере Северной Атлантики. Использовались данные временного ряда индекса Северо-Атлантического колебания NAO (North Atlantic Oscillation). Месячные значения стандартизованного индекса получены с официального сайта (North Atlantic Oscillation, ссылка в списке литературы) за период с 1950 по 2014 год. В качестве базового периода норм и вычисления стандартного отклонения в нём использован период 1981–2010 гг. Для каждого года по месячным значениям вычислены средние значения NAO за три зимних месяца: декабрь предшествующего года и январь–февраль текущего года.

Месячные значения температуры поверхности океана (ТПО) в узлах $2 \times 2^\circ$ географической сетки получены с официального сайта (ERSST v3b, ссылка в списке литературы).

Изложенные выше представления о причинах колебаний в климатической системе способствуют формированию специального подхода к поиску прогностических закономерностей в ней. Искомые закономерности предполагаются в виде повторяющихся интервалов лет с подобными колебаниями температуры в моменты максимальной амплитуды биений. Период появления биений определяется соотношением

$$T_6 = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1},$$

где T_1 и T_2 — период собственных колебаний системы и период воздействия на неё.

Для демонстрации существования повторяющихся интервалов лет с подобными колебаниями характеристик климатической

системы на первом этапе рассмотрим многолетний ход зимнего индекса NAO с целью поиска закономерностей колебаний в нём.

Если климатическая система является открытой для внешних воздействий, то после каждого импульса внешнего воздействия в характеристиках атмосферы должны возникать колебания с некоторой небольшой амплитудой. Наиболее заметными эти колебания могут быть на резонансных частотах и в моменты наибольшей амплитуды при биениях. Такие моменты должны повторяться с периодом биений. На практике периоды биений заведомо не известны, так как не известны соизмеримые периоды, которые окажутся наиболее эффективными в данное время в данном месте. Если предложенная схема верна, тогда по данным наблюдений необходимо искать повторяющиеся интервалы лет с подобными колебаниями атмосферных характеристик (интервалы-аналоги).

На рис. 6.1а для примера показан многолетний ход зимнего индекса NAO после исключения из него полиномиального тренда (полином 4-й степени).

В соответствии с гипотезой проводился поиск пары отрезков временного ряда аномалий NAO, в которых прослеживалась бы аналогия в колебаниях. Перебрав на компьютере все отрезки и все варианты длительности отрезков от 16 до 32 лет и проанализировав коэффициенты взаимной корреляции аномалий NAO по отрезкам, было обнаружено, что серии непериодических колебаний за 1951–1982 гг. наилучшим образом коррелируют с колебаниями за 1983–2014 гг. (последовательность колебаний повторяется через 32 года). На рис. 6.1а кривая NAO показана разными цветами за первый и второй интервалы времени.

Для наглядного сопоставления двух временных отрезков NAO на рис. 6.1б на одной шкале длительностью 32 года совмещено два отрезка кривой аномалий NAO. Для одной кривой NAO номера на горизонтальной оси от 1 до 32 соответствуют годам от 1951 до 1982, а для другой кривой те же номера для NAO означают годы от 1983 до 2014. Коэффициент корреляции между колебаниями NAO за 1951–1982 и 1983–2014 гг. оказался $R = 0,46$.

На этих отрезках времени вероятность случайности в подобии серий возмущений менее 5 %. Колебания на интервале 32 лет не

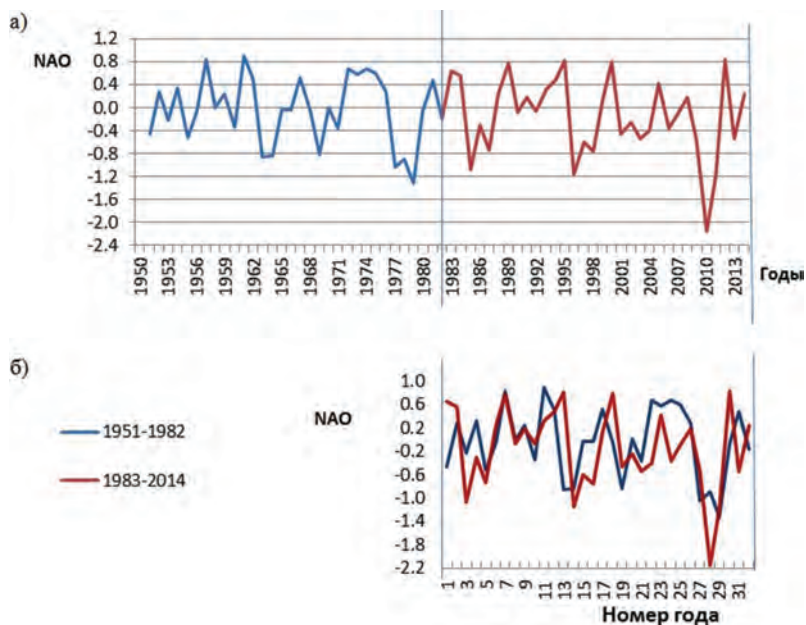


Рис. 6.1. Повторение серии колебаний NAO через 32 года: а) аномалии NAO (отклонения от тренда) за 1951–2014 гг.; б) аномалии NAO за 1951–1982 и 1983–2014 гг., совмещённые на шкале длительностью 32 года

являются периодическими, но их последовательность, наблюдавшаяся на 32-летнем интервале (1951–1982 гг.), детально повторилась через 32 года на интервале 1983–2014 гг. Судя по графику, положительные аномалии появлялись через 6 лет, затем три раза повторялись через каждые пять лет, далее один раз положительная аномалия появилась через три года и затем два раза через четыре года. Два отрезка лет с подобной последовательностью неперiodических возмущений вполне объяснимы, если учесть, что многочастотные внешние воздействия накладываются на ансамбль собственных частот климатической системы. Полученный результат согласуется с ожидаемой картиной ансамбля биений нескольких пар близких собственных частот в климатической системе. Интервал 32 года оказался наименьшим кратным интервалом биений на разных парах частот. Можно ожидать, что и в последующие 32 года, после 2014 года частично сохранятся условия для появления аномалий

ТПО через такие же интервалы лет, как на 32-летнем интервале 1983–2014 гг., то есть через 6, 5, 5, 5, 3, 4 и 4 лет. Приведённый пример имеет прогностическое значение и демонстрирует одно из возможных новых направлений работ для увеличения предела предсказуемости долгосрочного прогнозирования.

С учётом изложенной гипотезы о резонансах и биениях была создана физико-статистическая прогностическая модель выделения и экстраполяции биений колебаний метеорологических величин. Исследования работы разных вариантов моделей были выполнены по данным о месячных значениях температуры поверхности Мирового океана (ТПО) в узлах географической сетки $2 \times 2^\circ$ широты и долготы за 1854–2016 гг.

Модель испытана на примере температуры Северной Атлантики (узлы географической сетки в интервале от 0 до 75° с.ш. и от 90° з.д. до 15° в.д.).

Строились временные ряды T_j данных наблюдений ТПО по каждому отдельному месяцу, где j — номер года от начала наблюдений и до последнего года n перед прогнозом. Из значений ряда вычитался полиномиальный тренд, так был получен ряд аномалий t_j . Подбор степени полинома в интервале от 1 до 6 выполнялся экспериментально по минимуму среднеквадратического отклонения ТПО от полиномиальных значений. Далее проводился анализ колебаний аномалий ТПО. Трендовые (полиномиальные) значения изменяются незначительно на интервале двух лет, поэтому прогностическими значениями трендовой составляющей на три года считались средние значения полинома за последние пять лет перед прогнозом.

Согласно гипотезе, в данных ряда t_j должны быть колебания, которые могут усиливаться или ослабляться с неизвестным периодом биений. Поличастотность климатической системы приводит к появлению ансамбля биений на нескольких парах частот с разными периодами биений. Их суперпозиция до предела усложняет временной ход аномалий, маскируя интервалы максимальных и минимальных биений. Однако соизмеримость собственных частот внешних воздействий способствует появлению интервалов с наименьшим общим кратным количеством лет по нескольким периодам биений. Задача сводится к эмпирическому определению длительности t трёх

последовательных временных отрезков в конце ряда t_j , на которых аномалии ТПО появляются в одинаковой последовательности лет, так, например, как это было обнаружено для НАО (рис. 6.1). Экспериментально установлено, что больше трёх раз не сохраняется одинаковая последовательность аномалий.

По каждому месяцу обработка данных проводилась независимо по рядам месячных значений за n лет.

Задаём пробный период τ и строим три отрезка (a, b и c) ряда t_j длительностью τ , каждый из которых состоит из значений:

- a) $t_{n-\tau+1}, t_{n-\tau+2}, t_{n-\tau+3}, \dots, t_n$;
- b) $t_{n-2\tau+1}, t_{n-2\tau+2}, t_{n-2\tau+3}, \dots, t_{n-\tau}$;
- c) $t_{n-3\tau+1}, t_{n-3\tau+2}, t_{n-3\tau+3}, \dots, t_{n-2\tau}$.

Перепишем компактно отрезки a, b и c:

$$t_i^a = t_{i+n-\tau}, \quad t_i^b = t_{i+n-2\tau}, \quad t_i^c = t_{i+n-3\tau},$$

где $i = \overline{1, \tau}$.

По отрезкам рядов t_i^b и t_i^c получаем осреднённые значения t_i^s :

$$t_i^s = (t_{i+n-3\tau} + t_{i+n-2\tau}) / 2,$$

где $i = \overline{1, \tau}$.

Значения t_i^a будут привлекаться для настройки модели по независимым данным.

Вычисляем средний квадрат s отличий ряда t_i^a от ряда t_i^s , и для сравнения вычисляем среднеквадратическое отклонение S ряда t на интервале календарных лет от $n-\tau+1$ до n .

Повторяем вычисления при разных пробных значениях τ и из всех вариантов выбираем τ , при котором s было минимальным. При выполнении условия $s < S/2$ запоминаем значение τ — это будет первый интервал наименьшего общего кратного количества лет для модели. Назовём его эффективным периодом модели.

При τ с наименьшим значением s вычисляется первый элементарный эталон вариаций:

$$t_i^{1e} = (t_{i+n-\tau} + t_{i+n-2\tau} + t_{i+n-3\tau}) / 3,$$

где $i = \overline{1, \tau}$.

Элементарный эталон описывает модельные вариации t на интервале $i = 1 \div \tau$ лет в годы с номерами от $n-\tau+1$ до n . Согласно

гипотезе о повторяющихся биениях будем считать, что на всех предшествующих отрезках времени длительностью τ лет вариации t описываются этим же элементарным эталоном. Построим первый эталонный ряд $L_j^{(1)}$ длительностью n лет:

$$L_j^{(1)} = t_i^{1e},$$

где $j = \overline{1, n}$; $i = j - (m - 1)\tau$; $m = \left(\tau + \tau \left[\frac{i}{\tau} \right] \right) / \tau$; $\left[\frac{i}{\tau} \right]$ — означает целую часть числа $\frac{i}{\tau}$.

Последнее значение первого эталонного ряда $L_j^{(1)}$ приходится на последний год n перед прогнозом. Из ряда исходных значений данных наблюдений t_j вычтем поэлементно первый эталонный ряд $L_j^{(1)}$ и получим ряд остатков t' исходного ряда после исключения вариаций первого эталона:

$$t'_j = t_j - L_j^{(1)},$$

где $j = \overline{1, n}$.

Далее осуществляется переход к испытанию следующего пробного периода τ' по ряду остатков t' . Строится второй эталонный ряд $L_j^{(2)}$ длительностью n лет:

$$L_j^{(2)} = t_i^{2e},$$

где $j = \overline{1, n}$; $i = j - (m - 1)\tau'$; $m = \left(\tau + \tau \left[\frac{i}{\tau} \right] \right) / \tau'$; $\left[\frac{i}{\tau} \right]$ — означает целую часть числа $\frac{i}{\tau}$.

Таким образом повторяются испытания всех возможных целочисленных периодов от 3 до $n/3$ лет ($\tau = \overline{3, n/3}$). Периоды, при которых не выполняется условие $s < S/2$, отбрасываются. В результате остаётся перечень эффективных значений τ , характеризующих наименьшие общие кратные значения периодов для прогностической модели.

По перечню эффективных периодов для модели строятся эталонные ряды $L_j^{(k)}$, где k — номер эталонного ряда. По эталонным рядам $L_j^{(k)}$ и исходному ряду данных наблюдений t вычисляется

уравнение множественной регрессии значений t от значений эталонных рядов $L_j^{(k)}$. Для прогностических целей продлеваем ряды $L_j^{(k)}$ на три года вперёд, где $j = n + 1, n + 3$.

Полученные коэффициенты уравнения регрессии и эталонные прогностические значения используются для вычисления прогностических значений исследуемого ряда t данных наблюдений на годы $j = n + 1, j = n + 2, j = n + 3$.

Испытание модели проводилось по данным ТПО в Северной Атлантике. В каждом узле географической сетки по каждому месяцу было составлено по 16 прогнозов среднемесячной ТПО на интервале 2001–2016 гг.

Прогноз включал прогноз аномалии ТПО (ожидаемые отклонения от тренда) и прогностические трендовые значения ТПО, которыми считались средние значения полинома за последние пять лет перед прогнозом. Оправдываемость прогнозов аномалий ТПО оценивалась по двум градациям: 1 — больше нормы; 2 — равно или меньше нормы. В качестве нормы использовались средние значения ТПО за последние 30 лет, предшествующих году прогноза.

Оценки оправдываемости ТПО вычислялись на независимых данных. Так, например, для прогноза ТПО на 2001–2003 гг. привлекались данные о ТПО в узле по 2000 год, а полученные прогностические значения на 2001–2003 гг. сравнивались с фактическими данными за 2001–2003 гг. Далее составлялись прогнозы на 2002–2004 гг. по данным до 2001 года и т.д. Получены среднеквадратические ошибки прогноза ТПО и оценки оправдываемости знака аномалий ТПО (в %) на один и два года в каждом узле для каждого месяца и для каждого календарного сезона за период 2001–2016 гг. Средние значения температуры по сезонам весна (март – май), лето (июнь – август) и осень (сентябрь – ноябрь) вычислялись по прогностическим месячным значениям на прогнозируемый год, а прогноз на зиму (декабрь – февраль) вычислялся по прогностическим значениям на декабрь прогнозируемого года и прогностическим значениям на январь и февраль следующего года. То есть прогностическая температура зимы 2001 года вычислялась по значениям декабря 2001 года и января-февраля 2002 года, а температура зимы 2002 года вычислялась по значениям декабря 2002 года и января-февраля 2003 года и т.д.

В табл. 6.1 приведены оценки качества прогнозов ТПО в Северной Атлантике с заблаговременностью один и два года для всех месяцев. В прогнозе средней ТПО за зиму на два года использовались прогностические значения декабря, вычисленные с заблаговременностью два года, и января-февраля с заблаговременностью три года.

Таблица 6.1

**Среднеквадратические ошибки прогноза аномалий
температуры поверхности океана в Северной Атлантике
с заблаговременностью 1 и 2 года**

Месяц	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
На 1 год	0,48	0,48	0,56	0,54	0,59	0,69	0,68	0,68	0,60	0,61	0,51	0,58
На 2 года	0,57	0,53	0,58	0,55	0,59	0,65	0,71	0,62	0,61	0,59	0,56	0,53

Среднеквадратические ошибки прогнозов месячных значений ТПО оказались в интервале от 0,48 до 0,71.

В табл. 6.2 показана по месяцам оправдываемость знака аномалий ТПО относительно норм за последние 30 лет. Оправдываемость прогноза аномалий оказалась в интервале от 69 до 81 % в разные месяцы при прогнозе на один и два года. Значения оправдываемости прогнозов мало отличаются друг от друга при прогнозе на год и на два, так экстраполяция проводилась по циклам длительностью не менее трёх лет.

Таблица 6.2

**Оправдываемость (%) прогноза знака аномалий температуры
по Северной Атлантике с заблаговременностью 1 и 2 года
по месяцам (использованы нормы за 30 лет)**

Месяц	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
Прогноз на 1 год	71,8	70,0	68,8	69,7	69,7	69,4	71,3	76,2	79,0	80,9	76,4	72,8
Прогноз на 2 года	73,3	69,9	69,1	71,1	70,6	70,9	72,0	77,1	79,4	81,5	77,2	74,0

Сезонными прогнозами ТПО являются средние значения ТПО, полученные из месячных прогнозов ТПО: 1) весна: март – май; 2) лето: июнь – август; 3) осень: сентябрь – ноябрь; 4) зима: декабрь и январь-февраль следующего года. Среднегодовые прогностические значения ТПО получены осреднением месячных

прогностических значений за январь – декабрь. Оправдываемость сезонных прогнозов показана в табл. 6.3.

Таблица 6.3

**Оправдываемость (%) прогноза знака аномалий
среднесезонной температуры и среднегодовой температуры
с заблаговременностью 1 и 2 года (использованы нормы за 30 лет)**

Сезон	Весна	Лето	Осень	Зима	Год
Прогноз на 1 год	68,9	73,2	79,9	72,2	81,5
Прогноз на 2 года	70,0	73,8	79,7	72,8	80,9

Пространственные особенности оправдываемости представлены на картах для сезонов лето и зима (рис. 6.2).

Рис. 6.2 демонстрирует пространственную неоднородность оправдываемости прогнозов ТПО. В среднем удовлетворительная оправдываемость прогнозов месячных и среднесезонных значений ТПО в узлах географической сетки подтверждает возможность расширения предела предсказуемости аномалий ТПО до двух лет с месячным и сезонным разрешением.

В основу прогностической модели были положены следующие представления о свойствах климатической системы и закономерностях формирования короткопериодных колебаний климата:

- климатическая система является колебательной системой со своими собственными частотами в каждой воздушной массе в зависимости от региона формирования воздушной массы;
- смена сезона сопровождается смещением по широте климатологических фронтов и сменой воздушной массы на фиксированной станции, поэтому циклы температурных изменений не переходят в следующий сезон, но имеют продолжение через год в одноимённом сезоне;
- зависимость температурных условий одного сезона от другого слабее циклических межгодовых связей температуры одноимённых сезонов. Прогностические циклы необходимо искать по многолетним данным в межгодовых колебаниях отдельно по каждому сезону или месяцу;
- колебания на собственных частотах — это колебания под действием внутренних сил после того, как система выведена из состояния равновесия;

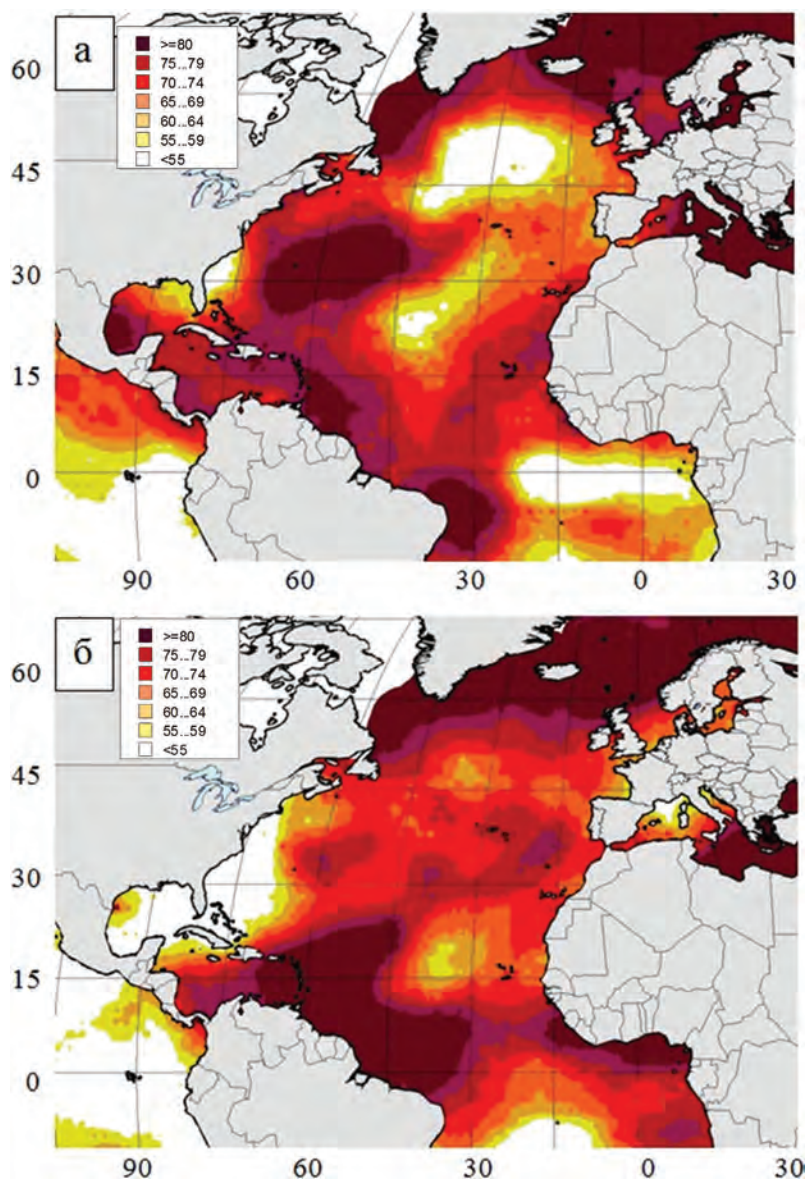


Рис. 6.2. Оправдываемость (%) прогноза с годовой заблаговременностью аномалий ТПО в узлах географической сетки $5 \times 5^\circ$ по оценкам за 2001–2016 гг.: а) лето; б) зима

- из состояния равновесия колебательную систему климата выводят внешние квазирезонансные воздействия космоса;
- квазирезонансные внешние воздействия вызывают биения колебаний в климатической системе;
- в моменты наступления резонанса или биений в климатической системе усиливаются колебания за счёт высвобождения внутренней энергии.

При всей сложности суммарной картины короткопериодных колебаний климата во временных рядах ТПО обнаруживаются составляющие колебаний, которые содержат аналоги в отрезках временного ряда, имеющие прогностическое значение.

Предложенный подход позволяет прогнозировать с годовой заблаговременностью среднемесячную ТПО с оправдываемостью знака аномалий более 70 %.

6.2. Сезонные прогнозы температуры воздуха

Годовой цикл смены сезонов диктует необходимость планирования взаимосвязанных сезонных работ на весь предстоящий год, в связи с этим наиболее востребованными являются прогнозы погодно-климатических условий с годовой заблаговременностью, однако, таких прогнозов метеорологические службы не составляют.

В Северо-Евразийском региональном климатическом центре Росгидромета составляются ансамблевые сезонные прогнозы на предстоящий сезон перед началом каждого сезона (с нулевой заблаговременностью) по методикам Гидрометцентра России (Хан В.М. и др., 2011) и по методике ГГО (Муравьёв А.В., Вильфанд Р.М., 2000). По оценкам авторов (Вильфанд Р.М. и др., 2019), средняя квадратическая ошибка оперативных прогнозов температуры воздуха на предстоящий сезон по территории России (для 70 станций) за три испытательных года составила в среднем 1,94 °С. Эти методики не позволяют получать прогностические оценки погодно-климатических условий на более длительные сроки.

В основу упомянутых методов сезонных прогнозов погодно-климатических условий (Хан В.М. и др., 2011), как и прежде, положено представление о преемственности процессов в климатической системе от сезона к сезону. Теперь надо признать, что такой подход

оправдывал себя при краткосрочных прогнозах, но неприемлем для долгосрочных прогнозов.

В настоящей работе для метода сезонных прогнозов применён принципиально другой подход, в котором учитывается существование естественных синоптических сезонов, начало и конец каждого из которых характеризуется установлением и прекращением характерного для него режима атмосферной циркуляции и формированием собственных закономерностей изменения температуры во времени, отличных от закономерностей предшествующего сезона. Вопреки основному классическому постулату о преемственности атмосферных процессов между сезонами, в предлагаемом методе заведомо учитывается, что близкие исходные состояния атмосферы одного сезона на станции могут привести к совершенно разным синоптическим ситуациям в следующем сезоне. И второй важный момент следует учитывать, что атмосфера Земли подразделяется на воздушные массы, каждая из которых существенно отличается от других по своим метеорологическим условиям и по закономерностям изменений этих условий во времени. Особенности воздушных масс определяются районами их формирования. Смена сезонов сопровождается смещением границ воздушных масс по Земле и сменой основных закономерностей изменения метеорологических величин на каждой станции. Из-за этого на фиксированных станциях наблюдается слабая преемственность атмосферных процессов при переходе от одного сезона к другому.

Закономерности сезонных изменений атмосферной циркуляции связаны с изменениями от сезона к сезону притока солнечной радиации на разных широтах. Относительное нагревание материков летом и охлаждение зимой приводит к смене знаков контрастов температур между материками и океанами, к изменению направлений воздушных течений при смене сезонов. Наибольшие сезонные изменения атмосферной циркуляции происходят в районах муссонов, где при смене сезонов происходит изменение преобладающих направлений ветров на противоположные. В других районах сезонные изменения проявляются в различной повторяемости и интенсивности циклонов и антициклонов, смещении их траекторий, изменении географического положения и интенсивности высотных фронтальных зон.

Несмотря на плавный годовой ход среднесуточной инсоляции, общая циркуляция атмосферы имеет свойства сохранять в течение сезона направления основных воздушных потоков и положение центров действия атмосферы, а затем резко переходить на другой режим, соответствующий следующему сезону. Об этом известном факте можно условно сказать, что атмосферная циркуляция имеет свойства квантоваться по сезонам. Длительность времени, в которой сохраняются все основные свойства атмосферной циркуляции, можно назвать квантом циркуляции-сезона. Промежутки между такими единицами длительности — величина не постоянная. Многими авторами было установлено, что границы естественных синоптических сезонов существенно изменяются с годами и зависят от индивидуальных особенностей каждого года. В первом естественном синоптическом районе ещё в первой половине XX века Б.П. Мультановским (Мультановский Б.П., 1933) было выделено шесть сезонов: зима, весна, первая и вторая половина лета, осень и предзимье. Во втором синоптическом районе им были найдены другие шесть сезонов: первая и вторая половина зимы, весна, лето, осень и предзимье. Каждому естественному синоптическому сезону свойственны своя географическая локализация и интенсивность тропосферных источников и стоков тепла, свои особенности теплообмена между высокими и низкими широтами, теплообмена между океаном и континентом. Следовательно, каждому сезону присущи собственные закономерности формирования многолетних изменений температуры воздуха, которые слабо связаны с особенностями предыдущего сезона. Из этого следует, что основной постулат, который закладывался в сезонные прогнозы погоды в течение многих десятилетий, является не совсем верным.

Каждая метеорологическая станция в течение синоптического сезона находится в области одной воздушной массы, а в следующем сезоне она уже оказывается в другой воздушной массе. Циклические изменения метеорологических величин в каждой воздушной массе определяются собственными частотами колебаний, характерными для района формирования каждой воздушной массы. Вместе со сменой синоптического сезона на станции происходит резкая смена циклических закономерностей, что делает невозможным

экстраполяцию изменений метеорологических величин за пределы сезона. Синоптические процессы непрерывны в пределах воздушной массы, но на каждой фиксированной станции они обрываются на границах сезонов. Циклы в метеорологических величинах на станции, сложившиеся в одном сезоне, не имеют продолжения на этой станции в следующем сезоне, но они продолжатся на этой же станции через год, когда повторится исходный сезон, и станция опять окажется в области исходной воздушной массы. Повторный приход воздушной массы на фиксированную станцию через год позволяет с годовой заблаговременностью искать прогностические закономерности изменения метеорологических величин на станции.

Подтверждением приведённых суждений и предположений являются результаты анализа автокорреляционной функции месячных аномалий температуры воздуха, полученных после вычитания многолетнего годового хода. При сдвиге на один месяц автокорреляционная функция аномалий температуры по станции Москва имеет значение около 0,2, а при сдвиге на 5 месяцев уменьшается до нуля (рис. 6.3).

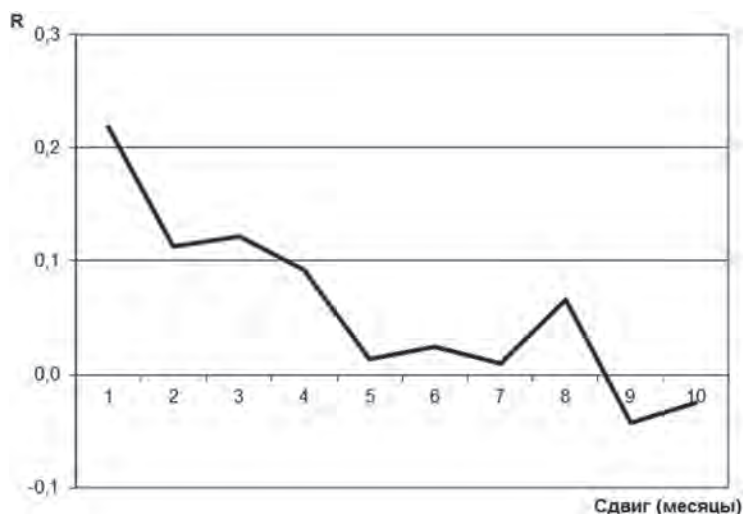


Рис. 6.3. Автокорреляционная функция месячных аномалий температуры в Москве с аномалиями последующих месяцев (сдвиг до 10 месяцев) за 1951–2000 гг. (Шерстюков Б.Г., 2008)

Аналогичные результаты можно получить по любой метеорологической станции. Как уже отмечалось, причиной слабой преемственности атмосферных процессов между соседними месяцами и сезонами на фиксированной станции является сезонная смена на станции воздушных масс. В работе (Тищенко В.А. и др., 2016) также отмечается, что качество гидродинамических прогнозов по мере увеличения заблаговременности уменьшается и это связано с ослаблением влияния начального состояния.

Совсем другие прогностические возможности обнаруживаются при анализе автокорреляционной функции в пределах одной воздушной массы. Если составлять ряды многолетних значений температуры отдельно по каждому месяцу и вычислять автокорреляционную функцию отдельно по каждому месяцу, то обнаруживается, что на интервале сдвигов до 29 лет её значения несколько раз циклически возрастают до 0,3 и выше (рис. 6.4).

Многократное появление повышенных значений автокорреляции через несколько лет (рис. 6.4) является следствием неслучайных многолетних колебаний температуры внутри одной воздушной массы, а нарушение связи между смежными сезонами (рис. 6.3) является следствием сезонной смены воздушной массы на станции. Из всего сказанного вытекает важное прогностическое

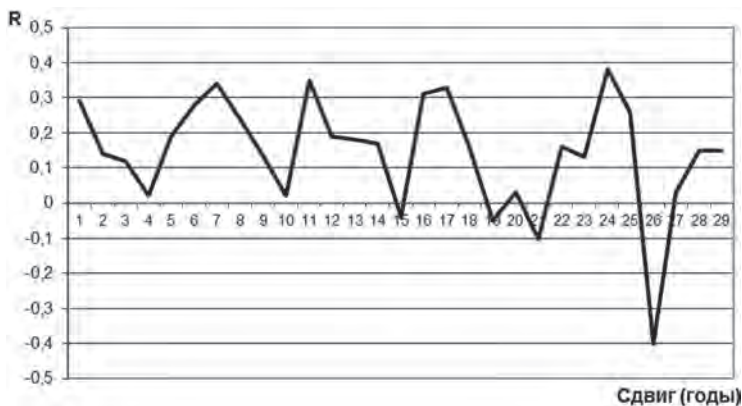


Рис. 6.4. Автокорреляционная функция (сдвиг до 29 лет) погодичных аномалий мартовской температуры в Москве за 1951–2000 гг. (Шерстюков Б.Г., 2008)

следствие — прогностические циклы для сезонных прогнозов необходимо искать по многолетним данным в межгодовых колебаниях температуры отдельно по каждому сезону или по каждому месяцу и не надеяться на преемственность связей по смежным сезонам.

Прогностические связи для сезонных прогнозов с годовой заблаговременностью оказываются более тесными, чем связи с нулевой заблаговременностью. На станциях с фиксированными географическими координатами межсезонная смена воздушных масс ломает межсезонные связи.

В работе использованы ряды месячных значений температуры воздуха по 180 длиннорядным станциям России из фондов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», равномерно распределённым по территории страны за период с 1964 по 2019 год.

Для экспериментальных сезонных прогнозов и оценки их успешности применялся статистический метод экстраполяции ритмов, который описан в разделе 6.1 на примере сезонных прогнозов температуры поверхности океана в Северной Атлантике. Ранее автором было установлено, что во временных рядах метеорологических величин можно выделить несколько многолетних интервалов, в каждом из которых кажущееся случайным появление нескольких неперiodических возмущений почти в точности повторяется в других таких же по длительности интервалах. Это даёт возможность предвидеть аналогичную последовательность неперiodических возмущений метеорологической величины в предстоящем (прогностическом) интервале. Важно правильно выделить длительность этих интервалов, но это не всегда удаётся сделать. Поэтому лучшие результаты даёт ансамблевый подход, при котором ведётся поиск нескольких таких интервалов, обладающих прогностической информативностью. По каждому из них выполняется экстраполяция ритмов температуры и затем проводится их обобщение методом множественной регрессии (Шерстюков Б.Г., 2019а).

Предполагается, что долгопериодные ритмы в атмосфере формируются океаном. Океан обладает несравнимо большей тепловой энергией и тепловой инерционностью по сравнению с атмосферой, и поэтому во взаимодействии океана и атмосферы океан является доминирующим в формировании долгопериодных колебаний,

которые являются основой для поиска закономерностей долго-периодных (многомесячных и многолетних) колебаний метеорологических величин и для построения на их основе долгосрочных метеорологических прогнозов большой заблаговременности.

Статистическая модель построена с учётом известных и гипотетических свойств колебаний в климатической системе со своими собственными частотами в каждом климатическом районе и с биениями при суперпозиции колебаний (Шерстюков Б.Г., 2018). Возникающие биения колебаний в климатической системе, включая атмосферу, повторяются через несколько лет, при этом появляются интервалы лет с аналогичной последовательностью возмущений температуры (Шерстюков Б.Г., 2019а). Прогностическая модель основана на выделении ансамбля отрезков-аналогов колебаний во временных рядах температуры и последующей их экстраполяции. Прогностические ритмы для сезонных прогнозов выделяются по многолетним данным в межгодовых колебаниях температуры по временным рядам, построенным для каждого месяца отдельно. Сначала выполняется прогноз месячных значений температуры воздуха на станции с 11-месячной заблаговременностью, а затем по месячным прогностическим значениям вычисляются среднесезонные прогностические значения температуры воздуха путём осреднения по трём месяцам каждого календарного сезона. Данные каждой метеорологической станции обрабатываются независимо от других.

Оправдываемость предложенного метода сезонных прогнозов температуры по территории России оценивалась по сезонам и за год по 180 станциям России по ретроспективным прогнозам за 20 лет — с 2000 по 2019 год. Прогностические значения и оценки качества прогнозов вычислялись по независимым данным. Например, составление прогноза на январь 2000 года по заданной метеорологической станции основывалось на анализе тридцатишестилетнего ряда данных наблюдений на этой станции с января 1963 года по январь 1999 года. Прогноз на февраль 2000 года вычислялся по данным с февраля 1963 года по февраль 1999 года и так далее по всем месяцам 2000 года. Аналогично прогноз на январь 2001 года вычислялся по тридцатишестилетним январским данным за 1964–2000 гг. и так далее для каждого месяца 2001 года. Таким

образом вычислялись прогностические месячные значения температуры для всех лет имеющихся к настоящему времени данных наблюдений — с 2000 по 2019 год.

Все оценки успешности прогнозов получены на основе сравнения прогностических значений с фактическими значениями по данным наблюдений. Оправдавшимися считались те прогностические значения, которые попадали в некоторый заданный интервал разброса относительно фактического значения. Ширина каждого интервала задавалась на основе функции нормального распределения. Эта ширина охватывает диапазон значений, в который должны попасть 33 % всех возможных случайных отклонений прогностических значений температуры от фактической температуры при их нормальном распределении. Такой интервал соответствует интервалам часто используемых оценок в трёх градациях — «ниже нормы», «около нормы» и «выше нормы». Из таблицы нормального распределения (Митропольский А.К., 1971) следует, что 33 % всех случайных значений должно оказаться в интервале $\pm 0,63\sigma$ от фактического значения температуры по данным наблюдений (σ — среднеквадратическое отклонение ряда данных наблюдений температуры t). Если значение прогностической температуры t_f отличалось от фактической температуры t не более чем на $0,63\sigma$ в любую сторону от t , то прогноз принимался оправдавшимся:

$$|t - t_f| \leq 0,63\sigma.$$

Если значение t_f выходило за интервал $\pm 0,63\sigma$ относительно t , то прогноз принимался не оправдавшимся.

В соответствии с Методическими указаниями (Методические указания, 1991) оценка оправдываемости знака аномалии производится по формуле:

$$\rho = (n_{\text{оп}} - n_{\text{неоп}})/N, \quad (1)$$

где $n_{\text{оп}}$ — число случаев, для которых прогнозируемое значение не выходило за установленный диапазон отклонений от фактического значения; $n_{\text{неоп}}$ — число случаев, для которых прогнозируемое значение выходило за установленный диапазон отклонений от фактического значения; N — общее число случаев, для которых составлялись прогнозы.

Значения ρ часто называют качественным коэффициентом корреляции. Значение $\rho > 0$ означает, что прогноз знака оправдался более чем в 50 % случаев и, значит, методический прогноз был более успешным, чем случайный. А в случае $\rho < 0$ — прогноз знака оправдался менее чем в 50 % (Гирс А.А., Кондратович К.В., 1978).

Дополнительной проверкой качества прогнозов является оценка с учётом знака и величины аномалии. Согласно (Методические указания, 1991), прогноз может оказаться удовлетворительным только по знаку аномалий, удовлетворительным только по величине отклонения от фактического значения или удовлетворительным по двум из указанных показателей. Если прогноз оказывается удовлетворительным по величине и по знаку отклонения от фактического значения, то качество прогноза принимается хорошим. Если ни одно из условий сравнения с климатологическим прогнозом не выполняется, то прогноз принимается плохим.

Для оценки оправдываемости прогноза величины аномалии использовалась формула (Гирс А.А., Кондратович К.В., 1978) :

$$Q = \frac{1}{N} \sum_i^N \left(\frac{\delta_i}{\sigma} \right)^2, \quad (2)$$

где N — число прогнозов; δ — ошибка прогноза для одного случая; σ — среднеквадратическое отклонение. Значение $Q > 1$ означает, что по величине погрешность прогноза больше погрешности климатологического прогноза, при $Q = 1$ эти погрешности равны, а при $Q < 1$ погрешность прогноза меньше погрешности климатологического прогноза по величине.

Прогнозы месячной температуры на январь следующего года составляются с заблаговременностью 11 месяцев после получения в феврале данных наблюдений за январь текущего года, а среднесезонные прогностические значения вычисляются с заблаговременностью 9 месяцев. Заблаговременность 9 месяцев означает, что после сбора данных наблюдений за декабрь – февраль в начале марта составляется прогноз температуры на зиму (декабрь – январь) следующего года. После сбора данных наблюдений за март-май в начале июня составляется прогноз температуры на весну следующего года (март – май) и так далее. Среднегодовое прогностическое значение

температуры на январь – декабрь следующего года вычисляется в начале января текущего года.

Обобщённая оценка успешности сезонных прогнозов вычислялась по всем 20 годам и по всем 180 станциям при сравнении прогностического сезонного значения температуры на заданный год с фактическим значением сезонной температуры в этот год. Каждая обобщённая оценка успешности сезонных прогнозов получена на основе обработки 3600 случаев прогнозов. Принималось, что прогнозы температуры на заданный сезон или год по станциям России имеют хорошую оправдываемость по знаку и величине, если за 20 лет независимых прогнозов получены оценки $Q < 1$ и $\rho > 0$. Хороший прогноз позволяет уменьшить неопределённость наших знаний о предстоящем значении сезонной температуры на станции в следующем году. Вычислялись также обобщённые средние и среднеквадратические ошибки сезонных и годовых прогнозов.

В табл. 6.4 приведены средние и средние квадратические ошибки прогнозов температуры, обобщённые за 20 лет по 180 станциям России, а также подсчитанное количество станций с хорошими прогнозами ($Q < 1$ и $\rho > 0$) в процентах от общего количества всех станций. Значения приведены отдельно по каждому сезону и для среднегодовых значений температуры.

Таблица 6.4

Оценки качества прогнозов сезонной и годовой температуры по станциям России с заблаговременностью 9 месяцев. Оправдываемость попадания прогноза в интервал отклонений от фактического значения не более чем на $\pm 0,63\sigma$

	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Средняя ошибка, °C	0,01	-0,34	-0,07	-0,34	-0,16
Средняя квадратическая ошибка, °C	2,14	1,69	1,14	1,56	0,99
Количество хороших прогнозов, %	96,6	92,2	88,8	90,5	100

Из таблицы следует, что средние ошибки практически не смещены. Наименьшая среднеквадратическая ошибка прогнозов была летом (1,14 °C), наибольшая — зимой (2,14 °C). Ошибка прогноза среднегодовой температуры составила 0,99 °C. Обобщённая по всем сезонам среднеквадратическая ошибка сезонных прогнозов с заблаговременностью 9 месяцев составила 1,67 °C. Для сравнения,

среднеквадратическая ошибка сезонных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью составила 1,94 °C (Вильфанд Р.М. и др., 2019).

Табл. 6.4 показывает, что новый подход к построению сезонных прогнозов позволяет получить неслучайные прогнозы температуры с заблаговременностью 9 месяцев. По совместным оценкам величины и знака отклонений прогнозируемой температуры от фактической температуры больше всего станций с неслучайными сезонными прогнозами оказалось зимой — 96,6 % от общего количества выполненных испытательных прогнозов. Весной неслучайных прогнозов оказалось 92,2 %, летом — 88,8 %, осенью — 90,5 %. Из всех прогнозов среднегодовой температуры 100 % оказались лучше случайных прогнозов.

Приведённые обобщённые оценки показывают долю прогнозов (в %), по которым методический прогноз был более успешным, чем случайный по знаку и по величине. Но для оценки оправдываемости прогнозов необходимы другие количественные оценки. Прогнозисты часто используют показатель ρ для этих целей, вычисляемый по формуле (1). Средние за 2000–2019 гг. значения успешности экспериментальных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД по сезонам и за год показаны в табл. 6.5. Для сравнения там же приведены средние оценки ρ успешности сезонных прогнозов СЕКЦ. Оценки ρ успешности оперативных сезонных прогнозов Северо-Евразийского регионального климатического центра (ГМЦ РФ) приводятся на сайте <http://seakc.meteoinfo.ru/verif> на каждый год с 2012 по 2019 год. Это позволило получить средние оценки ρ за 2012–2019 гг. для прогнозов СЕКЦ и сравнить с ними оценки прогнозов ВНИИГМИ-МЦД.

Таблица 6.5

Средние оценки ρ успешности экспериментальных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД по сезонам и за год и сезонных прогнозов СЕКЦ

	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
ВНИИГМИ-МЦД	0,43	0,30	0,30	0,31	0,80
СЕКЦ	0,10	0,26	0,38	0,18	-

Прогнозы ВНИИГМИ-МЦД на зимний, весенний и осенний сезоны оказались успешнее прогнозов СЕКЦ, а летние прогнозы оказались более успешными в СЕКЦ. При этом дополнительным

преимуществом прогнозов ВНИИГМИ-МЦД является заблаговременность 9 месяцев против нулевой заблаговременности прогнозов СЕКЦ. Прогноз среднегодовой температуры возможен только по методике ВНИИГМИ-МЦД и его успешность оказалась очень высокой ($\rho = 0,8$).

Более подробно рассмотрим оценки успешности прогнозов по годам. Для этого по формуле (1) для каждого года отдельно вычислены оценки успешности экспериментальных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД, обобщённые по всем станциям. И для каждого года успешность оценивалась отдельно по четырём сезонам и для прогностического среднегодового значения температуры. На рис. 6.5–6.8 по сезонам и на рис. 6.9 для среднегодовой температуры показаны графики изменения успешности ρ официальных оперативных прогнозов СЕКЦ ГМЦ за 2012–2019 гг. и экспериментальных ретроспективных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД за 2000–2019 гг.

Рис. 6.5 демонстрирует превосходство успешности на зиму прогнозов ВНИИГМИ-МЦД относительно прогнозов СЕКЦ. Вместе с тем видно, что не каждый год прогнозы ВНИИГМИ-МЦД были успешными. Случайными они оказались в 2001, 2002, 2006 и 2010 гг. (четыре года случайных прогнозов из двадцати). Зимние прогнозы СЕКЦ были случайными в 2012, 2015 и 2017 гг. (три случайных из восьми).

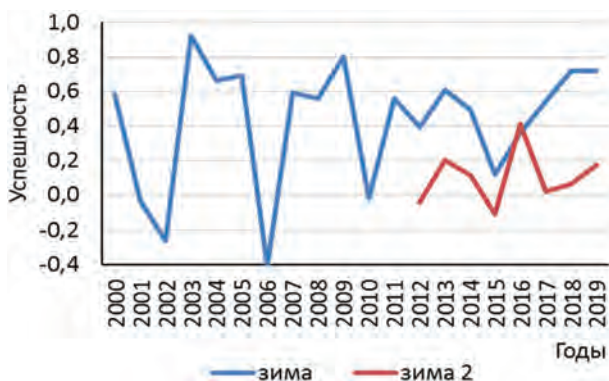


Рис. 6.5. Успешность сезонных экспериментальных прогнозов зимней температуры с заблаговременностью 9 месяцев (зима) и оперативных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью (зима 2)

Успешность весенних прогнозов (рис. 6.6) сильно варьировалась в разные годы как по прогнозам ВНИИГМИ-МЦД, так и по прогнозам СЕКЦ.

Летом (рис. 6.7) пять из двадцати прогнозов ВНИИГМИ-МЦД оказались случайными, а все восемь летних прогнозов СЕКЦ были успешными. Самыми слабыми прогнозы ВНИИГМИ-МЦД оказались в 2002 и 2010 гг, которые отличались необычайными условиями во многих регионах страны, включая экстремальную жару 2002 и 2010 гг. За эти годы нет данных об успешности прогнозов СЕКЦ.

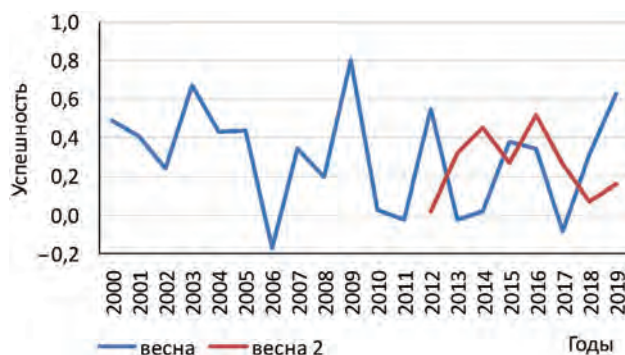


Рис. 6.6. Успешность сезонных экспериментальных прогнозов весенней температуры с заблаговременностью 9 месяцев (весна) и оперативных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью (весна 2)

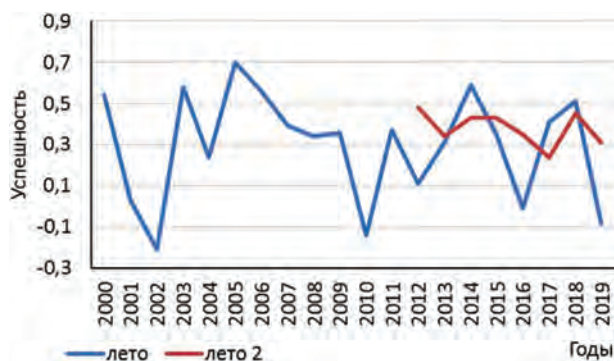


Рис. 6.7. Успешность сезонных экспериментальных прогнозов летней температуры с заблаговременностью 9 месяцев (лето) и оперативных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью (лето 2)

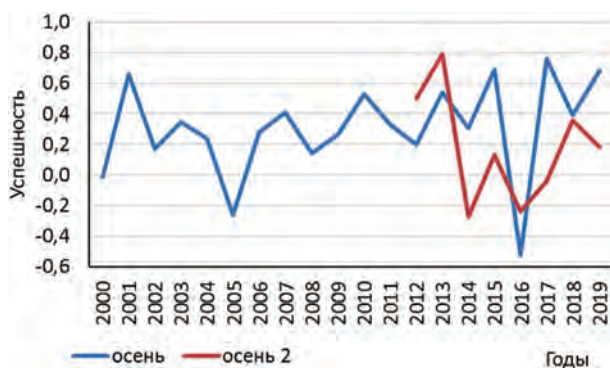


Рис. 6.8. Успешность сезонных экспериментальных прогнозов осенней температуры с заблаговременностью 9 месяцев (осень) и оперативных прогнозов СЕКЦ с нулевой заблаговременностью (осень 2)

Осенью три из двадцати прогнозов ВНИИГМИ-МЦД были случайными и три из восьми прогнозов СЕКЦ оказались случайными. Сравнивая изменение успешности прогнозов по годам, можно отметить, что самые неудачные прогнозы приходятся на одни и те же годы как по прогнозам ВНИИГМИ-МЦД, так и по прогнозам СЕКЦ. Это особенно заметно осенью и зимой.

Прогнозы ВНИИГМИ-МЦД среднегодовой температуры (рис. 6.9) во все годы имели хорошую успешность. По методике СЕКЦ составление таких прогнозов невозможно.

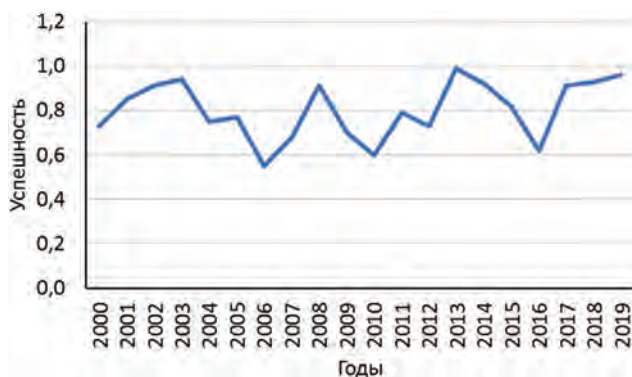


Рис. 6.9. Успешность экспериментальных прогнозов среднегодовой температуры

Для понимания пространственных особенностей успешности прогнозов ВНИИГМИ-МЦД для каждой станции была вычислена оправдываемость попадания прогностической температуры в интервал $\pm 0,63\sigma$ относительно t за 2000–2019 гг. На рис. 6.10–6.14 приведены карты оправдываемости экспериментальных прогнозов ВНИИГМИ-МЦД по сезонам и за год.

Общей особенностью пространственного распределения очагов наилучшей оправдываемости прогнозов во все сезоны является их связь с рельефом, с известными направлениями основных воздушных потоков по сезонам, а также обнаруживается зависимость успешности прогнозов от удалённости района от океанов.

Зимой на юге Европейской территории России (ЕТР) оправдываемость прогнозов составила 60–74 %. В средних и высоких широтах Европейской территории, а также в южной половине Западной Сибири оправдываемость зимних прогнозов выше 70–75 % или даже превышает 85 %. В бассейне Енисея оправдываемость — 70–74 %. В других районах Сибири в средних широтах — 65–69 %, а в южной части Сибири — хуже. На Дальнем Востоке (восточнее Лены) оправдываемость зимних прогнозов преимущественно выше 70 %,

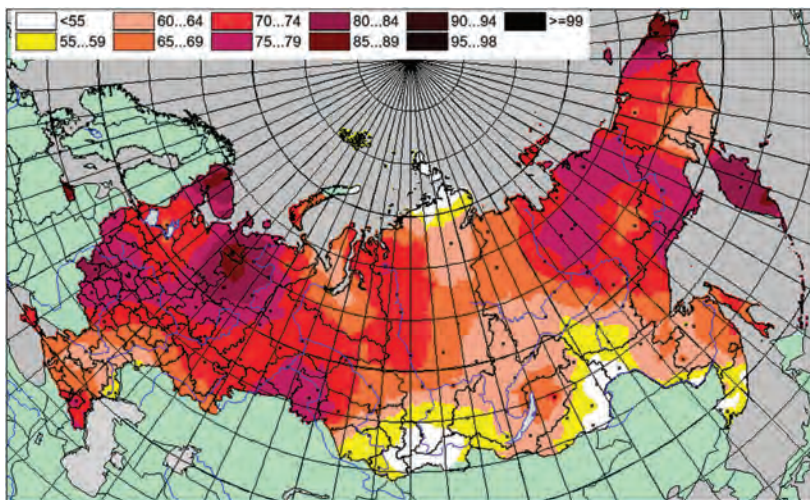


Рис. 6.10. Оправдываемость сезонных прогнозов температуры воздуха (%).
Зима

в некоторых районах — выше 75 %. На Камчатке оправдываемость зимних прогнозов температуры составила 80–84 %.

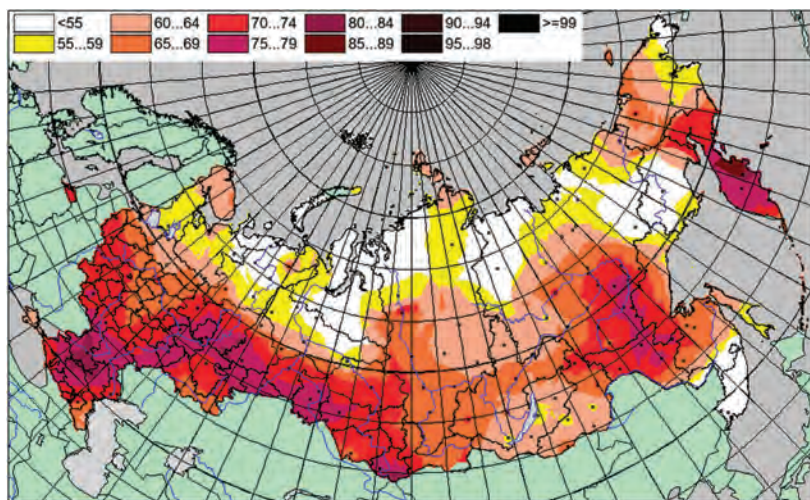


Рис. 6.11. Оправдываемость сезонных прогнозов температуры воздуха (%).
Весна

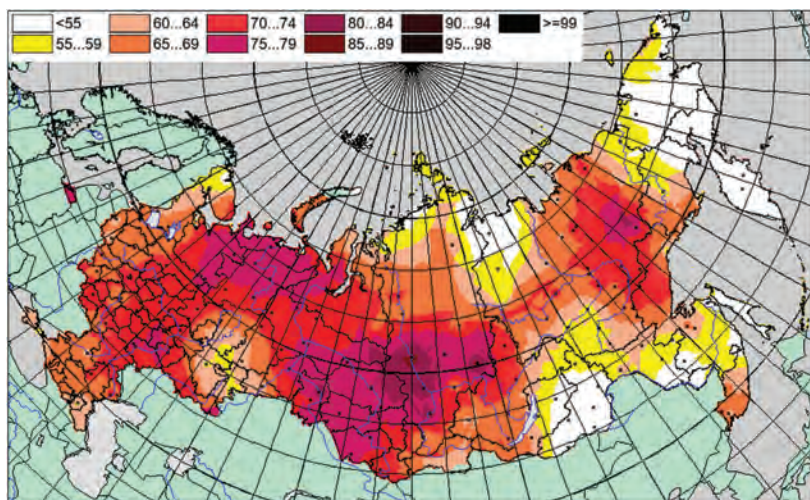


Рис. 6.12. Оправдываемость сезонных прогнозов температуры воздуха (%).
Лето

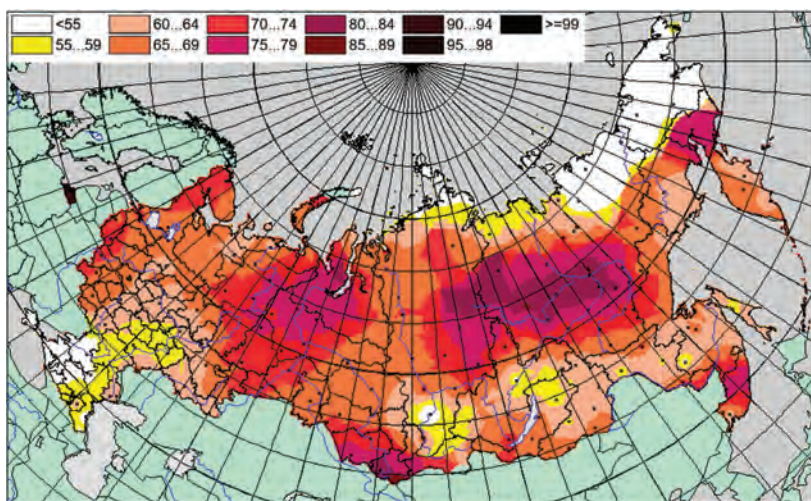


Рис. 6.13. Оправдываемость сезонных прогнозов температуры воздуха (%).
Осень

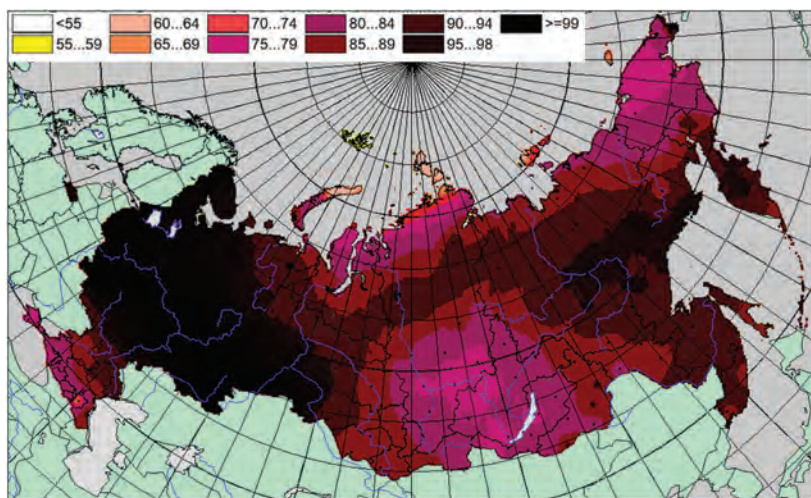


Рис. 6.14. Оправдываемость прогнозов среднегодовой температуры
воздуха (%)

Области успешных прогнозов на ЕТР и на юге Западной Сибири совпадают с границами Первого естественного синоптического

района, который, как известно, является районом влияния Атлантики, наиболее отчётливо проявляющегося в холодное полугодие.

Другие области более успешных прогнозов также примыкают к океанам. Долина Енисея — это область затоков воздуха с Северного Ледовитого океана из района Карского моря. Север Дальнего Востока находится под влиянием воздушных масс Северного Ледовитого океана в области моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. А юг и восток Дальнего Востока вместе с Камчаткой находятся во власти воздушных масс Тихого океана.

Весной оправдываемость прогнозов в средних и южных широтах ЕТР, а также в прилегающей южной половине Западной Сибири составила от 65 до 84 %. В южной половине Восточной Сибири оправдываемость 60–69 %, а в среднем и верхнем течении Лены и её притоков — 70–79 %. На Камчатке оправдываемость весенних прогнозов 75–84 %, а в бассейне Колымы — 60–69 %. В других районах России, относящихся преимущественно к высоким широтам, оправдываемость ниже 60 % или случайная.

Летом хорошая оправдываемость прогнозов в ЕТР и почти во всей Западной Сибири от 70 до 89 %. На севере Восточной Сибири и в Забайкалье оправдываемость летних прогнозов ниже 64 % или случайная. На Дальнем Востоке в долготном интервале от Верхоянского хребта до Анадырского плоскогорья оправдываемость 70–79 %. С запада, юга и востока этот район ограничен хребтами или горными цепями и открыт с севера. Очевидно, что долгопериодные закономерности изменений температуры в этом районе формируются затоками воздушных потоков из моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря.

Осенью в средних и высоких широтах ЕТР оправдываемость прогнозов составила 65–74 %, на юге ЕТР осенние прогнозы оправдывались в 55–59 % случаев, а на некоторых станциях оказались случайными. В Сибири почти на всей территории оправдываемость выше 65 %, при этом в Западной Сибири на всех широтах — от 70 до 79 %, а в Восточной Сибири в средних широтах оправдываемость осенних прогнозов 70–84 %. В южных и средних широтах Дальнего Востока оправдываемость осенних прогнозов составила преимущественно 60–69 %, на некоторых станциях — 75–79 %. В этом

протяжённом районе, прилежащем к Тихому океану, цикличность может определяться затоками воздушных потоков с Тихого океана.

Прогноз среднегодовой температуры оправдывался почти на всех станциях более чем на 75 %. Примерно на половине станций оправдываемость среднегодовых значений составила более 80 %. На ЕТР, на юге Западной Сибири, в средних широтах Дальнего Востока и на Камчатке оправдываемость достигала 99 %.

Новый подход позволил строить прогнозы месячной и сезонной температуры на каждой станции с заблаговременностью 9–11 месяцев. Оправдываемость авторских сезонных прогнозов оказалась выше, чем прогнозы СЕКЦ с нулевой заблаговременностью для зимы, весны и осени. Летом лучшими оказались прогнозы СЕКЦ.

Обобщённые оценки успешности прогнозов по знаку и величине и сравнение их со случайными прогнозами показали, что больше всего станций с неслучайными сезонными прогнозами (оправдываемость более 50 %) оказалось зимой — 96,6 % от общего количества выполненных испытательных прогнозов. Весной неслучайных прогнозов оказалось 92,2 %, летом — 88,8 %, осенью — 90,5 %. Из всех прогнозов среднегодовой температуры 100 % оказались лучше случайных прогнозов.

Оценки успешности прогнозов по каждой станции и каждому сезону отдельно показали, что предлагаемый метод сезонных прогнозов позволяет строить сезонные прогнозы в большинстве регионов России с оправдываемостью от 70 до 80 %. При этом в прогнозах по каждому сезону обнаружены районы, в которых прогнозы близки к случайным. Более успешными прогнозы оказались в районах более сильного взаимодействия атмосферы с океанами. Районы успешных прогнозов обнаружены не только в зоне влияния Атлантики, но и на просторах Сибири и Дальнего Востока в зоне влияния Северного Ледовитого и Тихого океанов. Этот вопрос требует более глубокого изучения. Вопрос о влиянии Индийского океана остаётся открытым.

Прогноз среднегодовой температуры оправдывается в 80–99 % почти на всей территории страны.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для планирования с почти годовой заблаговременностью сезонных работ в погодозависимых отраслях экономики.

6.3. Прогноз изменений климата на примере температуры в Москве

Огромная теплоёмкость слоя взаимодействия океана с атмосферой всегда определяет доминирование океана над атмосферой в их взаимодействии. Исключение возможно только в тонком верхнем слое океана, на который могут проникать короткопериодные колебания термодинамического режима приповерхностной атмосферы. Сезонные и межгодовые колебания термодинамического режима океана не связаны с воздействием атмосферы, а определяются циркуляционными процессами в глубинах океана. Поэтому теплообмен океан-атмосфера является генератором долгопериодных колебаний температуры, влажности и ветра в атмосфере.

На первом этапе ставилась задача определения района в Мировом океане, температура поверхности которого влияет на температурный фон в Центральном регионе России. На втором этапе стояла задача прогноза изменений климата в Центральном регионе на основе асинхронной регрессии.

Пространственные особенности и долгопериодные изменения температуры поверхности океана (ТПО) определяются местными физико-географическими и физическими условиями в океане, а также океаническими течениями. Существует глобальная система океанической циркуляции, которая перераспределяет тепло по всему миру. Теория большого конвейера океанических течений утверждает, что региональные океанические течения объединены в одну общую систему (Broecker W.S., 1991). Северо-Атлантическая глубинная вода, двигаясь на юг, пересекает экватор и, достигнув в Южном полушарии широты 30–40°, поворачивает на восток, где сливается с глубинным течением, окружающим Антарктиду. Затем даёт ответвление на север в Индийском океане и продолжает путь в широтном направлении до Тихого океана, где поворачивает на север. Таким образом формируется получившая широкую популярность Петля Брокера, или Большой океанический конвейер. Основной движитель конвейера — термохалинный механизм, работающий в Северной Атлантике (см. главу 2). Ещё в 1970 году в работе (Максимов И.В. и др., 1970) было отмечено, что перераспределение тепла по планете морскими течениями составляет один

из основных климатообразующих факторов на Земле. Позднее эти сведения получили новые подтверждения и развитие (Лаппо С.С., 1984; Лаппо С.С. и др., 2006; Broecker W.S., 1991).

Анализируя асинхронную ковариационную структуру климатических индексов, в работе (Wyatt M. et al., 2012) описывается распространение сигнала изменения температуры по всему Северному полушарию через последовательность многократных превращений асинхронных атмосферно-океанических дальних связей. По оценкам тех же авторов, первоначальный сигнал изменения температуры в Северной Атлантике, распространяясь, достигает удалённых регионов полушария примерно 30 лет спустя. Тридцатилетнее запаздывание может послужить хорошей основой для прогностических оценок изменения климата на 30 лет.

В работе использовались данные наблюдений за температурой воздуха (Тв) на метеорологической станции Москва за 1879–2016 гг. и данные о температуре поверхности океана ERSST v3b (ERSST v3b, ссылка в списке литературы) в узлах географической сетки $2 \times 2^\circ$ широты и долготы за 1854–2016 гг.

Данные ТПО в узлах севернее 80° с.ш. были получены авторами массива по фрагментарным сведениям, поэтому нами они не использовались.

За многолетнюю историю метеорологических наблюдений в Москве в изменениях среднегодовых значений Тв можно обнаружить составляющие колебаний климата с разными периодами от нескольких лет до нескольких десятилетий, которые накладываются на медленный тренд потепления. Исключим линейный тренд потепления, вычисленный по всему ряду. Полученные отклонения от тренда содержат многолетние колебания, которые предстоит исследовать и экстраполировать на будущее. Межгодовые колебания длительностью менее трёх лет исключаем методом скользящих средних по трём годам.

Аналогичную обработку проделаем с рядами среднегодовой ТПО в каждом узле Мирового океана. Дальние связи будем оценивать по наилучшим (максимальным) асинхронным коэффициентам корреляции между ТПО в каждом отдельном узле географической сетки и Тв в Москве с запаздыванием Тв от 0 до 36 лет. В каждом исследуемом узле из серии асинхронных коэффициентов

корреляции Тв с ТПО выделялся максимальный коэффициент корреляции R и фиксировалась величина L опережения колебаний ТПО в узле относительно последующих колебаний Тв в Москве. Значимыми принимались коэффициенты $R \geq 0,3$ (вероятность случайности менее 5 %). Узлы с $R < 0,3$ исключались из дальнейшего анализа. На карту рис. 6.15 в соответствующий географический узел наносилась величина R , а на карту рис. 6.16 — величина L опережения колебаний ТПО в узле относительно последующих колебаний Тв в Москве.

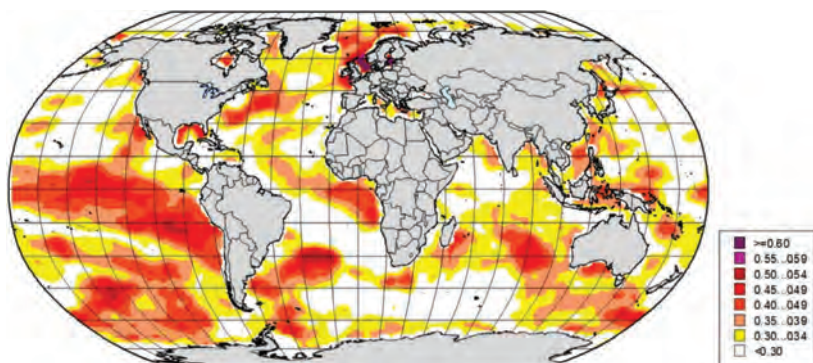


Рис. 6.15. Наилучшие синхронные и асинхронные (сдвиги в пределах от 0 до 36 лет) коэффициенты корреляции ТПО в узлах географической сетки с Тв в Москве. Изменения ТПО опережают изменения Тв.

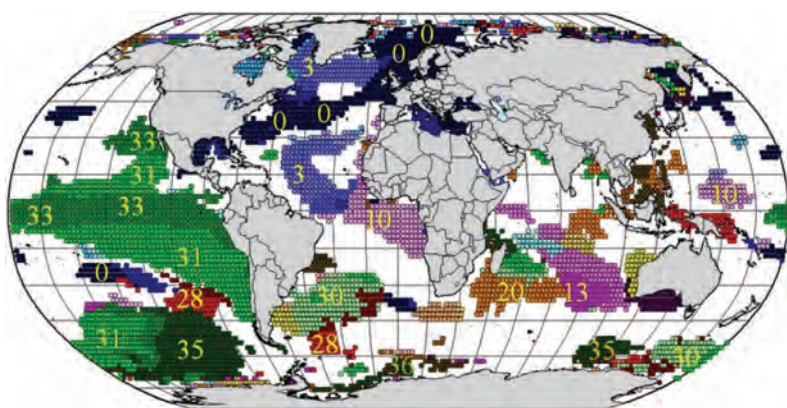


Рис. 6.16. Количество лет, на которые колебания ТПО в узлах географической сетки опережают колебания Тв в Москве.

Наилучшей оказалась синхронная связь ($R = 0,77$) колебаний Тв с ТПО в Северном море в узле с координатами $18,0^\circ$ в.д. и $60,0^\circ$ с.ш. Но для прогностических целей синхронная связь не подходит. А наилучшая асинхронная связь ($R = 0,55$) Тв в Москве с ТПО обнаружилась в далёком узле с координатами 18° з.д. и 30° ю.ш. в Южной Атлантике при опережении ТПО на 30 лет ($L = 30$). Кроме этого, тесная корреляция Тв с ТПО ($R > 0,5$) с опережением ТПО преимущественно на 31–35 лет обнаружилась в Тихом океане на широтах 30 – 65° ю.ш. на траектории Антарктического океанического течения, а также вдоль Перуанского течения в направлении на север и далее с поворотом на запад вдоль экватора по пути Южного Пассатного течения в Тихом океане.

Столь же тесная асинхронная корреляция Тв обнаружена с ТПО в Южной Атлантике — в районах Бразильского и Южного Пассатного течений и в Индийском океане — чуть севернее течения Западных Ветров.

Во всех упомянутых океанах наилучшая асинхронная корреляция ТПО с Тв наблюдается в связи с Антарктическим течением. Антарктическое течение является самым протяжённым и самым мощным течением на Земле. Это поверхностное течение в Южном полушарии, приблизительно между 40° ю.ш. и 55° ю.ш., опоясывает Антарктику с запада на восток, пересекая Атлантический, Индийский и Тихий океаны, в которых от него ответвляются холодные Бенгальское, Западно-Австралийское и Перуанское течения. Широтная зона расположения Антарктического течения является единственной зоной на Земле, в которой материи не преграждают путь океаническому течению при движении вокруг Земли. Эти широты известны своими непрекращающимися штормами. Относительно узкие места в океане между Антарктидой и южными оконечностями континентов Южная Америка и Австралия, а также подводные поднятия дна способствуют ускорению течений, завихрениям и глубокому интенсивному перемешиванию вод океана в этих районах. Течение вызывает подъём холодных глубинных вод на поверхность океана, где они прогреваются, но затем они снова уходят на дно. Перемешивание приводит к усиленному теплообмену между океаном и атмосферой.

В предыдущих разделах монографии было показано, что возмущения ТПО в области океанических течений согласуются с циклическими внешними воздействиями. В одних районах Мирового океана циклические изменения ТПО лучше согласуются с изменениями момента инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы, в других — с геомагнитными возмущениями, в третьих — с изменениями солнечной активности. При всех указанных предполагаемых внешних воздействиях наиболее сильные возмущения ТПО возникают в районе Антарктического циркумполярного течения. Оказалось, что возмущения ТПО, которые дают наилучшую асинхронную корреляцию с колебаниями температуры в Москве, тоже исходят из района Антарктического циркумполярного течения в Тихом и Атлантическом океанах. В Южном океане возмущения происходят за 30–36 лет до появления подобных изменений в Тв в Москве.

За 31–33 года возмущения ТПО возникают в экваториальных широтах в Тихом океане в районах пассатных течений и в примыкающих районах Перуанского и Калифорнийского течений. В Южной Атлантике на рис. 6.16 виден большой район с 30-летним опережением колебаний. А в экваториальной области Атлантики колебания ТПО происходят позднее с опережением колебаний Тв в Москве только на 10 лет. Севернее экватора, повторяя изгиб Срединно-Атлантического хребта, вдоль его восточного склона тянется область до широты 30° с.ш., в которой колебания ТПО только на три года опережают колебания Тв в Москве. А вдоль течения Гольфстрим и Северо-Атлантического течений вытянулась область с колебаниями, синхронными с колебаниями Тв в Москве. Тесная синхронная связь колебаний Тв в Европе с ТПО в Северном море объясняется близостью Северного моря к Европе и преобладающим западно-восточным переносом воздушных масс.

Места появления возмущений ТПО преимущественно совпадают с траекторией большого океанического конвейера, с локализацией его поверхностных течений. По данным о поверхностной температуре удаётся проследить только те фрагменты глобальных течений, которые проявляются на поверхности. Глубинные процессы остаются скрытыми. Общая направленность траектории перемещения возмущений температуры океана стала понятна,

но непрерывного перемещения возмущений по поверхности проследить не удалось, так как поверхностная температура не даёт полной информации, а трёхмерная картина глобального конвейера океанических течений не вполне ясна.

В Индийском океане, ответвление от течения Западных Ветров создают возмущения в ТПО с районами опережения колебаний Тв в Москве на 20, 13 и 7 лет. А в районе океана, прилегающем к Австралии с юга, обнаружился район с колебаниями ТПО, синхронными с колебаниями Тв в Москве. Видимо, время распространения возмущения ТПО по двум описанным траекториям от Антарктического течения (в Атлантическом и Индийском океанах) совпало случайно.

Ранее уже приводились сведения о том, что термохалинная циркуляция, приводимая в движение североатлантическими глубинными водами, является глобальным явлением, распространяющимся на Индийский и Тихий океаны. Допускается существование колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких лет до порядка 1000 лет (Birchfield G.E., 1994).

Для прогностических целей наибольший интерес представляют асинхронные связи Тв с ТПО в узле 18° з.д. и 30° ю.ш. Судя по корреляциям, изменения ТПО в этом узле Южного полушария являются статистическим предвестником изменений ТПО в Северной Атлантике. С учётом выявленного ранее наилучшего сдвига было построено уравнение регрессии Тв в Москве на ТПО в упомянутом базовом узле 18° з.д. и 30° ю.ш. при $L = 30$ лет. Запаздывание колебаний Тв относительно колебаний ТПО и сдвиг ряда ТПО на 30 лет вперёд позволили продлить предиктор на 30 лет до 2046 года и затем по уравнению регрессии вычислить значения tr температуры воздуха в Москве до 2046 года. Среднеквадратическая ошибка уравнения регрессии составила $0,5^{\circ}\text{C}$.

Тренды Тв и ТПО, исключённые на начальном этапе исследования, были возвращены в прогностические значения tr и в значения предиктора на всём интервале лет.

На рис. 6.17 показан многолетний ход предиктора (To — это ТПО в базовом узле со сдвигом на 30 лет) и температуры воздуха в Москве ($Tв$), сглаженной по 3-летиям, включая её прогностические оценки (tr) до 2046 года.

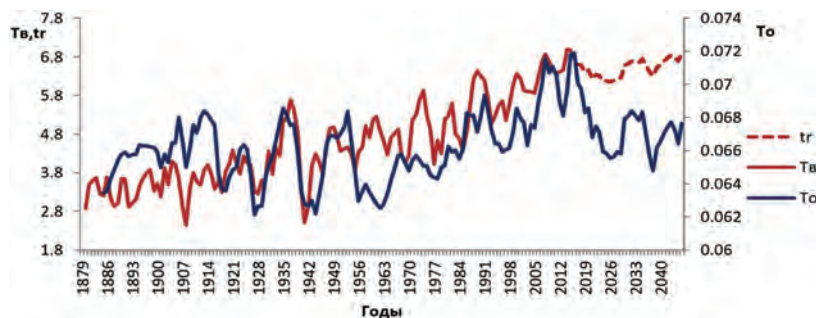


Рис. 6.17. Среднегодовая температура воздуха в Москве T_b по данным наблюдений за 1879–2016 гг.; прогнозируемая температура в Москве tr на период до 2046 года, вычисленная по уравнению регрессии; предиктор — ТПО в выбранном узле географической сетки океана со сдвигом на 30 лет

Из рисунка видно, что в предстоящие три десятилетия в значениях предиктора ожидается понижение, но T_b в предстоящие годы удержится на современном уровне за счёт добавления трендовой составляющей. Если установленные статистические зависимости сохранятся, то можно ожидать, что в ближайшие десятилетия произойдёт стабилизация климата в Центральном регионе России.

Обобщая известные положения и новые результаты, можно говорить о том, что долгопериодные колебания T_b в Центральном регионе России являются следствием глобальных изменений в климатической системе, первоначальное проявление которых находится в Южном океане на траектории Антарктического течения.

6.4. Прогностические возможности асинхронных связей для вычисления тенденций изменения климата Земли на три десятилетия

В предыдущих главах монографии было показано, что в области Антарктического течения происходят первичные долгопериодные колебания климата при изменениях орбитального момента баричесентрического вращения Солнечной системы, при изменениях геомагнитной активности и при изменении солнечной активности, а затем возмущения из Южного океана переносятся по всему Мировому океану через систему Большого океанического конвейера и

передаются в атмосферу над континентами через общую циркуляцию атмосферы. Воздействие каждого внешнего фактора имеет свои особенности по регионам Земли и по времени запаздывания отклика ТПО. В Северное полушарие колебания климата не совсем понятными путями приходят из Южного полушария с запаздыванием на 3–4 десятилетия. Это даёт основу для предварительного прогноза колебаний климата Северного полушария по асинхронным связям в каждом узле с колебаниями ТПО в узлах Южного полушария. При этом другие особенности влияния каждого внешнего фактора на ТПО и температуру воздуха (Т) Северного полушария войдут в регрессионные соотношения и будут в некоторой мере учтены.

Для оценки прогностических возможностей выполнен асинхронный корреляционный анализ долгопериодных колебаний ТПО в узлах Южного полушария в области Антарктического течения в зоне 64–60° ю.ш. с ТПО и температурой воздуха Северного полушария. Исходные среднегодовые значения ТПО и Т были предварительно сглажены по трёхлетиям и из них был удалён линейный тренд.

Колебания ТПО и Т в каждом узле сравнивались с колебаниями ТПО во всех узлах в области Антарктического течения (в широтной зоне 64–60° ю.ш.). Их связь оценивалась коэффициентами асинхронной корреляции. Допускалось, что распространение возмущений ТПО из приполярных южных широт Земли в другие регионы происходит с большим запаздыванием, поэтому коэффициенты корреляции вычислялись со сдвигами от 0 до 50 лет. Ставилась задача для каждого узла Земли найти узел в области Антарктического течения с наилучшим асинхронным коэффициентом корреляции и зафиксировать сдвиг, при котором связь оказалась наиболее тесной. По значениям наилучших асинхронных коэффициентов корреляции была построена карта коэффициентов (рис. 6.18), а по сдвигам, при которых эти наилучшие коэффициенты были получены, построена карта времени запаздывания изменений в узлах Северного полушария относительно изменений в Южном полушарии (рис. 6.19).

Рис. 6.18 и 6.19 показывают, что колебания ТПО из зоны Антарктического течения распространяются на весь Мировой океан и на всю атмосферу Земли, но с разным временем запаздывания. Коэффициенты корреляции преимущественно больше 0,8 часто

превышают значения 0,85. Вблизи самой зоны Антарктического течения запаздывание менее 10 лет, а в удалённые узлы возмущения доходят через 30–40 лет и даже более чем через 45 лет. На рис. 6.19 просматривается тенденция увеличения запаздывания распространения возмущений в направлении от южных широт к высоким широтам Северного полушария.

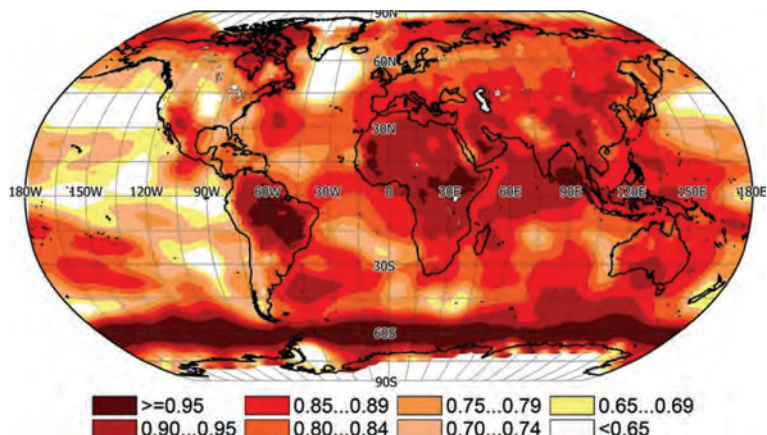


Рис. 6.18. Коэффициенты корреляции колебаний ТПО и Т в узлах географической сетки с ТПО на Антарктическом течении

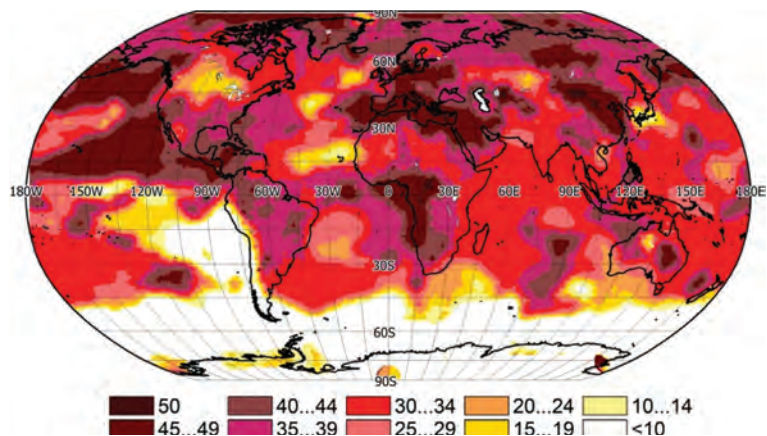


Рис. 6.19. Запаздывание (количество лет) колебаний ТПО и Т относительно ТПО на Антарктическом течении

По значениям в узлах сетки, представленным на рис. 6.18, были вычислены на каждой широте средние значения запаздывания возмущений температуры поверхности океана с шагом 2° широты и средние значения запаздывания возмущений температуры воздуха на широтах через каждые 5° . На графиках рис. 6.20 и 6.21 показано среднее количество лет запаздывания возмущений ТПО и Т на разных географических широтах.

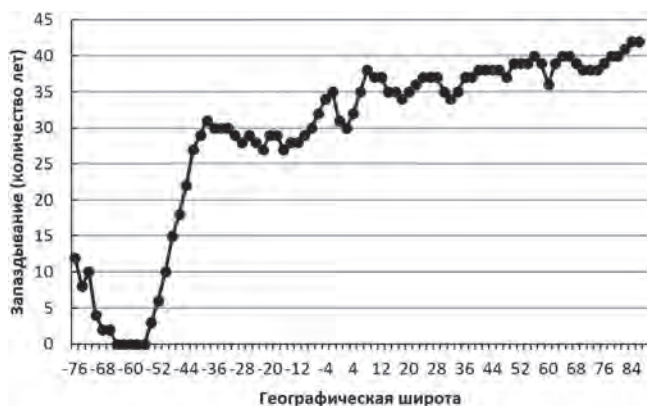


Рис. 6.20. Среднее по географическим широтам запаздывание колебаний ТПО Мирового океана относительно колебаний ТПО на Антарктическом течении в широтной зоне $64\text{--}60^\circ$ ю.ш.

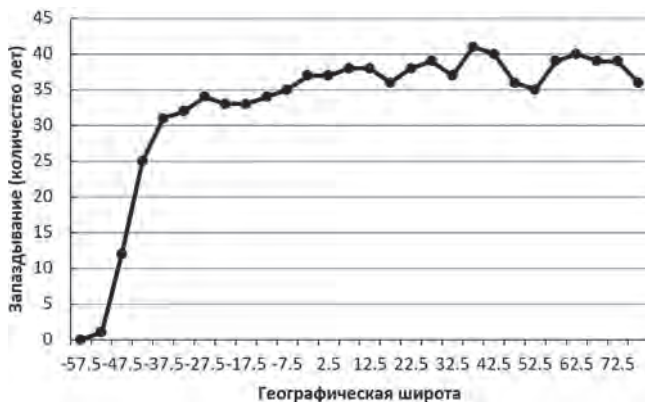


Рис. 6.21. Среднее по географическим широтам запаздывание колебаний температуры воздуха над континентами относительно колебаний ТПО на Антарктическом течении в широтной зоне $64\text{--}60^\circ$ ю.ш.

В Южном полушарии продвижение колебаний в сторону экватора происходит очень медленно. С удалением от зоны Антарктического течения на широтах от 40° ю.ш. до экватора запаздывание составляет около 30 лет, а на пути от экватора до 80° с.ш. запаздывание постепенно возрастает до 40 лет.

В колебаниях температуры воздуха над континентами запаздывание также возрастает с удалением от зоны Антарктического течения. В Южном полушарии распространение колебаний в сторону экватора происходит очень медленно. Колебания температуры от зоны Антарктического течения до 37° ю.ш. доходят через 30 лет, затем ещё через 5–10 лет колебания приходят в высокие северные широты. Общее запаздывание колебаний температуры воздуха в высоких северных широтах составляет 35–40 лет по сравнению с колебаниями температуры поверхности океана в зоне Антарктического течения.

Во многих узлах столь большое запаздывание отклика ТПО и Т на изменения ТПО в зоне Антарктического течения даёт возможность для прогноза изменений ТПО и Т за пределами зоны Антарктического течения. Высокие корреляции со сдвигами более 30 лет охватывают всё Северное полушарие и широтную зону от экватора до $45\text{--}50^{\circ}$ ю.ш.

6.5. Прогноз на 2020–2049 гг. тенденций изменения температуры воздуха и поверхности океана Северного полушария

В разделе 6.1 приводилась карта трендов ТПО и температуры воздуха на интервале за 1990–2019 гг., которая демонстрировала сильное потепление в высоких широтах Северного полушария. А на интервале 1995–2020 гг. ещё более отчётливым стало потепление Арктики (рис. 6.22). Методику вычисления трендов см. в разделе 6.1.

Потепление Арктики уже наблюдалось ранее — в 1910–1939 гг., поэтому потепление климата за 1995–2020 гг. можно назвать вторым потеплением Арктики. На рис 6.23 приведена карта значений линейных трендов среднегодовой температуры за 1910–1939 гг. В эти годы потепление охватило арктические регионы России и средние широты Северной Америки с прилегающими районами Тихого и Атлантического океанов.

1995-2020

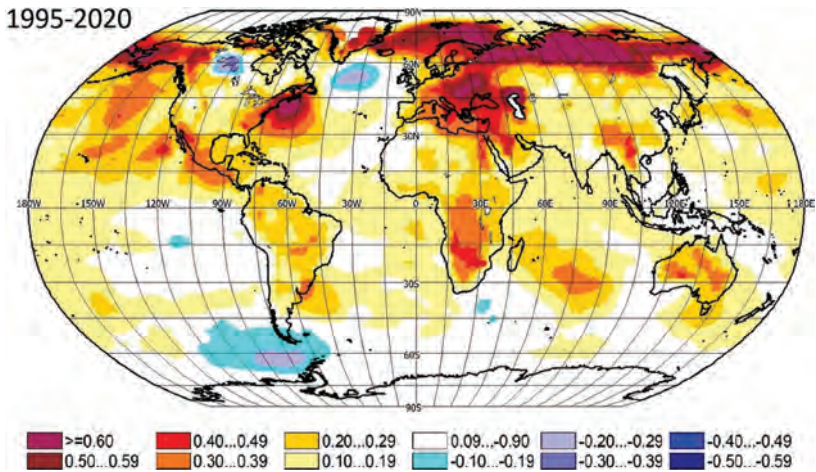


Рис. 6.22. Тренды среднегодовой температуры за 1995–2020 гг. — второе потепление Арктики ($^{\circ}/10$ лет)

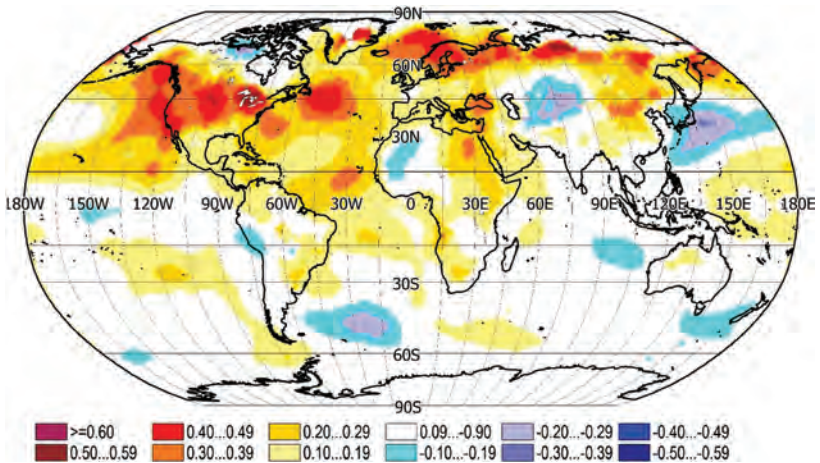


Рис. 6.23. Тренды среднегодовой температуры за 1910–1939 гг. — годы первого потепления Арктики ($^{\circ}/10$ лет)

После первого глобального потепления 1910–1939 гг. последовало понижение температуры в 1940–1969 гг. в средних и высоких широтах Северной Атлантики и в высоких широтах Азии. Небольшое потепление сохранилось только на юго-востоке Европы (рис. 6.24).

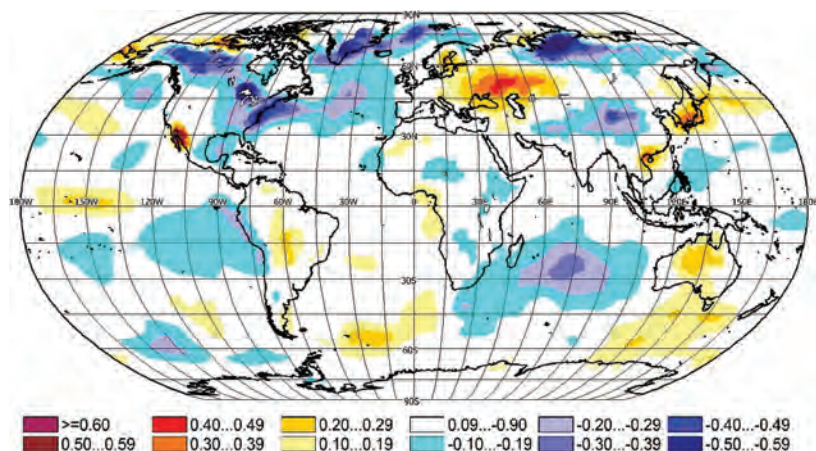


Рис. 6.24. Тренды ($^{\circ}/10$ лет) среднегодовой температуры за 1940–1969 гг. (годы начала понижения глобальной температуры после первого глобального потепления)

Это были годы временного понижения глобальной температуры перед вторым потеплением.

Сравнивая карты трендов в годы первого потепления Арктики (рис. 6.23) с картой трендов температуры в годы последовавшего за ним похолодания (рис. 6.24), можно заметить, что понижение температуры в 1940–1969 гг. произошло почти везде там, где раньше было потепление. По аналогии после современного второго потепления Арктики можно ожидать смены знака температурных трендов в предстоящие десятилетия, как это уже было в первой половине XX века. Оценить возможные изменения трендов на будущее можно на основе экстраполяции асинхронных связей долгопериодных колебаний температуры в разных регионах Земли.

Один из способов применения многолетних регрессионных экстраполяций климата был показан в работе (Алексеев Г.В. и др., 2019) на примере прогноза летней площади льда с заблаговременностью до нескольких десятилетий на основе учёта совместного влияния атмосферных и океанических притоков тепла из низких широт океана на приатлантическую Арктику.

Ранее было показано, что подобные между собой долгопериодные колебания климата происходят во многих регионах Мирового

океана и на прилегающих частях континентов. Но эти колебания происходят с разной амплитудой и при разных сдвигах относительно первичного возмущения. Первичное возмущение возникает чаще всего на некотором участке Антарктического течения и затем с большой задержкой переносится в другие регионы Земли. Асинхронные связи позволяют по данным наблюдений в узлах возникновения первичных колебаний делать прогностические оценки колебаний климата в других узлах географической сетки.

Сначала из рядов данных о ТПО и температуре воздуха исключим сверхвековые линейные тренды и оставим только долгопериодные колебания. Короткопериодные колебания сгладим скользящими трёхлетними средними. После этого можно для каждого узла географической сетки начать поиск узла в Южном полушарии с наиболее высокой асинхронной корреляцией колебаний климата со сдвигом не менее чем 30 лет. Так для современных колебаний климата в каждом узле Северного полушария находился узел географической сетки в Южном полушарии, в котором подобные колебания уже произошли раньше с опережением фазы не менее чем на 30 лет, и уже известно, что за этим происходило в последующие годы.

По асинхронным соотношениям колебаний ТПО в узлах сетки Южного полушария построены асинхронные уравнения регрессии колебаний температуры воздуха и ТПО в узлах сетки Северного полушария. По уравнениям регрессии и асинхронным значениям ТПО в Южном полушарии вычислены прогностические погодичные значения ТПО и температуры воздуха в каждом узле Северного полушария на 2020–2049 гг. К прогностическим колебаниям в каждом узле добавлены сверхвековые тренды, исключённые ранее. Далее по полученным прогностическим значениям ТПО и температуры воздуха Северного полушария вычислены прогностические значения трендов ТПО и температуры воздуха на предстоящие тридцать лет — 2020–2049 гг. (рис. 6.25). Оценки ожидаемых изменений показали, что в предстоящие 30 лет в местах современных положительных трендов температуры могут появиться тенденции изменения температуры противоположного знака.

Учитывая современные высокие значения температуры воздуха и ТПО во многих узлах Северного полушария и особенно в

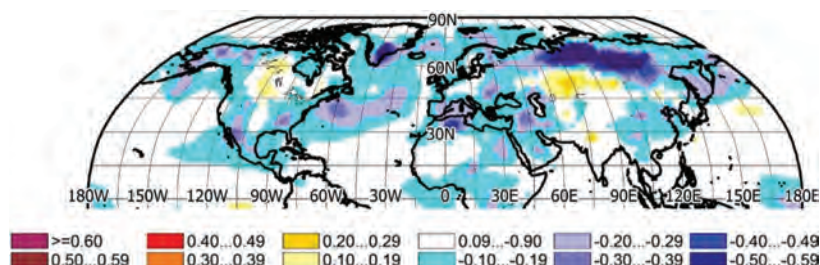


Рис. 6.25. Ожидаемые тенденции (тренды) среднегодовой температуры на 2020–2049 гг. ($^{\circ}/10$ лет)

Арктической области, ожидаемая смена знака тенденций — это шаг к стабилизации климата в ближайшие десятилетия, но возврата к нормальному климату не произойдёт. На фоне этих тенденций короткопериодные колебания климата на современном уровне останутся.

Ожидаемые тенденции изменения климата Северного полушария (рис. 6.25) подобны тем, которые наблюдались в 1940–1969 гг. (рис. 6.24) после первого глобального потепления, однако тенденции 2020–2049 гг. начинаются с более высокого уровня значений температуры.

Самое общее представление об ожидаемых изменениях климата можно получить прогностическим погодичным значениям средней по Северному полушарию температуры ТПО и средней по Северному полушарию температуры воздуха. Такие значения были вычислены за 2021–2049 гг. Осреднение по полушарию проводилось по прогностическим данным в узлах географической сетки с весовыми коэффициентами на каждой широте, пропорциональными длине соответствующего широтного круга. На рис. 6.26 показаны графики изменений средних по Северному полушарию аномалий температуры воздуха над континентами и средней температуры поверхности океана Северного полушария за 1900–2049 гг. За 1900–2019 гг. приведены фактические значения, а начиная с 2020 по 2049 год — прогностические оценки их ожидаемых изменений.

Ожидается, что к 2040-м гг. температура Северного полушария вернётся к состоянию 2000–2015 гг. и наступит временная стабилизация климата. Возврата к климату XX века не ожидается.

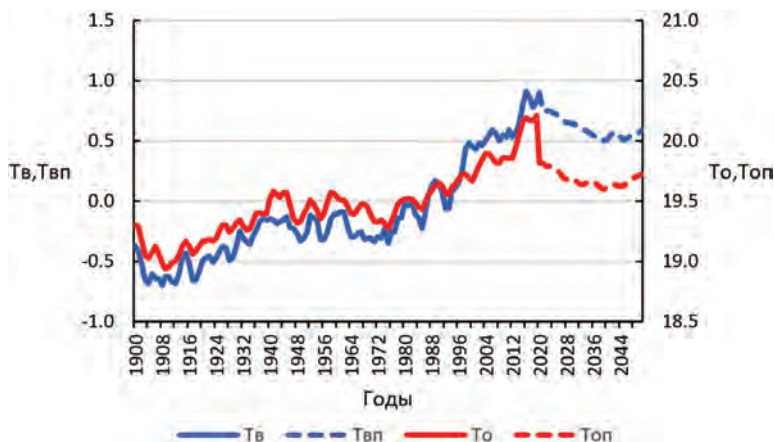


Рис. 6.26. Изменение аномалий температуры воздуха над континентами T_v и изменение температуры поверхности океанов T_o Северного полушария за 1900–2019 гг. и их прогностические значения T_{vp} и T_{op} на 2020–2049 гг.

В 2016–2020 гг. закончилась восходящая фаза 60–70-летнего колебания и далее пойдёт его нисходящая фаза. Но сверхвековой тренд повышения температуры продолжится в предстоящие десятилетия, поэтому в результате двух разнонаправленных тенденций установится стабилизация климата на предстоящие три десятилетия.

6.6. Основные результаты главы 6

1. Предложена статистическая модель прогноза температуры поверхности океана в узлах географической сетки с заблаговременностью до двух лет. Модель построена с учётом известных и гипотетических свойств колебаний в климатической системе. Климатическую систему предложено рассматривать как колебательную систему, возбуждаемую слабыми повторяющимися космическими воздействиями на частотах, близких к собственным частотам системы. Возникающие биения колебаний повторяются через несколько лет, при этом появляются интервалы лет с аналогичной последовательностью возмущений температуры. Прогностическая модель основана на выделении ансамбля отрезков-аналогов во временных рядах с подобной последовательностью появления аномалий температуры как следствие предполагаемых биений.

2. Испытание модели на ретроспективных прогнозах ТПО по независимым данным в узлах географической сетки Северной Атлантики показало, что оправдываемость прогноза аномалий месячной и среднесезонной температуры поверхности океана с заблаговременностью 1–2 года составляет 69–81 %.

3. Предложены основные принципы авторского метода сезонных прогнозов температуры воздуха большой заблаговременности. Описаны оценки успешности авторских ретроспективных прогнозов, выполненных за последние 20 лет по 180 станциям России. Выполнено их сравнение с успешностью оперативных прогнозов Северо-Евразийского климатического центра Росгидромета (СЕКЦ), составляемых с нулевой заблаговременностью. Наименьшая среднеквадратическая ошибка авторских прогнозов была летом (1,14 °C), наибольшая — зимой (2,14 °C). Ошибка прогноза среднегодовой температуры составила 0,99 °C.

4. По оценкам ρ экспериментальные авторские прогнозы температуры на зимний, весенний и осенний сезоны оказались успешнее прогнозов СЕКЦ, а летние прогнозы оказались более успешными в СЕКЦ. Преимуществом сезонных авторских прогнозов также является их заблаговременность 9 месяцев по сравнению с нулевой заблаговременностью прогнозов СЕКЦ.

5. Оценки успешности прогнозов по каждой станции и по каждому сезону отдельно показали, что авторский метод сезонных прогнозов позволяет составлять сезонные прогнозы в большинстве регионов России с оправдываемостью от 70 до 80 %. Более успешными прогнозы оказались в районах более сильного взаимодействия атмосферы с океанами. Прогноз среднегодовой температуры оправдывается в 80–99 % почти на всей территории страны.

6. Долгопериодные колебания температуры воздуха в Центральном регионе России являются следствием глобальных изменений в климатической системе, первоначальное проявление которых находится в Южном океане на траектории Антарктического течения.

7. Первоначальные возмущения ТПО на Антарктическом течении в результате общей циркуляции океана и атмосферы через асинхронные атмосферно-океанические связи вместе с водами океанических течений распространяются в другие регионы Земли

и достигают Москвы через 30 лет. Выявленная задержка в возмущениях температуры воздуха позволила построить асинхронное уравнение регрессии с возможностью вычисления долгопериодных прогностических колебаний температуры в Москве на предстоящие десятилетия.

8. По асинхронным связям между долгопериодными колебаниями ТПО Южного полушария и ТПО и температурой воздуха Северного полушария с помощью уравнений асинхронной регрессии получены прогностические погодичные значения ТПО и температуры воздуха Северного полушария на 2021–2049 гг. в узлах географической сетки. В каждом узле Северного полушария вычислены ожидаемые значения трендов температуры (значения коэффициентов наклона линейных трендов) на 2021–2049 гг. и построена карта ожидаемых тенденций изменений климата Северного полушария на 2020–2049 гг. Вычислены средние по Северному полушарию ожидаемые погодичные значения температуры воздуха над континентами и температуры поверхности северной половины Мирового океана. Оценки ожидаемых изменений показали, что в предстоящие 30 лет на полушарии тенденция потепления сменится стабилизацией климата на современном уровне, потепление остановится, но возврата к климату XX века не произойдёт.

ГЛАВА 7. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Главные вопросы современной климатологии: почему происходит потепление глобального климата; виновен ли человек в этом потеплении? От ответа на эти вопросы зависит стратегия поведения всего человечества.

В проблеме изменения климата установилось противоречие в понимании причин современных изменений климата, сложившегося между исследованиями по данным наблюдений и выводами, полученными на основе климатических моделей. Сторонники модельного подхода утверждают, что только с помощью модели можно разделить природные и антропогенные факторы современных изменений климата и получить количественные оценки их вкладов. Это не верно. Противоречие сложилось на разногласиях в методических подходах, поэтому более тщательно необходимо рассмотреть методологию исследований.

«В мировой науке узаконен метод выдвижения “постулатов” или “принципов”, которым, по мысли авторов, должна следовать природа. Но, несмотря на это, в физике, являющейся теоретической основой естествознания, множатся всевозможные парадоксы и неувязки. Происходит это потому, что в таком методе идея опережает природу, защита таких позиций может осуществляться только административными, а вовсе не научными методами» (Ацюковский Б.А., 2006). Межправительственная группа экспертов по изменению климата оказалась тем административным органом, который защищает антропогенную гипотезу без достаточных оснований, на всякий случай, опуская заведомо известные недостатки существующих моделей и субъективность их оценок. Для разрешения противоречий необходим другой, объективный подход к изучению явлений, к построению гипотез и теорий, а также к проверке их на практике. В климатологии проверкой гипотез и моделей является сравнение

результатов моделирования с данными наблюдений. Сравнение и уточнение теории является естественным научным процессом.

Климатология — в большей мере экспериментальная наука, её законы базируются на фактах, установленных по данным наблюдений. Эти законы представляют собой количественные соотношения в математическом виде. При статистическом анализе результатов наблюдений возникает проблема установления причины по полученным следствиям и здесь необходимы проверки на моделях. Необходимо учитывать, что к одному и тому же следствию, например к потеплению климата, могут привести различные причины. Меняя условия статистической обработки данных наблюдений, можно добиться исключения влияния одних факторов и оценить вклад других. Для этого необходимы специальные методы подбора данных наблюдений и их обработки. Одним из таких методов является метод наложения эпох (Пановский Г.А., Брайер Г.В., 1967). Хорошо известным его частным случаем является выделение сезонного хода метеорологических величин путём вычисления их многолетних средних значений по одноимённым месяцам или по одинаковым датам внутри года. Таким же образом вычисляется суточный ход метеорологических величин путём осреднения данных наблюдений по отдельным срокам наблюдения за много лет. Методы классические, проверенные и всегда с понятным результатом. Аналогично можно выделять факторы изменений климата. Разделение влияния разных факторов на климат возможно при целенаправленно поставленном статистическом анализе и при достаточном количестве данных наблюдений.

Удачное математическое описание какого-либо явления ещё не доказывает существования в природе этого явления. В природе много взаимозависимых явлений с непонятными механизмами взаимодействий. Такая ситуация сложилась с описанием внутренних процессов и внешних воздействий на климатическую систему. Математическое описание явлений всегда является следующим шагом после выявления их физического механизма. Сначала понимание физики процессов, а потом математическое описание. Гипотеза может возникать на основе результатов статистического анализа или теоретических предположений. Но только согласованность

результатов моделирования и наблюдений делает гипотезу теорией. В настоящее время такого согласования нет.

Антропогенная гипотеза — одна из нескольких гипотез о причинах изменений современного климата. На современном уровне ограниченных знаний сложность и многофакторность климатической системы не позволяют математически ни доказать, ни опровергнуть ни одну из существующих гипотез. Выделение некоторой причины рассматриваемого следствия всегда условно и должно тщательно обосновываться и многократно перепроверяться. Поэтому для установления истинной причины необходимо в широких пределах варьировать поиск всех возможных причин, способных приводить к анализируемому следствию и определять те условия, при которых обеспечивается их повторяемость. Этим объясняется космический диапазон рассматриваемых процессов в климатической системе.

На пути к познанию ошибки неизбежны и к ним необходимо относиться с пониманием. Главное — не стоять на месте, доказывая то, что казалось истиной вчера, но не подтверждается сегодня. Климатология уже прошла несколько этапов своего развития через ошибки и открытия. На новом современном этапе в климатологии складывается целостный подход к выявлению тех внутренних механизмов, которые лежат в основе всех природных явлений на Земле и в космосе. Этот подход опирается на общие физические законы природы, на раскрытие внутренних механизмов явлений природы, познать которые можно только понимая их физическую сущность.

Гармоничное устройство нашего мира в масштабах от космоса до микромира в живой и неживой природе вызывает изумление. На этом фоне трудно согласится с тем, что какие-то процессы в климатической системе развиваются случайно. Все изменения в климатической системе, которые к настоящему времени не удалось описать математическими методами, некоторые исследователи стали называть естественной изменчивостью климата, придавая этой изменчивости смысл случайных или стохастических колебаний. Такой упрощённый подход трудно назвать научным, вред от такого подхода огромен.

Климатическая система является открытой системой, подверженной внешним влияниям. Механизмы этого влияния не вполне понятны и по этой причине пока не могут быть описаны

математически, однако это не повод их отвергать. Необходимо расширять круг поиска новых закономерностей поведения самой системы и поиска новых связей с внешними воздействиями, необходимо выдвигать и исследовать новые гипотезы.

Законы познания природы любого явления нельзя отрывать от всех знаний об устройстве нашего мира. Иногда далёкие, казалось бы, не связанные явления в природе подсказывают новые пути решения проблем познания других явлений. И. Ньютон, основываясь на знаниях астрономии, сформулировал самый общий из всех законов природы, описывающий взаимодействия в космосе и на Земле. А. Пуанкаре считал, что «... астрономия не только открыла нам существование законов, она научила нас, что эти законы непреложны, что идти против них невозможно. Сколько времени понадобилось бы нам для усвоения этой мысли, если бы мы знали только земной мир, где каждая элементарная сила всегда представляется нам как бы в борьбе с другими силами? Астрономия открыла нам, что законы беспредельно точны, и если мы выражаем их лишь приблизительно, то это потому, что плохо знаем их» (Пуанкаре А., 1990).

В климатологии уже стало недостаточно рассматривать каждую силу внутри климатической системы в борьбе с другими силами. Необходим более общий подход на основе знаний устройства Солнечной системы.

В настоящее время большое значение придаётся физико-математическому моделированию климата, при котором в модели неизбежно закладывается упрощённое представление о всех процессах и взаимодействиях. Отсутствие понимания многих механизмов в климатической системе, особенно на количественном уровне, восполняется эмпирическими коэффициентами, внесёнными в разные блоки модели без научного обоснования, всё остальное, ещё менее понятное, отбрасывается совсем. Надо иметь в виду, что при такой настройке модели ошибки в одних блоках модели случайным образом нейтрализуются ошибками в других блоках, но модель от этого лучше не становится. То, что хорошо сработало на настраиваемом интервале лет, не обязательно должно правильно сработать на другом интервале лет, когда ошибки разных блоков разбалансируются. Прогностические оценки по такой модели будут сомнительными.

И ещё, нельзя не согласиться, что если модель настроена так, что она правильно описывает глобальный климат и его изменения, то эта же модель должна правильно описывать и региональный климат. Но в этом обнаруживается проблема, многолетние средние значения температуры воздуха, вычисленные по лучшим модельным ретроспективным значениям в районах метеорологических станций, часто отличаются на несколько градусов (ошибки до $\pm 5^\circ\text{C}$) от фактических средних значений температуры на станциях за тот же период (Шерстюков Б.Г., 2010; Оценочный доклад, 2008). С годами модели совершенствуются, но принципиальных улучшений не происходит.

Результаты модельных оценок не могут использоваться в качестве доказательства или опровержения каких-либо предположений. Как было сказано выше, математическое описание явлений всегда должно следовать за выявлением их физического механизма: сначала понимание физики процессов, а потом математическое описание. Заведомо недостоверное моделирование может привести и приводит к ложным представлениям о первопричинах всей динамики физических процессов в климатической системе и о причинах колебаний климата.

Другим подходом является статистическое моделирование. При статистическом моделировании климатических процессов заблаговременное понимание физических механизмов не менее важно. Приступая к статистическому анализу связей и закономерностей в климатической системе, не имея гипотез о механизмах исследуемых процессов, совершенно недостаточно владения методами статистического анализа случайных чисел. И в статистическом анализе сначала должно быть понимание физики процессов, а потом статистическое описание. Теория случайных чисел в климатологии необходима только для оценки статистической достоверности полученных результатов при проверке физических гипотез, но не для абстрактного статистического анализа в отрыве от физических гипотез без учёта накопленных знаний о физических процессах в климатической системе.

«Чтобы предпринять какое-либо вычисление вероятности, даже просто для того, чтобы это вычисление имело смысл, надо взять в качестве исходной точки некоторую гипотезу или условное положение,

которые всегда содержат известную долю произвола. При выборе этого условного положения мы не можем руководствоваться ничем, кроме принципа достаточного основания... Как бы прочно обоснованным ни казалось нам наше предвидение, всё же мы никогда не имеем абсолютной уверенности в том, что оно не будет опровергнуто опытом, предпринятым в целях его проверки» (Пуанкаре А., 1990).

Именно так следует относиться к попыткам построения статистических и физико-математических моделей. В качестве исходной точки принимается некоторая гипотеза или условные предположения, которые всегда содержат известную долю произвола. Так случилось с гипотезой об антропогенном потеплении климата. И надо быть готовым к тому, что данные наблюдений опровергают эту гипотезу.

Построение научного анализа данных наблюдений — это своеобразное искусство построения экспериментальных моделей и статистических экспериментов на основе имеющихся знаний и абстрактного мышления, необходимого для выхода за пределы известного, но в пределах общих законов физики. Но обязательно, сначала математическая статистика, а затем и математика являются инструментами для проверки физических гипотез. И. Ньютон в (Ньютон И., 1989) в разделе «Правила умозаключений в физике» сформулировал правило № 1: «Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений... Природа проста и не роскошествует излишними причинами». Руководствуясь этим правилом, исследования автора, описанные в монографии, выполнены с целью анализа причин и закономерностей природных колебаний климата Земли как следствие единых закономерностей в Солнечной системе, не привлекая без надобности «излишней» гипотезы об антропогенном потеплении глобального климата. Ещё не исчерпаны все возможности описания современных изменений климата на основе общих законов Солнечной системы, необходимость привлечения антропогенной гипотезы ещё не актуальна.

Методической ошибкой является признание ведущей роли антропогенных парниковых газов в современном глобальном потеплении на основе результатов полуэмпирического моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Острые проблемы современного климата усилили политическую составляющую в принятии решений по борьбе с влиянием человека на глобальное потепление климата. Вместе с тем анализ данных наблюдений за более чем вековой интервал времени по полной географической сетке координат Земли и анализ по отдельным длиннорядным станциям наблюдений за последние два века показали несостоятельность утверждений о доминирующей роли антропогенного фактора в потеплении климата.

В монографии собраны и проанализированы сведения о доказательной базе гипотезы о доминирующем влиянии антропогенных парниковых газов на современное глобальное потепление. Показано, что признание антропогенной гипотезы в качестве основной произошло в результате двух методических ошибок: 1 — для доказательства влияния антропогенных парниковых газов на климат были использованы полуэмпирические модели на основе подбора эмпирических коэффициентов форсинга парниковых газов, то есть парниковый эффект был заложен в них априори при настройке моделей; 2 — эмпирические модели были настроены на восходящей фазе долгопериодного природного колебания, во время которой весь прирост температуры необоснованно был приписан антропогенному фактору. При этом космические факторы изменений климата совсем не присутствовали в моделях.

Весь изложенный в монографии материал был направлен на попытку восполнения недостатка знаний, необходимых для создания более совершенных моделей климата в будущем. Изложенные новые результаты и обобщения ещё далеки от непосредственного использования их в новых моделях климата, но они позволяют правильно выбрать новые направления для последующих углублённых исследований, для выяснения физических механизмов реализации космических влияний на климат Земли, которые можно было бы

заложить в новые модели климата. После правильного учёта всех космических факторов влияния на изменения климата антропогенный фактор найдёт своё место в общей модели.

Дальнейшие углублённые исследования должны планироваться с учётом новых и известных обобщённых знаний о возможных причинах изменений климата. В монографии обращено внимание на особенности Солнечной системы, которые заслуживают внимания. Из астрономии известно, что планеты вращаются не вокруг Солнца, а Солнце и планеты вращаются вокруг их общего центра масс, который не совпадает с центром Солнца и может выходить за пределы Солнца на расстояние более двух солнечных радиусов. При этом само Солнце совершает циклические движения вокруг некоторой точки в космическом пространстве по траектории, похожей на кардиоиду, увлекая за собой Землю в это барицентрическое вращение. В результате на Солнце и на Земле возникают силы, не учтённые ранее ни в каких моделях. Барицентрическое вращение неравномерно, циклические изменения момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы создают в Мировом океане не учтённые ранее внешние силы, которые влияют на динамику течений в Большом океаническом конвейере. Следствием этой неучтённой динамики являются колебания температуры поверхности Мирового океана вдоль траекторий основных океанических течений. В разных частях Мирового океана на основных течениях вклад изменений момента инерции в изменения ТПО составляет от 25 до 50 % общей изменчивости ТПО.

Изменение температуры на поверхности океана появляется с запаздыванием на 32–37 лет относительно изменений момента инерции барицентрического вращения Солнечной системы. Наилучшие асинхронные корреляции изменений поверхностной температуры океана с изменениями момента инерции барицентрического вращения наблюдаются в тех районах Мирового океана, в которых траектории течений проходят через препятствия на своём пути в виде подводных хребтов и поднятий дна океана или в виде гряды островов. Влияние подводных препятствий на обнаруженные эффекты является косвенным свидетельством проявления массовых сил динамического космического воздействия на глубинные

течения Мирового океана, составляющих Большой океанический конвейер. Запаздывание эффекта на поверхности океана объясняется термодинамической инерционностью океанических вод и временем, необходимым для вертикального переноса возмущений из нижележащих слоёв к поверхности.

Первичные синхронные изменения ТПО в Тихом океане на Калифорнийском течении в Северном полушарии и Перуанском течении в Южном полушарии, связанные с барицентрическим вращением, через южное и северное Пассатные течения оказывают воздействие на формирование в экваториальной части Тихого океана явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Предполагается, что передача циклических слабых внешних воздействий в климатическую систему происходит через резонансный механизм на избранных близких частотах внешнего воздействия и собственных частот климатической системы. В каждом районе Земли собственные частоты разные. Изменение со временем структуры колебаний (частоты) внешнего воздействия по законам резонанса может приводить к усилению космико-земных связей в одни интервалы лет при сближении частот и к ослаблению связей — в другие годы при расхождении частот. Региональные различия собственных частот должны приводить к региональным различиям интервалов лет усиления и ослабления связей. А упрощённые представления о механизмах внешних воздействий на климатическую систему приводят к неверным выводам о замкнутости системы климата Земли.

Барицентрическое вращение Солнечной системы сопровождается циклическими изменениями не только в температуре на океанических течениях, но и изменениями скорости осевого вращения всей Земли. Увеличению момента инерции барицентрического вращения соответствует увеличение скорости осевого вращения Земли с запаздыванием на 43 года.

В свою очередь изменения скорости осевого вращения Земли сопровождается изменениями ТПО в разных частях Мирового океана. В Северном полушарии наилучшие отрицательные связи изменений ТПО с продолжительностью суток оказались на тёплом течении Гольфстрим — на его квазизональном участке траектории при прохождении Гольфстрима над Срединно-Атлантическим

хребтом (синхронные связи) и на Северо-Атлантическом течении между Исландией и Великобританией на участке наименьших глубин океана (запаздывание ТПО 1–2 года).

В Южном полушарии наилучшие положительные связи оказались на квазизональном циркумполярном холодном Антарктическом течении над Африканско-Антарктической котловиной в Атлантическом и Индийском океанах, а также в западной и центральной частях юга Тихого океана в местах пересечения Антарктическим течением Австрало-Антарктического поднятия и Южно-Тихоокеанского поднятия. В Южном океане изменения ТПО отстают от изменений продолжительности суток на 3–5 лет. Большое запаздывание предположительно связано с большой массой воды, вовлечённой в Антарктическое течение (почти до дна в слое от 2000 до 4000 метров и более) и её динамической и тепловой инерционностью. Замедление вращения сопровождается в Северном полушарии ослаблением выноса тепла из низких широт в высокие (температура понижается), а в Южном полушарии при замедлении осевого вращения Земли ослабевает выход холодных вод на поверхность океана на холодном Антарктическом течении (температура повышается).

Показано, что вариации инсоляции, вызванные циклическими изменениями наклона оси вращения Земли с периодом обращения Юпитера, сопровождаются с запаздыванием на 6 лет изменениями температуры поверхности Тихого океана в области Северного пассатного течения и на Межпассатном экваториальном противотечении, а также в Атлантическом океане — в районе Южного пассатного течения и Межпассатного противотечения, а в Индийском океане — в районе Западно-Австралийского течения. По долгопериодным вариациям (периоды более 5 лет) индекса Nino4 обнаружена связь Nino4 с вариациями инсоляции.

С многовековой тенденцией уменьшения наклона земной оси предположительно связан сверхвековой тренд потепления климата, на фоне которого происходят долгопериодные колебания климата разной природы.

Обнаружены тесные корреляции долгопериодных колебаний температуры поверхности Мирового океана в районах основных океанических течений с изменениями геомагнитной активности

(с магнитными бурями). Изменения ТПО следовали за изменениями индекса геомагнитной активности с запаздыванием от 20 до 44 лет в разных частях Мирового океана. В Северном полушарии преобладают отрицательные корреляции геомагнитной активности с ТПО на тёплых течениях: в Атлантическом океане — Гольфстрим, Северо-Атлантическое течение, Норвежское течение; в Тихом океане — Куроисио, Северо-Тихоокеанское течение, а в Южном полушарии значимые положительные корреляции обнаруживаются на холодных течениях, главным и самым мощным из которых является циркумполярное Антарктическое течение, проходящее по южным районам Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Наилучшие связи ТПО с геомагнитной активностью обнаружили в местах пересечения океаническими течениями препятствий в виде подводных хребтов или гряд островов. Участие в формировании описанных связей подводных препятствий на больших глубинах, усилили предположение об участии глубинных слоёв океана в формировании механизма передачи энергии, сопутствующей планетарным геомагнитным возмущениям, в изменениях ТПО Мирового океана. Многолетнее запаздывание реакции ТПО на изменения геомагнитной активности предположительно объясняется временем передачи возмущений в океане с больших глубин на поверхность.

С солнечной активностью (Числа Вольфа) обнаружена связь изменений ТПО на Антарктическом течении над Африканско-Атлантической котловиной в долготном интервале от южной оконечности Срединно-Атлантического хребта до плато Кергелен и над Австрало-Антарктическим поднятием. На обширной территории в Южном океане вклад изменений солнечной активности в изменения ТПО составил около 50 % общей изменчивости (дисперсии). Изменения солнечной активности опережают изменения ТПО на 30–37 лет.

Антарктическое течение является одним из ключевых регионов восприятия внешних воздействий. Южный океан уникален в том, что в его широтной зоне нет материков, препятствующих круговому зональному течению океанических вод вокруг Антарктиды. Поэтому циркумполярное Антарктическое течение — самое мощное на всей Земле, в которое вовлечены не только верхние, но и глубинные слои океана. Это течение является важной частью глобальной системы

океанических течений, в которую вовлечён весь Мировой океан. Все течения объединены в один так называемый конвейер Брокера. Глобальная система океанических течений способна переносить возмущения по всему трёхмерному Мировому океану.

Из Южного океана колебания ТПО медленно переносятся в сторону экватора и далее продолжают продвижение на север в Северном полушарии с нарастающим запаздыванием. До самых крайних северных широт Земли долгопериодные колебания климата доходят через 40–47 лет. Асинхронные связи объясняют более 60 % общей дисперсии долгопериодных изменений ТПО и температуры воздуха Северного полушария.

После неоднократного упоминания о связи изменений ТПО с рельефом дна океанов нельзя не напомнить о вулканической деятельности и о газовых и тепловых потоках из районов многочисленных разломов в земной коре в поясах сжатия океанских рифтовых зон, вносящих огромный вклад в энергетический баланс планеты и оказывающих соответствующее влияние на состав гидросферы, особенно в зоне срединно-океанических хребтов. Не исключено, что потоки эндогенного тепла из разломов земной коры вносят свой вклад в изменения температуры на глубинах и в изменения ТПО.

Анализ трендов температуры воздуха и ТПО по отдельным тридцатилетним интервалам в разные эпохи XX и начала XXI веков позволил проследить пространственные особенности зарождения очагов потепления, их перемещений по планете в разные годы и их последующее исчезновение. По имеющимся данным наблюдений изменения климата в Северном и Южном полушариях происходили несинхронно.

В 1910–1939 гг. началось первое глобальное потепление, которое охватило арктические регионы России и средние широты Северной Америки с прилегающими районами Тихого и Атлантического океанов. В Южном полушарии потепления тогда ещё не было. В 1940–1969 гг. потепление в Северном полушарии сменилось понижением температуры в средних и высоких широтах Северной Атлантики, в высоких широтах Азии и некоторых районах Южного полушария. В 1945–1974 гг. в Южном полушарии началась фаза потепления. Появились области с положительными трендами температуры на

траектории Антарктического течения в Южной Атлантике над Срединно-Атлантическим хребтом и между Австралией и Антарктидой. В последующие годы потепление охватило большую часть поверхности океана в Южном полушарии, а к 1965–1994 гг. распространилось на обширные районы Северного полушария. Потепление стало глобальным. В 1970–1999 гг. потепление в Южном полушарии начало ослабевать, а в Северном полушарии продолжало усиливаться. Наибольшие значения трендов потепления охватили почти всё Северное полушарие от экватора до крайних северных широт. Небольшие очаги отрицательных трендов появились в Южном океане в области Антарктического течения, там, где в 1945–1974 гг. начиналось потепление. Начиная с 1985–2014 гг. в Южном полушарии отрицательные тренды усиливались, а в Северном полушарии усиливались положительные тренды с постепенным смещением потепления в высокие широты. В 1990–2019 гг. наибольшее потепление переместилось в Арктику, началась фаза, подобная потеплению 1910–1939 гг., за которой тогда в 1940–1969 гг. пришла фаза временного похолодания климата.

Анализ дальних асинхронных корреляционных связей в колебаниях климата показал, что долгопериодные колебания температуры в Европе в общих чертах подобны колебаниям во многих других удалённых районах Земли, но эти колебания асинхронны. Колебания климата Европы являются следствием адвекции колебаний из других регионов с задержкой (годы) на время, необходимое для того, чтобы колебания температуры из разных районов Земли, распространяясь в пространстве, достигли Европы. Долгопериодные колебания климата с периодом около 60–80 лет сначала возникают в Южном океане на циркумполярном Антарктическом течении, а затем через 20–36 лет появляются в изменениях температуры воздуха в Европе.

Южный океан в области Антарктического течения играет ключевую роль в появлении долгопериодных колебаний климата во многих регионах Южного и Северного полушарий.

С колебаниями климата тесно связана площадь морского льда Арктики. Современные изменения площади морского льда Арктики являются частью глобальных природных колебательных процессов в климатической системе. По асинхронным связям площади льда Арктики с температурой поверхности океана и температурой воздуха

в прилегающих районах океана и суши получены прогностические оценки площади морского льда Арктики на предстоящие четыре года. До 2024 года сокращения площади морского льда не ожидается.

На основе анализа ритмов в изменениях температуры воздуха и ТПО предложена статистическая модель прогноза температуры поверхности океана с заблаговременностью до двух лет с пространственным разрешением 2° по широте и долготе. Модель построена с учётом известных и гипотетических свойств колебаний в климатической системе.

Климатическую систему предложено рассматривать как колебательную систему, возбуждаемую слабыми повторяющимися космическими воздействиями на частотах близких к собственным частотам системы. Возникающие биения колебаний повторяются через несколько лет, при этом появляются интервалы лет с аналогичной последовательностью возмущений температуры. Прогностическая модель для температуры поверхности океана основана на выделении ансамбля отрезков-аналогов во временных рядах с подобной последовательностью появления аномалий температуры как следствие предполагаемых биений. Испытание модели на ретроспективных прогнозах ТПО по независимым данным в узлах географической сетки Северной Атлантики показало, что оправдываемость прогноза аномалий среднесезонной температуры поверхности океана с заблаговременностью 1–2 года составляет 69–81 %.

Предложены основные принципы авторского метода сезонных прогнозов температуры воздуха с заблаговременностью до 9 месяцев. Описаны оценки успешности авторских ретроспективных прогнозов, выполненных за последние 20 лет по 180 станциям России. Выполнено их сравнение с успешностью оперативных прогнозов Северо-Евразийского климатического центра Росгидромета (СЕКЦ), составляемых с нулевой заблаговременностью. Наименьшая среднеквадратическая ошибка авторских прогнозов была летом ($1,14^\circ\text{C}$), наибольшая — зимой ($2,14^\circ\text{C}$). Ошибка прогноза среднегодовой температуры составила $0,99^\circ\text{C}$. По оценкам ρ экспериментальные авторские прогнозы температуры на зимний, весенний и осенний сезоны оказались успешнее прогнозов СЕКЦ, а летние прогнозы оказались более успешными в СЕКЦ. Преимуществом сезонных

авторских прогнозов также является их заблаговременность 9 месяцев по сравнению с нулевой заблаговременностью прогнозов СЕКЦ. Оценки успешности прогнозов по каждой станции и по каждому сезону отдельно показали, что авторский метод сезонных прогнозов позволяет составлять сезонные прогнозы в большинстве регионов России с оправдываемостью от 70 до 80 %. Более успешными прогнозы оказались в районах более сильного взаимодействия атмосферы с океанами. Прогноз среднегодовой температуры оправдывается в 80–99 % почти по всей территории страны.

Долгопериодные колебания температуры воздуха в Центральном регионе России являются следствием глобальных изменений в климатической системе, первоначальное проявление которых происходит в Южном океане на траектории Антарктического течения. Первоначальные возмущения ТПО на Антарктическом течении в результате общей циркуляции океана и атмосферы через асинхронные атмосферно-океанические связи вместе с водами океанических течений распространяются в другие регионы Земли и достигают Москвы через 30 лет. Выявленная задержка в возмущениях температуры воздуха позволила построить асинхронное уравнение регрессии с возможностью вычисления долгопериодных прогностических колебаний температуры в Москве и других городах на предстоящие десятилетия.

По асинхронным связям между долгопериодными колебаниями ТПО Южного полушария и ТПО и температурой воздуха Северного полушария построены прогностические оценки тенденций предстоящих изменений климата Северного полушария на 2020–2049 гг. Оценки ожидаемых изменений показали, что с учётом продолжающегося сверхвекового тренда потепления и долгопериодных колебаний в предстоящие 30 лет ожидается стабилизация климата Северного полушария, но возврата к нормальному климату не произойдёт. На фоне этих тенденций сохранятся короткопериодные колебания климата.

Все перечисленные сведения о статистических связях изменений климата с внешними факторами имеют общую особенность — их общей основой и первопричиной являются вариации, связанные динамикой Солнечной системы, с орбитальными вращениями

планет и передачей части энергии этих вариаций Земле через вращение барицентра. Неравномерное квазициклическое вращение барицентра влияет на вариации скорости осевого вращения Земли, на возмущения в океанических течениях, на геотермальные выделения в местах разломов земной коры, на изменения наклона земной оси, на цикличность солнечной и геомагнитной активности.

Каждое влияние осуществляется со своим временем запаздывания. В свою очередь изменения скорости вращения Земли влияют на циркуляцию в океане и атмосфере с перераспределением тепла по вертикали и горизонтали и с изменением влагосодержания атмосферы. Проявляются эти изменения с разным запаздыванием в разных регионах Земли. Изменения наклона земной оси влияют на перераспределение солнечной радиации по географическим широтам Земли и сезонам. Выделения тепла и газов в местах разломов земной коры непосредственно вносят свой вклад в тепловой баланс климатической системы и газовый состав атмосферы с дополнительным парниковым эффектом природного происхождения. Изменения солнечной и геомагнитной активности также влияют на циркуляцию в океане и тепло- и влагообмен между океаном и атмосферой с разным запаздыванием в разных регионах Земли.

Многое остаётся неясным, но единое начало всех возмущений просматривается. Это единство отдаляет нас от представлений стохастичности климатических изменений, но одновременно создаёт трудности изучения столь взаимосвязанных процессов и явлений.

Непродуктивно и опасно всю проблему климата сводить к антропогенному влиянию на климат и ограничению использования углеводородов.

Сведения об авторе:

Шерстюков Борис Георгиевич, доктор географических наук, заведующий лабораторией исследования последствий изменения климата. ФГБУ «Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных». 249035, г. Обнинск Калужской обл., ул. Кополёва, 6. E-mail: boris_sher@mail.ru, boris@meteo.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Г.В., Вязилова А.Е., Глок Н.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. (2019). Влияние аномалий температуры воды в низких широтах океана на колебания климата Арктики и их предсказуемость // Арктика: экология и экономика. 2019. № 3 (35). С. 73–83.
2. Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Уразильдеева А.В., Бобылев Л.П. (2016). Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на потепление в Арктике в зимний период // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 1. С. 43–63.
3. Алексеев Г.В., Радионов В.Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. (2015). Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1 (103). С. 32–41.
4. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р. (2003). О связи колебаний некоторых океанографических характеристик с вариациями угловой скорости вращения Земли // Метеорология и гидрология. 2003. № 11. С. 64–72.
5. Анищенко В.С., Нейман А.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. (1999). Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка // Успехи физических наук. 1999. Т. 169, № 1. С. 7–38.
6. Аскназий А.И. (1936). К вопросу о методике долгосрочных прогнозов погоды // Метеорология и гидрология. 1936. № 10. С. 3–40; № 11. С. 3–43.
7. Ацюковский Б.А. (2006). Концепции современного естествознания. История. Современность. Проблемы. Перспектива. М.: ИД СП, 2006. 446 с.
8. Байдал М.Х. (1961). Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 211 с.
9. Байдал М.Х. (1987). О временной сопряженности некоторых климатических характеристик с внешними факторами // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 1987. Вып. 141. С. 23–28.
10. Баркин Ю.В. (2002). Объяснение эндогенной активности планет и спутников и её цикличности // Известия РАЕН. Секция наук о Земле. 2002. № 9. С. 45–97.
11. Баркин Ю.В., Клиге Р.К. (2012). Гравитационные воздействия гелио-космических факторов на эндогенную активность Земли // Современные глобальные изменения природной среды. Т. 3: Факторы глобальных изменений. М.: Научный мир, 2012. С. 46–61.
12. Белязо В.А. (1999). Планетные циклы в колебаниях атмосферной циркуляции и их проявление в некоторых процессах Арктики // Труды ААНИИ. 1999. Т. 441. С. 46–51.
13. Блехман И.И. (1971). Синхронизация динамических систем. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1971. 894 с.
14. Богданов М.Б., Сурков А.Н. (2004). О возможности влияния движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы на изменение климата // Известия Саратовского университета. 2004. Т. 4, вып. 1–2. С. 146–148.
15. Боголепов М.А. (2006). Периодические возмущения климата // Периодические процессы и биосфера. 2006. Т. 5, № 1. С. 32–68.

16. Бышев В.И., Нейман В.Г., Анисимов М.В., Гусев А.В., Романов Ю.А., Серых И.В., Сидорова А.Н., Фигуркин А.Л., Анисимов И.М. (2016). Междекадные осцилляции теплосодержания верхнего деятельного слоя океана в контексте короткопериодной изменчивости современного климата // Труды ГОИН. 2016. Вып. 217. С. 323–343.
17. Бутусов К.П. (2011). Гравидинамика // Доклады русскому физическому обществу. Энциклопедия Русской Мысли. Т. XIII. М.: Общественная польза, 2011. С. 55–60.
18. Бялко А.В. (2012). Релаксационная теория климата // Успехи физических наук. 2012. Т. 182, № 1. С. 111–116.
19. Вильфанд Р.М., Зарипов Р.Б., Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Крыжов В.Н., Куликова И.А., Тищенко В.А., Толстых М.А., Хан В.М. (2019). Долгосрочные метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 4 (374). С. 12–36.
20. Витинский Ю.И. (1983). Солнечная активность / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. 192 с.
21. Гамбурцев А.Г., Гамбурцева Н.Г. (1998). Извержения вулканов. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 2. М.: Наука, 1998. С. 140–142.
22. Гирс А.А., Кондратович К.В. (1978). Методы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 342 с.
23. Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. (2009). О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 1 (81). С. 15–23.
24. Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е. (2005). Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины // Метеорология и гидрология. 2005. № 6. С. 5–14.
25. Гущенко Н.И. (1979). Извержения вулканов мира. М.: Наука, 1979. 475 с.
26. Гущина Д.Ю. (2008). Концепция явления Эль-Ниньо — Южное колебание как аномалии планетарного масштаба. Географические школы Московского университета / под ред. Н.С. Касимова. М.: Городец, 2008. С. 591–601.
27. Деменицкая Р.М. (1975). Кора и мантия Земли. М.: Недра, 1975. 255 с.
28. Демирчян К.С., Кондратьев К.Я., Демирчян К.К. (2010). Глобальное потепление и «политика» его предотвращения // Междисциплинарный и научный и прикладной журнал «Биосфера». 2010. Т. 2, № 4. С. 488–502.
29. Дмитриев А.А., Белязо В.А. (2006). Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. СПб.: Гидрометеиздат, 2006. 360 с.
30. Дмитриев А.А., Белязо В.А. (2011). Ритмика атмосферной циркуляции приполярных районов Атлантического океана и их космо-геофизическая обусловленность // Учёные записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 19. С. 86–100.

31. Дуванин А.И. (1999). Приливный год и системы времени // Океанология. 1999. Т. 39, № 6. С. 843–848.
32. Елисеев А.В., Мохов И.И. (2015). Влияние внезапных факторов на климат: возможные механизмы воздействия и результаты моделирования // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 119–132.
33. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. (2011). Закономерности климатических изменений в XX веке и основные физические процессы, ответственные за эти изменения // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2011. Т. 4, № 1. С. 87–108. Онлайн-доступ к журналу: <http://isu.ru/izvestia>.
34. Жуков Л.А. (1976). Общая океанология / под ред. Ю.П. Доронина. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 376 с.
35. Завалишин Н.Н., Виноградова Г.М. (1990). О связи аномалий месячных температур воздуха с циклом Хейла и динамикой расстояния Солнце – Земля // Труды СибНИГМИ. 1990. Вып. 93. С. 25–32.
36. Иванов В.В., Кононов В.И. (1977). Проблемы генезиса терм регионов активного вулканизма // Известия АН СССР. Серия Геологическая. 1977. № 11. С. 35–43.
37. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. (2012). Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2 (6). С. 66–79.
38. Клиге Р. К., Школьный Д.И. (2016). Изменение режима поверхностных вод гидросферы // Сложные системы. 2016. № 3 (20). С. 4–17.
39. Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М., Николаев В.Г. (1987). Исследование причин изменчивости климата // Агроклиматические ресурсы Сибири. Сборник трудов ВАСХНИЛ, Сибирское отделение. Новосибирск, 1987. С. 103–113.
40. Кондратьев К.Я. (2004а). Неопределённость данных наблюдений и численного моделирования климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 93–119.
41. Кондратьев К.Я. (2004б). Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования // Исследование Земли из космоса. 2004б. № 2. С. 61–96.
42. Кондратьев К.Я. (1998). Экологический риск: реальный и гипотетический // Известия РГО. 1998. Т. 130, вып. 3. С. 13–23.
43. Кононова Н.К. (2015). Изменение циркуляции атмосферы Северного полушария в XX–XXI столетиях и их последствия для климата // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 133–162.
44. Котляков В.М. (2012). О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110–114.
45. Кузнецов В.В. (2011). Физика Земли. Новосибирск. 2011. 842 с. www.geokniga.org.
46. Кэрри У. (1991). В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. М.: Мир, 1991. 448 с.

47. Лаппо С.С. (1984). К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане // Исследования процессов взаимодействия океана и атмосферы. М., 1984. С. 125–129.
48. Лаппо С.С., Добролюбов С.А., Лозовацкий И.Д., Морозов Е.Г., Соков А.В., Шаповалов С.М. (2006). Трансформация вод антарктического происхождения и меридиональный перенос в Атлантике к северу от экватора по данным квазизонального разреза 2000 года // Фундаментальные исследования океанов и морей. Т. 1. М.: Наука, 2006. С. 15–32.
49. Логинов В.Ф., Бровка Ю.А., Микуцкий В.С. (2020). Природа квазишестидесятилетнего колебания в климатической системе // Природопользование. 2020. № 1. С. 5–19.
50. Логинов В.Ф. (2020). Космические факторы климатических изменений. Минск, 2020. 168 с.
51. Лоренц Э.Н. (1970). Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 259 с.
52. Максимов И.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. (1970). Океан и космос. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 214 с.
53. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Наумов Л.М. (2018). Влагосодержание атмосферы как климатообразующий фактор // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 3. С. 243–251. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-243-251.
54. Марчук Г.И. (1974). Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 308 с.
55. Матвеева Т.А., Гущина Д.Ю., Нарижная А.И. (2018). Модификация двух типов Эль-Ниньо и Ла-Нинья в климатах прошлого по данным расчётов моделей CCSM4 и CNRM-CM5 // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 2. С. 86–104.
56. Мах Э. (2000). Механика. Историко-критический очерк её развития / Перевод Г.А. Котляра; под ред. проф. Н.А. Гезехуса. Ижевск: Ижевская республиканская типография, 2000. 456 с.
57. Методические указания (1991). Руководящий документ. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284–91. Комитет гидрометеорологии при Кабинете министров СССР. М., 1991. 149 с.
58. Мирошниченко Л.И. (2011). Физика Солнца и солнечно-земных связей: уч. пособие / Л.И. Мирошниченко / под ред. М.И. Панасюка. М.: Университетская книга, 2011. 174 с.
59. Митропольский А.К. (1971). Техника статистических вычислений. М.: Наука, 1971. 576 с.
60. Молчанов А.М. (2013). Гипотеза резонансной структуры Солнечной системы // Пространство и время. 2013. 1(11). С. 34–48. <https://space-time.ru/space-time/article/view/2226-7271provst1-11.2013.22>.

61. Монин А.С. (1982). Введение в теорию климата. М.: Гидрометеиздат, 1982. 243 с.
62. Монин А.С. (2000). Влияние планет на климат Земли. М.: Научный мир. МГУ, 2000. С. 122–128.
63. Монин А.С., Сонечкин Д.М. (2005). Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. М.: Наука, 2005. 191 с.
64. Мохов И.И., Смирнов Д.А., Карпенко А.А. (2012). Оценки связи изменений глобальной приповерхностной температуры с разными естественными и антропогенными факторами на основе данных наблюдений // Доклады Академии наук. 2012. Т. 443, № 2. С. 225–231.
65. Мохов И.И., Хон В.Ч. (2015). Продолжительность навигационного периода и её изменения для Северного морского пути: модельные оценки // Арктика: экология и экономика. 2015. № 2 (18). С. 88–95.
66. Мультановский Б.П. (1933). Основные положения синоптического метода долгосрочных прогнозов погоды. Часть 1. Центральное управление единой гидрометеорологической службы Союза ССР. М., 1933. 139 с.
67. Муравьев А.В., Вильфанд Р.М. (2000). О стандартизации оценок качества среднесрочных и долгосрочных прогнозов погоды // Метеорология и гидрология. 2000. № 12. С. 24–34.
68. Нестеров Е.С. (2013). Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Трида лтд, 2013. 144 с.
69. Ньютон Исаак. (1989). Математические начала натуральной философии / под ред. Л.С. Полака; перевод с латинского и комментарии А.Н. Крылова. М.: Наука, 1989. 687 с.
70. Осика Д.Г., Алишаев М.Г., Пономарёва Н.Л., Отинова А.Ю. (2011). О роли сейсмичности и вулканизма в парадоксах современного климата // Вестник Дагестанского научного центра. 2011. № 43. С. 27–32.
71. Осика Д.Г., Отинова А.Ю., Пономарёва Н.Л. (2013). О природе глобального потепления и естественных причинах формирования климатических аномалий и катастроф // Аридные экосистемы. 2013. Т. 19, № 4 (57). С. 104–112.
72. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствий на территории Российской Федерации. Т. 1: Изменения климата / под рук. В.П. Мелешко. М., 2008. 226 с.
73. Пальмен Э. Ньютон Ч. (1973). Циркуляционные системы атмосферы / пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 614 с.
74. Панин Г.Н., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В. (2015). Климатические изменения в Арктике, Северной Атлантике, района Каспия и их взаимосвязь // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 183–210.
75. Пановский Г.А., Брайер Г.В. (1967). Статистические методы в метеорологии. Л.: Гидрометиздат, 1967. 242 с.
76. Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. (2002). Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. 2002. № 8. С. 24–35.

77. Пилипенко В.А. Белаховский В.Б., Селиванов В.Н., Сахаров Я.А. (2018). Характеристики variability геомагнитного поля для изучения воздействия магнитных бурь и суббурь на электроэнергетические системы // Физика Земли. 2018, № 1. С. 56–68.
78. Полонский А.Б. (2008). Глобальное потепление, крупномасштабные процессы в системе океан–атмосфера, термохалинная катастрофа и их влияние на климат Атлантико-Европейского региона. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 45 с.
79. Полонский А.Б. (2010). Развитие теории циркуляции Мирового океана для решения климатических задач // Современные проблемы динамики океана и атмосферы. Сборник статей, посвящённый 100-летию со дня рождения проф. П.С. Линейкина / под ред. А.В. Фролова и Ю.Д. Реснянского. М.: Гидрометцентр России, 2010. С. 227–249.
80. Пуанкаре А. (1990). О науке. 2-е изд., стер. / пер. с фр.; под ред. Л.С. Понтрягина. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 736 с.
81. Пудовкин М.И., Козелов В.П., Лазутин Л.Л., Трошичев А.А., Чертков А.А. (1977). Физические основы прогнозирования магнитосферных возмущений / отв. ред. С.И. Исаев. М.: Наука, 1977. 317 с.
82. Савченко В.Н., Смагин В.П. (2006). Начала современного естествознания: тезаурус. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 336 с.
83. Семёнов В.А. (2015). Колебания современного климата, вызванные обратными связями в системе атмосфера – арктические льды – океан // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015, № 1. С. 232–247.
84. Семёнов С.М. (2012). Парниковый эффект и его антропогенное усиление // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 10–17.
85. Сидоренков Н.С. (2002). Физика неустойчивостей вращения Земли. М.: Физматлит, 2002. 380 с.
86. Сидоренков Н.С., Переведенцев Ю.П., Горбаренко Е.В., Неушкин А.И., Сумерова К.А., Шарипова М.М., Шерстюков Б.Г. (2012). Брикнеров цикл в изменении облачности и продолжительности солнечного сияния в Москве и Казани // Труды Гидрометцентра Российской Федерации. 2012. № 347. С. 35–43.
87. Сидоренков Н.С., Сумерова К.А. (2011). Причины аномально жаркого лета 2010 года на Европейской территории России // Труды Гидрометцентра России. 2011. Вып. 346. С. 191–205.
88. Смольков Г.Я. (2020). Необходимость знаний о внешнеземных связях // Гелиогеофизические исследования. 2020. Вып. 25. С. 14–29.
89. Смольков Г.Я., Базаржапов А.Д., Петрухин В.Ф., Щепкина В.Л. (2013). Геофизические последствия гравитационного воздействия на Землю // Солнечно-земная физика. 2013. Вып. 23. С. 129–135.
90. Сушко В.А., Косых Д.А. (2013). Геомагнитные штормы. Угроза национальной безопасности России // Новости электротехники. 2013. № 4 (82). С. 25–28.

91. Тищенко В.А., Хан В.М., Круглова Е.Н., Куликова И.А. (2016). Применение статистической коррекции детерминистских прогнозов температуры воздуха и осадков по модели ПЛАВ для Арктического региона // Труды Гидрометцентра Российской Федерации. 2016. № 361. С. 47–65.

92. Фёдоров В.М. (2020). Астрономическая климатология. М.: МГУ, 2002. 232 с.

93. Фёдоров В.М., Костин А.А. (2019). Вычисление инсоляции Земли для периода от 3000 г. до н.э. до 2999 г. н.э. // Процессы в геосредах. 2019. № 2. С. 254–262.

94. Фёдоров В.М. (2018). Инсоляция Земли и современные изменения климата. М.: Физматлит, 2018. 232 с.

95. Фёдоров В.М. (2020). Эволюция современного глобального климата Земли и её возможные причины // Геориск. 2020. Т. 14, № 4. С. 16–29.

96. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Клячкин С.В., Фролов С.В. (2012). Морской лёд. Глава 10 из кн. «Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем» / Научный редактор С.М. Семёнов. М.: Росгидромет, 2012. 505 с.

97. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. (2006). Климатические вариации площади ледяного покрова в Евразийской Арктике и ожидаемые их изменения в XXI веке // Материалы совета-семинара при Президенте Российской академии наук: Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. М.: Наука, 2006. С. 353–370.

98. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Цикличность геодинамических процессов: её возможная природа. М.: Научный мир, 2009. 520 с.

99. Хан В.М., Вильфанд Р.М., Бундель А.Ю., Крыжов В.Н., Мин Е.-М., Тищенко В.А. (2011). Мультимодельный подход при составлении прогнозов погоды на сезон // Метеорология и гидрология. 2011. № 1. С. 19–29.

100. Хизен Б., Фокс П.Д. (1974). Срединно-океанический хребет // Океанографическая энциклопедия. Л.: Гидрометеиздат, 1974. С. 495–505.

101. Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М. (1992). Барицентрическое движение Солнца и солнечно-земные связи // Биофизика. 1992. Т. 37, вып. 3. С. 547–553.

102. Шерстюков Б.Г. (2008). Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата: монография. Обнинск: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008. 246 с.

103. Шерстюков Б.Г. (2010). Оценки точности физико-математических моделей ЕСНАМ4, HadCM3 и CGCM2 по данным на территории России // Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 175. С. 3–19.

104. Шерстюков Б.Г. (2011). Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2011. 293 с.

105. Шерстюков Б.Г. (2018). О возможном резонансном механизме колебаний климата // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 181. С. 52–70.

106. *Шерстюков Б.Г.* (2019а). Короткопериодные колебания климата по данным наблюдений, их закономерности и предпосылки для прогноза с заблаговременностью более одного года // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 185. С. 40–55.
107. *Шерстюков Б.Г.* (2019б). Асинхронные дальние связи температуры воздуха в Центральном регионе России с температурой поверхности Мирового океана // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 67–79.
108. *Шерстюков Б.Г.* (2019в). Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2019. Вып. 184. С. 80–93.
109. *Шерстюков Б.Г.* (2020). Сезонные прогнозы температуры воздуха на территории России по методу экстраполяции ритмов с заблаговременностью девять – одиннадцать месяцев // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 91–112.
110. *Шерстюков Б.Г.* (2021). Динамическая синхронизация колебаний климата океана с барицентрическим движением Солнца // Известия РАН. Серия Географическая. 2021. Т. 85, № 3. С. 380–391. DOI: 10.31857/S2587556621030146.
111. *Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П.* (2019). Дальние асинхронные связи в долгопериодных колебаниях климата Мирового океана и региональной атмосферы применительно к Республике Татарстан // Вестник ВГУ, серия: География, Геоэкология. 2019. № 1. С. 5–11.
112. *Шерстюков Б.Г., Переведенцев Ю.П., Шерстюков А.Б.* (2020). О связи многолетних колебаний температуры воздуха в Приволжском федеральном округе с циклическими космическими воздействиями на Землю // Вестник Удмурдского университета. Серия Биология, Науки о Земле. 2020. Т. 30, вып. 3. С. 307–315.
113. *Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С.* (2020). Цикличность изменения температуры воздуха в Европе по данным многолетних наблюдений в Центральной Англии // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 61–69.
114. *Шерстюков Б.Г., Фёдоров В.М., Шерстюков А.Б.* (2020). О связи вариаций температуры поверхности океана с циклическими изменениями притока солнечной радиации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2020. Вып. 187. С. 70–78.
115. *Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б.* (2021). Дальние асинхронные связи долгопериодных колебаний температуры воздуха в Англии // Гидрометеорология и экология. 2021. № 63. С. 207–226.
116. *Шугрин С.М.* (1999). Космическая организованность биосферы и ноосферы. Новосибирск: Наука, 1999. 495 с.
117. *Шулейкин В.В.* (1968). Физика моря. 4-е издание. М.: Наука, 1968. 1083 с.
118. *Щевьёв В.А.* (2012). Физика течений в океанах, морях и в озёрах. История поисков, размышлений, заблуждений, открытий. Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing, 2012. 312 с. ISBN: 978-3-8484-1929-6.
119. *Эйби Дж.А.* (1982). Землетрясения. М.: Недра, 1982. 264 с.

120. Ashok K, Behera S.K., Rao S.A, Weng H., Yamagata T. (2007). El Niño Modoki and its possible teleconnection // J. Geophys. Res. 2007. V. 112. C11007.

121. Barnston A., Livezey R. (1987). Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. 1987. V. 115. P. 1083–1126.

122. Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J. (2012). Century/millennium internal climate oscillations in an Ocean – Atmosphere – Continental ice sheet model // J. Geophys. Res. 1994. V. 99, Is. C6. P. 12459–12470. <https://doi.org/10.1029/94JC00523>.

123. Bizouard C., Lambert S., Gattano C. et al. (2019). The IERS EOP 14C04 solution for Earth orientation parameters consistent with ITRF 2014 // J. Geodesy. 2019. N 93(5). P. 621–633, <https://doi.org/10.1007/s00190-018-1186-3>.

124. Boden T.A., Marland G., Andres R.J. (2017). Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001_V2017.

125. Broecker W.S. (1991). The great ocean conveyor // Oceanography. 1991. N 4(2). P. 79–89.

126. *Climate Change* (2013). The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, Sro Paolo, Delhi, Mexico City. 1535 p.

127. Delworth T., Manabe S., Stouffer R.J. (1993). Interdecadal variations of the thermohaline circulation in a coupled Ocean – Atmosphere model // J. Climate. 1993. V. 6. P. 1993–2011.

128. Dirk Notz. Arctic Sea Ice in CMIP6. (2020). SIMIP Community // Geophys. Res. Let. 2020. V. 47, Is. 10. First published: 17 April 2020 <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019GL086749>.

129. *ERSST V3b*. The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) dataset is a global monthly sea surface temperature analysis derived from the International Comprehensive Ocean – Atmosphere Dataset. <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/extended-reconstructed-sea-surface-temperature-ersst-v3b>.

130. *ERSST V5*. National Centers for Environmental Information. The Extended Reconstructed Sea Surface Temperature. Интернет-ресурс <https://www.ncei.noaa.gov/pub/data/cmb/ersst/v5/ascii/> (дата обращения: март 2021).

131. Frajka-Williams E., Ansorge I., Baehr J., Bryden H., Chidichimo M. (2019). Atlantic Meridional Overturning Circulation: Observed Transport and Variability // *Frontiers in Marine Science*. 2019. V. 6. 260 p. URL=<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00260>. DOI=10.3389/fmars.2019.00260.

132. Giorgini J.D., Yeomans D.K., Chamberlin A.B., Chodas P.W., Jacobson R.A., Keesey M.S., Lieske J.H., Ostro S.J., Standish E.M., Wimberly R.N. JPL's. (1996). On-Line Solar System Data Service // Bull. Amer. Astronom. Soc. 1996. V. 28(3). P. 1158.
133. Gulev S.K., Latif M., Keenlyside N., Park W., Koltermann K.P. (2013). North Atlantic Ocean control on surface heat flux on multidecadal timescales // Nature. 2013. V. 499. P. 464–468. Doi: 10.1038/nature 12268.
134. Hegerl G.C., Zwiers F.W., Braconnot P., Gillett N.P., Luo Y., Marengo Orsini J.A., Nicholls N., Penner J.E., Stott P.A. (2007). Understanding and attributing climate change, in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
135. Huang B., Thorne P., Banzon V., Boyer T., Chepurin G., Lawrimore J., Menne J., Smith T., Vose R., Zhang H. (2017). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons // J. Climate. 2017. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1
136. Huang, B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H.-M. (2018). Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations // J. Climate. 2018. V. 31. P. 5015–5030, doi: 10.1175/JCLI-D-17-0824.1.
137. Huang B., Liu C., Ren G., Zhang H.-M., Zhang L. (2018). The role of buoy and Argo observations in two SST analyses in the global and tropical Pacific oceans // J. Climate. V. 32. P. 2517–2535. Doi: 10.1175/JCLI-D-18-0368.1.
138. Huang B., Thorne P. (2017). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons // J. Climate. 2017. Doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1
139. Kelly G.S., Viljanen A., Beggan C., Thomson A.W.P. (2017). Understanding GIC in the UK and French high voltage transmission systems during severe magnetic storms // Space Weather. 2017. V. 14, Is. 1. P. 99–114. DOI: 10.1002/2016SW001469.
140. Lebedev S.A., Kostianoy A.G. (2008). Integrated using of satellite altimetry in investigation of meteorological, hydrological and hydrodynamic regime of the Caspian Sea // J. Ter. Atmos. and Oceanic Sci. 2008. V. 19(1–2). P. 71–82..
141. Lozier M. Susan. (2010). Deconstructing the Conveyor Belt // Science. 2010. V. 328. P. 1507–1511.
142. Manley G. (1953). The mean temperature of Central England, 1698 to 1952 // Q.J.R. Meteorol. Soc. 1953. V. 79. P. 242–261.
143. Manley G. (1974). Central England Temperatures: monthly means 1659 to 1973 // Q.J.R. Meteorol. Soc. 1974. V. 100. P. 389–405.
144. Mayaud Pierre-Noel. (1972). The aa Indices: A 100-Year Series Characterizing the Magnetic Activity // J. Geophys. Res. 1972. V. 77, N 34. P. 6870–6874. URL: http://isgi.unistra.fr/indices_dst.php
145. Moritz H. (1979). GRS80 — Geodetic Reference System, 1980. Report of Special Study Group N539 of I.A.G., Fundamental Geodetic Constants, presented at XVII General Assembly of I.U.G.G., Canberra // J. Geodesy. 1979. V. 74. P. 128–133.

146. *National Centers for Environmental Information/NESDIS/NOAA/U.S. Department of Commerce*. 2019, updated monthly. NOAA NCEI Extended Reconstructed Sea Surface Temperature. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. <https://doi.org/10.5065/JZ08-3W17>. Accessed 01.02.2021.

147. *Nino4*. Datasets Useful for Research. Time Series. Niño4 SST Index. <https://psl.noaa.gov/enso/data.html> (дата посещения: 01.04.2020).

148. *NOAAGlobalTemp V5*. NOAA Merged Land Ocean Global Surface Temperature Analysis. <https://www.ncdc.noaa.gov/noaa-merged-land-ocean-global-surface-temperature-analysis-noaaglobaltemp-v5> (дата обращения: июль 2020).

149. *North Atlantic Oscillation*. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/norm.nao.monthly.b5001.current.ascii.table>.

150. *Parker D.E., Horton E.B.* (2005). Uncertainties in the Central England Temperature series since 1878 and some changes to the maximum and minimum series // *Int. J. Climat.* 2005. V. 25. P. 1173–1188.

151. *Parker D.E., Legg T.P., Folland C.K.* (1992). A new daily Central England Temperature Series, 1772–1991 // *Int. J. Climat.* V. 12. P. 317–342.

152. *Perevedentsev Y.P., Shantalinskii K.M., Sherstyukov B.G., Guryanov V.V.* (2019). Current Climatic Changes in the Troposphere, Stratosphere, and Mesosphere, and Inter-Layer Interactions // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 386 (2019) 012003. doi:10.1088/1755-1315/386/1/012003.

153. *Pirjola R., Pulkkinen A., Viljanen A.* (2003). Studies of space weather effects on the finnish natural gas pipeline and on the finnish high-voltage power system // *Advansed Space Res.* 2003. V. 31, Is. 4. P. 795–805. DOI: 10.1016/S0273-1177(02)00781-0.

154. *Rayner N., Parker D., Horton E., Folland C., Alexander L., Rowell D., Kent E., Kaplan A.* (2003). Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108, N D14, 4407 10.1029/2002JD002670.

155. *Benzi R., Sutera A., Vulpiani A.* (1981). The mechanism of stochastic resonance // *J. Phys. A: Mathematical and General*. 1981. V. 14. P. L453–L457.

156. *Sea ice*. <ftp://sidads.colorado.edu/DATASETS/NOAA/G02135/north/monthly/data/> (дата обращения: 23.03.2021).

157. *Shoshiro Minobe.* (1997). A 50–70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America // *Geophys. Res. Lett.* 1997. V. 24, N 6, MARCH 15. P. 683–686.

158. *Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J.* (2008). Improvements NOAA's Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006) // *J. Climate*. 2008. V. 21. P. 2283–2296.

159. *Spiess F.N., Macdonald K.C., Atwater T., Ballard R., Carranza A., Cordoba D., Cox C., Diaz Garcia V.M., Francheteau J., Guerrero J., Hawkins J., Haymon R., Hessler R., Juteau T., Kastner M., Larson R., Luyendyk B., Macdougall J. D., Miller S., Normark W., Orcutt J., Rangin C.* East Pacific Rise. Hot Springs and Geophysical Experiments // *Science*. 1980. V. 207, N 4438. P. 231–242.

160. *Sunspot data*. Sunspot data from the World Data Center SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels. <http://sidc.be/silso/datafiles#total>].
161. *Swingedouw D., Terray L., Cassou C., Voldoire A., Salas-Melia D., Servonna J.* (2011). Natural forcing of climate during the last millennium: Fingerprint of solar variability. Low frequency solar forcing and NAO // *Climate Dynamics*. 2011. V. 36, Is. Springer. P. 1349–1364.
162. *Veretenenko S., Ogurtsov M.* (2020). Manifestation and Possible Reasons of ~60-Year Climatic Cycle in Correlation Links Between Solar Activity and Lower Atmosphere Circulation / T. Yanovskaya, A. Kostero, N. Bobrov, A. Divin, A. Saraev, N. Zolotova (eds). *Problems of Geocosmos-2018*. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21788-4_30.
163. *Weihong Qian, Yafen Zhu.* (2001). Climate change in China from 1880 to 1998 and it impact on the environmental condition // *Climate Change*. 2001. V. 50. P. 419–444.
164. *White W.B., Peterson R.G.* (1996). An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent // *Nature*. 1996. V. 380. P. 699–702.
165. *Wyatt M., Kravtsov S, Tsonis A.* (2012). Atlantic Multidecadal Oscillation and Northern Hemisphere's climate variability // *Climate Dynamics*. March 2012. V. 38, Is. 5–6. P. 929–949.
166. *Xue Y, Smith T.M., Reynolds R.W.* (2003). Interdecadal Changes of 30-Yr SST Normals during 1871–2000 // *J. Climate*. 2003. V. 16. P. 1601–1612.
167. *Zhang Huai-Min, Jay H. Lawrimore, Boyin Huang, Matthew J. Menne, Xungang Yin, Ahira Sanchez-Lugo, Byron E. Gleason, Russell Vose, Derek Arndt, J. Jared Rennie, Claude N. Williams.* (2019). Updated temperature data give a sharper view of climate trends, *Eos*, 100, doi.org/10.1029/2019EO128229. Published on 19 July 2019.

Монография
Шерстюков Б.Г.

**КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КЛИМАТА,
РЕЗОНАНСЫ, ДАЛЬНИЕ СВЯЗИ,
ПРОГНОЗЫ**

Подписано к печати 29.11.2021 г. Формат 60×84/16.
Печать офсетная. Печ. л. 12,9. Тираж 250 экз. Заказ № 36.

Отпечатано в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, ул. Королёва, 6.