

Российская академия наук
Санкт-Петербургский филиал
Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН

Александр Петрович

КАНОН ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА

МИЛУТИН МИЛАНКОВИЧ
И АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ
ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Нестор-История
Санкт-Петербург
2011

УДК 551.583
ББК 26.237
ПЗ0

Перевод с сербского Марии Хартанович

Пётрови́ч А.

ПЗ0 Канон ледникового периода. Милутин Миланкович и астрономическая теория изменений климата. — СПб. : Нестор-история, 2011. — 132 с.

Настоящая книга посвящена истории астрономической теории изменений климата и самому Милутину Миланковичу, который в первой половине XX в. начертил кривую распределения солнечной радиации по поверхности Земли за прошедший миллион лет, создал математическую климатологию и в некотором смысле преобразовал науки о Земле. Миланкович превратил климатологию планеты Земля, которая до него существовала в виде пассивного, дескриптивного сбора данных, в активную и точную науку, он дал начало цифровому моделированию климата и создал точный математический метод мониторинга и прогнозирования изменений климата во времени.

ISBN 978-5-98187-741-4

УДК 551.583
ББК 26.237

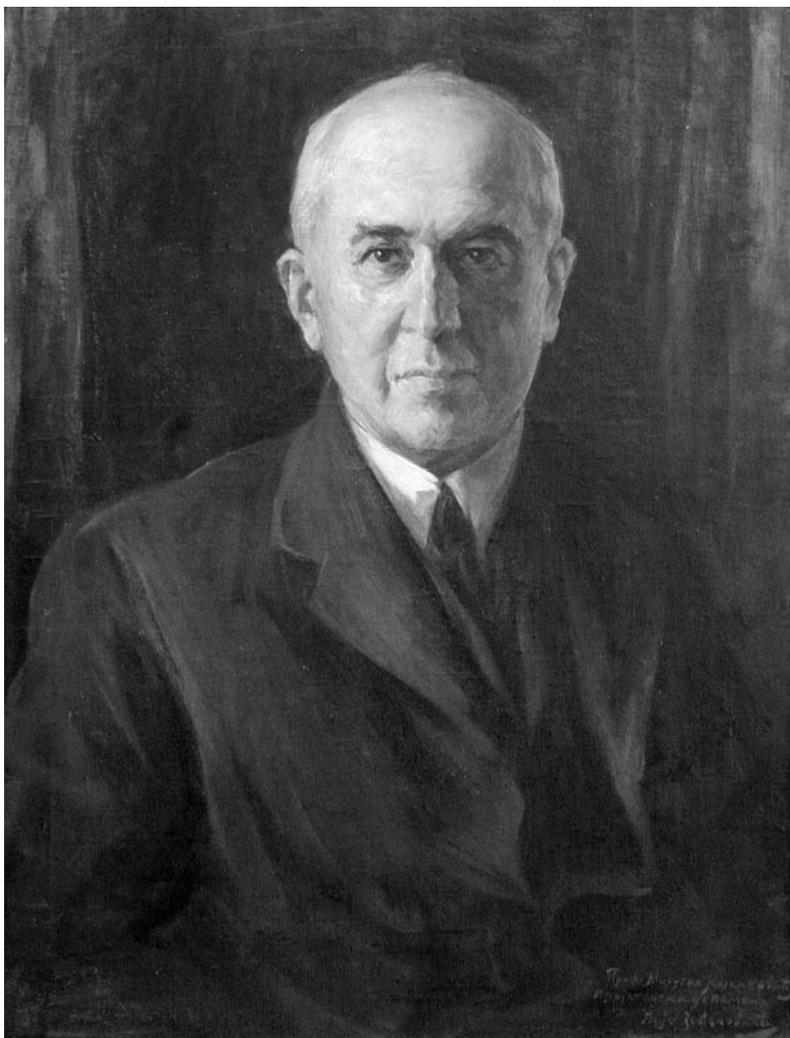
ISBN 978-5-98187-741-4



© Петрови́ч А., 2011
© Издательство «Нестор-История», 2011
© СПбФ ИИЕТ РАН, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. СИМВОЛ СОЛНЦА В ЦЕНТРЕ КАРТИНЫ От строительной до небесной механики	9
2. НЕОБХОДИМОСТЬ РЕВОЛЮЦИИ История астрономической теории изменений климата	27
3. ДОРОГА ЧЕРЕЗ ДАЛЕКОЕ СОЛНЦЕ Орбитальные циклы и геометрия солнечной радиации	43
4. ИЗ ТЮРЬМЫ К ЗВЕЗДАМ Три области применения астрономической теории	62
5. НА ГРАНИЦЕ ВЕЧНОГО СНЕГА Встреча с Владимиром Кёппеном	76
6. ИЗ ОГНЯ И ПЕПЛА От научной теории до канона притока солнечной радиации	92
7. ЦИКЛЫ МИЛАНКОВИЧА И ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ О будущем климата и канона Миланковича	116
Об авторе	131



Портрет Милутина Миланковича
Художник Пая Йованович

Проблема климата и климатических изменений оказалась в эпицентре научных исследований и внимания общественности. Увеличивается количество разнообразных моделей реконструкции и прогнозирования климата, подписываются политические документы, призванные «совладать» с этой проблемой, растет обеспокоенность общества из-за не вполне понятных ему процессов. При этом существует одна-единственная теория, имеющая геологическое подтверждение и дающая возможность точной реконструкции и прогнозирования. Это канон притока солнечной радиации Милутина Миланковича.

Настоящая книга посвящена истории астрономической теории изменений климата и самому Милутину Миланковичу, который в первой половине XX в. начертил кривую распределения солнечной радиации по поверхности Земли за прошедший миллион лет, создал математическую климатологию и в некотором смысле преобразовал науки о Земле. Миланкович превратил климатологию планеты Земля, которая до него существовала в виде пассивного, дескриптивного сбора данных, в активную и точную науку, он дал начало цифровому моделированию климата и создал точный математический метод мониторинга и прогнозирования изменений климата во времени. Кроме того, астрономическая теория Миланковича вышла за границы планеты Земля — уже во втором десятилетии XX в. его теория стала общей космической климатологией, давшей возможность точного вычисления температурных условий на внутренних планетах Солнечной системы, а также толщины атмосферных слоев внешних планет. Миланкович установил математическую связь между циклическими изменениями параметров движения планет и колебаниями климата, в частности, применительно к земной проблеме наступления ледниковых эпох в плейстоцене. Как высшее признание научного мира можно расценивать то, что

периодические вековые колебания орбиты, которые Миланкович рассматривал в своей теории совместно с их влиянием на климат, в современной науке получили название «Циклы Миланковича» и, таким образом, вошли в общий язык науки.

Милутин Миланкович родился 16 (28) мая 1879 г. в селе Даль, расположенном на берегу Дуная в области Славония. В то время Славония входила в состав Австро-Венгрии, затем — Югославии. С 1941–1945, как и сейчас, область находится в составе Хорватии. Предки Миланковича, спасаясь от турецкой тирании, поселились в этих местах во время Великого переселения сербов из Косово и Метохии в 1690 г., возглавленного патриархом Арсением Чарноевичем. В семье Миланковичей были инженеры, философы, юристы, а его отец, Милан, был народным трибуном, боровшимся против германизации сербского образования и культуры.

Милутин Миланкович получил начальное домашнее образование, которое было построено его отцом на принципах книги «Эмиль, или о воспитании» Жан-Жака Руссо. Среднюю школу он окончил в г. Осиек (1889–1896). По семейной традиции он должен был изучать агрономию и заниматься отцовским именем, но Миланкович продолжил образование в Высшей технической школе в Вене. В 1902 г. он окончил строительный факультет, и в том же учебном заведении в 1904 г. защитил докторскую диссертацию, став одним из пяти первых докторов технических наук в Австро-Венгрии.

С 1905 г. Миланкович работал на старейшем венском бетонном заводе барона фон Пителя, где сделал прекрасную карьеру инженера-строителя. Он разработал сложнейшие теоретические способы применения армированного бетона, который в то время еще только входил в употребление, и предложил важные теоретические решения в области строительной механики. Всего за четыре года работы Миланкович участвовал в строительстве десятка различных крупных объектов в Югославии, Австрии, Италии, Венгрии, Румынии. Получил шесть официальных патентов в Австрии, Венгрии и Югославии.

В 1909 г. философский факультет Белградского университета предложил Миланковичу возглавить кафедру прикладной математики, на которой в то время изучали три предмета: рациональ-

ную механику, теоретическую физику и небесную механику. Он оставил карьеру строителя в Вене, приносившую ему в десять раз больший доход, чем работа преподавателя в Белграде. Миланкович считал, что в Белграде нашел «все условия для развития своих способностей и возвращения долга своему народу». В 1912 г. он участвовал в Первой Балканской войне, в которой Сербия, Болгария, Греция и Черногория победили Османскую империю и, спустя века, освободили Балканы от турецкого владычества.

Во время Первой мировой войны он находился под домашним арестом в Будапеште. В библиотеке Венгерской академии наук Миланкович закончил работу *«Математическая теория тепловых явлений, обусловленных солнечной радиацией»*, опубликованную в 1920 г. на французском языке в Париже. В последующие десятилетия он занимался астрономией, небесной механикой, климатологией, геофизикой, астрофизикой, теорией относительности, применением материалов и моделей в строительстве, механикой грунтов, военным строительством, ракетной техникой... Особенно важна его реформа Юлианского календаря, официально признанная на Всеправославном конгрессе в Стамбуле в 1923 г., но не использовавшаяся на практике, как и его математическая теория смещения полюсов, опубликованная им впервые в 1932 г.

Милутин Миланкович — основоположник истории науки в Сербии и один из первых историков науки в мире. Начиная с 1926 г., он написал много работ на эту тему, самыми известными из которых являются: *«Кроз васиону и векове»* (*«Через вселенную и века»*), *«Кроз царство наука»* (*«В царстве науки»*), *«Историја астрономске науке од њених почетака до 1727 године»* (*«История астрономии от ее начала до 1727 г.»*), *«Техника током давних векова»* (*«Техника в давние времена»*), *«22 века хемије»* (*«22 века химии»*). Первая работа, написанная в эпистолярном жанре, неоднократно переиздавалась на сербском и немецком языках благодаря красоте стиля и ясности объяснений сложнейших проблем астрономии, климатологии, теории модификации календаря, а *«Историја астрономије»* (*«История астрономии»*) и сейчас используется как учебник в Белградском университете.

Основной труд Милутина Миланковича *«Канон наступления солнечной радиации»*, опубликованный в 1941 г. Сербской королевской академией на немецком языке, стал одной из самых значительных работ XX в., его цитируют и по сей день. В этой работе дана математическая разгадка тайны периодичности наступления ледниковых периодов на Земле. Миланкович занимался не только Землей, он — основатель космической климатологии. Миланкович первым, еще в 1913 г., математически точно рассчитал температурные условия на Луне и произвел такие же расчеты для внутренних планет Солнечной системы: Меркурия, Венеры, Марса. Его расчеты в значительной степени соответствуют результатам, полученным с помощью космических зондов.

На исходе жизни Милутин Миланкович вернулся к строительным конструкциям. В работе *«Вавилонски торањ модерне технике»* (*«Вавилонская башня современной конструкции»*), опубликованной в 1956 г., он задал вопрос: «На какую высоту и какими современными средствами мы смогли бы подняться в здании, превосходящем по высоте все существующие?» Решение было найдено в «абсолютном здании» — постройке из армированного бетона ротационно-симметричной внешней структуры, высотой 21 646 км и 11 284 км в диаметре основания.

В 1920 г. Милутин Миланкович избран членом Сербской королевской академии. Дважды он избирался вице-председателем академии, а также был членом Югославянской академии наук и искусств в Загребе, немецкой Академии естественных наук в Галле, итальянского Института по науке, литературе и искусству в Венеции. Его именем названы два кратера на Луне и Марсе и одна малая планета. Европейский геофизический союз с 1993 г. утвердил премию имени Миланковича. NASA внесло Милутина Миланковича в десятку великих ученых всех времен, занимавшихся науками о Земле.

Милутин Миланкович умер в 1958 г. в Белграде, где и был похоронен. Но по завещанию Миланковича его тело в 1966 г. было перезахоронено в семейной гробнице в Дале, где покоится и поныне.

1. СИМВОЛ СОЛНЦА В ЦЕНТРЕ КАРТИНЫ

ОТ СТРОИТЕЛЬНОЙ ДО НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ

Рассказ о Миланковиче как климатологе начинается с 1909 г., когда по приглашению министра просвещения Королевства Сербия он получил должность экстраординарного профессора на кафедре прикладной математики Белградского университета. В 1902 г. он успешно окончил учебу на строительном отделении Венской высшей технической школы, и через два года защитил докторскую диссертацию под названием «*Theorie der Druckkurven*» («Теория линий давления»)¹. В 1905 г. Миланкович стал главным инженером на крупном венском предприятии барона фон Пителя, которое осуществляло масштабные строительные проекты по всей Центральной Европе. Таким образом, он мог применять математические знания для решения проблем строительства, что ему, как инженеру, доставляло большое удовольствие. Миланкович работал в новой для того времени области строительства с применением армированного бетона, опубликовал по этой теме ряд значительных трудов и получил пять патентов в Австро-Венгрии. За четыре года работы он стал очень известным (если не самым известным) инженером в стране.

Возникает вопрос, почему в 1909 г. М. Миланкович оставил успешную карьеру инженера-строителя в столице Австро-Венгерской монархии, имея за плечами сотню крупных проектов, и решил стать преподавателем Белградского университета с несравнимо меньшим доходом? Это было настоящим поступком, требовавшим достаточно душевных сил, — отказаться

¹ Milutin Milankovic. *Theorie der Druckkurven*. Zeitschrift für Mathematik und Physik, 1907, Bd. 55, str. 1–27. О значении теории строительных конструкций Миланковича см.: Federico Foce. *Milankovitch's Theorie der Druckkurven: Good mechanics for masonry architecture*. «Nexus Network Journal», Vol. 9, No. 2, 2007.

от блистательной имперской столицы и поменять ее внешний блеск на внутреннюю озаренность преданности науке и смиренную скоромность экстраординарного профессора университета. Миланкович был очарован Венной. Об этом он писал в своих многочисленных мемуарах². Он наслаждался великолепием оперы, спокойствием библиотек и шумом кафе, обществом надменных столичных дам. Он был доволен своим положением в обществе, гордился своими достижениями в инженерной специальности, возможностью применения математики в инженерных проектах, высокими доходами, гонорарами за патенты по бетонным балкам. Миланкович вел наполненную, радостную жизнь, пользовался всеми достижениями культуры Центральной Европы. Можно вообразить, какой представлялась Вена человеку, родившемуся и выросшему в сербском селе на славонском берегу Дуная. Этот, на первый взгляд, простой шаг подразумевал пробуждение самосознания, распознавание сущего и видимого, разделение средств и цели, решимость идти своей дорогой, пусть и против традиционного направления с Востока на Запад, из «малого» в «большой» свет. Силу для такого поступка Миланкович, без сомнения, находил в наследии своей сербской семьи, жившей на берегах Дуная уже два века.

Милутин Миланкович, старший из шестерых детей, получил среднее образование в школах Австро-Венгрии, однако благодаря семье, не забывающей о своих сербских корнях, его интеллектуальная и эмоциональная жизнь строилась на фундаменте ценностей сербской культуры и исторической памяти.

Потому Миланкович чувствовал себя счастливым, когда 1 октября 1909 г. отправился в Белград. Спустя два дня, прекрасным осенним утром Милутин вышел из дома своего деда Димитрия и зашагал на новую работу. «Почти сразу я чуть было не споткнулся о старые плиты каменной мостовой Белграда. Но меня это не испугало. Я знал, что дорога к славе пролегает по пересеченной, заросшей колючим кустарником местности, — так мне, а именно *per aspera ad astra*, писал Богдан Гаврилович,

² Миланкович М. *Успомене, доживљиа и сазнања*. 1–3, Српска академия наука. Београд, 1952–1979. Все ссылки из этой книги даются по другому комплексному изданию — *Успомене, доживљиа и сазнања*. Завод за уџбенике. Београд, 1997.

сообщая, что философский факультет Белградского университета приглашает меня в свои ряды»³.

Перед Миланковичем предстал Белград — город, не смущавшийся своей невзрачностью, город, сильное притяжение которого он ощущал, даже находясь на вершине карьеры венского инженера. Защищая свой столичный стиль жизни, Миланкович психологически воспринимал Белград как «кислый виноград». Он делился своими впечатлениями в мемуарах, рассказывая, как, постояв перед расписанием занятий в ректорате Белградского университета, «вышел на улицу, увидел лачуги тогдашнего Белграда и турецкие каменные мостовые, и вспомнил Вену, свой круг и свое положение в обществе, и... успокоился». Миланкович хотел «с болью почувствовать огромную разницу между большой Веной и малым Белградом» и отступить от мысли о возвращении в Вену.

Но его охватили сильные чувства и надежды, потому как в душе не угасало первое впечатление о Белграде, полученное еще в школьные годы. Для Миланковича это был город из совершенно другого мира, значащий много больше, чем просто населенный пункт на географической карте. В первую очередь этот город ассоциировался для него со свободой. «Мы приплыли в Белград на лодке. Там я почувствовал в воздухе свободу». Это сильное чувство первой встречи с Белградом никогда его не оставляло — возможность дышать воздухом свободы несравнима с любым городским комфортом. Тот, кто однажды вдохнул воздух свободы, уже не будет ни о чем тосковать. Именно это притягивало Миланковича к Белграду и позволило продолжить жизненный путь в этом городе.

Совсем молодым, только окончив реальное училище, Милутин Миланкович приезжал в Белград и объехал всю Сербию. «То короткое пребывание станет, спустя тринадцать лет, причиной моего переселения в Белград, где пройдет большая часть моей жизни и научной работы», — писал он позже. Он был так искренне очарован Белградом и Сербией, что практически поселился в этом городе душой, и жил в нем, физически находясь в Вене. «Столица Сербии в те времена была еще маленьким

³ Миланкович М. *Успомене, доживљени и сазнања*. С. 409.

и невзрачным городишком. Я и не думал сравнивать его со столицей Габсбургской монархии, где я до этого проживал. Но я все же почувствовал, что из прекрасного, но дряхлеющего города, приехал в неказистый, но молодой город. И как будто помолодел сам», — описывал Миланкович свой первый день на новой работе в Белграде⁴. Свобода и молодость — два основных качества, посредством которых он воспринимал Белград, и, может быть, та энергия встречи с городом стала многолетним двигателем его научной работы.

Кафедра прикладной математики полностью соответствовала научным интересам М. Миланковича. Сон стал явью, и уже спустя неделю после переселения в Белград, в аудитории, заполненной учащимися, инженерно-техническими работниками и коллегами по университету, Миланкович вел открытое занятие на тему *«О развитии механики и ее положении в отношении прочих точных наук»*. Его инженерно-техническая деятельность предоставляла довольно узкое пространство для применения математики, в то время как на кафедре Миланковича ожидало широкое поле деятельности. «Меня, как я уже упоминал, очаровало уже само название кафедры. Я всегда ценил математику как чудесный инструмент для решения проблем, с которыми мы сталкиваемся при изучении природы и Вселенной, и чья исключительность более всего выражена в небесной механике и теоретической физике. Именно этими двумя науками занимались на моей кафедре. В них я был не столь сведущ, как в третьем предмете кафедры — рациональной механике, и потому взялся с азартом изучать и те два предмета»⁵.

Решимость остаться в Белграде была подкреплена знаком равенства между личным счастьем и призванием ученого, которому он смог теперь полностью себя посвятить. «Решение остаться в Белграде я принял из глубокого убеждения, что только став крупным ученым, смогу чувствовать себя счастливым и считать, что достиг настоящей цели своей жизни. Мои амбиции были отнюдь не скромны. Я всегда стремился к более высоким целям, или хотя бы к тем, которые мне таковыми казались... Но в Белграде все было по-другому, здесь я полностью и исключительно

⁴ Миланкович М. *Успомене, доживљяи и сазнања*.

⁵ Там же. С. 427.

мог посвятить себя научной работе. Что и сделал, избегая любого искушения свернуть с выбранного пути»⁶.

Целых три года Миланкович занимался первыми двумя предметами, изучавшимися на кафедре, — небесной механикой и теоретической физикой. Поэтому первые его публикации по этим темам носили учебный характер. За три года он опубликовал семь работ, из которых четыре посвящены проблемам рациональной и небесной механики. В первой работе он рассматривал три тела в движении без воздействия внешних сил и пришел к выводу о существовании общей точки пересечения всех трех направлений моментальных относительных движений тел⁷. В следующей работе он показал, что и направления сил, воздействующих на три тела, также пересекаются в общей точке, названной «полюс гравитации»⁸. В этой работе Миланкович нашел простой критерий решения проблемы трех тел: необходимо и достаточно, чтобы совпадали полюс гравитации и центр тяжести таких трех тел. Эта работа имела особое значение, так как в ней Миланкович положил начало векторному выражению основ небесной механики, чтобы потом на основании векторных интегралов ввести векторные элементы орбиты планеты. Таким образом, зародилась система элементов планетарных орбит, которую ряд авторов называют системой векторных элементов планетарных орбит Миланковича. В последующих трудах он свел шесть величин эллиптических орбит Кеплера к двум векторам, определяющим механику движения планет. Первый определяет орбитальную плоскость планеты и параметр орбитального эллипса, а второй — ось орбиты в ее плоскости и орбитальную эксцентricность. Применением этих векторов Миланкович существенно упростил все расчеты и получил все формулы классической теории вековых изменений. В третьей работе он установил, что движение точки имеет периодический характер, если она проходит через две разные

⁶ Миланкович М. *Успомене, доживляя и сазнања*. С. 425.

⁷ Миланкович М. *Особине кретања у едном специјализираном проблему трију тела*. Глас СКА, кн. LXXIV, 1910. С. 218–222.

⁸ Миланкович М. *О оптичим интегралима проблема n тела*. Глас СКА, кн. LXXXIII, 1911. С. 156–196.

позиции кинематической симметрии⁹. Это исследование периодичности, безусловно, имеет большое значение при описании периодических движений в небесной механике.

Даже такое краткое освещение первых научных работ показывает всю серьезность подготовки Миланковича к решению научных задач. После трех лет основательных исследований Миланкович настолько хорошо изучил все предметы кафедры, что был готов определить поле для своих научных исследований. Ему казалось, что это поле определяется само по себе — в то время европейская наука была взбудоражена теорией относительности Эйнштейна. Миланкович также не остался равнодушен: в его следующей работе рассматривалась теория опыта Майкельсона — Морли, так как относительность считалась одной из возможных интерпретаций его результатов. Таким образом, молодой преподаватель попробовал проникнуть в самое сердце современной науки. Вскоре в периодическом издании «*Рад*» («*Труды*») Югославянской академии он напечатал статью о теории опыта Майкельсона¹⁰.

Суть этого опыта в том, что скорость света не зависит от скорости источника света. Два зеркала, находящиеся на одинаковом неизменном расстоянии, поставлены под прямым углом по отношению к источнику и движутся вместе с ним. Если скорость света постоянна, то есть не зависит от скорости движения источника, тогда должна существовать разница во времени, в течение которого свет проходит путь от источника до каждого зеркала и обратно. Однако опыт показал, что такой разницы нет. Этот результат привел прямо к постулатам теории относительности. В труде, опубликованном в 1912 г., Миланкович показал, что если оттолкнуться от эмиссионной теории света Ньютона, допускающей суммирование скорости движения источника и скорости распространения света (когда источник и свет движутся в одинаковом направлении) или вычитание (когда они движутся в противоположных направлениях), отрицательный результат

⁹ Миланкович М. *О кинематической симметрии и ее применении на качественное решение проблемы динамики*. Глас СКА, кн. LXXXV, 1911. С. 109–163.

¹⁰ Milutin Milanković. *О теории эксперимента Майкельсона*. Rad JAZU, 1912, кн. 190, Математико-природословни разред, 51. С. 65–70.

эксперимента будет естественным и не требует никакой новой теории¹¹.

Хотя полученные результаты были правильными, Миланковича ожидал «холодный душ». К публикуемой статье редактор напечатал примечание, что аналогичный результат был получен тремя американскими учеными и опубликован ими в американском журнале, о котором Миланкович ничего не знал. Можно представить его разочарование. Но он быстро пришел в себя, понимая, что это примечание в то же время является исключительно ценным советом: оно помешало ему плутать на пути к предмету, который не отвечал его настроениям. «Когда в науке при новом открытии появляется важная актуальная проблема, многие бросаются на ее решение, что делает их похожими на участников конных скачек: тот, кто хоть на долю секунды придет к финишу первым, будет победителем. Я убедился, что условия моей жизни, а также склад моего характера не подходят для таких нервных состязаний. Я должен был поискать другое поле деятельности, где бы мог жить в тишине, неспешно»¹².

Позднее, накануне Первой мировой войны, в периодическом издании «Глас» Сербской королевской академии он опубликовал работу о теории относительности, которая являлась основательным формальным анализом научного вклада теории опыта Майкельсона. В ней также рассматривалось применение ряда открытий к световому спектру двойных звезд¹³. Такими проблемами занимался Миланкович во время «застоя» в исследовании астрономической теории изменения климата. Продолжая преподавательскую деятельность в университете после окончания Первой мировой войны, он ввел теорию относительности в курс прикладной математики. Миланкович больше никогда не занимался «животрепещущими» научными проблемами: теперь свой путь, на который ему когда-то уже указывал его учитель, он видел совершенно ясно. «Владимир Варичак, мой учитель математики в средней школе, говорил, что в царстве науки есть

¹¹ От этого решения отказались в 1913 г., когда было доказано, что оно противоречит астрономическим наблюдениям двойных звезд.

¹² Миланкович М. *Успомене, доживљаи и сазнања*. С. 456.

¹³ Миланкович М. *О другом постулату специјалне теорије релативитета*. Глас СКА, СХЛ. Београд, 1924. С. 6–52.

края незаселенные и невозделанные, находящиеся за пределами или между “наукоградями”. Я стал размышлять, где же находятся те совсем или недостаточно возделанные края, где бы я смог получить свой скромный научный надел, а может быть и целую усадьбу?»¹⁴ Миланкович никогда не отступал от этого принципа, ставшего лейтмотивом его работы до конца жизни, двигателем его теории, *punctum saliens* его работы над астрономической теорией.

Счастливым случаем (а жизнь Миланковича наполнена счастливыми стечениями обстоятельств) направил его на кафедру, где этот принцип нашел наивысшее выражение, став маяком в блужданиях по дорогам между «плотно заселенными “наукоградями”». Из той же почвы выросла и смелая попытка синтеза новой климатологии, так как Миланкович осознавал, что решение проблемы, с которой он столкнулся, лежит на перекрестке существующих наук. В предисловии к своему главному научному труду «*Канону осунчаваня*» («*Канону поступления солнечной радиации*») он писал, что понимал: никто до него не занимался созданием математической теории климата, потому что «в таком случае сразу же пришлось бы столкнуться с рядом сложных проблем из разных областей точных наук, которые в то время были строго отделены друг от друга»¹⁵. Согласно такому положению вещей, метеорологи задавали вполне логичный вопрос: «Зачем идти в обход через Солнце, чтобы узнать, что происходит на Земле?»¹⁶ Так проблема климата долгое время оставалась не только нерешенной, но даже незамеченной, потому что находилась «на перекрестке сферической астрономии, небесной механики и математической физики». «На кафедре Белградского университета, на которой я преподаю с 1909 г., изучались эти научные дисциплины, тогда как в других университетах они были

¹⁴ Миланкович М. *Успомене, доживља и сазнања*. С. 456.

¹⁵ Миланкович М. *Канон осунчаваня и негова примена на проблем ледених доба*. Изабрана дела, кн. 1. Београд, 1997. С. 88. Оригинальное издание *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*. Београд, 1941. С. XX + 633; В 1969 г. работа была опубликована на английском языке под названием *Canon of Insolation of the Ice-Age Problem* в издательстве «Israel Program for Scientific Translations», «U.S. Department of Commerce» и «U.S. National Science Foundation».

¹⁶ Там же.

полностью разделены»¹⁷. Это был ключ, которым Миланкович «открыл» проблему. «Обстоятельство, которое помогло мне приступить к решению поставленной проблемы, было не случайным. Благодаря занятиям этими науками, я смог почувствовать проблему и оценить ее значение»¹⁸, — писал впоследствии Миланкович. Ранее «эти науки были строго разграничены, каждый ученый в своей области имел свою отдельную “нору”, из которой с трудом вылезал»¹⁹. Требовалось обратить взгляд от Земли к Солнцу и на перекрестке научных знаний наметить рисунок решения. Этот принцип не только стал «ключом» климатологии, он получил методическую ценность для науки в целом.

С другой стороны, ученый мог оказаться на лобном месте и испытать непонимание, критику, недооценку, отрицание и суетность специалистов, не видевших горизонта из-за своих высоких заборов. Поэтому и сегодня для понимания воззрений Миланковича необходимо преодолеть узкие суждения, бесплодные дефиниции, пустые исключительности и ремесленническую анорексию. Сам Миланкович предупреждал в предисловии к «*Канону*»: «...опять стало очевидным, что существующее деление наук на их специализации приносит ущерб решению многих новых проблем, и при решении такой проблемы в первую очередь необходимо построить мост, соединяющий эти области»²⁰. Безусловно, искусство мостостроения доступно не всем. Большинство смотрит на противоположный берег без какого-либо желания его достичь. Самые важные вопросы тонут в приграничных водах наук, а решений «приграничных проблем» немного, так как проблемы не принадлежат «настоящей» науке. Но Миланкович не сомневался, что только на перекрестке дисциплин, в невозделанном крае между «наукоградами», могла зародиться теория, способная объяснить тайну изменения климата. Он показал иной подход к научному исследованию, отличавшийся в своей основе от царствовавшего в науке того времени.

¹⁷ Миланкович М. *Канон осунчаваня и негова примена на проблем ледених доба*. С. 89.

¹⁸ Миланкович М. *Успомене, доживляя и сазнања*. С. 817.

¹⁹ Там же. С. 467.

²⁰ Миланкович М. *Канон осунчаваня и негова примена на проблем ледених доба*. С. 94.

Безусловно, Миланкович не мог в одиночестве осуществить такой крупный переворот. В Белградском университете, в работах его ведущих ученых (в первую очередь, предшественника Миланковича на кафедре прикладной математики Косты Стояновича и математика Михайла Петровича-Аласа), но и не только в их трудах, в конце XIX — начале XX вв. выстраивается другая научная мысль. В качестве фундаментальной университетской программы было принято направление, призывавшее к «достижению единства наук». Этот принцип диссонировал с царившей научной культурой того времени, склонявшейся к сужению исследовательского поля. Исследования велись в разных перспективных направлениях, что приводило не только к многочисленным значительным результатам, но и к беспомощности перед комплексными проблемами, например, перед проблемой ледникового периода, так как здесь было необходимо увидеть нетипичные тонкие связи между явлениями, рассматриваемыми с различных точек. Исследовательские и учебные программы Белградского университета не были строго специализированы и в большинстве случаев подразумевали изучение проблематики на пересечении различных наук.

Почти что все крупные сербские ученые XIX в. получили образование в ведущих европейских университетах. С большим вдохновением они изучали направления европейского научного знания, но тяготение последнего к специализации тяжело приживалось на их национальной культурной почве. Кажется, будто они инстинктивно сопротивлялись или, как минимум, были амбивалентны к этому течению, так как сербская культура подвергалась воздействию мощных центрифугальных сил, стремившихся раздробить ее на мелкие части, носящие различные названия. Коста Стоянович, обучавшийся в Лейпциге и Париже, считал, что отставание в поиске единства наук происходит из-за «немецкой культуры, жертвы исключительной специализации, которая неизбежно исчезнет из-за моральной атрофированности и материального гипер-развития... Жажда обогащения и эксплуатации создала у немцев методы организации научной работы, что не имеет отношения к способности совершать открытия. Они, по мнению своего Гёте, «богаты в деталях, но бедны в целостности»²¹.

²¹ Стоянович К. *Слом и васкрс Србије*. Архив Српске академие наука и уметности (САНУ), 10133, 1–307. С. 7.

Такими принципами руководствовались некоторые крупнейшие сербские ученые того времени при разработке самобытной математической картины мира, которая послужила бы основой для дальнейших научных исследований. В их работе были задействованы механика, физика, химия, электродинамика, а также дескриптивные науки — геология, биология, экономика, социология и медицина. Фундаментальная идея их феноменологии заключалась в том, что с помощью соответствующего математического аппарата можно добиться отображения явлений в различных плоскостях реальности и связать, таким образом, визуально разделенные явления. Джордже Станоевич, преподаватель физики, установил существование «центральных сил», определяющих действия в гравитационном, электрическом и магнитном полях, а также в оптических и биологических явлениях. «Проанализировав все типы полей, которые, как мы видели, не согласуются между собой даже в мелочах, нельзя сказать, что это только дело случая. Напротив, логично предположить, что в каждом случае мы сталкиваемся с феноменами, если не полностью идентичными, то хотя бы схожими, генерирующими силы, в отношении которых действуют одинаковые законы»²².

Коста Стоянович был еще более конкретен, когда писал, что часто «одним и тем же явлениям из разных областей знаний дают разные названия», то есть «каузальность причины и следствия получает разные названия по месту проявления процессов»²³. А это постоянно увеличивает количество научных предположений. Поэтому «основной вопрос математической феноменологии заключается в определении методом аналогии между процессами идентичных основ действия явлений»²⁴. Это дало бы возможность для снижения энтропии предположений и поиска максимума аналогий между явлениями посредством доказательства идентичности математических связей, описывающих различные явления.

В поисках таких определений Михайло Петрович-Алас выявил достаточное количество эксплицитных уравнений, чаще

²² Станоевич Дж. *Централне силе у природи*. Београд, 1906. С. 86.

²³ Стоянович К. *Тумачене физичких и социјалних појава*. Београд, 1910. С. 130.

²⁴ Стоянович К. *Расправе и чланци из науке и философије*. Београд, 1922. С. 269.

всего дифференциальных, в отношении которых можно установить одинаковые законы: аналитическую форму элементов и параметров явлений, их дифференциалы или другие комбинации, например, константы в таких уравнениях. Такое сходство допускает, что количественное описание явлений, даже самых разных, можно привести к одной аналитической проблеме, включающей интеграцию, дискуссию и интерпретацию одних и тех же уравнений. Он увидел, что «обычно даже при самом внимательном анализе можно не заметить, например, никаких общих черт в явлениях движения маятника и разрядке электрических конденсаторов, а математический анализ открывает полную аналогию происхождения явлений, схожесть ролей отдельных факторов, которые их вызывают, а также схожесть математических связей и законов, их регулирующих. Обычный анализ не находит никакого сходства между явлениями движения электрического тока в проводниках, изменения распределения тепла в телах и движения жидкости. Математический анализ открывает в этих явлениях столько общих черт, что с аналитической точки зрения все три явления сводятся к одной и той же проблеме...»²⁵

Сербские мыслители конца XIX — начала XX вв. создали оригинальную эксцентричную научную культуру, выходящую за пределы ядра университетской науки того времени, убежденной, что любая часть реальности требует отдельного исследования. Если бы не частые войны, сербская научная культура уже давно бы кристаллизовалась в творческую модель. Тем не менее, фундамент был заложен, и начатое могло быть продолжено в будущем. В таком мотивирующем и сознательном окружении Миланкович нашел точку опоры для математической аналогии небесной механики и науки о Земле. Без такой сильной культурной эксцентричности эта аналогия с трудом получила бы математическое осмысление, постановку и решение, а исследование Миланковичем изменений климата не было бы воспринято как комплексная космическая проблема связи отдельных дисциплин.

Миланкович больше не сомневался: узкие области, в которых состязались между собой специалисты, не для него. Он никогда

²⁵ Петрович М. *Элементи математичке феноменологије*. Београд, 1998. С. 11.

не любил рано вставать, его не привлекала конкуренция и все, что с ней связано, он избегал полемики и всего того, что могло помешать спокойным раздумьям. Его характер отличался размеренностью, основательностью, точностью и академизмом в восприятии реальности. Миланковичу наконец стало ясно, что хотел сказать его учитель Варичак еще в школьные годы — путь петляет между разными полями, которые он должен связать; так и архетип сербской культуры находится *между*, а тайна его успеха — в возможности соединять разделенное. Одним словом, его школьный учитель из самой сути сербского культурного опыта, выраженного словами Святого Савы — «для сербов не дорога широка, а тропинка узка», направлял его к свободе мышления, безусловному поиску, сознательному синтезу и поиску единства во множестве. Школьный учитель Варичак дал сильный импульс формирующемуся мышлению Милутина, систематически мотивируя его к размышлению и устному, а потом и письменному выражению своих мыслей, публикациям и оформлению своего научного опыта.

С таким «ветром в спину» Миланкович был готов воспринимать свое поле научных исследований как «поиск связей притока солнечной радиации на Землю и температуры, создаваемой солнечными лучами на ее поверхности и в атмосфере»²⁶. Он уже создал узнаваемый стиль применения математики — упрощение и ориентация на изучение природы. Он сделал из математики мощный инструмент, позволяющий приступить к испытаниям с инженерной тщательностью. Его искусство заключалась в изучении явления простыми математическими средствами. «Математическая мысль — животворящий луч, создавший все эти науки, он питает и поднимает их силой своего тепла. В середине своей картины я нарисовал символ солнца. Его лучи осветили до сего дня все точные науки, представленные в первой кольцеобразной зоне, располагающейся вокруг внутреннего круга, но эти лучи только еще начали пробиваться на территорию дескриптивных естественных наук. Где-то здесь, в приграничной области этих кольцеобразных зон, должны находиться поля, которые бы я мог возделывать

²⁶ Миланкович М. *Канон осунчаваня и негова примена на проблем ледених доба*. Книга 2. С. 466.

своими математическими инструментами, засеять и ожидать всходов. Я решил заглянуть в эти пограничные науки и начал с Метеорологии»²⁷.

Миланкович видел взаимосвязь между Солнцем и математикой. Исходя из этого, он начал исследование с метеорологии. Состояние проблемы полностью соответствовало методическому руководству Варичака, и Миланкович быстро понял, что тут его ожидает много работы. Он уже успел столкнуться с тем, что метеорология «большой частью являлась скопищем многочисленных эмпирических фактов, собранных за время вековой работы тысяч метеорологических станций. Море данных, немного физики, которая бы объяснила эти показатели, и еще меньше математики, в основном, элементарной. Высшая математика еще не пробилась в эту науку, но и метеорологи того времени не были в состоянии эффективно ее использовать»²⁸.

По этим причинам Миланкович заинтересовался у своего коллеги Павла Вуевича, преподавателя метеорологии и климатологии, в каких областях метеорологии применяют математику. Через Вуевича Миланкович впервые соприкоснулся с метеорологией, и его рекомендации имели для Миланковича большое значение. Позднее он будет поддерживать диалог с Вуевичем, когда, заканчивая свою теорию, столкнется со специфическими метеорологическими проблемами, например, с расчетом средней летней облачности для определения потери солнечной радиации. «Мои более поздние расчеты и консультации с коллегой Вуевичем показали, что данные по облачности довольно ненадежны, так как не хватает многолетних наблюдений полярных областей, которые необходимо принять во внимание»²⁹. Их сотрудничество длилось долго. П. Вуевич, закончивший в Вене географический факультет и защитивший диссертацию у Альбрехта Пенка и Юлиуса Хана, имел богатый научный опыт в своей области. Миланкович изучал его работы по региональной и городской климатологии, а также микроклиматологии, с которыми успешно продолжают работать сербские метеорологические и кли-

²⁷ Миланкович М. *Успомене, доживля и сазнања*. С. 456.

²⁸ Там же. С. 457.

²⁹ Миланкович М. *Канон осунчаваня и негова примена на проблем ледених доба*. Београд, 1997. Книга 2. С. 277.

матологические школы, основанные в первой половине XIX в. благодаря стараниям Владимира Янковича³⁰. Обратившись к метеорологии, Миланкович оказался в оживленной научной среде, а из обсерватории мог получать необходимую информацию для своих исследований.

М. Миланкович готовился с помощью математических инструментов смоделировать целый ряд физических, термодинамических и климатических процессов, связанных с солнечным нагреванием, получением солнечного тепла и преобразованием его в атмосфере. Он хотел обуздать «прихоти Эола», обуздав уже прихоти Нептуна, когда проектировал мосты, акведуки, водонапорные башни... Он знал, что держит в руках мощное оружие, но и ожидал встречи с тяжелыми проблемами. П. Вуевич в первую очередь дал ему две статьи, в которых математика применялась в науках об атмосфере.

Сначала он прочел статью «*Das solare Klima*» профессора Вильгельма Траберта, последователя Юлиуса Хана³¹. Миланкович предполагал, что, как и прежде, он найдет ошибки в работах авторитетного исследователя в области аналитической механики. И не ошибся. Солярный климат, которым занимался профессор Траберт, был представлен в его работе как упрощенная климатическая модель, в которой отсутствовало движение атмосферы и гидросферы. Этот факт позже сыграл большую роль в теории Миланковича, а Траберт хотел определить таким образом среднемесячные температуры отдельных параллелей поверхности Земли. Но при испытаниях он не учел важный фактор солярного климата — проводимость тепла с поверхности Земли в почву и обратно, и получил на полюсах за время полярной ночи температуру от -273°C . Все результаты, данные в статье, были ошибочными и не могли быть использованы в дальнейшем.

Проникая в течение переноса тепла с поверхности Земли на глубину 10 метров и обратно, Миланкович уже «показал

³⁰ Владимир Янкович 1 января 1848 г. начал в Белграде ежедневное измерение температуры воздуха, наблюдал за состоянием неба, явлениями на Солнце, осадками и атмосферными явлениями. В то время, когда в Австрии была одна метеостанция на 100 кв. км, Янкович смог создать сеть метеостанций с плотностью одна станция на 40 кв. км.

³¹ Траберт также занимался метеорологией. Wilhelm Trabert. *Meteorologie*. Aufl. Leipzig, G. J. Göschen'sche Verlagshandlung, 1901.

высший дар согласования строгих математических формул и уравнений с их приближенными формами, допускающими решение. На первый взгляд простое уравнение Фурье распространения тепла u на расстояние x не допускает общего решения.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

Учитывая периодичность функции $u(x, t)$ с дневным и годовым периодом, Миланкович нашел такой вид функции, который (при подходящих параметрах) выражал суть передачи тепла и удовлетворял уравнению и реальным соответствующим граничным условиям. Найденная функция $u(x, t)$ при использовании значений коэффициентов, отвечающих последним эмпирическим результатам, дает возможность вычислять среднюю температуру точек на Земле, а также изменения объема тепла, происходящие на поверхности в результате проникновения тепла»³².

Это содержание первой статьи Миланковича, ознаменовавшей начало его занятий проблемой климата³³. В ней излагались только частички теории, но это был настоящий, точно отмеренный шаг, показавший, что прежде всего необходимо при помощи эффективного математического аппарата разработать действующую модель солярного климата. Первое предложение в первой работе Миланковича по теории климата касалось определения солярного климата: «Под математическим или солярным климатом понимаем такой климат, который был бы на поверхности Земли, если бы Земля не была окружена атмосферой и имела по всей поверхности горный рельеф»³⁴. Миланкович готовился предложить полную картину медленных вековых изменений количества тепла, чтобы создать основу для исследования влияния таких изменений на климат Земли.

Второй работой, рассмотренной Миланковичем по рекомендации П. Вуевича, стала статья Фридриха Хопфнера, опублико-

³² Попович Б. *Допринос Милутина Миланковича небеской механици*. «Живот и дело Милутина Миланковича». Београд, 1979. С. 94.

³³ Миланкович М. *Прилог теорији математске климе*. Глас СКА, 1912, кн. LXXXVII, Први разред. С. 36.

³⁴ Там же. С. 136.

ванная в «*Известиях Венской академии наук*», на тему распределения солнечного тепла по поверхности Земли³⁵. «Только начав ее изучать, я увидел, что исходное уравнение при его испытаниях задано неправильно. Поэтому все результаты его статьи, и еще одной, опубликованной два года спустя, неверны»³⁶. Пораженный такими упущениями авторитетного ученого-метеоролога того времени, Миланкович понял, что до начала собственных исследований он должен обратиться к основательному изучению исторического генезиса проблемы. По аналогии он, вероятно, ожидал найти в учебной литературе ошибочные предположения. И нашел их в статьях о математических исследованиях тепловых условий почвы и атмосферы Земли, вызванных солнечной радиацией. В последующих статьях он упоминал, что работы, опубликованные с 1779 по 1908 гг., за период почти что в 130 лет, не только полностью не решили задачу, но некоторые из них были ошибочны и только запутывали и без того непростую проблему. Миланкович разделил существовавшие ошибочные теории на две группы: к первой были отнесены теории Адемара, Кроля, Валаса и Бала, которые не учитывали количество тепла, поступающего на отдельные параллели, а занимались количеством тепла, переданного всему Южному или Северному полушарию. Теории Экхолма и Шпиталера попали во вторую группу: оказалось, что первый не учел изменения продолжительности летнего и зимнего полугодия в Северном и Южном полушариях, а второй свои расчеты «к сожалению, основывал на результатах Хопфнера»³⁷.

Казалось, что он не оставил камня на камне в здании климатологических теорий. «Я увидел, что необходимо начать с самого начала, проработать всю проблему, придать ее решению окончательную

³⁵ Friedrich Hopfner. *Untersuchungen über die Bestrahlung der Erde durch die Sonne mit Berücksichtigung der Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphärische Luft nach dem Lambert'schen Gesetz. Erste Mitteilung: Analytische Behandlung des Problems*. «Über das Vorkommender seltenen Erden auf der Sonne». Wien, Verlag Hölder, 1907. С. 167–234.

³⁶ Миланкович М. *Успомене, доживљаи и сазнања*. С. 457.

³⁷ Nils Ekholm. *On the Variations of the Climate of the Geological and Historical Past and Their Causes*. «Quarterly J. Royal Meteorological Society» 27, 1901. С. 1–61; Rudolph Spitaler. *Die Jährlichen Und Periodischen Änderungen Der Wärmeverteilung Auf Der Erdoberfläche Und Die Eiszeiten*. «Beiträge Geophysik» 8, 1907. С. 565–602.

форму и подготовить ее таким образом к последующему применению в Космической физике»³⁸. Миланкович начал с самого начала, расчищая место от руин предшествующих неудачных попыток. Он хотел придать проблеме совершенно иной вид, не обращая внимания на количество тепла, получаемого всем полушарием, но сосредоточившись на изменении количества тепла, полученного в определенных местах на поверхности Земли. Он убедился, что изменение наклона эклиптики существенно не меняет количества тепла, получаемого в течение сезонных полугодий Южным и Северным полушарием, однако это изменение существенно меняет распределение тепла по каждому полушарию.

В рамках солярного гипотетического климата проблема фактического климата разделяется на две части: идеальную, обусловленную законами термодинамики, и эмпирическую, обусловленную влияниями атмосферы и морских течений. Составленная таким образом климатическая картина могла стать понятнее. Миланкович начал на руинах строить теорию, которую уже было нелегко отбросить. Но чтобы понять, что именно он создал, необходимо очертить историческую ретроспективу астрономической теории изменения климата.

³⁸ Миланкович М. *Успомене, доживляя и сазнања*. С. 457.

2. НЕОБХОДИМОСТЬ РЕВОЛЮЦИИ

ИСТОРИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Дискуссия об изменении климата была начата в первой половине XVIII в. философами-просветителями Ш. Монтескье и Д. Юмом¹. Затем ученые, занимавшиеся естественными науками, постепенно стали разрушать догму о возрасте Земли и Великом потопе как единственном значительном геологическом событии в ее истории. Термин «ледниковая эпоха» был сформирован уже в начале XIX в., еще до разгара научных споров на эту тему. В начале XIX в. появился ряд геологических фактов, наводивших на размышления об изменениях климата. Нелегко было объяснить странные явления в горном рельефе Европы: огромные гранитные скалы одиноко лежали на высоких известняковых склонах гор, горные долины были изборождены неизвестными тяжелыми объектами, и еще больше недоумения вызывали кости северного оленя, найденные на юге Франции. На собраниях геологических обществ все чаще звучали доклады о таких находках, но в отдельности они еще не могли серьезно поколебать навязанную Библией картину геологического прошлого.

Вопрос о климате взошел на горизонте научной общественности в как будто бы специально выбранный момент, так как в своей основе небесная механика уже была разработана в трудах И. Ньютона, Л. Эйлера, Ж. Л. Лагранжа, П. С. Лапласа, У. Лерверье и других. В то время как небесная механика дополняла совершенную картину устройства космоса, стали наблюдаться геологические явления, угрожавшие нарушить эту конструкцию. Научная мысль была направлена на астрономические причины, которые связали бы и заново привели в соответствие

¹ James Rodger Fleming. *Historical Perspectives of Climate Change*. Oxford University Press. New York and Oxford, 1998.

небесную механику с геологическими и климатическими фактами. Землю как будто бы мгновенно вернули в хаос, намеки на климатические катастрофы прошлого подвергали сомнению идею о стабильности Земли, назревал кризис существовавшей картины мира².

По этой причине британский астроном Дж. Гершель, по словам геолога Ч. Лайеля, «заинтересовался данной научной сферой, вдохновленный величием концепции геологических революций, рассматривавшихся ранее как следствие общих причин, а не как сами причины ряда потрясений и катастроф, которые не управлялись законами и не могли быть сведены к общим принципам»³. Гершель одним из первых попытался рассмотреть климатические изменения в космическом контексте и осмыслить вероятность их возникновения по астрономическим причинам. Он сразу же столкнулся с Ч. Лайелем, который в 1830 г. в труде «*Основы геологии*» писал о невозможности того, что различное нагревание полушарий Земли (наступившее в результате того, что лето в Северном полушарии было длиннее на семь дней), может оказать значительное влияние на климат. Согласно геологической теории Лайеля, существенные изменения климата являлись следствием различий в расположении материка и воды: если бы материк находился большей частью рядом с полюсами, а океан занимал область экватора, снижение средней температуры могло бы вызвать ледниковый период.

Дж. Гершель, не согласный с такой теорией, в тот же год на лекции в Британском геологическом обществе заявил, что астрономические причины принципиально *могут* влиять на геологические явления. Рассматривая вопрос о том, могут ли изменения эксцентриситеты земной орбиты влиять на геологический климат, он сделал вывод, что «сумма имеющихся изменений дает возможность утверждать, что изменение эксцентриситеты приводит к значительным изменениям климата и может оказывать влияние в течение продолжительных периодов времени, снижая

² Небесная механика в эпоху просвещения стала примером всех наук. Из небесной механики в общество «просочилось» понятие о революции, олицетворявшее стремление обустроить общество согласно совершенной механике небесного порядка. К сожалению, такое копирование, в противоположность основному намерению, привело к разорениям и большим историческим переломам.

³ Charles Lyell. *Principles of Geology*. London, 1853. С. 127.

или усиливая различия зимних и летних температур...»⁴ Изменение происходит, когда Земля получает неравные количества тепла в разных сегментах годового вращения.

Дж. Гершель был первым, кто отверг продуктивность астрономических причин. В *«Очерках по астрономии»* он склонялся к мысли о том, что одного изменения эксцентricности орбиты недостаточно для появления явно выраженных различий в нагревании Земли, указывая на то, что «эллиптическая форма земной орбиты имеет незначительное влияние на колебания температуры, отвечающие изменению расстояния от Солнца»⁵. Гершель имел неоспоримый научный авторитет, и его мнения было достаточно для того, чтобы многие ученые отказались от идеи взаимосвязи между небесной механикой и климатическими изменениями.

К мнению Дж. Гершеля присоединился Ф. Араго, также утверждавший, что эксцентricность имеет незначительное влияние на климат: «Даже если бы орбита стала эксцентricной, как у планеты Паллада, она не смогла бы существенно нарушить среднее термодинамическое состояние планеты... Изменения, происходящие в положении солнечной орбиты, не имеют достаточно силы, чтобы повлиять на климат земного шара... Математический анализ изменения формы и положения земной орбиты ничего не дал. Возможно, их влияние настолько мало, что незаметно даже самым чувствительным инструментам. Чтобы объяснить изменения климата, нам разве что остается произвести анализ локальных обстоятельств или изменений в тепловой или световой силе излучения Солнца»⁶. Товарищ и почитатель Фр. Араго барон Александр Гумбольдт придерживался схожего мнения. «Так как изменение положения большой оси может оказывать совсем незначительное влияние на температуру Земли, здесь кроются и предельные границы возможных изменений эллиптической формы Земной орбиты — согласно Араго и Пуассону, настолько узкие, что такие изменения могут лишь немного повлиять на климат отдельных зон, и то в длительных временных

⁴ James Croll. *Climate and Time in their Geological Relations*. Dadly, Isbister & Co. London, 1875. С. 11.

⁵ Там же.

⁶ F. Arago. *Memoir on the Thermometrical State of the Terrestrial Globe*. «Edinburgh New Philosophical Journal», vol. XVI, 1834. С. 221–224.

периодах»⁷. Если не считать явного отрицания, во всех приведенных мнениях слышатся неуверенность и неопределенность, хотя принципиально ясно, что эксцентричность должна иметь некоторое влияние на изменения на Земле. Но не совсем понятно, как это влияние осуществляется.

Для геологов переломный момент в принятии идеи о прошлых кардинальных изменениях климата наступил в 1837 г., когда молодой зоолог Луи Агассис, занимавшийся ископаемыми рыбами, представил геоморфологические доказательства широкого распространения льда в прошлом. Он воспринял идею о ледниковых эпохах от своих товарищей, геолога Жана де Шарпантье и инженера Игнаса Венеца. В 1834 г. один швейцарский дровосек поведал Шарпантье о том, что скалы, расположенные вдоль дороги, начинаются на отдаленной гранитной зоне. Когда Шарпантье стал расспрашивать о скалах, дровосек прямо ответил: «Гримсельский ледник их принес из долины, а ледник тот раньше простирался вплоть до города Берна». Еще до дровосека мысль о том, что лед притащил массивы гранита в Средние Альпы и скандинавские валуны в Северную Германию и Центральную Европу, высказал Гёте в 1829 г.: «Для огромного количества льда нужен холод, поэтому можно предположить эпоху большого холода, захватившую всю Европу»⁸. Он достаточно ясно говорил о существовании ледниковых эпох, но наука не воспринимала всерьез слова дровосеков и поэтов.

Ж. де Шарпантье передал слова дровосека своему товарищу Л. Агассису, который вначале отнесся к ним скептически, но вскоре принял эту идею и начал защищать ее право на существование. В 1837 г. в городе Невшатель, на конференции Швейцарского общества естественных наук, был сделан доклад о гранитных «блуждающих» валунах, лежащих на геологически неподходящем известняковом фундаменте гор, сформировавшихся в Юрский период. Идея о «блуждающих» валунах потрясла мир геологии, так как подрывала мысль о стабильном состоянии Земли и открывала новый взгляд на нашу планету как постоянно меняющуюся структуру. В 1840 г. Агассис опубликовал книгу

⁷ Alexander von Humboldt. *Cosmos*. Vol. IV, Bohn, 1852. С. 459.

⁸ W. Engelhardt. *Goethe's discovery of the ice age*. «ECL. Geol. Helv», 92. С. 123–128.

«*Études sur les glaciers*» («Изучение ледников»), в которой доказывал, что альпийские ледники были в прошлом значительно больше. В геологически близком периоде «огромные глыбы льда, напоминающие современную Гренландию, когда-то покрывали все земли, в которых находят наносы гравия (блуждающие валуны)»⁹. Увлеченный этой идеей, Агассис покорял горные вершины в поисках подтверждения своей теории. К нему присоединялись союзники. Его товарищ, германский ботаник Карл Шимпер, в 1837 г. первым придумал выражение «ледниковый период» (Eiszeit), убедившись, что лед покрывает не только Альпы, но и большую часть Европы, Азии и Америки.

Но большинство геологов начали пламенно оспаривать работу Л. Агассиса. «Неужели ущелья и отшлифованные части появились только благодаря льду?» — спрашивали они своих «льдом ослепленных» коллег. Считалось, что идея о ледниках, переносящих валуны, имела «очевидные механические бессмыслицы», и ее не следовало принимать всерьез. А. Гумбольд советовал Агассису отказаться от этих исследований и вернуться к изучению ископаемых рыб. Европейская наука была с этим согласно вплоть до 1846 г., когда Л. Агассис уехал в Америку и стал преподавателем в Гарвардском университете. Тогда геологический догматизм более не мог противостоять трудам Агассиса, который неутомимо путешествовал и находил доказательства присутствия глетчера. Он искал следы льда и на берегах Средиземного моря, и в бассейне Амазонки, и на экваторе. В конце концов, он пришел к выводу, что когда-то лед захватил всю Землю и уничтожил все живое. Доказательств тому он не находил, но современные исследования показали, что более 400 миллионов лет назад вся Земля была скована льдом. Существование ледниковых эпох медленно и неумолимо становилось фактом.

Через несколько десятилетий после встречи в Невшатели факт ледникового периода был принципиально доказан, как и то, что он наступал постепенно, в несколько этапов, разделенных между собой периодами тепла. Но не хватало только одного, о чем не знал ни Л. Агассис, ни кто либо другой, — причины наступления ледниковых эпох. Агассис никогда серьезно не занимался причинами возникновения ледникового периода и тем,

⁹ Luis Agassiz. *Études sur les glaciers*. Aux frais de l'auteur. Neuchâtel, 1840.

как он проходил. Будучи палеонтологом и геологом, он не мог поверить, что ледниковый период, следы которого он открыл, мог быть объяснен одним общим фактом, имеющим значение для всей планеты. Он считал, что формирование ледников, покрывающих Гренландию, предшествовало периоду аналогичных процессов в Альпах. Не занимаясь всем механизмом этого процесса, он предположил, что температура резко упала, из-за чего Земля «замерзла» и вошла в очень долгий ледниковый период, из которого неизвестно как и вышла.

В гипотезах геологов причины ледникового периода уместались в рамках тогдашних наук о Земле, в автономной климатической системе Земли: океан–материк–лед–атмосфера. Выводы базировались на утверждении, что «геологические причины доминируют над астрономическими. Лайель из прямых наблюдений знал об огромном влиянии формы и состава материка и моря; но воздействие изменения эксцентриситеты еще надо было доказать»¹⁰. Только в 1886 г., вопреки всем доказательствам, Чарльз Лайель согласился с возможностью астрономического влияния как существующей, но слабой причиной изменения климата.

В этом контексте множились геологические теории, которым или быстро находилось опровержение, или они оказывались научной фантастикой. Многочисленные теории оказывались недостаточными для удовлетворительного объяснения динамики климата. Безусловно, были и голоса «за» — например, Г. Гилберт в 1895 г., объясняя чередование наслоений известняка и глинистых сланцев в подножии Скалистых гор в Колорадо, предположил, что нет «чисто земного» объяснения таким правильным осадочным явлениям¹¹.

Гипотезы стали рождаться в кругах математиков, астрономов, философов, рассматривавших Землю в широком, космическом контексте. Было бы логично в первую очередь предположить, что лед на Земле появляется тогда, когда по каким-то

¹⁰ James Rodger Fleming. *James Croll in Context: the Encounter between Climate Dynamics and Geology in the Second Half of the XIX Century*. Paleoclimate and the Earth Climate System, Serbian Academy of Science and Arts. Belgrade, 2005. С. 18.

¹¹ G. K. Gilbert. *Sedimentary measurement of Cretaceous time*. «Journal of Geology», 3, 1895. С. 121–127.

причинам Земля начинает получать меньше солнечного тепла. Если отбросить возможность того, что Солнце меняет силу излучения, мы должны вернуться к небесной механике. В 1842 г., несколько лет спустя после открытия Луи Агассиса, французский профессор математики Жозеф Адемар опубликовал книгу «*Возмущение моря, или Периодичность всемирных потоков*», явившуюся переворотом в изучении изменений климата¹². Еще за двадцать лет до выхода книги он размышлял о «прецессии равноденствия как вероятной причине ряда революций, сотрясавших поверхность Земли»¹³. Но когда Адемар узнал о том, что астрономические причины — недостаточно сильный двигатель климатических изменений, он написал: «Мне показалось, что Гершель прав, и без дальнейших исследований я оставил свои прежние труды. Я передумал и отложил окончание проекта»¹⁴. Однако, когда в «*Comptes rendus*» Парижской академии наук Адемар узнал об «*Études sur les glaciers*» Луи Агассиса, он понял, что теория, о которой он размышлял двадцать лет назад, может объяснить наблюдения Агассиса и опровергнуть точку зрения Гершеля.

Так, Жозеф Адемар оказался в нужное время в нужном месте, там, где можно было построить астрономическую теорию климатических изменений, а именно — среди астрономов, не видевших связи между космическими движениями и геологической динамикой, и геологов, не связывавших в одно целое одни и те же явления в разных точках. Адемар первым опубликовал труд, посвященный астрономической теории климата, и первым смог предложить модель космического влияния на климат. Модель состоит из пяти ступеней:

«Прецессия равноденствия приводит к неравному количеству часов дня и ночи в двух полушариях (1). Это неравное количество создает разницу соответствующих температур, и эта разница объясняет формирование ледников на двух полюсах (2). Неравная масса глетчера принудительно смещает центр гравитации (3). Смещение центра гравитации приводит

¹² Joseph Adhémar. *Révolutions de la Mer — formation geologique des couches superieures du globe*. Carilian-Goery et Dalmont. Paris, 1842.

¹³ Там же. С. 21.

¹⁴ Там же. С. 22.

к перемещению воды (4). Перемещение воды происходит каждые 10 500 лет (5)»¹⁵.

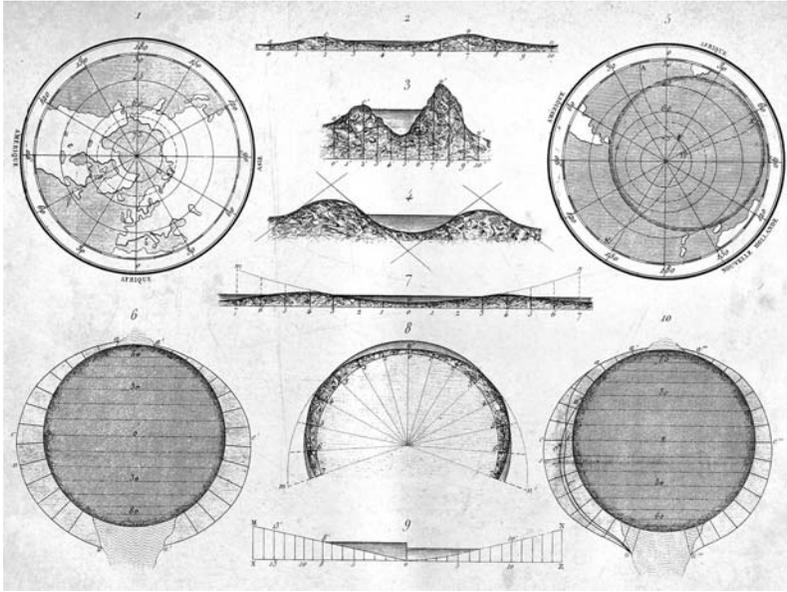


Схема климатических последствий действия прецессии Ж. Адемара
(См.: Joseph Adhémar. Révolutions de la mer. Paris, 1842)

Хотя позже от этого механизма отказались, Ж. Адемар продемонстрировал наличие связи между астрономическими и геологическими процессами и то, что колебания движения Земли могут привести к климатическим катастрофам. В отличие от Дж. Гершеля, он не делал акцент на изменении эксцентриситеты земной орбиты, но, исходя из текущего значения эксцентриситеты, высказал идею, что *прецессионный* цикл земной оси является основным двигателем наступления ледниковых эпох — попеременно в Северном и Южном полушарии Земли. Адемар предупреждал, что зима в Южном полушарии на 168 часов длиннее зимы в Северном, таким образом, в Южном полушарии концентрируется холод, а в Северном — тепло. «Южный полюс

¹⁵ Joseph Adhémar. *Révolutions de la Mer — formation géologique des couches supérieures du globe*. С. 96.

в течение года больше теряет, чем получает тепло, так как общая продолжительность ночи длиннее продолжительности дня на 168 часов; противоположные процессы происходят на Северном полюсе. Например, примем за единицу среднее количество тепла, излучаемого Солнцем в час. Количество тепла, полученного в конце года на Северном полюсе, будет в 168 раз больше, а количество тепла, потерянного на Южном полюсе, будет в 168 раз меньше количества излучения, полученного за один час. Таким образом, в конце года разница в тепле двух полушарий составит 336 раз от количества, полученного Землей от Солнца или потерянного за один час излучения»¹⁶. После 100 лет разница увеличится в 33 600 раз, после 1000 лет — в 336 000 раз, то есть будет равна количеству излучения, полученного Землей от Солнца за 38,5 лет, и так далее в течение 10 500 лет, во время которых продолжительность зимы в Южном полушарии превзойдет зимнее время в Северном. Таким образом, антарктический пояс будет накрыт огромной ледяной шапкой. Когда за 10 500 лет зима в Северном полушарии окажется в афелии (самой дальней точке вращения Земли вокруг Солнца), а в Южном — в перигелии (самой ближней точке), климатические условия в обоих полушариях станут противоположными.

Указывая на эту неравномерность, Ж. Адемар предположил, что полярные ледяные шапки стоят на дне океана и поднимаются из воды на двадцать морских миль. Когда зима приходится на перигелию, в полушарии становится теплее, а лед — «мягче» и «гнилее» от собранного тепла, тогда море начинает проникать в фундамент ледяных берегов, размывая их и делая похожими на гигантский трон. Это продолжается, пока вся масса ледяного берега не обрушится в море глыбами, превращающимися в блуждающие айсберги. Пока одно полушарие охлаждается, а другое становится теплее, ледники на Северном полушарии постепенно исчезают, а на противоположном возрастают. В более теплом полушарии, где лед тает, уровень моря возрастает, а в более холодном, где ледники увеличиваются, — понижается. Так доминирует сила притяжения противоположной полярной ледяной шапки, чья толщина тем временем достигает максимума.

¹⁶ Joseph Adhémar. *Révolutions de la Mer — formation géologique des couches supérieures du globe*. С. 37.

Предложенный механизм существовал недолго из-за ошибок в расчетах, которые привели к неточным результатам, а также из-за мнения А. Гумбольта, высказанного в 1852 г., о том, что предположение о чередующемся нагревании и охлаждении бездоказательно. Но самый сильный отпор получила теория катастрофы, главенствовавшая в работах Ж. Адемара. Он следовал теории катастроф Жоржа Кювье, по которой наибольшее количество видов, населявших Землю, неожиданно погибало из-за некоей гигантской катастрофы, после которой жизнь начиналась сначала. Ему противостояла «униформистская» теория Чарльза Лайеля, принятая практически всеми геологами в середине XIX в.¹⁷

Ж. Адемар искал библейский потоп, но геологи заявили, что катаклизмы, которыми заканчивались его циклы гляциации, не имеют геологического подтверждения. Хотя его теория не отвечала реальности, он был прав, утверждая, что земной механизм в геологическом времени подвержен катастрофам. Поэтому астрономическая теория Адемара, кроме ряда ошибочных заключений и акцентирования действия прецессии, продолжила свое существование. Было очевидно, что такой подход дает возможность результативного анализа климатических проблем, потому и М. Миланкович писал, что «все равно теория Адемара стала отправной точкой для других теорий ледниковых эпох»¹⁸.

¹⁷ Жорж Леопольд Кювье, которого называют отцом палеонтологии, разработал теорию, следуя своему учителю Жоржу Луи де Бюффону, но Ч. Лайель ее опроверг, сомневаясь, что библейский потоп, который, по мнению Кювье, был последним в ряде катастроф, мог привести к таким последствиям. Он предложил рассматривать вымирание видов как небольшое эволюционное изменение среды. Поэтому он и его ученики многие годы были уверены, что поиск космических причин земных событий следует считать ненаучным. Тем не менее, униформисты должны были «сдать позиции», когда во второй половине XX в. усовершенствованными методами датировки было установлено, что большое количество видов исчезало в короткие геологические периоды. В конце XX в. был определен точный конец Пермской эпохи, что дало возможность сравнить скалы, появившиеся в ту эпоху в разных частях света. Скалы в Китае, Южной Африке, России и Гренландии, австралийской и пакистанской пустынях, острове Шпицберген зафиксировали одинаковый ряд событий. Было подтверждено, что катастрофы резко прерывали жизнь на Земле. Эти события были названы «массовым вымиранием». В процессе поиска причин таких событий ученые вынуждены были согласиться с тем, что катастрофы не были плодом романтических фантазий, каковыми признавались теории Кювье и Адемара.

¹⁸ Миланкович М. *Канон осунувания Земле*. Избрана дела. Книга 2. Београд, 1997. С. 198.

Работа Ж. Адемара нашла продолжение в исследованиях философа Джеймса Кроля. Он родился в 1821 г., умер в 1890 г. Вся его жизнь прошла в Шотландии, где ледники оставили многочисленные следы. Он не был геологом, не принадлежал ни к одному научному цеху, но был самоучкой, занимался самообразованием. Его вклад в такие науки, как философия, теология, физика, химия, математика, весом и значителен. Его путь до видного ученого был нелегким: из-за бедности он получил мало формального образования, с юных лет был вынужден выполнять работу, не соответствовавшую его мыслительной и интравертной природе. В столь тяжелых жизненных обстоятельствах жажда знаний, тем не менее, не угасала в нем. В 35 лет он анонимно опубликовал «*Философию теизма*», и, спустя несколько лет, наконец получил подходящую должность управляющего Андерсон-колледжа в Глазго. Работы было немного, систематическая заработная плата удовлетворяла его скромные потребности. Почти что в 40 лет, имея достаточно свободного времени и хорошую библиотеку, он смог начать научную деятельность. Через два года Кроль стал публиковать в ведущих журналах труды по электричеству, теплу и магнетизму. Он переписывался с великими учеными и столкнулся с проблемой наступления ледниковых эпох. Его привлекали не столько факты и их связи, сколько основные принципы, регулирующие это явление. Он присоединился к дискуссии, думая в начале, что решение лежит на поверхности, и никак не предполагая, что будет заниматься этой проблемой целых 20 лет. В первой работе на эту тему, опубликованной в августе 1864 г., Кроль рассматривал все имеющиеся теории о ледниковом периоде и пришел к следующему выводу: «По нашему заключению, ни одна из рассмотренных теорий не может правильно объяснить смену периодов тепла и холода. Эта смена явно указывает на какой-то великий, неизменный и продолжающийся космический закон...»¹⁹ Он доказал, что Адемар не прав в том, что наступление ледникового периода вызывается только изменением продолжительности теплого и холодного времен года, он был уверен, что за этим стоит какой-то другой астрономический механизм. Кроль пытался подвести под астрономическую теорию изменений

¹⁹ James Croll. *On the Physical Cause of the Change of Climate during Geological Epochs*. «Philosophical Magazine and Journal of Sciences», 1864.

климата твердую научную базу. Имея философский дар видения целого, он решил разобраться в основных принципах процесса. «Мы можем описывать, связывать и классифицировать эффекты по своему желанию, но без знания закона систематизации фактов мы не получим рационального единства, у нас не будет высшей концепции, с помощью которой они могли бы быть объяснены. Именно знание соотношения эффектов и законов поиска фактов конструирует науку»²⁰.

Создание новой астрономической теории не могло базироваться на достижениях науки того времени. Дж. Кролю, как Ж. Адемару до него и М. Миланковичу после него, потребовалось много смелости и упорства, чтобы спорить с царившими тогда мнениями. «И Кроль, и Миланкович были мечтателями, они оба были крайне дисциплинированы и принципиальны; оба, разрабатывая теории, должны были столкнуться с большими трудностями; перед ними стояла геркулесова задача — попытка связать небо и землю; они оба пришли к выводу о „недостающей связи между небесной механикой и геологией”»²¹.

Кроме тяжелых жизненных обстоятельств, основной проблемой Кроля была борьба с предрассудками и отсутствием знаний. Ж. Адемара не принимали из-за его теории катастроф, а Дж. Кроль тратил много мыслительной энергии на полемику с лордом Кельвином по поводу его оценки возраста Солнца и скорости охлаждения Земли, на основании которых тот пришел к заключению, что геологический возраст нашей планеты ограничен приблизительно сотней миллионов лет. В такой перспективе геологические причины ледниковых эпох могли считаться достаточными, а астрономические не были нужны.

Напротив, для Кроля изменение эксцентricности орбиты Земли вокруг Солнца являлось основной причиной наступления ледниковых эпох. «Уже несколько лет среди геологов растет убеждение, что наступление гляциальных эпох, как и нестандартных климатических условий, преобладавших в мио-

²⁰ James Croll. *Climate and Time in their Geological Relations*. London, 1875. С. 4.

²¹ James Rodger Fleming. *James Croll in Context: the Encounter between Climate Dynamics and Geology in the Second Half of the XIX Century*. Paleoclimate and the Earth Climate System, Serbian Academy of Science and Arts. Belgrade, 2005. С. 19.

цене и других периодах, должно иметь космические причины. Последние следует искать во взаимодействии нашей Земли и Солнца; но именно изменения наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики и эксцентричности земной орбиты являются возможной причиной изменения климата. Лаплас показал, что изменения наклона земной оси столь незначительны, что нельзя думать всерьез об их влиянии на климат. Единственной оставшейся причиной является изменение эксцентричности земной орбиты — прецессия без эксцентричности не может влиять на климат»²².

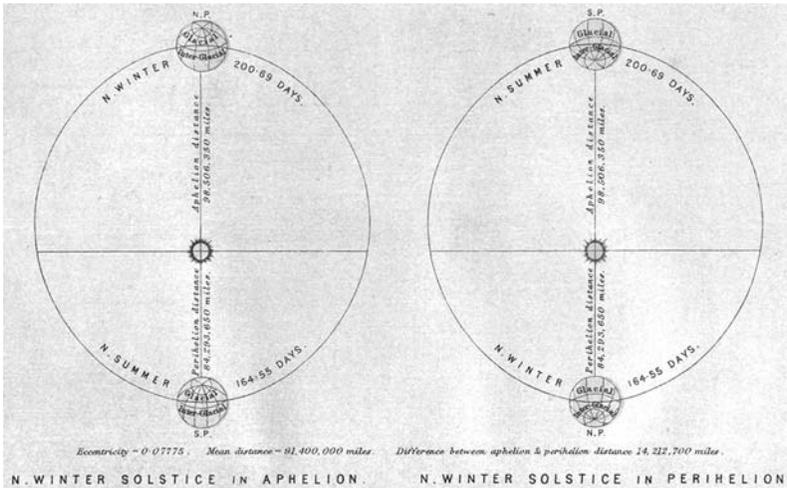


Схема теории Дж. Кроля

(См.: James Croll. *Climate and Time in Their Geological Relations*. London)

На основании такого вывода Кроль рассматривал цикл изменения эксцентричности и прецессии вместе. Он вычислил изменение эксцентричности орбиты для ряда дат за последние три миллиона лет и начертил кривую, графически представляющую эти изменения. Он пришел к выводу о связи с вытянутым эллипсом, приводящим к ледниковым эпохам. До этого Лаврье доказал, что эксцентричность не влияет на общее количество

²² James Croll. *Climate and Time in their Geological Relations*. London, 1875. С. 10.

тепла, получаемого Землей в течение года, и Кроль понял, что необходимо доказать ее влияние на количество излучения, принимаемого поверхностью Земли в определенные сезоны года. Он считал, что снижение силы солнечного света зимой содействует накоплению снега, а увеличение поверхности, находящейся под снегом, вызывает дополнительную потерю тепла из-за отражения солнечных лучей (так он стал первым, разбившим идею об обратной связи). Затем он ввел в теорию влияние прецессии, которое определяет, сколько солнечной энергии получит Земля в течение зимы: одно из полушарий войдет в ледниковый период тогда, когда эксцентricность достигнет наибольшего значения, и Земля, находясь в точке зимнего солнцестояния, будет в максимальном удалении от Солнца.

Обрисовывая такой астрономический механизм, он понял, что эксцентricность не может сама по себе привести к значительным климатическим процессам. Поэтому он попытался возразить своим критикам и установить, какой климатический отклик на Земле усиливает относительно слабый космический сигнал эксцентricности, вызывая явные климатические изменения. Так он пришел к мысли об изменении океанических течений из-за воздействия пассатов, усиленных охлаждением полюсов. Эксцентricность становилась действенной, так как усиливала циркуляцию океанических течений. Гольфстрим оказался основным «средством изменения» климата, так как переносил огромные количества тепла из экваториальных вод в Северную Атлантику; если бы это течение остановилось, температуры в Южном полушарии повысились бы, а в Северном понизились.

В 1875 г. Дж. Кроль опубликовал свою основную работу в области климатологии «*Climate and Time in their Geological Relations*» («Климат и время в их геологическом взаимодействии: теория вековых изменений климата Земли»), в которой, как позднее М. Миланкович в «Канону осунчаваня», изложил свой взгляд на причины наступления ледниковых эпох. В этой книге Кроль учел расчеты Леверье по изменению наклона земной оси: он считал вероятным, что к наступлению ледникового периода может привести ситуация, когда ось ближе к плоскости орбиты, поскольку тогда полюса получают меньше тепла. К сожалению, Леверье не рассчитал продолжительность изменения наклона

оси, и Кроль не смог точно проанализировать ее влияние на климат. Тем не менее, Джеймс Кроль первым осознал важность всех астрономических циклов и их влияния на климат Земли. Его теория в первую очередь привлекла геологов, но быстро стало ясно, что ее результаты не согласуются с открытиями на Земле. По-прежнему не существовало доказательств того, что в Южном и Северном полушариях периодически наступали ледниковые эпохи, также не согласовывались и временные координаты: по Кролю последняя ледниковая эпоха в Северном полушарии закончилась 80 тысяч лет назад, а не несколько десятков тысяч, о чем свидетельствовали земные факты.

Хотя Кроль не смог объединить все важные факторы и продемонстрировать результативность их взаимодействия, М. Миланкович позднее высоко оценил вклад Кроля, хотя тот и имел описательный характер из-за незнания точных значений поступающей солнечной радиации и изменений орбитальных параметров во времени. Он указал и на самые важные недостатки предположения Дж. Кроля: 1) Кроль в основном занимался только изменением формы земной орбиты и прецессией, не учитывая в необходимой мере влияния изменения наклона оси Земли; 2) он определял только количества тепла, которое в течение летнего или зимнего полугодия получали полушария, а не отдельные параллели; 3) он предположил, что к ледниковым эпохам приводят холодные и долгие зимы. Миланкович перевернул главный аргумент Кроля с головы на ноги, так как вместе с Владимиром Кёппеном установил, что обледенение происходит из-за слабого притока летней солнечной радиации в высоких географических широтах. Это происходит, когда ось Земли имеет небольшой наклон по отношению к плоскости эклиптики, и в то же время Северное полушарие входит в лето в афелии. Миланкович показал, что во время лета со слабым притоком солнечной радиации снег и лед сохраняются в течение всего года, медленно скапливаясь в большие ледяные наносы.

Исследования М. Миланковича отличались от изысканий Дж. Кроля дедуктивным подходом. Он «плел сеть», создавая единую космическую теорию климата, в которую собирался «поймать» проблему ледниковых эпох на Земле. Подход Дж. Кроля более индуктивен, по сравнению с Миланковичем он

аргументированно, подробно, основательно и убедительно излагал ряд геологических, метеорологических, климатологических, физических, океанографических фактов. Обладая большой эрудицией, он приводил в пример и записки английских мореплавателей об отдельных природных явлениях. Но на зыбкой почве науки того времени Кроль как будто терял ориентир, и от него ускользали многие вещи. До конца XIX в. теория Дж. Кроля была заброшена как еще одна неудачная попытка объяснить влияние движения Земли на климат. Она была похоронена в воображаемом музее восковых теорий, а ее неточные результаты укрепили уверенность ученого мира в том, что там же следует хранить и астрономическую теорию климатических изменений.

3. ДОРОГА ЧЕРЕЗ ДАЛЕКОЕ СОЛНЦЕ

ОРБИТАЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ И ГЕОМЕТРИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

В начале XX в. Милутин Миланкович приступил к астрономической теории изменений климата, которая считалась в науке забытым реликтом. Ведущие научные авторитеты расценивали ее как занимательную, но бесполезную, так как теории Ж. Адемара, Дж. Кроля и аналогичные менее известные теории не давали удовлетворительных результатов, соответствовавших результатам *in situ*. Из-за такой оценки среди геологов и климатологов позднее появилось сопротивление и теории Миланковича, protagonistом которой был видный немецкий географ и геолог Альбрехт Пенк, определивший вместе с Эдуардом Брикнером фазы намораживания льда в Альпах. Пенк выявил недостатки ранних астрономических теорий климата. Он считал теорию Дж. Кроля ненужной, так как, по его мнению, существенные климатические отклонения могут наступить вследствие периодических изменений тепловой мощности Солнца, а не из-за орбитальной динамики Земли. Густав Штайнман, один из ведущих альпийских геологов, в 1916 г., когда М. Миланкович в Будапеште писал свою первую книгу, предложил отказаться от всех теорий, объяснявших оледенение периодическим действием астрономических процессов (например, изменением эксцентricности орбиты) в полушарии Земли¹. К нему присоединился Юлиус Хан, один из виднейших европейских климатологов, который, из-за несоответствий результатов отдельных астрономических теорий, считал их неприемлемыми, а астрономические причины — недостаточно сильными, чтобы вызвать климатические изменения. М. Миланковичу еще не было известно, что «все попытки

¹ Позднее Штайнман изменил свою позицию, став одним из сторонников теории Миланковича.

объяснить таким образом климатические изменения оказались настолько неудачными, что в 1908 г. от них отказался великий венский климатолог Хан, заявляя, что с астрономической точки зрения можно в первую очередь говорить о постоянстве климата Земли, а не о его вариативности»².

Метеорология, стремительно развивавшаяся в то время, не считала целесообразным помещать Солнце в центр климатологических испытаний. Парафразируя убеждения науки того времени, Миланкович писал: «К чему идти дорогой, ведущей через далекое Солнце, чтобы узнать о событиях на Земле, где расположены тысячи метеорологических станций, оповещающих обо всех температурных явлениях в слое атмосферы Земли, в котором мы живем, более точно, чем самая совершенная теория»³.

Таким образом, М. Миланкович в начале своей работы столкнулся с равнодушной метеорологией и оппозиционной геологией — вера в астрономическую теорию изменений климата зачахла, и эта теория в обществе была практически полностью забыта. Но он был слишком предан своей идее, чтобы обращать на это внимание. Он пошел дорогой «через далекое Солнце», казавшееся метеорологам слишком далеким. «На “нет” Хана я ответил “да”, доказав, что изменения климата Земли вызваны астрономическими факторами, настолько сильными, что они не могли пройти бесследно. И уже в своей первой книге я показал методы их расчета и ретроанализа при помощи небесной механики», — вспоминал Миланкович о начале работы над теорией⁴.

Миланкович установил, что астрономическая теория изменений климата оказалась в состоянии кризиса не из-за изначальной ошибочности. Основные причины тогдашнего неуспеха крылись в недостаточном знании небесной механики, невнимании к отдельным элементам движения Земли и к математике. Хотя Юлиус Хан поступил логично, отказавшись от астрономической теории из-за несоответствия геологическим фактам, Миланкович понял, что «вместе с грязной водой выплеснули и ребенка». Даже при желании проанализировать астрономические теории, у геологов

² Успомене. С. 603.

³ Там же. С. 467.

⁴ Миланкович М. *Кроз васиону и векове*. Изабрана дела. Книга 4. Београд, 2008. С. 191.

не было для этого основательной базы. Поэтому Миланкович начал с создания математического аппарата, при помощи которого можно было проводить точные расчеты поступления, распределения и действия солнечной радиации в атмосфере как двигателе климатических изменений на Земле.

Миланкович готовился к следующему шагу, который в прямом смысле слова должен был обрести космические масштабы: в отличие от предшественников, он представлял астрономическую теорию изменения климата в ином свете. Пока коллеги пытались решить проблему ледниковых эпох, Миланкович приступил к моделированию климата всех планет Солнечной системы с твердой поверхностью. Даже для Миланковича это была довольно обширная научная область, именно об этом он мечтал в те годы, когда работал инженером-строителем в Вене. Вдохнув воздух свободы в Белграде, взглянув дальше своих предшественников, он отправился на поиск того, что соединяло отдельные элементы климатической динамики.

М. Миланковичу была нужна соответствующая методология. Он строил свою теорию как связь точных и дескриптивных наук. Как человек средних лет, он, согласно Аристотелю, был умеренно смел и умеренно мудр. Он оставил проложенные дороги и отправился искать свой путь на невозделанное поле, где, однако, уже протоптали тропинки. И все необходимое для разработки теории стало возникать на его пути. «В Вене я убедился, что начал свое дело в самое лучшее время. Именно тогда из Америки пришла весть об измерении величины солнечной постоянной. Отсутствие этой величины было последним препятствием к успеху моего дела, и оно было устранено»⁵. Это произошло в 1913 г., когда Миланкович уже занимался астрономической проблемой изменения климата. До этого Пилгрим в 1904 г. получил точные параметры орбитальной динамики Земли, а А. Пенк и Э. Брикнер трудами по геологии подготовили научную общественность к мысли о существовании нескольких ледниковых эпох⁶. Позднее, в 1933 г., Жозеф Дево рассчитал данные об отражательной

⁵ Успомене. С. 474.

⁶ Ludwig Pilgrim. *Versuch einer rechnerischen behandlung des eiszeitenproblems*. «Jahreshefte für vaterlandische Naturkunde in Württemberg», №. 60, 1904; Albrecht Penck und Eduard Brückner. *Die Alpen Im Eiszeitalter* (3 Vols.). Leipzig: Tauchnitz, 1901–1909.

способности снега и льда. Итак, Миланкович мог проводить расчеты на надежной основе.

М. Миланкович дал полученным результатам общий знаменатель, ему оставалось связать все результаты в единую картину математической интеграции небесной механики и науки о Земле. Такая синтетическая связь привела бы к превращению дескриптивных наук в точные и подтвердила бы действенность его дедуктивного метода. Вероятно, Миланкович никогда не видел, а в объемных *«Воспоминаниях»* не высказывал желания увидеть ледниковые морены или блуждающие валуны, благодаря которым начались пламенные геологические дискуссии о ледниковом периоде. Метеорология занимала его ум только как сфера возможного применения математики. Миланкович видел в метеорологии только «массу бесчисленных эмпирических фактов... море числовых данных, немного физики... и еще меньше математики — и то только элементарной». Его интересовали не следствия, а причины: «Дескриптивные естественные науки, геология и география, собирая многочисленные факты, сообщили нам о широком распространении и в какой-то мере о последовательности ледниковых эпох в Европе и Северной Америке. Но они не могли сообщить нам причины и длительность великих климатических изменений четвертичного периода. Причины и механизм их действия находятся вне поля зрения этих наук. Они представляют собой отдельную космическую проблему, приступать к решению которой невозможно без знания законов, которым, вращаясь вокруг Солнца, покоряется наша Земля как член планетной системы»⁷. В то время как Дж. Кроль старался решить загадку возникновения ледникового периода, Миланкович стремился математически описать космическую проблему климата, найти источник ее динамики и прогнозировать ее изменения. В центр задачи он поставил Солнце, создав, таким образом, еще одну гелиоцентрическую теорию (на этот раз — климата), применимую не только к Земле, но и к любой другой планете⁸.

⁷ *Успомене*. С. 624.

⁸ М. Миланкович часто использовал Солнце как символ. Например, он сравнивал математику с Солнцем, освещающим все остальные науки. Он восхищался Кеплером и Ньютоном, сформулировавшими центральную концепцию небесной механики — закон гравитации, и объяснил, как Солнце удерживает

Хотя тепловые условия на нашей планете определяются множеством факторов, первопричиной является Солнце. Его радиация доходит до отдельных точек на Земле в соответствии со временем года, географической широтой, наклоном оси Земли, создавая тепловые различия, постоянно уравниваемые движением воздуха и океанскими течениями. Таким образом, наша планета зависит от Солнца, а наша земная судьба, возможно, обусловлена не столько собственной историей, сколько небесной механикой, орбитальной геометрией, небольшим и крайне медленным изменением солнечного освещения отдельных частей планеты. Поэтому в самом центре вопроса о климате, поставленном М. Миланковичем, находится Солнце⁹.

Солнце — важнейший источник тепла на поверхности планеты, другие источники, например, выброс лавы или термальных вод, с ним несравнимы. Солнце излучает свет и тепло равномерно во всех направлениях, но интенсивность радиации убывает с квадратом расстояния. Таким образом, на планету поступает настолько меньше тепла, насколько ее место дальше от Солнца. Ежегодным обращением Земля описывает эллипс, в центре которого расположено Солнце. Третьего января Земля находится в ближайшей к Солнцу точке, в перигелии, а 4 июля — в наиболее удаленной точке, в афелии. Из-за небольшого эксцентриситета орбиты в перигелии зима в Северном полушарии теплее, чем могла бы быть, если бы у Земли была круговая орбита.

Количество радиации, поступающей на Землю, выражено в солнечной постоянной — энергии, которая за единицу времени попадает на единицу поверхности на верхней границе атмосферы. Оно зависит от геометрии солнечного освещения: хотя солнечные лучи исходят радиально, из-за удаленности и размера

все семейство планет вместе. Сам Миланкович стал объяснять климат с точки зрения влияния солнечной радиации и изменения в распределении этой радиации по поверхности планет. Гелиоцентризм Миланковича нашел высшее выражение, когда во время Второй мировой войны он, абстрагировавшись от кошмарных будней, занимался изучением трудов Аристарха из Самоса, античного астронома, который первым выдвинул постулат гелиоцентрической системы, за что Миланкович называл его «самым гениальным мыслителем древности».

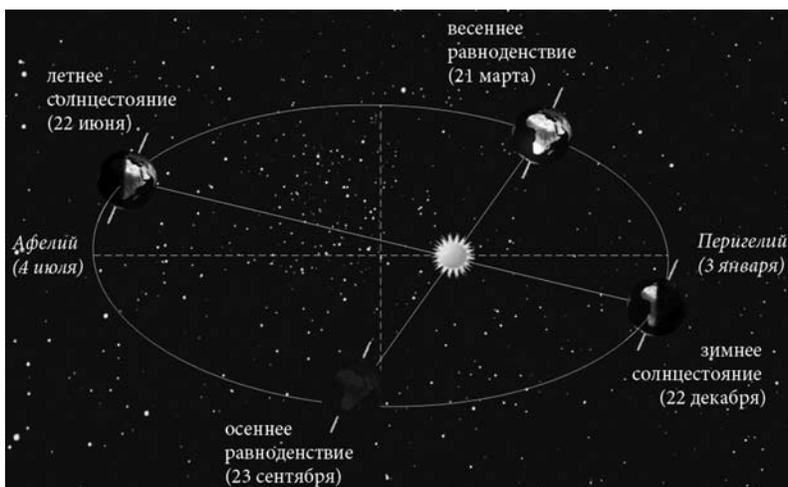
⁹ См.: Петрович А. *Opus solis — хелиоцентрични канон Милутина Миланковича*. «Скривени хоризонт — размеджа историе српске науке». Крагуевац, 2006. С. 211–239.

Земли можно считать, что лучи падают на нее параллельно. Поток параллельных лучей сильнее всего нагревает поверхность, если он падает под прямым углом, и практически не нагревает параллельную к себе поверхность. Из-за формы Земли солнечные лучи в разных географических широтах имеют разный угол падения.

Смена времен года происходит из-за того, что ось вращения Земли наклонена по отношению к плоскости эклиптики на $23,5^\circ$. Из-за различной ориентации по отношению к Солнцу, Земля во время движения по орбите занимает четыре выделенных положения на орбите: два солнцестояния и два равноденствия. Во время летнего солнцестояния, 22 июня, Северный полюс максимально повернут к Солнцу, а к северу от Полярного круга Солнце не заходит за горизонт. В Северном полушарии день становится длиннее ночи, так как оно получает больше солнечного излучения. Спустя четверть года, 23 сентября, Земля оказывается в точке осеннего равноденствия. Граница тени переходит через Северный и Южный полюса. День и ночь обретают одинаковую продолжительность на всей Земле, по 12 часов, Северное и Южное полушария получают одинаковое количество солнечного освещения. Спустя четверть года, 22 декабря, наступает зимнее солнцестояние. Северный полюс в это время максимально повернут от Солнца, а к северу от Полярного круга нет солнечного света. В Северном полушарии ночь становится длиннее дня, потому что на его поверхность попадает меньше солнечного света, чем на поверхность Южного полушария. Спустя еще четверть года, 21 марта, приходит весеннее равноденствие. Граница тени снова переходит через Северный и Южный полюса. День и ночь на всей Земле становятся одинаковыми по продолжительности, по 12 часов, Северное и Южное полушария получают одинаковое количество солнечного света.

На рис. 3.1. представлено полное прохождение орбиты, с четырьмя точками, обозначающими начало времен года: летнее солнцестояние и осеннее равноденствие, зимнее солнцестояние и весеннее равноденствие. Если мы свяжем эти точки с Солнцем, то увидим, что эллипс делится на четыре квадранта: лето и осень, зиму и весну. Из-за эллиптичности орбиты эти четыре интервала имеют разную длину, как и времена года. Лето про-

должается 94 дня, а осень 90. Зима — 89 дней, а весна 93. В Северном полушарии теплые времена года, лето и весна, на 8 дней длиннее холодных времен года, зимы и осени. Поэтому в теплое время года среднее дневное количество солнечного света в Северном полушарии меньше, чем в Южном.



Годовое движение Земли вокруг Солнца.
Прохождение Земли через точки равноденствий
и солнцестояний на орбите означает начало времен года —
главных фаз солнечного освещения

В течение длительного времени Земля меняет наклон из-за гравитационного влияния окружающих небесных тел. Солнце, как центр массы своего семейства планет, заставляет ее гравитационной силой кружить вокруг себя по замкнутой орбите. Земля постоянно испытывает влияние Луны и окружающих планет. Поэтому меняются характеристики ее движения, и с момента открытия закона гравитации И. Ньютоном эти изменения астрономических элементов изучает небесная механика. Милутин Миланкович намеревался математически доказать, что совсем небольшие, почти незаметные вековые модификации солнечного освещения, вызванные изменением астрономических параметров, являются достаточным условием для больших климатических изменений.

В постоянном вращении вокруг Солнца наша планета подвержена множеству влияний. В ответ на них она как будто постоянно ищет равновесия и одним из способов достижения равновесия является климат. Изменения климата — это ответная реакция Земли на взаимодействие с Солнцем, простор свободы, который Земля может занять в божественном предопределении своего вращения. Незадолго до начала Первой мировой войны Миланкович опубликовал шесть схожих работ на сербском и немецком языках. Заголовки этих работ свидетельствуют, что уже тогда он заложил фундамент теории и составил план ее разработки¹⁰. В этих трудах он развил числовое моделирование климата и впервые применил высшую математику в климатологии, возвысив науки о Земле над множеством эмпирических наблюдений. Миланкович первым получил данные о температуре высоких слоев атмосферы Земли, о температурных показателях на поверхности планет Солнечной системы, а также о толщине атмосфер внешних планет. Он установил, что только учет всех существенных отличий вековых движений Земли и анализ распределения тепла на различных географических широтах устранит недостатки предшествующих теорий. Миланкович соглашался с предшественниками, Ж. Адемаром и Дж. Кролем, что на отдельных параллелях вековые изменения притока солнечной радиации достаточны для начала ледникового периода, то есть вековые периодические изменения движения планет существенно влияют на приток солнечной радиации и ее распределение во времени и пространстве, имея критическое влияние на климатические явления.

Считается, что теорию периодических изменений движения планет разработал Жозеф Луи Лагранж, который в конце XVIII в. первым рассчитал и опубликовал численные значения элементов орбит для шести планет, известных в его время (среди них —

¹⁰ Прилог теории математске климе 1912. године у Глау СКА, книга LXXXVII; О примени математичке теорие спроводжена топлоте на проблеме космичке физике (Рад ЯАЗУ, книга 200, 1913); О распореду сунчеве радиацие на површини Земле (Глас СКА, книга XCI, 1913); О питању астрономских теориа ледених доба (Рад ЯАЗУ, книга 204, 1914); Zur Theorie der Strahlenabsorption in der Atmosphäre. (16 S.) Annalen der Physik. Vierte Folge. Band 44, 1914. Ueber die Verringerung der Wärmeabgabe durch die Marsatmosphäre. Annalen der Physik. Vierte Folge. Band 44 (1914).

и вековые изменения орбиты Земли)¹¹. После него Симон Лаплас поставил себе цель — предложить окончательное решение проблемы механики Солнечной системы и привести теорию в соответствие с предложением об освобождении астрономических таблиц от эмпирических значений¹². Урбен Леверье повторил те же расчеты с более точными значениями масс планет и сообщил свои результаты в 1843 г.¹³ Спустя три года, благодаря его расчетам была открыта новая планета, Нептун, что показало недостатки предшествующих теорий. Хотя результаты его расчетов для того времени были исключительными, они были недостаточны для поддержки теории Дж. Кроля. Спустя 30 лет, в 1873 г., Дж. Стокуэлл опубликовал новые формулы, по которым можно было определять вековые изменения астрономических элементов всех известных планет Солнечной системы. Он использовал их для расчета изменения элементов Земли за прошедшие 8000 лет, недостаточные для анализа палеоклиматических изменений¹⁴. Используя эти формулы, Людвиг Пилгрим определил вековые изменения параметров земной орбиты за последние 1 010 000 лет.

М. Миланкович продолжил традицию, заложенную в трудах Дж. Стокуэлла и Л. Пилгрима. Он знал, что формулы и расчеты Леверье «лучше Стокуэлловых». Хотя им недоставало точных значений масс планет, Миланкович, расширяя свои расчеты, инициировал повторение расчетов Леверье в отношении Земли (в то время уже были улучшены и данные, полученные Стокуэллом). Миланкович решил построить собственный математический аппарат и упростить расчеты вариаций в движении планет. Шесть эллиптических элементов Кеплера он свел к двум векторам. Он не выводил основные уравнения вариаций движения планет при помощи эллиптических элементов, так как при расчете коэффициентов, появляющихся в этих уравнениях

¹¹ Joseph Louis de Lagrange. *Mécanique analytique*. Paris, 1792.

¹² Было выполнено в пяти томах *Mécanique céleste* (1799–1825). См.: Pierre Simon Laplace (1749–1827), http://www.maths.tcd.ie/pub/HistMath/People/Laplace/RouseBall/RB_Laplace.html.

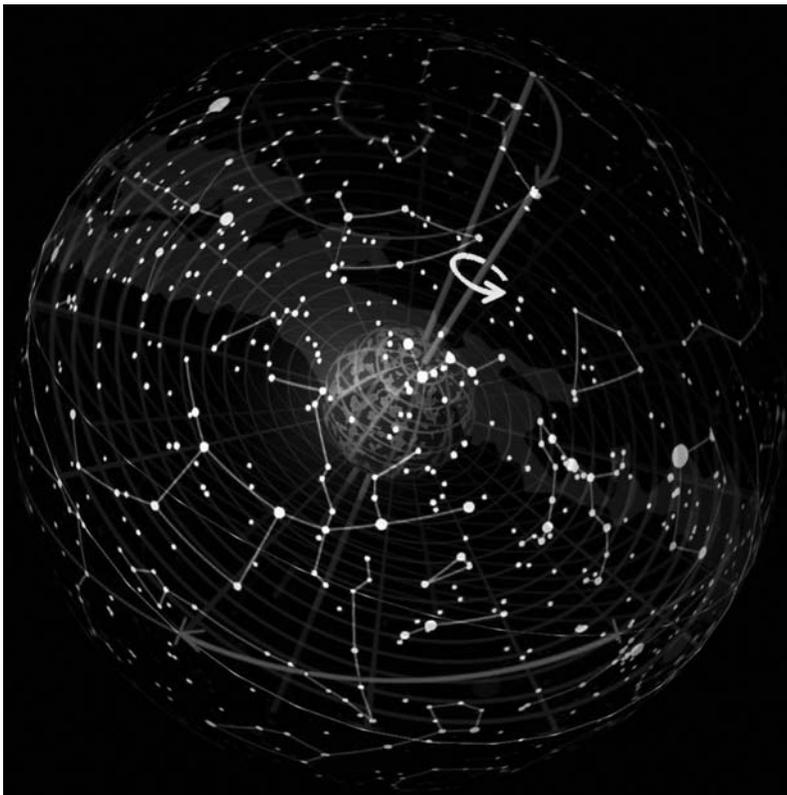
¹³ Urbain Le Verrier. *Connaissance des temps*. «Annales de l'Observatoire Imperial de Paris», II, 1855.

¹⁴ J. N. Stockwell. *Secular Variations of the Eight Principal Planets*. «Smithsonian Contributions to Knowledge», 18, 1873.

(так называемых «скобок Лагранжа»), вычисления должны были охватывать 15 разных комбинаций таких элементов. Миланкович своими векторными элементами свел задачу к 5 комбинациям, а остальные следовали из них циклической перестановкой. В его работах очевидно стремление к упрощению математики как инструмента.

На базе этих расчетов М. Миланкович сделал вывод, что динамику притока солнечной радиации определяют три вековых астрономических явления: прецессия, изменение наклона земной оси и изменение эксцентриситеты Земной орбиты вокруг Солнца. Прецессия точек равноденствия имеет самую длинную историю изучения. Еще древние халдеи замечали странные явления, происходящие с точками равноденствия, за которыми они постоянно наблюдали, так как прохождение Солнца через эти точки означало начало весны (или осени), воскрешение молодого бога растительности. Древние астрономы на протяжении веков с удивлением отмечали, что эти точки медленно, но постоянно смещаются. Они задумались о причинах такого явления, нарушавшего, на первый взгляд, совершенный космический порядок. Астрономы заметили, что точка, обозначающая начало весны, движется по эклиптике в направлении, противоположном вращению Земли вокруг Солнца. Первое письменное свидетельство разгадки этой тайны оставил греческий астроном Гиппарх около 130 лет до н. э. Он сделал правильный вывод о том, что точки пересечения плоскости эклиптики и небесного экватора смещаются из-за движения оси, вокруг которой вращается Земля. Период времени, в течение которого точки равноденствий совершают полный круг в своем движении относительно неподвижных звезд, называют платоническим годом. Поэтому звезда α созвездия Малой медведицы, больше известная как Полярная звезда, в которую сейчас предположительно направлена ось вращения земли, не всегда показывала Север. Для древних египтян указателем Севера была звезда Тубан, самая яркая звезда созвездия Дракона. В будущем Северный полюс мира еще около двух веков будет приближаться к Полярной звезде, чтобы через 2300 лет приблизиться к звезде γ созвездия Цефея, потом к звезде Альдерамин

в созвездии Лебедя, пока где-то на половине описываемого круга Полярной звездой не станет звезда Вега из созвездия Лиры. Здесь проекция оси вращения Земли на небесную сферу в Северном полушарии окажется в положении, противоположном современному положению на этом круге, что произойдет через 11 500 лет, когда в Северном полушарии будут более холодные зимы и более теплые летние периоды, чем в Южном. Затем ось опять пройдет через созвездие Дракона, пока не вернется к звезде, которая сейчас нам указывает на север.



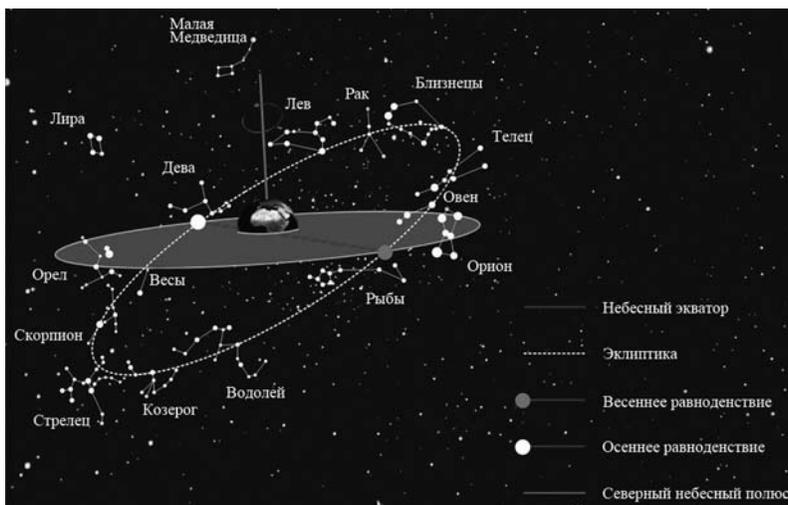
Вид астрономического цикла прецессии с точки зрения Земли. Ось вращения Земли меняет положение по отношению к неподвижным звездам и вершиной описывает полный круг на небесном своде



Прецессионная орбита проекции земной оси по звездному небу, вид с Земли. В течение веков звезды, обозначающие север, меняются

Это явление названо «*предварением равноденствия, или прецессией*», и Исаак Ньютон в XVII в. описал его причину с позиции математики: Земля из-за совместного гравитационного притяжения Солнца и Луны ведет себя наподобие волчка — ее ось вращения описывает полный оборот, не меняя наклона. В изоляции от других влияний прецессия имеет период в 26 000 лет. На нее накладывается поворот орбиты Земли вокруг центра, в котором находится Солнце, и прецессия показывает фактическую периодичность приблизительно 23 000 лет. Прецессионное

движение, влияя только на направление оси вращения Земли, не влияет на общее количество тепла, получаемого Землей в течение года. Для земного наблюдателя оно представляется перемещением точек равноденствия вдоль эклиптики. Это означает, что отдельные времена года изменяют свое положение и относительную длину.

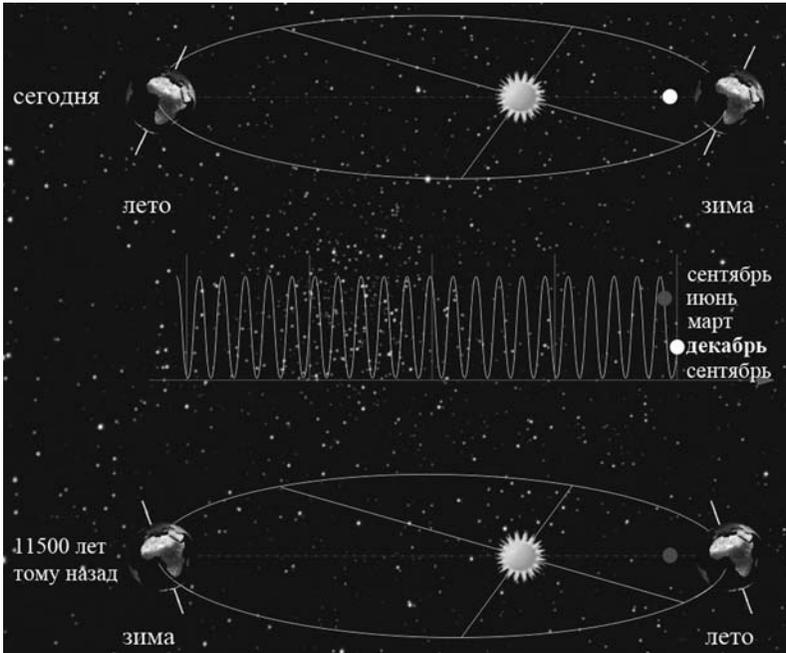


Геоцентрическая проекция прецессии с созвездиями зодиака

Прецессия в первую очередь влияет на сезонное солнечное освещение средних и низких географических широт. Ее климатическое воздействие сильнее вблизи экватора и соответствует разнице $\pm 10\%$ от солнечного освещения отдельного времени года.

Когда, например, точки солнцестояния находятся вблизи перигелия, полушарие, на котором в это время лето, будет иметь большие температурные различия между летом и зимой: лето, входящее в перигелий, будет теплее, зима, приходящаяся на афелий, будет холоднее. В противоположном полушарии будет более теплая зима и прохладное лето. Когда ось Земли наклонена на Солнце в течение весны и осени, в Северном и Южном полушариях будут схожие контрасты времен года. При прохождении Землей перигелия 3 января, Северное полушарие зимой получает больше тепла, чем Южное, где зима наступает, когда Земля

находится вблизи афелия, через который она проходит 4 июля. В Северном полушарии летние сезоны более прохладные, чем в Южном, соответственно.



Периодические изменения наклона оси вращения Земли за последние 400 000 лет. Изменения наклона оси влияют на продолжительность полярной ночи и приводят к существенным сезонным изменениям поступления солнечной радиации в высоких географических широтах

Другой орбитальный цикл, которому Миланкович уделил внимание, — изменение наклона оси вращения Земли по отношению к плоскости орбиты, чей цикл длится 41 000 лет. В данный момент угол наклона оси составляет $23,5^\circ$, он перемещается в пределах от $22,1^\circ$ до $24,5^\circ$ (ось Венеры, например, наклонена на 3° , а ось Урана — на 90° , так что она практически лежит в плоскости эклиптики). Воздействие этой осцилляции относительно слабо выражено вблизи экватора, но в более высоких географи-

ческих широтах она заметно влияет на разницу в количестве тепла, падающего на параллель в летнее и зимнее полугодие, так как больший наклон увеличивает поступление тепла на полюса и уменьшает поступление тепла на экваторе. Изменения наклона оси влияют на продолжительность полярной ночи и приводят к большим сезонным изменениям солнечного освещения в высоких географических широтах (почти 15%), а также к наступлению или отступлению полярных ледниковых шапок, и совсем мало влияют на солнечное освещение в географических широтах, близких к экватору. Общее изменение солнечной радиации, поступающей в верхние слои атмосферы в высоких географических широтах в течение одного цикла изменения наклона оси Земли, составляет 17 W/m^2 . Поэтому изменение наклона считается главным двигателем климатических изменений в высоких географических широтах, а солнечное освещение 65° северной географической широты, по предположению Миланковича, является стандартной мерой влияния наклона оси Земли на климат.

Воздействие наклона оси Земли можно проиллюстрировать двумя крайними случаями: первый, если бы ось вращения Земли лежала в плоскости эклиптики, и второй, если бы ось вращения Земли была перпендикулярна эклиптике. В последнем случае плоскость экватора и плоскость эклиптики совпадали бы, солнечные лучи постоянно падали бы под прямым углом на экватор, и полуденное солнце целый год было бы в зените. Между экватором и полюсами солнце восходило бы в одной и той же точке горизонта, и в полдень находилось бы на одной и той же высоте. На полюсах солнце проходило бы вдоль горизонта, никогда не поднимаясь из-за него. На Земле всегда царил бы равноденствие без смены времен года. Такое солнечное освещение исключало возможность наступления ледникового периода.

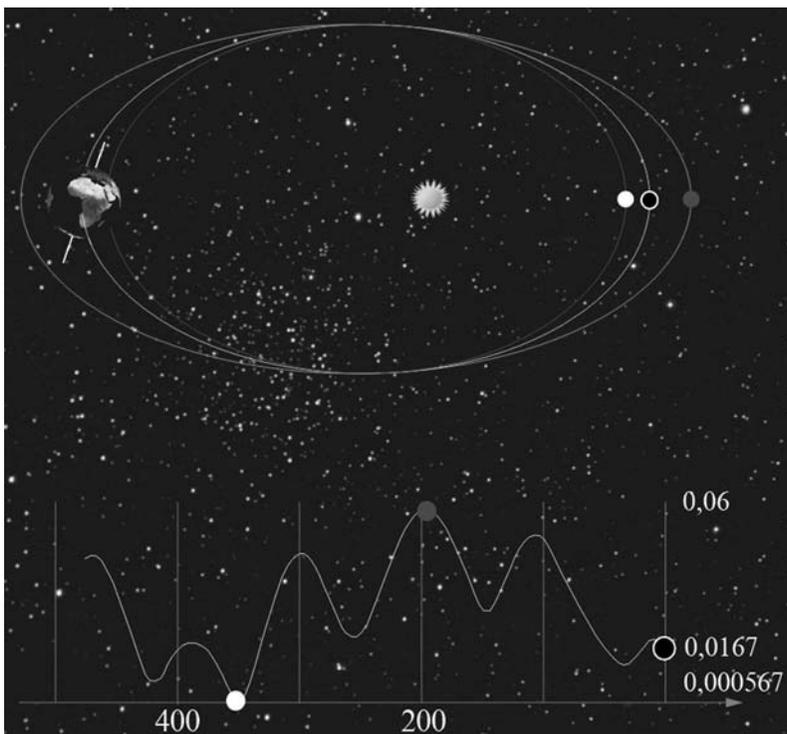
Если бы ось вращения Земли лежала в плоскости эклиптики, тогда бы плоскость экватора находилась перпендикулярно плоскости эклиптики. Геродот в своей *«Истории»* писал, что египетские жрецы говорили, будто Солнце не всегда восходило там, где сейчас, а эклиптика пересекала плоскость экватора под прямым углом. Если бы в ходе вращения Земли вокруг Солнца случилось так, что солнечные лучи падали бы прямо на экватор,

тогда бы Солнце в полдень стояло в самом зените, и наступила бы сильная жара, а на полюсах Солнце лежало бы на линии горизонта; приблизительно через три месяца Земля, при условии, что ось не меняла ориентацию в пространстве, пришла бы в положение, когда солнечные лучи падают прямо на один из полюсов, а экватор оказался бы границей солнечного освещения. Тогда бы на освещенном полюсе Солнце было в зените и создавало высокую температуру, и в течение трех месяцев жители экватора видели бы опускание Солнца до самого горизонта, пока бы не установился постоянный рассвет. Другое полушарие, обращенное к другому полюсу, в тот момент оказалось бы в полной темноте. В течение трех последующих месяцев Земля снова пришла бы в положение, похожее на описанное в первом примере, и еще через три месяца — в положение, схожее со вторым приведенным примером, только к Солнцу был бы развернут другой полюс. Так на Земле попеременно царили бы то невыносимая жара, то нестерпимый холод, которые вряд ли выдержало бы современное человечество.

Интересно, что цикл изменения наклона оси Земли, хоть и продолжается десятки тысяч лет, все же может быть замечен в течение жизни человека. Например, в 1908 г. японские колониальные власти на Тайване поставили мемориальный знак в месте пересечения новой дорогой северного тропика Рака. Тропик Рака в Северном полушарии, как и тропик Козерога в Южном, означает самую высокую географическую широту, на которую ежегодно в день солнцестояния солнечные лучи падают под прямым углом. На памятнике китайскими иероглифами высечена и точная географическая долгота: $23^{\circ} 27' 4''$. Этот знак сносился тайфунами и землетрясениями, но японские, а потом китайские власти его постоянно восстанавливали. Памятник и сегодня указывал бы на тропик Рака, но за прошедшие 100 лет из-за изменения наклона оси тропик переместился на юг на 1,27 км. Тропик продолжит смещаться к югу еще на целых 90 км, а потом начнет возвращаться на север.

Самым длительным орбитальным циклом, рассмотренным Миланковичем, была *вариация эксцентricности орбиты Земли*: Земля вращается вокруг Солнца по орбите, которая периодически, приблизительно через 100 000 лет, превращается из почти

что правильного круга в слегка вытянутый эллипс (эксцентricность 0,06) и потом снова в круг, причем длина большой оси остается постоянной, а короткая ось сокращается и удлиняется. Когда эллипс имеет удлиненную форму, в отдельных фазах этого вращения Земля получает меньше тепла из-за удаленности от Солнца; когда короткая ось приблизительно равна длинной, тогда Земля получает постоянное одинаковое количество тепла.



Осцилляция изменения эксцентricности земной орбиты за последние 400 000 лет

С неравномерной удаленностью Земли от Солнца связана и разная продолжительность времен года. Чем ближе к Солнцу, тем быстрее движется Земля, и тем быстрее обходит ту половину эллиптической орбиты, в фокусе которой находится Солнце. Когда ось вращения повернута таким образом, что в Северном полушарии зима, пока Земля находится ближе всего к Солнцу,

зимняя половина года в Северном полушарии длится на восемь дней меньше, чем летнее полугодие.

Изменение эксцентricности приводит к разному солнечному освещению Земли в афелии и перигелии, меняя, таким образом, контраст времен года в Северном и Южном полушариях. В этом случае разница в расстоянии от Земли до Солнца в афелии и перигелии составит около 3,4% (5,1 млн. км). Когда орбита имеет вытянутую форму, в одном полушарии лето будет теплее, а зима холоднее, а в другом — лето прохладнее, зима менее холодная. Когда орбита имеет форму круга, в обоих полушариях времена года будут схожи. Сейчас Земля находится ближе всего к Солнцу во время зимы в Северном полушарии (зимы относительно теплые) и дальше всего во время лета в Южном полушарии (относительно прохладное лето). Данные проекта CLIMAP «подтверждают эмпирическую связь ледниковых периодов с интервалами малой эксцентricности»¹⁵. Текущее значение эксцентricности составляет 0,017 и убывает к минимальному значению 0,005, обуславливая минимальное изменение в солнечном освещении верхнего слоя атмосферы Земли — только 0,1% от общей солнечной радиации (0.5 W/m²). Сейчас считают, что основное действие эксцентricности — модуляция амплитуды прецессионного сигнала и приведение в действие гляциально-интергляциального цикла обратной связью климатической системы.

М. Миланкович, математически моделируя влияние всех осцилляций на солнечную радиацию, объединил их действие, и на основании таблиц Пилгрима показал изменение во времени солнечного освещения или количества тепла, падающего на отдельные параллели в течение года. Исходя из того, что вековые изменения поступления солнечной радиации могут быть представлены как однозначные функции наклона эклиптики, эксцентricности орбиты Земли, долготы перигелия, солнечной постоянной и географической широты, М. Миланкович предложил формулы для расчета поступления солнечной радиации на Землю.

Уравнение Миланковича, где J_0 — солнечная постоянная, ρ — расстояние Земли от Солнца, δ — склонение Солнца, φ и Ψ —

¹⁵ Hays, James D., John Imbrie, and Nicolas J. Shackleton. *Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages*. «Science» 194, 1976. С. 1121–1132.

географические координаты, ω — часовой угол Солнца, выражает закон распределения солнечной радиации в определенный момент на поверхности Земли¹⁶.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{J_0}{\rho^2} [\sin \varphi \sin \delta + \cos \delta \cos(\omega_0 + \psi)]$$

Проанализировав и вычислив ход поступления солнечной радиации в отдельных географических широтах Земли, Миланкович пришел к выводу, что большие отклонения притока солнечной радиации на Землю, обусловившие наступление ледникового периода, произошли тогда, когда долгота перигелия Земли составляла приблизительно 90° , или 270° , то есть когда вблизи перигелия и афелия находились точки солнцестояния.

Таким образом, М. Миланкович очертил «астрономическую» часть проблемы и мог приступить к ее второй части, названной им «физической». Он спустился с небесных высот и стал изучать влияние солнечного освещения на атмосферу и почву Земли, настаивая, что полученное тепло определяет температуры отдельных слоев атмосферы. Это требовало расчета всех процессов на пути солнечного луча: прохождение сквозь атмосферу и его отражение, частичное отражение от поверхности Земли и распространение тепла через земную поверхность, длинноволновое излучение Земли и его испускание через атмосферу в космос. Кроме того, необходимо было проверить связь солнечного освещения и температуры гидросферы, воздействие скорости вращения планеты на температуру ее поверхности, влияние среднего содержания водяного пара в атмосфере на ее тепловую структуру. Но началу работы над этими проблемами предшествовал ряд событий, изменивших течение его жизни.

¹⁶ Миланкович М. *Канон осунчаваня Земле*. Изабрана дела. Книга 2. Београд, 1997. С. 15.

4. ИЗ ТЮРЬМЫ К ЗВЕЗДАМ

ТРИ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

М. Миланкович долго не задумывался о женитьбе. Лишь после тридцати он стал подумывать об обычной семейной жизни. Его мать опасалась, как бы Милутин не женился на какой-нибудь женщине из Вены, чем еще больше осложняла вопрос женитьбы. Дополнительной проблемой была его научная работа. Его тревожила вязкость удобной семейной жизни, сладкая буржуазная дрема. «И что же будет, спросил я себя, с моей наукой, когда я расплывлю все свое время на общественные обязательства? Что же будет с моим великим делом? Оно требует сильнейшей духовной концентрации, в противном случае, все мои идеи рассеются, как дым, который я выпускаю, когда курю сигары, размышляя. В комфортной общественной жизни я перестал бы быть ученым. Невозможно одновременно служить двум господам и заниматься двумя таким разными делами. Я должен выбирать: или брак — или наука... Я не имею права упускать ни секунды, в библиотеке я заметил, что и другие ученые обратили внимание на занимающую меня проблему. Если я хоть немного запоздаю со своей работой, то слишком поздно приду к желанной цели... В эти дни в зале Венской консерватории в четвертый раз я слушал Пятую симфонию Бетховена. Из девяти симфоний Бетховена Пятая для меня милее всего. Но никогда прежде она так не воздействовала на меня. Я четко услышал и понял: судьба стучится в мои двери и зовет в борьбу до победы»¹. Миланкович вошел в ряды европейской науки, и обратной дороги не было. Существенным подспорьем было то, что к тому моменту Миланкович уже закончил несколько работ, подтверждающих астрономическую теорию изменения климата, и мог с легкостью обратиться к своим целям.

¹ *Успомене*. С. 474.

«Я и сам заметил, что со мной что-то происходит, как будто некая невидимая сила ведет меня вопреки моей воле, и я не могу ей сопротивляться»². Увидев, что «природа сильнее холодных рассуждений», Миланкович, ведомый силой, более мощной, чем Пятая симфония, решил жениться. Его избранница оказалась воплощением его идеала женщины. «Она прекрасно говорит по-французски и по-немецки, играет на рояле, занимается вокалом и волшебным поет; она красива и богата», — писала ему Ольга, супруга историка Станоя Станоевича. Это была Кристина Топузович («но все ее звали Тинка»), родившаяся в г. Шабац в мае 1884 г. Она была на пять лет моложе Миланковича.

М. Миланкович женился на Кристине Топузович 1-го июня 1914 г. За несколько месяцев до этого он закончил труд о термическом строении Марса. Два цикла, семейный и научный, встретились, чтобы вместе привести к великому жизненному и научному перевороту. После венчания в церкви Вознесения в Белграде супруги отправились в свадебное путешествие в Женеву. Но на первой станции, в родном Миланковичу австро-венгерском селе Далек, где они должны были провести медовый месяц, их ожидало печальное известие. Началась война, получившая название Мировой, о которой Коста Стоянович, предшественник Миланковича на кафедре, писал в 1917 г.: «Лозунги, оправдывавшие нападение и защиту; взаимная клевета и оскорбления; разговоры о святых принципах и идеалах, звучавшие с обеих враждующих сторон... А в результате мы получили измельчание культурных течений, методической науки, знаний и умений, веры и традиций. Получили истребление людей и нынешнего поколения — создан огромный дефицит, материальный и моральный, человеческого прогресса. Ужасы этой войны не могли искоренить дефекты и недостатки человеческой психики — все будет по-старому и после этой мировой катастрофы. Это страшное столкновение лишь увеличит дефекты человеческой души, взрастит амбиции победителей и побежденных. Глубокие пропасти между народами Европы не будут засыпаны, со временем они станут еще глубже, и европейские народы окажутся перед настоящими, нерешенными и незаконченными проблемами этой войны, вооруженные усовершенствованными наукой средствами

² Упомене. С. 476.

для будущих конфликтов и истребления людей. Народы опять сойдутся на ратном поле... Обязанность, страх, непросвещенность, неорганизованность, иллюзии и домыслы поведут массы на заклятие за старые идеалы под новыми названиями, и течение исторического процесса продолжится в новых фазах, события будущего будут такими же или еще мощнее событий сегодняшних»³.

Как подданный Королевства Сербии, Миланкович был арестован и помещен в тюрьму в г. Осиек в Австро-Венгрии. «Тюремщик закрыл двойные железные двери моей камеры. Тяжелый замок щелкнул, хлопнула балка, по диагонали перекрывающая дверь. Я сел на кровать, оглянулся и стал вживаться в свое новое общественное положение. Эта одинокая комнатка, вдали от людского гомона, казалась мне специально созданной для научной работы — здесь мне никто не будет досаждать. Используя-ка я эту уникальную возможность. В моем чемодане лежали опубликованные и только начатые работы по моей космической проблеме, а также и чистая бумага. Я начал листать рукописи, взял вечное перо, стал писать и считать. Работа шла ”как по маслу”. Когда стемнело, я включил лампу. Почувствовав запах, а вернее вонь керосина, я как будто вернулся в счастливое ученическое время. Я был доволен. Уже за полночь я оторвался от работы. Оглянувшись, я не сразу понял, где нахожусь. Камера казалась полустанком на пути во Вселенной»⁴.

Это была вторая жизненная победа Миланковича. Первую он совершил, оставив золотую клетку Вены, когда понял, что красивая жизнь в этом городе в действительности ничего не дает ему для духовного роста. Теперь в том же блестящем государстве, Австро-Венгрии, он оказался заключенным в тюрьму в том самом городе, где учился и проектировал здания. И тут, собрав внутреннюю силу, он преобразил тюремную камеру в полустанок на своем пути через Вселенную.

В конце 1914 г. М. Миланкович получил вид на жительство в Будапеште с единственным обязательством еженедельно появляться в полиции. Он приобрел новых искренних друзей в науке

³ Стоянович К. *Слом и васкрс Србие*. Архив САНУ. Рег. № 10133, 1–307. С. 4.

⁴ *Успомене*. С. 483.

и нужных сторонников, видных ученых. С большой теплотой он вспоминал об академике Кальмане Сили, физике-теоретике, в то время управляющем библиотекой Академии наук. Он дал Миланковичу возможность работать в читальном зале библиотеки. Внешний мир постепенно перестал существовать для Миланковича, он с головой погрузился в мир научных изысканий. Он мог работать, сколько ему было угодно, так как никто ничего не ожидал от находящегося по арестом иностранного ученого. С образцовой собранностью он продолжил разработку своих идей.

В библиотеке Венгерской академии наук Миланкович быстро заканчивал труд, представлявший в общих чертах теоретические аспекты. Он писал на немецком языке, так как с самого начала желал представить результаты Международному научному сообществу. Теоретические части он планировал печатать как отдельные статьи. Так, в 1916 г. М. Миланкович опубликовал «*Испитивања о клими планете Марса*» («*Исследования климата планеты Марс*»), где математически определил главные характеристики солярного климата Марса, которые, как показали позднейшие измерения, лишь немного расходились с фактическими⁵. «Но я быстро увидел, что статьи, публикуемые во время войны, имеют ограниченный круг читателей. Поэтому я оставил это намерение и решил переработать свой труд в одно целое. Приступив к работе, я убедился в своей правоте. В успехе моего труда большую роль сыграло то, что я не поделил его на отдельные статьи, а опубликовал полностью, и к этому меня принудила Мировая война»⁶.

Под этим «принуждением» Миланкович смог из ужаса войны извлечь скрытые удачные возможности. Во второй половине 1917 г. была дополнена и подготовлена объемная рукопись «*Mathematische Grundlagen der kosmischen Strahlungslehre*». В этой работе Миланкович развил теорию, решавшую проблему изменения тепловых явлений на внутренних планетах Солнечной системы. В первой части изложено математическое описание орбиты Земли, распределение и влияние солнечных лучей, во второй — рассмотрены три области применения

⁵ Milutin Milanković. *Ispitivanja o klimi planete Marsa*. Rad JAZU, 1916, 213, Razred matematičko-prirodoslovni, 60. С. 64–96.

⁶ *Успомене*. С. 501.

теории и сделаны следующие выводы: а) текущее состояние атмосферы Земли — температура отдельных атмосферных слоев и их годовой осцилляции. (Этим он подтвердил надежность и точность теории, так как полученные результаты соответствовали метеорологическим данным); б) изменение температурных условий (климата) во времени вызвано вековыми изменениями притока солнечной радиации; в) необходимо тестирование температурных условий на других планетах, где тепло обусловлено солнечными лучами. Он получил надежные данные о климате планет внутренней Солнечной системы⁷. О непреходящей ценности этой работы свидетельствует то, что в 1992 г. она была переведена на японский язык⁸.

В отличие от предшественников, Миланкович не воспринимал свой первый труд как решение отдельной проблемы ледниковых эпох на Земле. Он считал, что эта отдельная земная проблема должна быть решена как часть общей «великой космической проблемы». Поэтому он рассматривал проблему климата как термодинамическое колебание планет, связанное с механикой их движения. Он хотел создать общую математическую климатологию для всех планет Солнечной системы, которая, подобно тому, как небесная механика прослеживает движение во времени и пространстве, прослеживала бы температурные условия планет в прошлом и будущем, на их поверхностях и в верхних атмосферных слоях. До начала сотрудничества с немецкими учеными Владимиром Кёппеном и Альфредом Вегенером, М. Миланкович не рассматривал отдельную проблему наступления ледниковых эпох на Земле. В первую очередь он рассчитал климатические условия на Меркурии, Венере, Марсе и Луне, чтобы позднее разрешить проблему ледниковых эпох в контексте климатологии планет как одного из следствий своей теории⁹. Его целью была общая гелиоцентрическая математическая климатология, под-

⁷ Эти данные и сейчас имеют ценность, единственно, из-за незнания важных параметров, результаты для Венеры не были такими объемлющими, как для других планет. Тем не менее, температуры верхних слоев атмосферы Венеры, определенные Миланковичем, близки к современным величинам.

⁸ *Kiko hendou notenmongaku teki riron to hyouga jidai*. Kenji Kashiwaya et al. Tokyo. Koko Syoin, 1992.

⁹ Milutin Milankovitch. *Über die Verringerung der Wärmeabgabe durch die Marsatmosphäre*. Annalen der Physik, 1914. F. IV, 44. С. 465–476.

ходившая для всех планет и соединяющая астрономию и науки о Земле. Миланкович достиг этой цели, так как первым поставил вопрос о климате как космической проблеме, разрешимой с помощью математики.

М. Миланкович направил статью на рассмотрение своему преподавателю в Технической высшей школе Эммануэлю Чуберу, а затем, для публикации — в Берлин, своему издателю, но когда в 1918 г. рукопись уже была готова к печати, у издателя закончилась бумага... Считая работу законченной, Миланкович ею больше активно не занимался. В конце войны он работал статистиком в проектном бюро, и это давало ему скромный доход.

М. Миланкович вернулся в Белград с законченной рукописью книги, но в послевоенных условиях не видел возможности для ее публикации. Миланкович писал на немецком, но общественность нового Королевства Сербов, Хорватов и Словенцев не была готова читать на языке страны, с которой только что закончила войну. В этой войне пострадала половина мужского населения Королевства Сербии. Профессором Иваном Джая, родившимся и учившимся во Франции, работа была переведена на язык одной из стран-победительниц — французский. Миланкович отредактировал и передал в печать свой труд 20-го мая 1920 г. В тот же год работа была опубликована французским издательством «Готье Вилар», соиздателями были Югославская академия наук и искусств и Министерство просвещения Королевства Сербов, Хорватов и Словенцев. Миланкович вспоминал, что для того, чтобы напечатать его книгу, которая называлась «*Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*», «тогдашний министр просвещения Люба Давидович выделила специальный кредит»¹⁰.

Итак, перед международной научной общественностью предстала теория солярного климата, описанная аналитическим языком математики. Астрономическая и физическая части теории были переданы посредством шестисот математических формул, а вторая часть содержала результаты, выраженные цифрами и годные для сравнения с результатами измерений. Первый «контрольный» пример применения теории относился к тепловому состоянию Земли в современное время. При заданном значении

¹⁰ Упомене. С. 512.

солнечной константы и текущих значениях эксцентricности, направлении оси вращения и ее наклона была вычислена температура атмосферного слоя, граничащего с Землей. Такие температурные показатели измеряются на многочисленных метеорологических станциях, а соответствие их средних величин результатам, полученным путем расчетов (по модели, изложенной в теории), представляет собой проверку правильности теории. Соответствие было более чем хорошее. На параллелях 41° к северу и югу от экватора солярные температуры соответствовали наблюдениям. Передвигаясь к экватору, солярные температуры постепенно превышали наблюдаемые, а по направлению к полюсам были меньше. Причина заключалась в том, что воздушные и морские течения (влияние которых не учитывалось в теории) смягчают крайность солярных температур. На основании температур, полученных с помощью расчетов, была вычислена средняя приземная температура для всей планеты в целом. Ее значение, $15,2^\circ\text{C}$, оказалось только на десятую часть градуса выше значения температуры, полученной на основании многочисленных многолетних метеорологических наблюдений. Кроме того, теория предлагала возможность определить температуры на различных высотах: она демонстрировала, как температура атмосферных слоев снижается с высотой, но на высоте 10 530 м начинает медленно возрастать. Этот теоретический результат согласовывался с аэрологическими измерениями, а само явление получило название *инверсия температуры*.

Другая часть теории вела читателя сквозь время. Анализ вековых изменений астрономических параметров показал, как они меняли поступление солнечной радиации на отдельные параллели за последние 130 000 лет. С помощью климатологического анализа полученных таким образом результатов можно было установить, достаточно ли велики определенные изменения температур, чтобы вызвать значительные климатические изменения. Именно такое применение теории составляет основу палеоклиматологии и разрешает вопрос о наступлении ледниковых эпох. Эта часть получила самую большую известность в науке, поэтому в наши дни нередко под теорией Миланковича ошибочно подразумевают только такое применение его теории. Причину тому объяснил сам Миланкович: «Из моей теории кли-

мата прошлого Земли геологи получили в руки применимый на практике инструмент, который прекрасно послужил в деле исследования прошлого, и через такое использование моя теория получила полное значение... Из теории и практики появилось новое направление в науке, новое строение, в возведении которого участвовали многие»¹¹.

Третья возможность использования теории М. Миланковича на сегодняшний день может показаться самой интригующей. Если предыдущая звала читателя в прошлое, третья ведет его в просторы Вселенной. Теория Миланковича может быть применима как к Земле, так и к другим планетам с твердой корой. М. Миланкович рассчитал температуру на поверхности Меркурия, Марса и Луны. Его астрономическая теория вышла за границы Земли, став во втором десятилетии XX в. общей космической климатологией, дающей возможность точного расчета температурных условий на внутренних планетах Солнечной системы, а также определения толщины атмосферных слоев внешних планет.

Было бы понятно, если бы Миланкович начал исследования с самого ближнего объекта — с Земли, по которой он шагал и которую по природе вещей знал лучше всего. Но то, что человеку в жизни ближе всего, в науке может оказаться самым удаленным. Между ним и теоретическим исследованием земного климата встали облака, не допускающие однозначного применения математических теорий к атмосфере Земли. К примеру, атмосфера Марса прозрачна, и облака появляются крайне редко, таким образом, исследовать климат Марса намного легче, так как солярный климат почти что не отличается от фактического. Миланкович смог определить температуры поверхности Марса и нижних слоев его атмосферы, вывести уравнения годового и ежедневного изменения температур. Единственной проблемой, с которой он столкнулся, было незнание некоторых констант, характеризовавших атмосферу Марса. Поэтому он пытался вывести их значения из имеющихся наблюдений. В то время наблюдения стояли «на глиняных ногах», и расчеты Миланковича

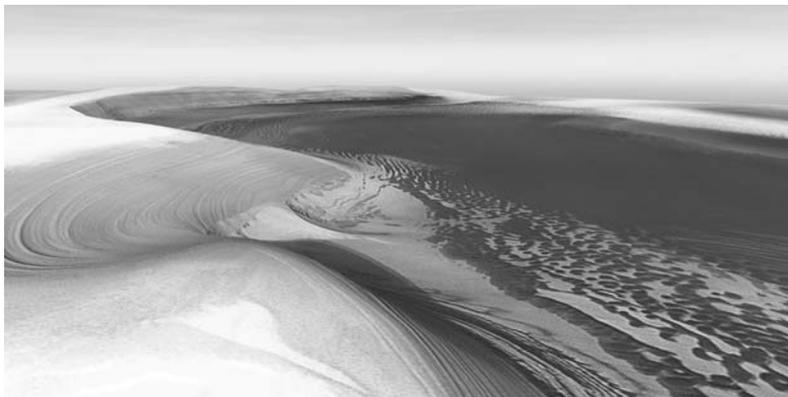
¹¹ Письмо Милутина Миланковича итальянскому палеонтологу Алберту Блану от 12. декабря 1949. *Чланци, говори, преписка*. Изabrана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 563.

не совпали с позднейшими измерениями. Но и помимо этого, М. Миланкович получил непреходящую космическую славу первого ученого, узнавшего о настоящих условиях жизни на красной планете. Ученый разделил проблему на две части — теоретическую и практическую. В первой части он теоретически описал законы, влияющие на тепловые условия в атмосфере Марса. Во второй, на основании установленных констант, Миланкович представил картину климатических условий на Марсе. Так, с высот небесной механики М. Миланкович первым спустился на Марс и, метафорически, установил на Марсе флаг сербской науки. В 1914 г. в издании «*Annalen der Physik*» он опубликовал работу, посвященную исследованию атмосферы Марса. В это же время Сербия вступала в Первую мировую войну¹². Публикация работы о планете Марс (а Марс, как известно, — это еще и античный бог войны) в момент начала военных действий кажется одним из мистических совпадений, которыми изобилует жизнь Миланковича. Достигая с помощью математики далеких планет, чтобы бросить взгляд в прошлое и подтвердить будущее, застигнутый военным вихрем, он не мог предвидеть следующий момент своей жизни на Земле. Эта антиномия от него не ускользнула. «Наука дала тебе, говорил я сам себе, средство, чтобы смотреть в будущее Земли, но твоя собственная судьба полностью от тебя сокрыта. Ты считал себя могущественным, не зная того, что уже осужден...»¹³

Миланкович установил средние температуры на поверхности Марса: на экваторе -3°C , на 30° -12°C , на полюсах -52°C . Средняя температура всей поверхности -17°C , что на 30°C ниже, чем на Земле. В летнее время в нижних слоях атмосферы она может возрасти до -10°C , но когда после захода Солнце быстро снижается. Согласно современным измерениям, средняя температура колеблется от -20°C до -50°C . В некоторых точках в середине лета по полудни она может достигать 22°C . На сегодняшний день считается, что циклы Миланковича имеют еще более сильное воздействие на Марсе, где нет уравнивающего влияния океана и где наблюдаются большие колебания наклона оси и эксцентricности.

¹² Milutin Milankovitch. *Ueber die Verringerung der Wärmeabgabe durch die Marsatmosphäre*. «*Annalen der Physik*», Vierte Folge. Band 44, 1914.

¹³ Миланкович М. *Кроз васиону и векове*. Београд, 2008. С. 220.



Снимок района Arsia Mons на Марсе



Увеличенный снимок действия циклов Миланковича
на Марсе

Кроме этого, М. Миланкович установил, что температуры Меркурия на солнечной стороне достигают от 300°C до 400°C , а температуры в противоположных точках приближаются к абсолютному нулю. Сейчас, когда эта планета ближе всего подошла к Солнцу, измеренные температуры составили от 467°C на солнечной стороне и до -183°C на темной. Хотя в астрономии до 1965 г. господствовало убеждение, что Меркурий всегда одной стороной повернут к Солнцу, разница между температурами, полученными Миланковичем, и эмпирическими температурами невелика¹⁴.

В то время также не были известны состав и толщина атмосферы Венеры, угол оси вращения и скорость вращения. Миланкович не мог физически добраться до поверхности планеты, но при помощи своей теории он смог определить пределы температур в верхних слоях атмосферы: от 25°C до 97°C со средним значением 67°C . Сейчас известно, что плотная атмосфера Венеры, состоящая в основном из углекислого газа, пропускает, но не возвращает так просто солнечное тепло, температура на ее поверхности поднимается до 450°C . Расчеты Миланковича, тем не менее, относительно точны, данные зонда «Магеллан» показали, что установленные им температуры наблюдаются в атмосферных слоях между 55-м и 45-м км.

М. Миланкович не оставил без внимания спутник Земли, где день и ночь сменяются каждые 15 (земных) дней. Для исследования температур на Луне Миланкович выбрал точку лунного полдня, в которой Солнце находится в зените. В этой точке минимальная температура на рассвете составляет $-153,8^{\circ}\text{C}$. В полдень (спустя 7,5 земных дней) температура составляет 97°C , спустя 24 земных часа достигает максимума $105,5^{\circ}\text{C}$. В сумерках она опускается до $-8,8^{\circ}\text{C}$. Теперь измерено, что предельные температуры составляют: на поверхности 107°C в течение дня и -153°C в течение ночи, что почти полностью соответствует данным Миланковича.

Исследование климата планет отличает М. Миланковича от других ученых, занимавшихся астрономической проблемой климата. Эти ученые пытались найти решение земной проблемы, не видя ее космических связей. Миланкович отважился в своей теории достичь внешних планет Солнечной системы. «Ис-

¹⁴ См.: Aleksandar Petrovich. *Milankovich — The Founder of Cosmic Climatology*. «Paleoclimate and the Earth Climate System». Belgrade, 2004. С. 199.

пользуя тот же способ, которым я пользовался для исследования термического строения праатмосферы Земли, я мог бы ответить на вопрос о толщине атмосфер внешних планет (если бы они находились в исследованной стадии развития Земли). В формуле, дающей нам высоту праатмосферы, появляется только газовая константа нагретого водяного пара и ускорение силы тяжести на поверхности планеты, а она нам известна для каждой планеты. Таким образом, я получил следующие числовые значения высоты атмосфер: Юпитер 220 км, Сатурн 530 км, Уран 610 км, Нептун 590 км»¹⁵.

Третья сфера применения теории сделала М. Миланковича первопроходцем в космической климатологии. Публикуя свои результаты, Миланкович считал, что его теория в целом закончена, а большая космическая мечта исполнена. Ставя свои исследования «на полку», он простился с этой работой и приступил к другой. После 10 лет преподавательской работы Миланкович изменил учебную программу по прикладной математике¹⁶. Курс рациональной механики был уменьшен, курс векторного анализа расширен, а в курсе теоретической физики устаревшая теория электрона Лоренца уступила место теории относительности Эйнштейна. Миланкович заинтересовался темой, занимавшей его еще в начале научного пути — теорией относительности. Он возвратился в ту точку, где остановился во времена первых исследований, но после 11 лет его подход стал более фундаментальным. На этот раз он рассматривал предмет через проблему двойных звезд. В то время все еще не стихли споры ее приверженцев и противников. Миланкович собрал все доступные

¹⁵ *Успомене*. С. 599.

¹⁶ В то время кафедра прикладной математики Миланковича стала «делиться»: «По моему предложению преподавателем рациональной механики назначен бывший преподаватель Одесского университета Антон Билимович, прекрасный знаток и научный работник. Уже осенью 1920 г. он начал преподавать предмет и снял с меня этот груз. Мне остались теоретическая физика и небесная механика. Спустя несколько лет, я оставил себе только небесную механику, так как тем временем молодой эмигрант из России Вячеслав Жардецкий сдал у нас докторский экзамен и был назначен доцентом теоретической физики. Он быстро стал ученым и в преподавательской карьере — ординарным профессором. Так, бывшая кафедра прикладной математики разделилась на три. Объем и научный уровень преподавания доказан нашими тремя опубликованными учебниками» (*Успомене*. С. 536).

научные работы, дополнил свои знания и без предубеждений стал рассматривать аргументы «за» и «против». Он познакомился с астрономией звезд, которая увела его вглубь Вселенной, за пределы Солнечной системы.

Миланкович изложил результаты исследований на заседании Королевской академии наук в июне 1923 г. В статье «*О другом постулату специјалне теорије релативитета*» («*О втором постулате специальной теории относительности*») он представил все основные идеи релятивистов и их противников, указывая на сильные и слабые стороны каждой¹⁷.

Отдельно М. Миланкович акцентировал свое внимание на скорости света, поступающего к нам от двойных звезд, которую сторонники теории относительности приводили в приложении к теории. Доказательство исходило из того, что двойная звезда является системой из двух звезд, обращающихся вокруг общего центра масс по эллиптическим орбитам. Допустим, луч зрения p находится приблизительно в плоскости их обращения и нормально расположен по отношению к дуге окружности, соединяющей противоположные концы диаметра орбиты двух звезд: для наблюдателя линейные скорости движения звезд будут меняться периодически в границах $-v_0$ и $+v_0$. В момент нахождения непосредственно на противоположных краях своих диаметров, они наблюдаются в своем истинном положении, линейные скорости их движения имеют противоположный знак, а направление — параллельно направлению распространения света, который до наблюдателя доходит по направлению p . На Земле установлено, что их свет имеет одинаковую скорость, из чего можно сделать заключение, что скорость движения источника света *не складывается* со скоростью света. Антирелятивисты быстро пришли к выводу, что это доказательство не может считаться абсолютно правильным, так как разница в скоростях может быть меньше предела точности измерений.

Миланкович в первую очередь вернулся к опыту Майкельсона-Морли и проверил результаты, которые можно было бы получить, если бы было верно мнение ряда ученых, утверждавших, что отрицательный результат опыта можно объяснить, если предположить, что эффект скорости источника света v выражен не простым

¹⁷ Опубликовано под заголовком «*О другом постулату специјалне теорије релативитета*». Глас Српске краљевске академие СХI. Београд, 1924. С. 6–52.

сложением со скоростью света c , а v^2/c , то есть очень небольшой добавкой, которая была бы ниже величины точности измерений в упомянутых наблюдениях двойных звезд. Если это правильно, то изменение наблюдаемой скорости (из-за небольшой величины v^2/c) было бы незаметно как изменение скорости распространения света, но, по расчетам Миланковича, было бы выражено как периодическое изменение света. Если бы каждая двойная система показывала это изменение, то вычисления показали бы, что она наиболее выражена у самых удаленных систем, имеющих небольшой период обращения вокруг центра тяжести.

Сделав такой вывод, он закончил работу, но спустя 30 лет опять вернулся к ней в одной из глав *«Воспоминаний»*. Миланкович только два раза обращался к этой теме в статьях, хотя она и оставалась для него привлекательной. В *«Воспоминаниях»* он упоминал, что факт изменения блеска двойных звезд-гигантов установлен, но полностью не объяснен; изменение блеска не установлено для таких звезд, расстояние между которыми слишком мало, или период слишком долог. «Благоприятные» условия имеет отдельный вид звезд, которые по своему главному представителю, Бета Цефея, называются цефеидами. Удаленность цефеид от Земли огромна, а время их вращения очень коротко. Миланкович пытался внутренним взором охватить глубину космоса, но это было последнее, что он смог сделать, работая над этой проблемой. «Я спросил себя, смог ли я с помощью своей формулы решить проблему цефеид и проникнуть в глубины Вселенной. Напрягая глаза, я вгляделся ввысь. Мне показалось, я понимаю, что там происходит, но у меня закружилась голова и забил озноб. С такой пощечиной я вернулся домой и провел всю ночь как в бреду. Но уже на следующий день я вернулся в состояние трезвого ученого»¹⁸.

Завершая написание *«Воспоминаний»* 9-го ноября 1956 г., Миланкович начал третью работу по этой теме *«О брзину распростра̀рања светлости»* (*«О скорости распространения света»*), оставшуюся неоконченной и неопубликованной. Жизненные силы покидали ученого. Путь исследователя он начал и закончил этой темой, которую можно считать вторым голосом в каноне его научной жизни, и показавшей, что глубины космоса более всего привлекали М. Миланковича и задавали тон его созиданию.

¹⁸ Успомене. С. 546.

5. НА ГРАНИЦЕ ВЕЧНОГО СНЕГА

ВСТРЕЧА С ВЛАДИМИРОМ КЁППЕНОМ

Вернуться в состояние «трезвого ученого» М. Миланковичу помогло неожиданное письмо от Владимира Кёппена, крупнейшего климатолога начала XX в.¹ Дочь ученого, Эльза Кёппен, вспоминала об отце: «Он всегда носил в кармане пиджака глобус, чтобы сразу же проверять приходящие на ум идеи»². Письмо пришло как раз в тот момент, когда Миланкович психологически отдалялся от работы над астрономической теорией климата, считая её завершенной.

М. Миланкович вносил необходимые поправки в учебный курс, занимался новыми научными темами. Труд *«Математичка теория топлотних поява проузрокованих Сунчевим зрачем»* (*«Математическая теория тепловых явлений, обусловленных солнечной радиацией»*), переведенный и изданный в Париже, был разослан представителям научного мира. На первых порах никаких существенных отзывов получено не было, молчали и геологи. Но в день осеннего равноденствия в 1921 г. Миланкович получил письмо, датированное 30 августа, с которым в его жизнь вошли будущие друзья и соратники — климатологи Владимир Кёппен и Альфред Вегенер. «Многоуважаемый господин профессор, — писал Кёппен, — только сейчас я нашел возмож-

¹ Владимир Петрович Кёппен родился в 1846 г. в Санкт-Петербурге. Императрица Екатерина II пригласила его прадеда из Мекленбурга в Россию в качестве лекаря, в Харькове он заведовал медицинской частью. Отец В. Кёппена, Петр Иванович Кёппен, — русский учёный, статистик, этнограф, библиограф, академик Петербургской академии наук (1843). Учебу В. П. Кёппен начал в Санкт-Петербурге и закончил в Германии, защитив диссертацию в Лейпциге в 1870 г. В 1872–1875 служил ассистентом в Главной физической обсерватории в Санкт-Петербурге, с 1875 по 1919 г. — в Германской морской обсерватории в Гамбурге.

² Else Wegener-Köppen. *Wladimir Köppen — Ein Gelehrtenleben*. Stuttgart, 1955. С. 136.

ность изучить Вашу книгу, которую Вы мне любезно отослали. Я восхищаюсь насыщенностью содержания и легкостью Вашего изложения и благодарю Вас за драгоценный подарок. Меня в первую очередь интересуют Ваши расчеты вековых изменений солнечной радиации, в которых Вы пришли к совершенно иным результатам, чем Шпиталер, так как он практически не учитывал изменения наклона эклиптики...»³

Тогда М. Миланкович не знал, что с этого письма начинается новый цикл развития его теории, который продлится почти что 20 лет. Миланкович и прежде был знаком с В. Кёппеном и А. Вегенером, так как периодически обменивался с ними публикациями. В его архиве хранилось письмо от В. Кёппена, датированное сентябрем 1922 г., которое свидетельствовало о том, что Кёппен внимательно изучал присланную книгу. Кёппен приступал к занятиям палеоклиматологией, и в первой статье по истории климата (1921) сделал следующее предположение: «Мы не можем утверждать, что... количество энергии, поступающей с Солнца на Землю, постоянно». Миланкович предложил Кёппену математический инструмент для изучения климата четвертичного периода и ледниковых эпох⁴. Кёппен писал Миланковичу, что главной причиной изменения климата на Земле должно быть изменение притока солнечной радиации, вызванное колебаниями астрономических параметров. Кёппен также отметил хорошую корреляцию результатов теории о ледниковых эпохах с результатами, полученными геологами в недавнем геологическом прошлом. Как раз в то время В. Кёппен и А. Вегенер работали над книгой «*Климатическое прошлое Земли*». В этой работе авторы представляли факты больших климатических изменений в геологическом прошлом, проверяли причины и объясняли механизмы этих изменений. Они столкнулись с проблемой притока солнечной радиации в различных географических широтах, которая в большой степени была решена Миланковичем в работе

³ Письмо Владимира Кёппена Милутину Миланковичу от 30 августа 1921 г. *Чланица, говори, преписка*. Изabrана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 474. Это письмо было ответом Кёппена на присланный М. Миланковичем экземпляр труда «*Математичка теория топлотних поява*» («*Математическая теория тепловых явлений*»).

⁴ Else Wegene-Köppen. *Wladimir Köppen — Ein Gelehrtenleben*. Stuttgart, 1955. С. 137.

по математической теории климата. Кёппен, опираясь на эту работу, объяснял чередование ледниковых и межледниковых эпох в четвертичном периоде. «Сам я, к сожалению, плохой математик и плохо справляюсь с формулами. Но еще хуже я как геолог, а это такие важные вопросы. Прошу о Вашей товарищеской помощи, которую Вы мне уже предлагали. И меня, и Вегенера устроило бы, если бы Вы написали отдельную главу по этим вопросам, которую бы мы внесли в нашу книгу без изменений»⁵, — так заканчивал Кёппен свое письмо.

Миланкович писал в мемуарах: «Я размышлял над ответом. Проблема ледниковых эпох интересна для нескольких областей науки. Небесная механика и Сферическая астрономия вместе с Теоретической физикой в состоянии проверить вековой приток солнечной радиации на Землю. Но последствия этой солнечной радиации относятся к области Климатологии, а свидетельства — предмет Геологии. Только при сотрудничестве этих наук можно полностью решить столь значительную проблему... Я спросил себя, что за счастливый случай тут вмешался? Кёппен — климатолог с мировой известностью, Вегенер — гениальный геофизик и знаток в области геофизики. И я понял: это была не просто случайность, а влияние событий, приведших к нашему триумvirату»⁶.

Теперь в распоряжении Милутина Миланковича были все необходимые области наук — и изучаемые на его кафедре, и те, которыми занимались В. Кёппен и А. Вегенер. Счастливый случай позволил соединить причину и следствие. Миланкович понял, что двое ученых приглашают его присоединиться к их борьбе за новую науку о Земле. Вопреки царящим в то время мнениям, Кёппен под влиянием Миланковича обратился к астрономической теории климата, понимая, что причины климатических изменений — в разной солнечной радиации, вызванной изменениями орбитальной геометрии. Миланкович не скрывал воодушевления, он чувствовал, что в таком сотрудничестве его работа получит новое сияние, ясное оправдание и цельный смысл, а астрономическая теория продолжит свое великое воз-

⁵ Письмо Владимира Кёппена Милутину Миланковичу от 20 сентября 1922 г. *Чланци, говори, преписка*. Изabrана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 478.

⁶ *Успомене*. С. 548.

рождение. В. Кёппен предложил ему рассчитать климатические изменения за прошедшие 650 000 лет (столько, согласно геологии того времени, продолжались ледниковые эпохи в прошлом). Со временем этот период был расширен: сейчас считается, что ледниковая эпоха плейстоцена началась около двух миллионов лет назад.

М. Миланкович принялся за расчеты векового хода солнечной радиации на верхней границе атмосферы за указанный период для параллелей 55°, 60° и 65° северной географической широты. В. Кёппен считал, что этот пояс является областью, в которой образуется начальное ядро оледенения. Опытный климатолог интуитивно понял, что внимание в первую очередь следует направить на летнюю солнечную радиацию, так как причиной начала расширения снежного покрова служат не холодные зимы, а холодные лета, когда тает не весь снег из предыдущей зимы. «Условия возникновения и роста материкового ледника часто понимаются неправильно. За его появление отвечают не холодные зимы, а холодные лета и относительно мягкие снежные зимы, то есть малое ϵ и большое $+e \sin P$. Затем надо обратить внимание на то, что феномен глетчера имеет свой порог: наступив, глетчер не проходит легко и быстро»⁷. В верности этого вывода В. Кёппен убедился, читая математическую теорию климата. «Группы (пары) экстремально высоких волновых берегов, которые кривая показывает при 70–120 000, 190–230 000, 430–470 000 и 550–590 000 лет соответствуют ледниковым периодам Вюрм, Рисс, Миндель и Гюнц. Очевидно, следует понимать, что образовавшийся тогда лед в следующие тысячи лет отступал, но его ядро оставалось, и приблизительно после 30 000 лет, в результате новых волн холодных лет и снежных зим, получало новый материал для расширения и толчок для распространения»⁸. «После исчерпывающего обсуждения всех обстоятельств,— писал Миланкович,— Кёппен нашел ответ на этот вопрос: для формирования глетчера решающее значение имеет снижение тепла летнего полугодия... К такому же результату пришел и я, но другим путем. Эта дорога... предложила мне исследование зависимости

⁷ Письмо Милутина Миланковича Владимиру Кёппену от 20 сентября 1922 г.

⁸ Там же.

между притоком солнечной радиации на Землю и границей снега. Большая заслуга Кёппена в том, что он указал мне настоящий путь и дал совет обратить внимание в расчетах на сезоны с холодными летами»⁹. Когда-то это уже было проделано Миланковичем в работе по математической теории климата, но теперь вместе с Кёппеном ему было легче идти по выбранной дороге.

М. Миланкович знал, что для необходимых В. Кёппену расчетов, уходящих на сто тысяч лет назад, нужно вводить переменные временные интервалы, так как астрономические времена года, разграничиваемые прохождением Земли через точки равноденствия, зимнего и летнего солнцестояния на орбите, имеют разную продолжительность, и, кроме того, из-за прецессии меняют свою продолжительность (пока общее количество дней в году остается неизменным). Поэтому Миланкович ввел понятие *калорических полугодий*, имеющих одинаковую продолжительность (184 дня, 14 часов, 54 минуты), и определил их границы: летнее полугодие — это период, в течение которого Земля каждый день получает большее количество солнечной радиации, чем в любой день зимнего полугодия¹⁰. На основании этого, при различных преобразованиях, выводятся простые уравнения для изменения количества тепла, полученного при солнечной радиации в летнем и зимнем полугодии на параллели географической широты φ (приведенное уравнение относится к Северному полушарию):

$$\begin{aligned}\Delta Q_s &= \Delta W_s \Delta \varepsilon - k \cos \varphi \cdot \Delta(e \sin \Pi_\gamma) \\ \Delta Q_w &= \Delta W_w \Delta \varepsilon + k \cos \varphi \cdot \Delta(e \sin \Pi_\gamma)\end{aligned}$$

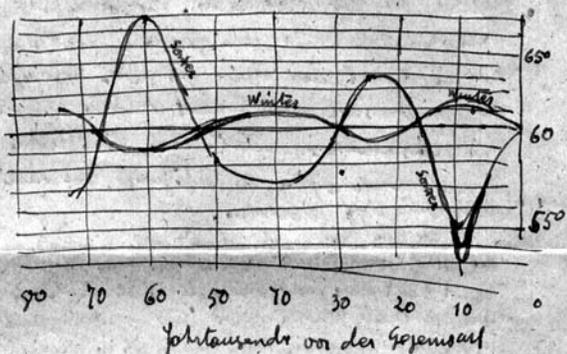
где $\Delta \Pi_\gamma$, $\Delta \varepsilon$, Δe — вековые изменения астрономических элементов, ΔW_s , ΔW_w — изменения солнечной радиации в течение летнего и зимнего полугодия, k — константа, одинаковая для всех параллелей.

⁹ Миланкович. М. *Канон осунчаваня Земле*. Избрана дела. Книга 2. Београд, 1997. С. 246.

¹⁰ Понятие калорических времен года, математическое действие определения их начала и конца (как и количества солнечной радиации, поступающей на отдельные параллели) Миланкович представил, обосновал и рассчитал в отдельной статье «*Калорична годишня доба и нихова примена на палеоклиматски проблем*» («*Калорические времена года и их применение к палеоклиматической проблеме*»), опубликованной в «Гласу СКА» (Вестнике Сербской королевской академии наук) в 1923 г., I разряд, 48. С. 1–30.

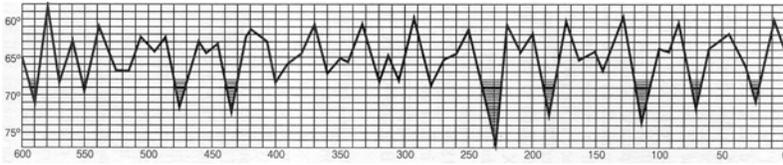
die Haupttrachte ist anzufangen, das wird sich im Laufe der Arbeit man
 der von sich selbst ergeben und erkennen.

Gleichzeitig ob ich mit $p=0.60$ od $p=0.75$ nehme, wird die
 Darstellung, die die Thesen zu unterbreite gedenke, vollkommener sein als
 jene in der Fig 22 (S 275) meines Werkes, den sie wird auch
 die Bestimmung zur Zeit des Winter solstiziums umformen (In
 der Fig 22 entspricht diese letztere weit am 70. Breitkreis diese Solst.
 halberbestattung Null ist). Diese Darstellung wird etwa folgende
 Form haben (Ich zeichne ganz willkürlich)



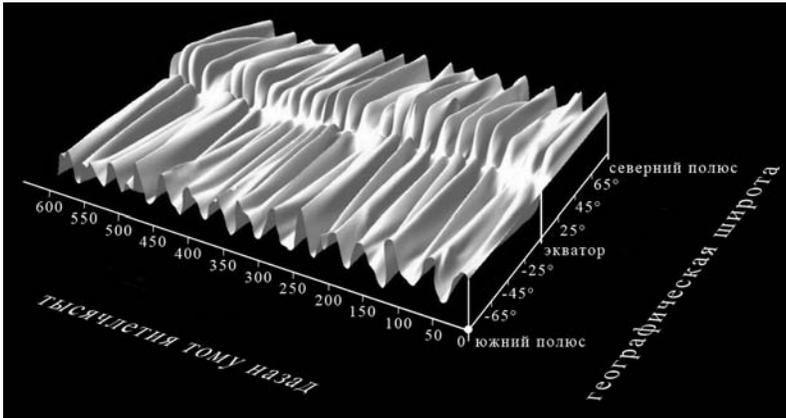
Aus dieser Figur würde z. B. folgen. In 10 Jahrtausend
 vor der Gegenwart hatte der 60. Breitkreis einen so warmen
 Winter dass nur seine Solstizhalberbestattung so unteren war
 wie jetzt am 53° und einen so kalten Winter dass
 deren Solstizhalberbestattung so gering war wie jetzt
 am 60° Grad. Der jährliche Gang der Bestattung in 10. Jhr
 tausend vor der Gegenwart kann demnach aus dem heutz
 gung erhalten werden wenn man ^{annimmt} voraussetzt dass die im
 Verhältnis gegen eine Stelle des 60. Breitkreises im Sommer bis
 nur 53. Grad in im Winter bis nur 60 Grad wandelte d. h.
 eine Differenz während des Jahres nur 7 Grad kleiner der
 pendelt. Wahrscheinlich würde sich das 60. Jahrtausend durch
 einen kalten Sommer und wärmeren Winter aus zeichnen. In 10. Jhr
 tausend wäre das Klima fast identisch mit dem gegenwärtigen

Рукопись М. Миланковича с первым рисунком
 кривой поступления солнечной радиации



Кривая инсоляции М. Миланковича.

Линия вдоль горизонтальной оси означает время, разделенное на десятки тысяч лет, вертикально приведены изменения в инсоляции в зависимости от географической широты



Трехмерная модель инсоляции Земли за последние 600 000 лет. Миланкович в «Каноне поступления солнечной радиации» точно показал ход инсоляции за последние 600 000 лет на 16 равноудаленных географических широтах в Северном и Южном полушариях. Он понял, что трехмерная модель наиболее оптимально представила бы сложную динамику инсоляции Земли не только для 16 географических широт, но и для всей поверхности Земли. Но проектирование такой модели превосходило средства, имевшиеся в распоряжении М. Миланковича. Согласно его руководствам, на основании таблицы XXV «Канона», мы создали модель, отображающую взгляд на своеобразную «топографию» поступления солнечной радиации за последние 600 000 лет

После длительных расчетов Миланкович получил достаточно ясную картину. «Мои расчеты показали, что для каждой из выбранных географических широт такое количество существенно

изменялось в течение веков. Несомненно, эти изменения должны были явственно отражаться на климатической картине Земли¹¹. По договоренности с Кёппеном, он решил зафиксировать результаты как в таблицах, так и графически в виде диаграммы. Диаграмма представляла собой кривую линию, идущую вдоль горизонтальной оси, обозначающей время, поделенное на десятки тысяч лет, а вертикально были приведены изменения солнечной радиации как видимое перемещение географической широты: параллель, к которой относилась кривая, в течение похолодания «смещалась» в направлении полюсов, а при таянии — в направлении полушарий. Таким образом, появилась известная «кривая инсоляции», которая показала, что количество летней инсоляции¹² в течение последних 650 000 лет неравномерно осциллировало. Например, 65 параллель «гуляет» в направлении север-юг в пределах более 20°. «Рассматривая эту кривую, мы видим, что летняя инсоляция для параллелей от 65 градуса (и это касается остальных двух параллелей), существенно уменьшилась за 589, 548, 475, 434, 231, 187, 116, 72 и 22 тысячи лет до современности. Это были времена холодных летних полугодий»¹³.

В. Кёппен был более чем доволен полученным результатом. В частях кривой, где она показывала ярко выраженные минимумы, он опознал четыре ледниковые эпохи, которые, в соответствии с датировкой геологических находок на территории Альп, разграничили А. Пенк и Э. Брикнер. «Периоды ледниковых и межледниковых эпох четвертичного периода по Пенку и схема облечения по Миланковичу, полученные совершенно разными методами (геологическими изысканиями и астрономическими расчетами), оказались настолько схожи, что Кёппен высказал однозначное мнение о том, что четыре Альпийские ледниковые эпохи нашли отражение в кривых облечения (инсоляции) Миланковича»¹⁴. Этот вклад Миланковича опубликован, по договоренности в Кёппеном, как отдельная глава в книге *«Климаты геологического прошлого»*, вышедшей в 1924 г. Международная

¹¹ Упомене. С. 551.

¹² Инсоляция — insolation: **incoming solar radiation** — приток солнечной радиации.

¹³ Там же. С. 625.

¹⁴ Else Wegene-Köppen. *Wladimir Köppen — Ein Gelehrtenleben*. Stuttgart, 1955. С. 138.

известность В. Кёппена привлекала широкое внимание и к результатам исследований Миланковича, оказавшимся в центре научных дискуссий.

Соответствие кривой ледниковым периодам регионов Альп было невероятно точным¹⁵. Такое же соответствие проявилось при сопоставлении кривой с данными, полученными геологом Вольфгангом Сергелем, исследовавшим следы ледниковых эпох в долине рек Ильм и Сале в районе Веймара в Германии и опубликовавшим первые результаты также в 1924 г., незадолго до выхода книги В. Кёппена, А. Вегенера и М. Миланковича. Он тепло благодарил Миланковича за книгу о математической теории климата, полученную от него в подарок, и воодушевленно писал: «Я рад еще одному подтверждению, нашедшему отражение в кривой солнечной радиации. Результаты Вашей работы, с которыми я впервые познакомился в книге Кёппена, оказались для меня откровением и сатисфакцией, так как за год до этого, когда я выступил с идеей об одиннадцати ледниковых эпохах, я оказался один посреди широкого поля. Теперь, с появлением Вашей книги и книги Эберля, я получил поддержку»¹⁶. К Миланковичу как будто потянулись все европейские ученые, занимавшиеся климатологией. Они нашли, наконец, в его теории недостающую твердую опору. Немецкий геолог Бартель Эберль, проводивший исследования в верхнем течении Дуная, где он обнаружил следы гляциации, превышающие 650 000 лет, через Кёппена направил Миланковичу просьбу продлить кривую инсоляции до миллиона лет, что тот и сделал в начале 1927 г. Несколько позднее было установлено, что для этого периода теоретические результаты совпадают с геологическими исследованиями. Все это было «на руку» теории, многие геологи заинтересовались кривой инсоляции, в основном, для датировки находок. Идея применять астрономические «часы» для установления даты земных событий принадлежала еще Дж. Кролю. Вопреки отдельным автори-

¹⁵ Хотя позднее Гюнц, Миндель, Рисс и Вюрм отрицали существование ледниковых эпох, теория Миланковича постепенно стала получать и другие подтверждения.

¹⁶ Письмо геолога Вольфганга Сергея Милутину Миланковичу от 24 января 1931 г. *Преписка са великанима науке*. Изабрана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 624.

тетным противникам, астрономическая теория принесла победу, о которой мечтал М. Миланкович.

Но работа на этом не закончилась. Во второй половине 1927 г. В. Кёппен предложил М. Миланковичу написать главу о своей теории солярного климата в капитальном труде в пять томов «*Handbuch der Klimatologie*», под редакцией В. Кёппена. Первая часть работы о теории солнечной радиации повторила работу Миланковича, написанную в Будапеште в 1917 г. Но так как исследования в «*Handbuch der Klimatologie*» касались только климатологии Земли, слово «планета» в первоначальном тексте было заменено на слово «Земля». Это был еще один поворотный момент, после которого в центре теории Миланковича постепенно оказывается Земля и изменения земного климата. В то время космическая климатология еще находилась в зачаточном состоянии. Кроме Кёппена, от климатологов никаких предложений не поступало, и с тех пор Миланкович стал заниматься подробным исследованием климата Земли.

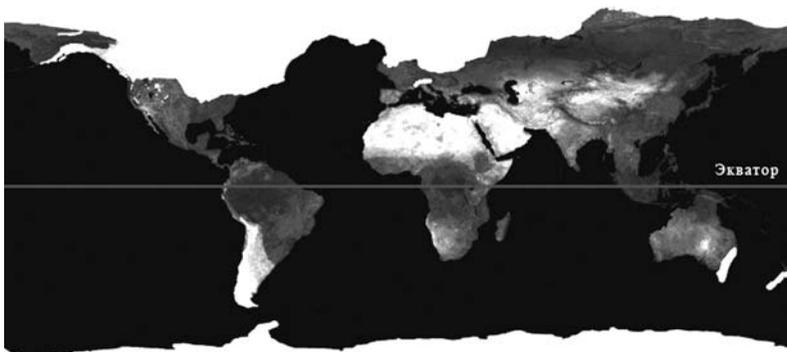
Во второй части главы в «*Handbuch der Klimatologie*» рассматривалось влияние атмосферы на приток солнечной радиации на Землю, в третьей, названной «*Астрономическая теория климатических изменений*», Миланкович существенно дополнил и изменил статью, написанную в 1917 г. Были заново рассчитаны вековые изменения астрономических элементов движения Земли за последние 600 000 лет. На этот раз он использовал формулы Леверье, более точные, чем формулы Стокуэлла. С помощью этих формул можно было вычислить наиболее точные значения массы планет. Этой выдающейся работой занялись Воислав Мишкович, руководитель Астрономической обсерватории в Белграде, молодой математик Драгослав Митринович и Станимир Фемпл, ставший позднее видным университетским преподавателем. Три года длилась работа по этим расчетам, представленным в окончательном виде в таблице IX «*Канона солнечной радиации*». Получив эти результаты, Миланкович проводил расчеты вековых изменений притока солнечной радиации для отдельных параллелей в поясе от 5° до 75° географической широты в обоих полушариях. Кривая, начерченная на основании полученных данных, отличалась от предыдущей не намного — то же количество максимумов в тех же точках временной шкалы,

единственное различие было в интенсивности подъема, но это не меняло общую картину климатических изменений. «Это сравнение показало мне, что для нужд геологии можно применять астрономический расчет климатических изменений и для более долгих временных периодов, что я и сделал в *"Handbuch der Klimatologie"*, например, для периода в миллион лет для геологических исследований Эберла»¹⁷. Миланкович четко определил «миллион лет» как критический временной интервал, так как и само изменение вековых параметров изменчиво.

Хотя расчеты Миланковича получили признание, как и выводы о связи между солнечной радиацией и климатом, сделанные вместе с В. Кёппеном и А. Вегенером, вопрос, поставленный еще Дж. Гершелем, а после него и многими другими учеными, все еще витал в воздухе: только ли изменчивая солнечная радиация Земли могла вызвать большие климатические изменения, или существовал дополнительный фактор? Как и Дж. Кроль, М. Миланкович в модели солярного климата не учитывал изменения океанических течений. Миланковичу была близка другая идея Кроля о связи между высотным положением границы вечного снега и средней температурой, которая опять зависела от поступления солнечной радиации на определенную территорию. Если солнечная радиация, как утверждает теория, влияет на среднюю температуру рассматриваемой параллели, она также будет соответствовать границе вечного снега на той же географической широте. Необходимо было найти математическую связь границы снега с солнечной радиацией.

Если поверхность Земли уравнена, как при расчете солярного климата, высотное положение границы вечного снега зависит только от географической широты. Эта граница — проложенная через атмосферу изотермическая поверхность, проходящая через все точки средней температуры летнего полугодия, при которой в течение этого полугодия тает весь снег, скопившийся на такой высоте в течение зимнего полугодия. Из этого следует, что высотное положение границы вечного снега зависит от общего количества солнечного тепла, получаемого определенной параллелью в течение калорического летнего полугодия.

¹⁷ Успомене. С. 645.



Карта Земли в последнем гляциальном максимуме около 21 000 лет назад. Линия экватора разделяет Землю на неравные материковые массы

М. Миланкович имел в распоряжении данные исследований В. Кёппена о высотном положении современной границы вечно-го снега на всех географических широтах, а также свои расчеты общего количества солнечного тепла, получаемого отдельными параллелями в течение зимних и летних калорических полугодий. Связывая эти данные, он сумел математически выразить зависимость границы снега от солнечной радиации. Перенося эту зависимость на временную шкалу, Миланкович превратил таблицы вековых изменений солнечной радиации Земли в таблицы вековых изменений их самого важного климатического последствия — смещения границы вечно-го снега, или расширения и сокращения белых поверхностей. Белый цвет отражает поступающую радиацию намного сильнее, чем любой другой цвет, например, коричневый, зеленый, желтый, синий, а это — цвета земли и океана без снега и льда. По мнению Миланковича это обстоятельство создавало необходимое дополнительное климатическое воздействие.

Если можно рассчитать изменения границы вечно-го снега во времени, тогда возможно рассчитать и изменения поверхности под ним. Такие поверхности отражают наибольшую часть поступающей радиации, возвращая ее назад во Вселенную

и дополнительно снижая тем самым нагревание Земли и приземного воздуха. В качестве меры такого отражения используется латинское слово «альbedo» (лат. *albus* — белый), характеризующее отражательную способность поверхности. При распространении льда Земля становится подобна зеркалу, практически полностью отражающему получаемое излучение. Когда из-за увеличивающегося альbedo и уменьшающейся солнечной радиации граница вечного снега смещается ниже, становится больше общая поверхность Земли, покрытой снегом. Таким образом, дополнительно снижается общее количество солнечного тепла, получаемого земной поверхностью на конкретной параллели, что еще ниже смещает границу вечного снега.

И наконец, Миланковичу предстоял расчет дополнительной потери теплоты из-за отражательной способности белой поверхности. Если последняя известна, то расчеты оказываются совсем простыми, однако на тот момент была получена отражательная способность только в рамках видимого, светового излучения, но не длинноволнового, теплового. «Я думал, что не смогу довести свои расчеты до конкретных числовых результатов. Но именно в те дни отчаяния, летом 1933 г., пришла посылка из Парижа со статьей Жозефа Дево, молодого ученого, который вскоре погиб в полярной научной экспедиции. В статье Дево сообщал результаты своих исследований тепловой отражательной способности снега и льда на глетчерах Пиренеев, Альп и Гренландии. В этой статье я нашел надежные данные для моих расчетов и смог их выполнить»¹⁸.

Имея все необходимые данные, Миланкович быстро получил картину векового течения инсоляции и ее климатических последствий, что позволяло ему объяснить происхождение ледникового периода. Он начертил новые кривые солнечной радиации, учитывающие возвратное охлаждающее действие снежного покрытия и отличающиеся от прежних кривых более выраженными амплитудами. Миланкович завершил свою работу двумя статьями, опубликованными в 1937 и 1938 гг. в Вестнике и Бюллетене Сербской королевской академии наук¹⁹.

¹⁸ Успомене. С. 674.

¹⁹ Миланкович М. *Нови резултати астрономске теорије климатских промена*. Глас СКА, 1937, CLXXV. Први разред, 86. С. 3–41; *Neue Ergebnisse des*

М. Миланкович разрешил важную проблему астрономической теории климата. Геология нашла доказательства одновременного распространения ледяных масс в Северном и Южном полушариях. Это была действительно серьезная проблема, так как, согласно теории Ж. Адемара и Дж. Кроля, рост инсоляции в одном полушарии сопровождался более слабым излучением в другом. Из этого следовало, что наступление ледниковых эпох чередуется в Северном и Южном полушариях. Миланкович, напротив, установил, что ключевое значение имеет инсоляция в Северном полушарии, так как на это полушарие приходится большая часть материковой массы, а Южное, в основном, покрыто океанами, где не может скапливаться снег. Северное полушарие неизбежно «ведет» в ледниковую эпоху Южное полушарие, которое, из-за меньшей массы, быстрее покрывается льдом. Рассчитав кривую солнечной радиации и для Южного полушария, Миланкович получил ясную картину.

«В Северном полушарии последний дефицит притока солнечной радиации достиг своего максимума 25 000 лет назад, а в Южном — 30 000 лет назад. Если иметь в виду, что периоды холода длились 10 и более тысяч лет, можно заметить, что 25 000 лет назад ледниковый период наступил в обоих полушариях Земли. То же относится и к периодам холода, случившимся в Южном полушарии 600, 560, 485, 444 тысячи лет назад, родственными таким же периодам, наступившим в Северном полушарии 590,3, 550, 475,6, 435 тысяч лет назад. Таким образом, опровергнуто последнее нареkanie к моей теории, а именно, что она не объясняет одновременное оледенение обоих полушарий. В остальном, геология со своими исследовательскими методами вообще не в состоянии определить временные точки более древних фаз периодов ледниковых эпох с точностью в тысячу лет, не говоря уже о том, что ей бессмысленно вести на этой почве войну с астрономией»²⁰.

Больше не было сомнений в том, что вся Земля периодически входит в ледниковые эпохи. В прошлом веке было установлено, что существовал целый ряд ледниковых периодов

astronomischen Theorie der Klimaschwankungen. «Bulletin de l'Academie Royale Serbe», 1938, 4. С. 1–41.

²⁰ Миланкович М. *Канон осунчаваня Земле*. Книга 2. С. 317.

продолжительностью десятки тысяч лет, сменявшихся периодически теплыми периодами аналогичной продолжительности. Было установлено, что периоды формирования и таяния огромных наслоений льда имеют определенную продолжительность, и все эти эпизоды вместе составляют одну ледниковую эпоху. Сейчас ледниковой эпохой называют всю эпоху масштабного колебания климата, которая может продлиться десятки миллионов лет. Эпоха схожим образом неоднократно повторялась в геологической истории и заканчивалась, когда климатические колебания успокаивались, а лед «отползал» на вершины самых высоких гор. Так стало ясно, что сейчас мы живем в межледниковом периоде ледниковой эпохи, называемом плейстоценом, который, вместе с одноименным геологическим периодом, начался около 2 000 000 лет назад.

Когда М. Миланкович начал заниматься влиянием солнечной радиации на климат планет, все это еще не было известно. Его расчеты касались чередования гляциаций и интергляциаций в пределах последней ледниковой эпохи, так как он сам обратил внимание на то, что кривая инсоляции не может быть рассчитана с удовлетворительной точностью для периода более миллиона лет. Возможно, Миланкович изменил бы свое мнение, если бы знал о возможностях компьютера, но может быть и нет, так как «было установлено, что движение всех, особенно внутренних планет, в своей основе хаотично, и экспоненциальная дивергенция решения увеличивает ошибку на один порядок величины каждые десять миллионов лет. Тогда окончательно стало ясно, что невозможно получить астрономические решения высокой точности, необходимые для палеоклиматических исследований, для периода более нескольких десятков миллионов лет. Позднее Ласкар подтвердил эту точку зрения, говоря, что, взяв период, превышающий 100 миллионов лет, безнадежно искать точные решения для орбитальных параметров внутренних планет — Меркурия, Венеры, Земли и Марса»²¹. Кроме того, все палеоклиматические расчеты во многом зависят от моделей климатической динамики. «Расчеты климатической чувствительности при помощи численных моделей нельзя назвать надежными, так как

²¹ Кнежевич З. *Милутин Миланкович, астроном*. Стваралаштво Милутина Миланковича. Београд, 2008. С. 73.

разные процессы, например, таяние льда, могут быть рассчитаны лишь с приблизительной точностью; и более того, численным интегрированием невозможно достичь равновесия»²².

Независимо от жизни на Земле, ее климат колеблется от очень холодного до очень теплого и обратно. В начале последнего оледенения в нескольких точках материка началось формирование центров оледенения. Лед не спускался равномерно от полюсов к экватору, а распространялся из центров, находившихся значительно ниже, на 65° географической широты. В поясе около этого градуса, в определенных местах Евразии и Северной Америки начинал скапливаться снег, не успевавший таять во время прохладных летних периодов. Уплотнившись под тяжестью нового снега, выпадающего в последующие зимы, он превращался в лед, который скапливался и постепенно распространялся во все стороны. В Европе такое ядро оледенения сформировалось в Южной Скандинавии и области Балтики, а лед распространился по территории Финляндии, северу России, Польши, Германии, а также на Британские острова. Небольшая ледяная шапка, сформировавшаяся в вершинах Альп, спустилась и покрыла Швейцарию, Австрию, Северную Италию и часть Франции.

²² Месингер Ф. *Милутин Миланкович као родоначелник математичко-физичког приступа изучаваню климе Земле*. Стваралаштво Милутина Миланковича. Београд, 2008. С. 51.

ОТ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ ДО КАНОНА ПРИТОКА СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Милутин Миланкович подытожил изучение климатических изменений классическим трудом из области климатологии — «Канон осунчаваня Земле и негова примена на проблем ледених доба» («Канон инсоляции и его применение к проблеме ледниковых эпох»)¹. Это самый фундаментальный и наиболее известный труд Миланковича, в котором он смог «решить проблему в полном объеме и создать математическую теорию, при помощи которой стало возможно рассматривать действие солнечной радиации во времени и пространстве»². На покоренной вершине требовалось символически поставить флаг, свидетельствующий о проделанной работе. Миланкович решил объединить все свои научные исследования, рассыпанные в многочисленных публикациях, в книге об астрономической теории климата. Для него эта книга была не просто монографией, но зеркалом жизни и пройденного научного пути. М. Миланкович начал собирать результаты тридцатилетнего труда, опубликованные в 32 работах, зная, что завершает самый плодотворный цикл своей жизни.

Книга не содержит новых теорий. По словам Миланковича, в его книгу вошли самые важные результаты, «расширенные и дополненные». Таким дополнением можно считать дальнейшую векторную обработку небесной механики (получившую окончательную форму в труде об астрономической теории климатических изменений)³ и более точное соотношение теории смещения

¹ Инсоляция — insolation: incoming solar radiation — приток солнечной радиации.

² Миланкович М. *Канон осунчаваня Земле*. Избрана дела. Книга 1. Београд, 1997. С. 89.

³ Миланкович М. *Астрономска теорија климатских промена и нена примена у геофизици*. Београд, 1948.

полюсов с астрономической теорией климата, отражающее причины, по которым между пермь-карбоном и плио-четвертичным периодами не возникали ледниковые эпохи. Ощущение *déjà vu* могло подтолкнуть к мысли о том, что главная цель книги — биографическая, историческая или энциклопедическая. Но не эти скромные задачи ставил автор, ставший победителем в научной борьбе. Невозможно забыть дискуссии с А. Пенком, олицетворявшие глубину конфликта научных достижений Миланковича с геологией того времени. «Пенку лишь оставалось признать правильность моих таблиц, что он и сделал с большим великодушием, назвав мои таблицы “настоящим каноном вековых изменений поступления солнечной радиации на Землю за прошедшие 600 тысяч лет”. Пенк писал, что “в приведенных в таблицах цифрах отражается не только правота сделанных предположений, но и правильность чисел, при помощи которых был получен необычайно важный материал”»⁴. Ученик Альбрехта Пенка Ганс Шпрайцер, преподаватель в университетах в Граце и Праге, свидетельствовал, что его учитель перед смертью согласился и с разделением ледниковой эпохи Вюрма в соответствии с расчетами и предположениями М. Миланковича.

А. Пенк в работе М. Миланковича вычленил канон, что раньше ускользало от самого автора, рассматривавшего свой труд как теорию. В начале Миланкович намеревался назвать свою самую главную книгу «*Астрономские основы геохронологии*» («*Астрономические основы геохронологии*»), что четко указывает на то, что основная идея автора заключалась в применении теории в качестве календаря ледниковых эпох. Это была выраженная языком математики история притока солнечной радиации на Землю. Но теперь, когда сдался его основной противник, Миланкович понял, что одной теории не достаточно. В последней работе теория должна была вырасти в канон. Так, главный теоретический противник Миланковича дал заглавие делу его жизни, которое и теперь находится на вершине современной науки.

Труд М. Миланковича стал принимать форму, о которой он даже и не догадывался. Он прекрасно понимал, что в литературе по астрономии (и не только в ней) означает слово «канон». «Это документы, подобные церковным книгам, содержащие

⁴ Успомене. С. 700.

неопровержимые истины. Венский астроном Теодор Оппольцер так назвал свою работу, в которой изложил результаты расчетов дат всех солнечных и лунных затмений, которые, согласно законам небесной механики, должны были произойти за прошедшие три тысячи лет до нашей эры и произойдут в будущем. Книгу Оппольцера используют историки для точной датировки зафиксированного в древнем документе события, произошедшего во время солнечного затмения. Так, например, удалось установить, что битва на реке Галисе между лидийцами и мидянами, которая, согласно Геродоту, была прервана затмением Солнца, вселившим страх и трепет в противоборствующие стороны, состоялась 28 мая 585 г. до н.э. Поставив мою работу в ряд таких Канонов, Пенк торжественно признал мой труд»⁵.

Теперь это был не просто обычный, датирующий события календарь, а каноническая книга о событиях, которые происходили и будут происходить *всегда*, в прошлом и будущем. Осознавая значение своего труда, Миланкович работал целый год, придавая целостную форму тому, что когда-то было только его теорией. Его поддерживали слова тех, кто понимал, о чем идет речь. «Чудесный успех дела Вашей жизни, которое теперь предстало перед нами как отдельная новая глава в точных науках, — триумф, данный не многим»⁶. Книга состоит из шести частей: «*Обращение планет вокруг Солнца и взаимные помехи при таких обращениях*»; «*Обращение Земли*»; «*Вековые изменения полюсов вращения Земли*»; «*Приток солнечной радиации и его вековые изменения*»; «*Связь между солнечной радиацией, температурой поверхности Земли и атмосферы*»; «*Ледниковая эпоха, ее механизм, периоды и хронология*». Уже с первого взгляда становится ясно: автор не рассматривает климат других планет, а полностью сосредоточен на Земле, о чем свидетельствует и полное название книги: «*Канон осунчаваня Земле и негова примена на проблем ледених доба*» («*Канон притока солнечной радиации на Землю и его применение к проблеме ледниковых эпох*»).

⁵ Успомене. С. 701.

⁶ Письмо геолога Бенефициата Эберля Милутину Миланковичу от 17 февраля 1938 г. *Преписка са великанима науке*. Изабрана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 655.

Такой «Канон» является апологией и высшей формой астрономической теории изменения климата, с его помощью мы способны понять космическую причину изменения земных тепловых условий. Канон показывает, что ледниковые эпохи, периодически наступающие на нашей планете, являются следствием вековых колебаний солнечной радиации, вызванных изменениями орбитальной геометрии. Канон основан на прочном, математически выраженном соотношении небесной механики, теоретической физики и астрономии сфер, с одной стороны, и геологии, метеорологии и других наук о Земле, с другой; иными словами, он зиждется на строгой математической связи точных и дескриптивных наук. Таким образом, «Канон притока солнечной радиации» представляет единую климатическую теорию, которая может быть эмпирически опровергнута.

Первые три части «Канона» посвящены следствиям Закона притяжения Ньютона и теоремам астрономии сфер, следующие три — следствиям закона излучения. Такая структура отражает мысль, которая вела Миланковича сквозь десятилетия его исследований. «Каноном» ученый закончил большое дело, если так можно выразиться, астрономической инженерии. «Претерпев все изменения, эта работа, базирующаяся на фундаменте точной науки, входит в область дескриптивных наук, строя, таким образом, мост между точными и дескриптивными науками, налаживая связь (которой ранее не существовало) между небесной механикой и геологией». Из этой последней фразы предисловия к «Канону», написанной в марте 1941 г., всего за несколько недель до падения на Белград *furor teutonicus* (*ярости тевтонцев*. — Прим. перев.), видно, что Миланкович построил самый большой мост в своей жизни и один из крупнейших — в науке XX в. М. Миланкович писал: «Как результаты расчетов произошедших затмений называют “каноном затмений”, так и результаты моих расчетов можно назвать “каноном притока солнечной радиации”»⁷.

Оглянувшись назад, М. Миланкович мог заметить, что замыслы его научной работы совпадали с великими историческими колебаниями — войнами. В 1912 г. была объявлена Первая

⁷ Миланкович М. *Канон осунувания Земле*. Изабрана дела. Книга 1. Београд, 1997. С. 100.

Балканская война, в которой Королевство Сербия, спустя века, победило Турцию и отбросило ее на самые дальние рубежи Балкан. М. Миланкович участвовал в этой войне в рядах сербских войск. В 1914 г. он начал работу над своей первой книгой, продолженной во время Первой мировой войны и законченной непосредственно после ее окончания. И, наконец, сам «*Канон притока солнечной радиации*» должен был выйти из печати как раз в тот момент, когда Королевство Югославия вступало во Вторую мировую войну.

Содержание «*Канона*» М. Миланкович представил Академии наук на съезде, состоявшемся 27 марта 1939 г. Было принято решение отдельно издать работу на немецком языке. Это было нелегко, так как графическая подготовка книги, полной математических формул, числовых таблиц и геометрических чертежей, превосходила технические возможности типографий. Проблему решил профессор А. Билимович, снабдив типографию необходимым материалом для математических формул. Но этого материала оказалось достаточно только для нескольких печатных листов. Гранки рассыпались при наборе последующих листов. Еще большей проблемой было то, что автор имел только конспект, а не рукопись, готовую для печати.

Завершая дело своей жизни, настоящее *summa climatologiae*, Миланкович чувствовал приближение войны. В дневнике он записал: «Пятнадцатого марта 1939 г. немцы вошли в Прагу; 1 сентября 1939 г. Германия напала на Польшу; 3 сентября 1939 г. Англия и Франция объявили войну Германии; 10 мая 1940 г. — мощное немецкое наступление на Западном фронте; 10 июня 1940 г. Италия вступила в войну; 14 июня 1940 г. немцы вошли в Париж; 27 марта 1941 г. король Петр II созвал новое правительство. Этими записками я зафиксировал известные великие исторические события, свидетельствующие, в какие времена я писал свою работу, что не требует дальнейших объяснений». Нельзя было ожидать завершения всей рукописи полностью для передачи в типографию. Миланкович передавал первый лист в печать и заканчивал другой. Почти что ежедневно он ходил в типографию и смотрел, как идут дела. Однажды, вернувшись из типографии, он написал: «Длинная вереница молодых людей и девушек, среди которых я увидел и своих студентов, пересекла

мой путь. Воодушевленные, они кричали: “Лучше война, чем пакт!” Я про себя подумал: “Чуден наш народ!” Уже второй раз я вижу, как он радуется войне, как будто собираясь в сваты!» Миланкович пережил несколько войн и знал, что за дождь несут тучи. Понимая неповторимость своей работы, 29 марта он передал рукопись «Канона» секретарю Академии наук для хранения в сейфе. В то же время он спешил закончить следующую главу до печати предыдущей, чтобы типография не ждала. Он работал без отдыха и перерывов. Рядом с ним были верные соратники, русские ученые Антон Билимович и Вячеслав Жардецкий, руководившие работой типографии и занимавшиеся корректурой. Работа продвигалась, но приближалась и война⁸.

Последовавшие события М. Миланкович описал в нескольких работах, но наиболее категоричным он был в письме Бену Гуттенбергу. «Книга “Канон осунчаваня Земле и негова примена на проблем ледених доба” была готова 2 апреля 1941 г. В тот день я представлял себе напечатанные, но еще не переплетенные листы моей работы, готовые к отправке в переплетную. Но когда я, после налета немецкой авиации, 6 апреля отправился в типографию, она была разрушена. Развалины схоронили под собой мою работу. Только спустя два месяца ее смогли откопать. Из-за обрушения здания и дождей последние листы, лежавшие наверху, были повреждены. Их пришлось отпечатать заново, на желтоватой бумаге. Как вы заметили, книга несет печать своей судьбы»⁹.

Печать судьбы, о которой говорил Миланкович, оставила в книге свой «геологический слой» — слой исторического затмения, легко читаемого сквозь темную бумагу последних листов. «Странный случай», сказал бы Миланкович, сделал так, что книга *mutatis mutandis* (с изменениями, вытекающими из обстоятельств — *Прим. ред.*) отражает свое содержание¹⁰. Шестого

⁸ См. об этих и других русских ученых, продолживших после Октябрьской социалистической революции жизнь и работу в Сербии, в сборнике «Российско-сербские связи в области науки и образования XIX — первая половина XX в.» (отв. ред. Э. И. Колчинский и А. Петрович). РАН, СПб филиал Института истории естествознания и техники, Университет г. Крагуевац. СПб, 2009.

⁹ Письмо Милутина Миланковича геофизику Бену Гуттенбергу от 22 апреля 1948 г. Переписка са великанима науке. Изабрана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 655.

¹⁰ Скорее всего, он вспомнил латинское выражение *Habent sua fata libelli* (книги имеют свою судьбу).

апреля 1941 г. книга пережила первое воскресение из огня и пепла. Вероятность, что рукопись не сгорела в разбомбленной типографии, была очень мала. Бомба, сброшенная в тот же день на Народную библиотеку, сожгла в пожаре сотни тысяч книг. «Канон», таким образом, стал символом победы созидания над разорением, света разума — над тьмой, символом вечной жизни, рождающейся из огня. Трудно представить, чтобы разочарованный Миланкович после войны нашел бы силы заново подготовить рукопись для печати. Даже если бы и нашел, упущенное время невозможно было бы вернуть, «Канон» потерял бы подходящий момент для появления на свет. И хотя было начало войны, это не помешало Миланковичу разослать свою работу, опубликованную на немецком языке, знакомым во всем мире. Вопреки хаосу, труд Миланковича занял свое место среди самых значительных научных работ XX в. «Господин Сергель рассказал мне, что господин Цинк (он посетил Вас в Белграде, но погиб после этого) послал ему какой-то большой пакет; ему показалось, что в нем лежат малозначительные бумаги, поэтому пакет его не заинтересовал. Совсем случайно мне пришло в голову, что в пакете находится Ваш новый труд, и я его у него позаимствовал... Во всяком случае, я хотел бы выразить Вам свою радость по случаю такой успешной работы; это поистине венец Вашей работы, связывающей все, что Вы написали раньше, в одно целое, и предлагающей много нового!»¹¹

Но последующий путь книги, родившейся из пепла, был нелегким. Еще в 1930-е гг. теория пережила все виды критических замечаний. Геолог Бремман, ссылаясь на А. Пенка, писал: «Надеюсь, что кривая инсоляции Миланковича однажды и навсегда будет исключена из ряда объяснений ледниковых эпох». Миланкович не отвечал на такие замечания: «Моей теории выдвигались претензии, которые оказались лишь ошибочным толкованием... Название “астрономическая”, которое я дал своей теории, привело некоторых в заблуждение, заставив думать, будто теория содержит ошибки прежних теорий ледниковых эпох... Другие утверждали, что моя теория не объясняет одновременность гля-

¹¹ Письмо гляциолога Вальтера Вунта Милутину Миланковичу от 17 января 1943 г. *Переписка с великанами науки*. Изabrана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 616.

циаций в обоих полушариях... Боязнь того, что аппарат для расчета элементов орбит, созданный для астрономических целей, не достаточен для геологической датировки времени, оказалась также неоправданной... Все перечисленные претензии к моей теории происходили из того, что авторы были с ней плохо знакомы, поэтому я не отвечал на эти выпады. Я не считал себя обязанным просвещать непросвещенных, я никогда не пытался навязать другим мою теорию, в которой никто не нашел ни одной ошибки»¹².

М. Миланкович был спокоен, так как знал, что теория может защитить сама себя. С философским спокойствием он резюмировал: «Пусть теорию применит тот, кто ее понимает, а остальные пусть оставят ее в покое. Когда люди пишут о вещах, которых не понимают, это их личное дело. Я не считаю себя обязанным их разубеждать, так как они еще больше будут на меня сердиться»¹³. Поэтому он молчал, когда в 1950-е гг. выпады стали еще более сильными и многочисленными. Теория Миланковича, как писал в 1957 г. один из климатологов, имела полезную функцию «догмы веры», которая стимулировала исследования, но, ориентируясь на современное знание гляциации, орбитальная хронология «должна была быть отвергнута как иллюзия»¹⁴. Теории возникают, чтобы быть опровергнутыми, если это возможно, так как проверка, опровержение и создание новых теорий — это и есть научная работа. Миланкович решил проверять теорию немилосердными испытаниями, зная, что незнание и ошибки вернутся их авторам, а теория, если она того достойна, выйдет из всех проверок более сильной. Миланкович писал сыну Васко: «Ты был прав, с “Канон” моя научная работа приближается к концу. Этот духовный ребенок, как единственный сын, живет самостоятельной жизнью без моей помощи. Свидетельства тому — 114 научных книг иностранных ученых, которые я передал Центральной библиотеке Сербской

¹² Миланкович М. *Канон осунчаваня Земле*. Изabrана дела. Книга 2. Београд, 1997. С. 259.

¹³ Письмо Милутина Миланковича палеонтологу Альберту Блану, декабрь 1939 г. *Преписка са великанима науке*. Изabrана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 560.

¹⁴ Spencer Weart. *The Discovery of Global Warming*. London, 2008.

академии наук, и в которых мое имя упоминается 1470 раз. Этого более чем достаточно»¹⁵.

На последней научной конференции, в которой М. Миланкович принимал участие, INQUA 1953 г. в Риме, он был символически «сброшен» с кафедры: казалось, что его теория близка к закату. Американский геолог Ричард Флинт, профессор Йельского университета, грубо лишил Миланковича слова из-за того, что тот не выдержал регламент доклада. «Флинт не желал делать исключение. Возможно, из-за того, что он был одним из первых противников теории Миланковича», — писал профессор Петар Стеванович, свидетель этого события¹⁶. Но Миланкович не обратил внимания на Флинта, которого сегодня мало кто помнит. Он рассказывал о конференции в письме к сыну Васко от 7 сентября 1953 г., где утверждал, что его теорию больше не лишит слова. «Я оказался среди старых друзей и сторонников моей теории; моих оппонентов нет среди живых или их силы уже на закате, они воздерживались от ее принятия, но также не смогли ее оспорить. Молодое поколение, в основном, находится на моей стороне. Я понял это, когда в самом большом из трех залов, в амфитеатре, подготовленном для лекций, читал доклад на французском. В это же время два других зала пустовали. Мои слушатели заняли все места, и когда я вышел на кафедру, меня приветствовали аплодисментами, как никого другого. Аплодисменты звучали и в конце доклада. Я не уверен, что все поняли, о чем я говорю, но все знали мое имя и были довольны, что меня видели. Видимо, мое появление оставило впечатление: я был в новом летнем костюме, новых легких туфлях и синем галстук-бабочке из Австралии. Вы знаете, дети, что я не люблю появляться на публике, но мне было приятно, что моя теория проложила себе дорогу и нашла свое место в Науке. Это случилось бы и без моего доклада. Работа иностранных ученых, применяющих мою теорию, служит лучшим доказательством, чем сотни томов в моем кабинете. Жаль, что на симпозиуме не было ученых из-за

¹⁵ Васко Миланкович в сотрудничестве с Мариной Миланкович. *Письма от мог отца*. Сидней, 2004 (неопубликованная рукопись). Письмо от 6 апреля 1956 г.

¹⁶ Стеванович П. *Успомена на Милутина Миланковича научника и човека*. Изабрана дела. Книга 6. Београд, 1997. С. 459.

“железного занавеса”, я знаю, что и там есть мои сторонники. Недавно проводилась геологическая конференция в Будапеште. Один из участников сказал мне, что все приняли мою теорию, так как по всей Венгрии найдены многочисленные ей доказательства. Кажется, эта венгерская поддержка противоречит их восприятию моей персоны как одного из них, потому что я — бывший гражданин венгерской части Австро-Венгрии. В своих работах они постоянно называют меня *daljiansiletiesian*»¹⁷.

Представителям наук о Земле по-прежнему было тяжело согласиться с тем, что причина изменений климата находится за пределами Земли. Хотя имелось достаточно много геологических фактов, подтверждавших теорию, наука того времени в основном считала ее устаревшей. Тяжелые времена для теории Миланковича продлились десять лет. Казалось, что с его смертью исчезнет и она. Отрицание его теории стало еще сильнее, когда палеонтологические образцы были датированы при помощи нового метода радиоуглеродного анализа. Метод был разработан в конце 1940-х гг., и казалось, что он даст геологии «абсолютные» даты ледниковых эпох. Датировки по этому методу значительно расходились с теорией: когда по кривой Миланковича должен был наступить пик последней ледниковой эпохи (около 25 000 лет назад), с помощью нового метода определялось время формирования торфа в отложениях, образовавшихся в теплые межледниковые периоды; количество «обнаруженных» периодов оледенения превосходило данные из теории Миланковича. Но вскоре стало ясно, что новый метод не всегда может быть использован для датировки скал, а только для органических субстанций, которые при жизни обменивались углеродом с атмосферой. Кроме того, он «прибавлял» несколько десятков тысяч лет назад, что для проблемы ледниковых эпох было недостаточно. Казалось, что радиоуглеродный анализ непосредственно определяет геологический возраст и дает более цельную и подробную картину наступления и отступления ледниковых эпох, чем математический метод. К тому же он проще графика Миланковича.

¹⁷ Васко Миланкович в сотрудничестве с Мариной Миланкович. *Письма от мог оца*. Сидней, 2004 (неопубликованная рукопись). Письмо от 7 сентября 1953 г.

Схема ледниковых эпох А. Пенка и Э. Брикнера, на которой вначале базировалась теория Миланковича, уже подвергалась сомнению. Казалось, что и его теория изжила себя. В середине 1950-х гг. от нее практически отказались, хотя ее никто не опровергал. Вместо этого науки о Земле повторили свои аргументы против старых астрономических теорий: изменения притока солнечной радиации, вызванные колебаниями астрономических параметров, недостаточны для того, чтобы оказывать существенное влияние на климатическую систему. Американский астроном Джеральд Койпер писал на эту тему: «Я разговаривал с коллегами об оценке теории Миланковича. Они считают, что с ее помощью нельзя объяснить изменения климата, произошедшие в прошлом. Влияние слишком мало и хронология гляциации полностью неизвестна, так что всякое совпадение кажется случайным»¹⁸. Относительно этих и последующих упреков высказался в письме к М. Миланковичу гляциолог Вальтер Вунт, преподаватель университета в Фрайбурге: «Их выпады направлены не на результаты небесной механики (таковых просто быть не может!), а на то, что соответствие этих результатов реальности все же не столь велико, как ожидалось. Каждый из них работает в своей области, где все для них понятно, все неоднократно измерено и проанализировано. Они знают лишь то, что один раз наступила ледниковая эпоха, другой раз — межледниковая, в то время как комплексное изучение проблемы занимает этих людей менее всего. Они придерживаются своих деталей, сталкиваясь лбами даже при их обсуждении. Таким образом, отсутствует единая картина. Скорее всего, можно говорить о том, что Ваша теория находится сейчас в некоем промежуточном состоянии; но если Вы соберете еще больше материала и дополните теорию, кривая солнечной радиации продолжит свой победоносный путь»¹⁹. Правоту коллеги и товарища Миланковича доказало время.

Радиоуглеродная датировка продемонстрировала бессилие при исследовании сложных геологических образцов, и потому

¹⁸ Письмо G. Kuipera H. Sverdrupu, 28 мая 1952. G. P. Kuiper files, Special Collections, University of Arizona.

¹⁹ Письмо гляциолога Вальтера Вунта Милутину Миланковичу от 1 февраля 1951 г. *Переписка с великанами науки*. Избрана дела Милутина Миланковича. Книга 6. Београд, 1997. С. 621.

более не считалась самым надежным методом в климатологии, к тому же она не могла превзойти временные ограничения. Вероятно, восхищение этим методом во многом объяснялось страшным действием атомной бомбы. Тогда казалось, что применение радиоактивных изотопов может решить все проблемы: от войны и энергии до транспорта и медицины. Но как мы уже знаем, такие настроения быстро прошли, так как возник ряд этических и экзистенциальных вопросов.

«Великое возвращение» М. Миланковича началось в 1955 г., когда Чезаре Эмильяни²⁰ установил, что отношение изотопов кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в ископаемых образцах показывает семь гляциальных циклов и соответствует кривой солнечной радиации Миланковича, подтверждая преимущество «Канона» — он предлагает прогнозы, которые можно проверить. Эмильяни заявил, что его данные не сходятся со схемой ледниковых эпох Пенка–Брикнера, которую мучительно выстраивали поколения геологов. Четыре ледниковые эпохи с межледниковыми периодами одинаковой продолжительности Эмильяни заменил на ряд ледниковых эпох, прерванных значительно более короткими межледниковыми периодами. Его схема полностью соответствовала кривой солнечной радиации Миланковича²¹. Изучая вещества, поднятые со дна Каспийского моря (в частности, отложения панцирей фораминиферы), Дейвид Эриксон пришел к аналогичным результатам²². Циклы Миланковича также стали применяться при изучении коралловых отмелей и абразионных террас. Результаты показали, что происходили значительные колебания моря, соответствовавшие ритму гляциации, когда уровень моря понижался, а террасный материал поднимался.

Еще раньше Гарольд Юри пришел к выводу, что измерением отношения изотопов $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в ископаемых остатках планктона можно определить температуру морской воды в далеком прош-

²⁰ Cesare Emiliani. *Pleistocene Temperatures*. «J. Geology», 1955, 63. С. 538–578; *Pleistocene Temperature Variations in the Mediterranean*. «Quaternaria», 1955, 2. С. 87–98.

²¹ Эмильяни на основании этого прогнозировал, что «новая гляциация начнется за несколько тысяч лет». Это относилось к страху общества перед глобальным похолоданием, который за последние десятилетия сменился страхом глобального потепления.

²² David B. Ericson et al. *Coiling Direction of Globorotalia Truncatulinoides in Deep-Sea Cores*. «Deep Sea Research», 1955, 2. С. 152–158.

лом²³. Это отношение является настоящим природным термометром, и его постоянное изменение в седиментарных отложениях на морском дне оказалось основным фактом в доказательстве связи орбитальной геометрии и климатических изменений. Морские отложения состоят из остатков планктонных организмов, населявших поверхность океана. Их панцири из известняка и диоксида силиция оседали на дне, формируя отложения, вырастающие в течение одного века на 1–3 мм. Химический состав этих организмов зависит от температуры океана. В холодной воде погибают одни, но появляются другие организмы. При вертикальном сечении этих слоев исследователи забирают геологический материал и получают картину далекого термического прошлого — в отдельных слоях прекрасно видно, какие организмы преобладали.

В подтверждении теории Миланковича главную роль сыграла фораминифера *Globorotalia menardii*, живущая в теплых морях и отсутствующая в холодных водах, где преобладают радиолярии и диатомеи. Анализируя их наличие в геологических образцах, получают ясную картину вековых изменений температур океана. Если углеродный скелет этих организмов формировался в холодном море, в нем будет больше тяжелых изотопов кислорода, а если в теплом море — легких. Диаграмма их присутствия, обусловленная глубиной образцов, показала прекрасное соответствие с кривой солнечной радиации Миланковича.

Это реабилитировало астрономическую теорию климата и заново пробудило интерес к «Канону». Валас Брокер на конференции по палеоклимату (г. Боулдер, Колорадо, 1965 г.) заявил: «Гипотеза Миланковича более не может рассматриваться как пикантный курьез». Но проблема появилась опять, когда тот же Брокер и Ван Донк в 1970 г. продемонстрировали, что в изотопных фиксациях климата позднего плейстоцена преобладает цикл в 100 000 лет, а не в 41 000 лет, о чем говорилось в теории Миланковича²⁴. Возник вопрос, существует ли некий орбитальный цикл,

²³ Harold C. Urey. *The Thermodynamic Properties of Isotopic Substances*. «J. Chemical Society» 1947. С. 562–581. В работе «Isotope Record in Ocean Cores/ The Thermometer? The Chronometer?», опубликованной в том же году в Цюрихе, Юри предложил рассматривать изотоп кислорода как палеотермометр.

²⁴ Wallace S. Broecker and Jan van Donk. *Insolation Changes, Ice Volumes and the O¹⁸ Record in Deep-Sea Cores*. «Reviews of Geophysics and Space Physics», 1970, 8. С. 169–198.

некая причина, действующая независимо от механизма теории Миланковича? Изменения солнечной радиации, вызванные изменениями эксцентриситетности, не велики, и в теории Миланковича не рассматриваются как критический фактор влияния на климат. Их влияние было значительно меньше, чем влияние изменения наклона оси, а это как бы создавало некую неопределенность в действии орбитальной динамики и не позволяло окончательно соединить небесные и земные наблюдения.

Позднее Николас Шеклтон, один из протагонистов проекта CLIMAP, решил эту проблему, понимая, что изменения в отношении изотопов кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) — не только простая функция температуры, а отражение глобального химического состава океана, который во время ледниковых эпох изменяется с ростом ледниковых отложений. Выделение изотопов кислорода в молекулах воды происходит через испарение поверхности океана. Так как водяной пар переносится к высоким географическим широтам, где происходит конденсация, осадки содержат больше тяжелого изотопа (^{18}O), который возвращается в океан, облегчая пар. Когда осадки выпадают в виде снега и остаются на материке в ледяных отложениях, общий состав Мирового океана постепенно меняется, становясь тяжелее по изотопному составу по сравнению с периодами, когда на материке не было ледниковых отложений.

Фораминиферы, живущие на дне океана, где температура меняется незначительно, строят свои раковины, используя изотопно-тяжелые воды. Измеряя в них отношение изотопов кислорода, Шеклтон измерил наслоения льда на материке. Это явление получило название «индекса палеогляциации». После уравнивания состава океанских глубин, фораминиферы более или менее одновременно фиксируют эти изменения во всех океанах. Такие изменения представляют собой универсальный индекс истории Земли. Изменения изотопов кислорода привели к созданию концепции «изотопной фазы моря». Сейчас мы находимся в фазе 1 (голоцен), а последняя ледниковая эпоха представляла фазу 2 (когда Мировой океан еще больше изобилует тяжелыми изотопами).

Таким образом, обнаружилось подтверждение абсолютной хронологии найденных образцов. Изменение места магнитных

полюсов, происходившее в течение геологической истории, было зафиксировано в скалах, кристаллизировавшихся в магнитном поле Земли. Так как время обращения полюсов было точно определено, а образцы, взятые со дна океана, в своем сечении показали различные магнитные ориентации, возраст мог бы быть определен не только относительно толщи слоев, но и в отношении к абсолютному времени. А это время прекрасно соотносилось с полученной картиной астрономической хронологии²⁵.

Затем наступил переломный момент, когда теория Миланковича воскресла во второй раз. На этот раз она практически вышла из «пены морской». На титульной странице журнала «*Science*» от 10 декабря 1976 г. сообщалось о работе «*Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages*». Авторами статьи, которая, как и «Канон инсоляции», стала вторым краеугольным камнем климатологии, были Джеймс Хейс, Джон Имбри и Николас Шеклтон. В статье были изложены результаты глобального научного проекта CLIMAP (Climate: Long-range Investigation, Mapping, and Prediction), продолжившего в своем роде работу, начатую в «Каноне инсоляции». Подобно М. Миланковичу, авторы в начале труда привели все типы теорий, пытавшихся объяснить загадку ледниковых эпох плейстоцена. «Одна группа теорий ссылалась на факты внешние по отношению к климатической системе, например: изменение воздействия самого Солнца; изменение из-за различной концентрации межпланетной пыли количества солнечной энергии, поступающей на Землю; изменения сезонного и географического распределения полученного излучения, обусловленного изменениями геометрии орбиты Земли; изменения насыщенности атмосферы вулканической пылью; обороты магнитного поля Земли. Другие теории опираются на внутренние причины, которым приписывается довольно длительное время отклика, чтобы привести к колебаниям в течение от 104 до 106 тысяч лет. Это рост и уменьшение ледяных отложений в Антарктике, ледяной покров Арктического океана, распространенность диоксида углерода между атмосферой и океаном...» После

²⁵ Интересно, что Северный магнитный полюс теперь движется с большой скоростью. Спустя приблизительно четыре века относительного спокойствия, он, за прошлый век, «прошел» 1100 км, двигаясь от Северной Канады к Сибири.

этого исчерпывающего перечисления авторы недвусмысленно пришли к выводу: «Среди всех этих идей только орбитальная гипотеза сформулирована так, что прогнозирует частоту главных гляциальных колебаний в плейстоцене. Она также дает единственное объяснение такой частоты»²⁶. Проект был разработан для проверки гипотезы Миланковича, его «Канона инсоляции» и всей астрономической теории климатических изменений. Это был критический момент, который должен был показать, имеет ли теория силу для самозащиты.

Исследователи стратиграфически изучили несколько сот геологических образцов, поднятых со дна Мирового океана (еще Дж. Кроль указывал на то, что образцы, доставленные со дна моря, были самыми надежными фиксаторами климата). Среди них предстояло выбрать только два, местонахождение и свойства которых делали их идеальными для проверки орбитальной гипотезы. «И что самое важное, они содержали и климатическую “запись”, которая довольно долго не прерывалась, чтобы быть статистически пригодной (450 000 лет). Эти образцы также отличала большая скорость наслоения (> 3 см за 1000 лет). Таким образом, могли быть определены климатические колебания с периодами более 20 000 лет. Кроме того, эти образцы были подняты со дна океана между Африкой, Австралией и Антарктикой, поэтому на них мало повлиял эрозивный щебень с этих континентов. Наконец, их происхождение из Южного полушария дало возможность одновременного наблюдения кубатуры льда в Северном полушарии и температуры в Южном. Ни один из известных образцов не имел таких характеристик»²⁷. Свои выводы исследователи укрепили отбором образцов, соответствующих интервалам в 3000 лет. В них они в первую очередь наблюдали присутствие фораминиферы *Globigerina bulloides* и радиолярии *C. davisiana*.

Результаты показали, что фиксация отношения изотопов кислорода состоит из ряда отдельных, замкнутых циклов с временными интервалами, практически полностью отвечающими тем, которые были спрогнозированы с помощью астрономической

²⁶ Hays, James D., John Imbrie, and Nicolas J. Shackleton. *Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages*. «Science» №. 194, 1976. С. 1121.

²⁷ Там же. С. 1122.

теории, так как в них были отражены все циклы. На основании этого было создана модель линейной системы, в которой теория Миланковича связывала две системы. Первая — система излучения, превращающая орбитальные сигналы (изменение наклона оси и прецессию) в ряд сигналов солнечной радиации (один — для каждой комбинации географической широты и времени года); вторая — система климатического реагирования, превращающая сигналы солнечной радиации в климатическую кривую.

Таким образом, исследователи разрешили самую критическую проблему теории — проблему времени, так как теория спотыкалась о ненадежность геологической хронологии. До этого проекта самые убедительные соответствия с временными промежутками, предсказанными теорией, были найдены на коралловых террасах на Барбадосе, в Новой Гвинее, на Гавайях, которые «помнили» высокий уровень моря (и небольшой объем льда). Используя полностью независимую от астрономической теории хронологию, они установили, что «модальные частоты, обнаруженные в геологических образцах, совпадают с изменением наклона оси и прецессией», то есть «климатические колебания в этих образцах зафиксированы в три отдельных этапа с периодами в 23 000, 42 000 и приблизительно 100 000 лет. Эти этапы соответствуют периодам вращения земной орбиты вокруг Солнца и содержат около 10, 25 и 50% климатических колебаний, причем взаимосвязь климата и эксцентриситета, вероятно, требует введения предположения о нелинейности»²⁸. Было доказано, что изменения орбитальной геометрии Земли являются основной причиной следования ряда ледниковых эпизодов в четвертичном периоде.

Астрономическая теория опять нашла подтверждение: хотя детали того, как орбитальные колебания отражаются на измене-

²⁸ Остается под вопросом, в какой степени недостаточное влияние эксцентриситетности задает удар орбитальному влиянию. Этот вопрос требует дополнительных доказательств присутствия этого сигнала в геологических образцах, но, судя по всему, ключи астрономического регулирования климата все еще в руках Миланковича. Модели, с помощью которых ученые пытаются решить эту проблему, перегружены многими неизвестными из области астрономического влияния, роли обратной связи и предельных условий. Самые тщательные связи кажутся слишком упрощенными, особенно для возвратных связей «облачность — климат» и «альбедо — вода — температура».

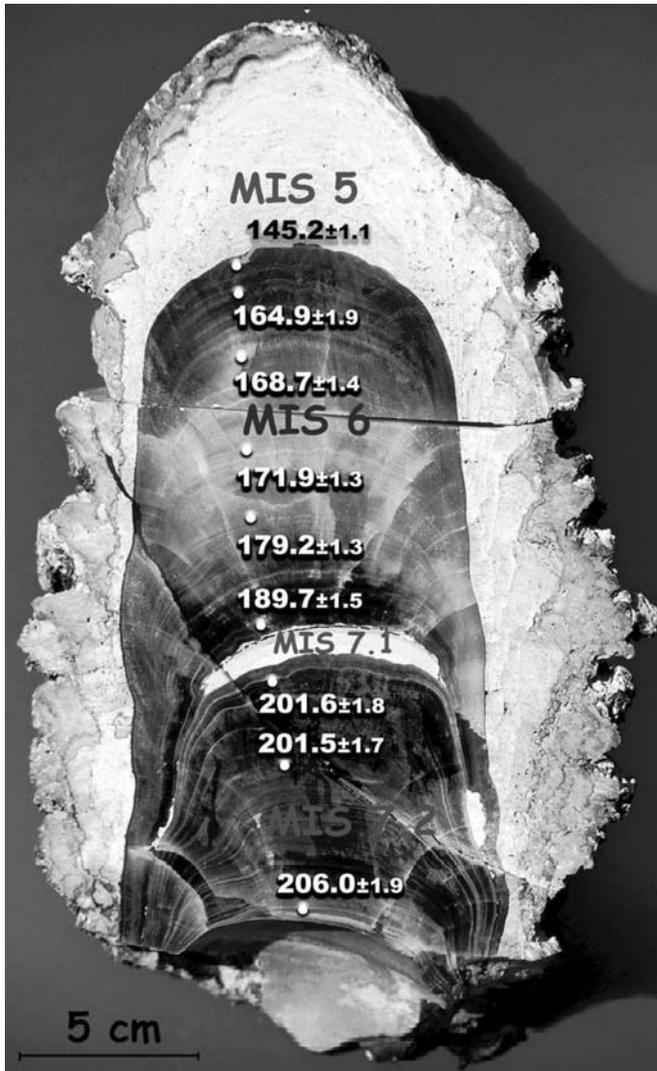
нии климата в ледниковые и межледниковые периоды, остались неясными, соответствие циклов Миланковича и изотопных характеристик глубоководных образцов уже невозможно было отрицать. С другой стороны, рост и исчезновение ледяных берегов в плейстоцене могли непосредственно привести к изменениям положения Земли по отношению к Солнцу. Стало очевидно, что ледниковые эпохи многофазны, и причина их наступления имеет космическое происхождение. После публикации этой статьи теории Миланковича оказалась в самом центре научного внимания. «Канон инсоляции» взошел над горизонтом еще раз — в момент, когда центр тяжести исследования переместился с материка на море, и когда высокие технологии исследования химического состава раковин организмов, живших в четвертичный период, прекрасно отразили смену теплых и холодных эпох.

По всей планете начались исследования, которые, используя разработки CLIMAP, разными способами и в разных местах проверяли теорию Миланковича. Одно из преимуществ теории Миланковича — это возможность ее проверки. Универсальный хронометр континентальной гляциации, который более не основывался на изучении морен и талых осадков, помог лучшему пониманию истории других геологических материалов, например, наносов лёса в Китае и на Фрушкой горе в Сербии, или массивов льда на полярных шапках. «Около 35 миллионов лет назад произошло значительное снижение глобальной температуры — по мнению многих исследователей, в то время начали формироваться ледники в Антарктике. Хотя температуры продолжили падение, а антарктическая ледяная шапка — рост, только 3 миллиона лет назад многочисленные ледники в Северном полушарии стали расширять свою территорию, что сопровождалось новым резким падением температуры. Известно, что тогда началась теперешняя ледниковая эпоха, и с того времени большинство климатических изменений на планете связано с образованием или таянием ледяного покрова в Северном полушарии. К счастью для живого мира, в течение настоящего теплого периода ледники отступили в высокие географические широты и на большую высоту над уровнем моря. Но в среднем, за последние несколько миллионов лет на Земле стало значительно холоднее, чем в основной период ее существования, составляющий

4,5 миллиарда лет. Исключая краткие и редкие периоды, ледников, подобных леднику на Килиманджаро, в истории Земли не существовало»²⁹.

На основании многочисленных исследований с уверенностью можно утверждать, что мы живем в ледниковом периоде, только в геологически короткой и относительно теплой фазе отступления льда, который, тая на наших глазах, готовится к новому наступлению на юг. В современной климатологии ледниковой эпохой считается не отдельный ледниковый эпизод длиной более десятка тысяч лет, а целый период с масштабными ледниками, размеры которых ритмично увеличиваются и уменьшаются. Период заканчивается, когда эти колебания утихают, оставляя за собой незначительное количество льда на самых высоких горных пиках. Такие ледниковые периоды, длиной в десятки миллионов лет, происходили неоднократно в далеком геологическом прошлом Земли — их существование доказано, но известно о них немного. С тех пор, как около двух миллионов лет назад началась «наша» плейстоценная ледниковая эпоха, много раз километровые наслоения льда опустошали моря, понижая их уровень более чем на 100 метров, сковывали континенты, опускавшиеся под тяжестью льда в свою полужидкую «подложку», чтобы столько же раз растаять, заново наполняя океан водой, устраивая грандиозные наводнения, следы которых на материке видны и сейчас. У человечества короткая память, поэтому нам может казаться, что время льда прошло, но нельзя забывать, что три четверти общего количества пресной воды на планете находится в состоянии вечного льда. Это объясняет и все большую популярность теории Миланковича и самого автора. Сегодня нет такого места на Земле, от Арктики до Антарктики, от дна Индийского океана до Гималаев, от Европы до Тихоокеанских островов, где какая-либо палеонтологическая находка не оказалась бы подтверждением астрономического канона притока солнечной радиации Миланковича. Эти доказательства дают нам возможность по-новому, более глубоко и осмысленно, взглянуть на окружающий мир.

²⁹ Doug Macdougall. *Frozen Earth: The Once and the Future Story of Ice Ages*. University of California Press, Berkeley. Los Angeles, 2006. С. 8.



Продольное сечение сталагмита, поднятого из подводной пещеры на итальянском острове Арджентароле. На нем отчетливо видны «циклы Миланковича» во время роста на суше (MIS 7.2, MIS 6) и под водой (MIS 7.1, MIS 5). В точках по вертикальной оси зафиксированы и установлены возрасты (с возможной ошибкой) отдельных слоев сталагмита

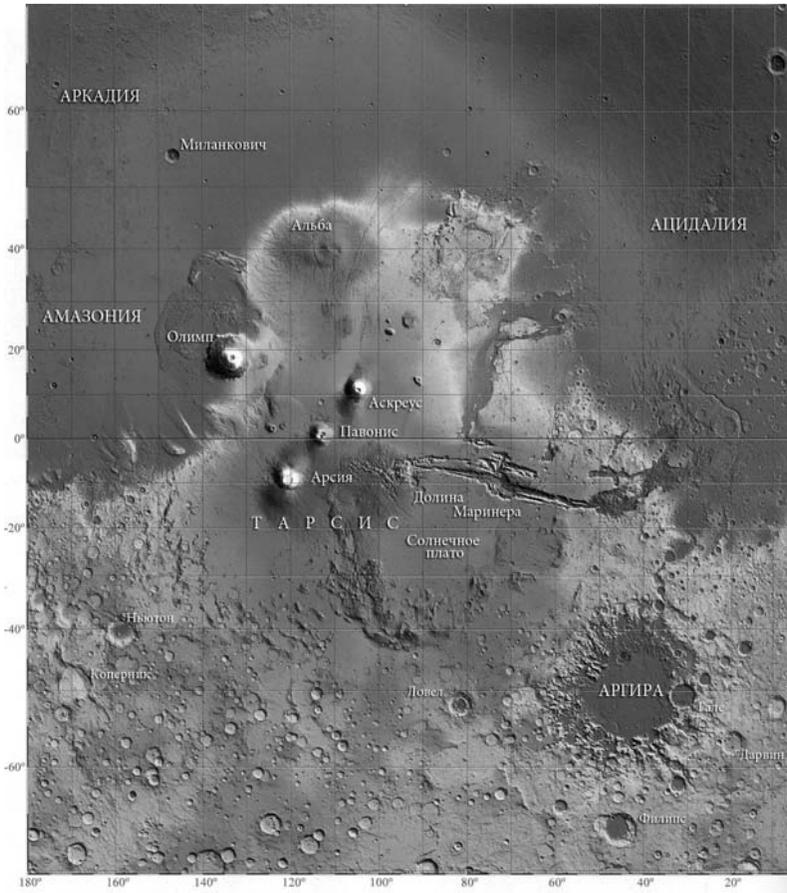
Одним из последних примеров является спелеотем, сталагмит длиной 30 см, поднятый в 1998 г. из подводной пещеры на острове Арджентарола у западного побережья Италии итальянским исследователем Фабрицио Антониолли. При продольном рассечении спелеотем показал исключительно точную и ясную картину климатического прошлого Земли. Хотя сталагмиты образуются в пещерах на суше путем отложения растворимого кальцита из капель воды, постоянно падающих с потолка пещеры, внутренность этого сталагмита была неоднородна: желто-коричневые фрагменты кальцита, прерванные белыми слоями морского происхождения — остатками панцирей многочисленных поколений морских червей. Последнее свидетельствовало о том, что сталагмит неоднократно выныривал из воды и заново в нее опускался. Сталагмит был поднят с глубины в 30 метров, но четко отражал периоды, когда в пещере не было морской воды — в течение отдельных гляциаций лед, наслоившийся на материке, «извлекал» воду из моря, уровень которого понижался на несколько десятков метров.

Определение отношения изотопа урана и тора, оказавшихся в каменной ткани сталагмита, показало, что возраст спелеотема составляет 206 000 лет. Датированием возраста границ между разнородными слоями установлено, что впервые он «нырнул» 202 000 лет назад и «вынырнул» спустя 12 000 лет — что говорит о теплом периоде, во время которого уровень моря был достаточно высок, чтобы закрыть сталагмит. После этого лед снова расширился и растаял 145 000 лет назад. Тогда вода закрыла сталагмит, где он и оставался, пока его не отыскал исследователь. Эти даты (погрешность примененного метода составляет ± 2000 лет, что значительно меньше погрешности измерения следов на коралловых рифах или панцирях фораминифера) прекрасно соответствуют прогнозам теории высокого уровня воды, предложенной Миланковичем для периода, превышающего предпоследнюю гляциацию. И математические расчеты, и сталагмит говорят о том, что уровень моря 195 000 лет назад был такой же, как и сейчас³⁰.

³⁰ Fabrizio Antonioli. *Sea-level during the penultimate interglacial period based on a submerged stalagmite from Argentarola Cave (Italy)*. «Earth and Planetary Science Letters», 196, 2002. С 135–146.

Получив разнообразные подтверждения теории Миланковича, вначале эпизодически, а потом все чаще стали употреблять термин *циклы Миланковича* для обозначения соответствия вековых орбитальных колебаний и изменений климата планеты. Это наивысшее признание ученого учеными несравнимо больше любой награды. Оно отражает ценность теории Миланковича. Пусть мы не соглашаемся с теорией эволюции, но сам термин остается в употреблении. «Если моя теория хороша, она будет жить *своей* силой» — слова, сказанные Миланковичем итальянскому палеонтологу Альберту Блану, сейчас полностью подтвердились. Его теория живет своей силой, так как большое количество ученых, использующих термин *циклы Миланковича*, практически ничего не знают о самом Миланковиче. Но в своих исследованиях в Арктике и Антарктике, на озере Байкал, в Лабрадорском море, на Барбадосе, на острове Хендерсон, в Намибии, в Южной Африке, на озерах Восточной Африки, на реке Колорадо, в Мексиканском заливе, в пещере Арджентола в Италии, в Западной Швейцарии, в австрийских Альпах, на нефтяных полях Южного Йемена, на дне Тихого океана и его островах, в Индонезии, на лёсах Китая, на озере Бива в Японии, в Сербии... они подтвердили несомненность циклов Миланковича. Это означает, что в тех и многих других местах можно найти доказательства того, что климат на нашей планете покоряется космическим ритмам, и теперь это обозначается одним термином — *циклы Миланковича*. Этот термин больше не объясняет, а непосредственно указывает на то, что климат неминуемо изменяется под принуждением изменения геометрии орбиты Земли вокруг Солнца.

Окончательное подтверждение геологической применимости циклов Миланковича нашел Жак Ласкар из Института небесной механики. Он рассматривал динамику циклов Миланковича как базу для новой калибрации отложений в геологический период неогена 23 миллиона лет назад. На основании этого определена новая геологическая временная шкала, принятая Международной комиссией по стратиграфии и Международным союзом геологических наук. Впервые астрономические расчеты послужили основой для хронологии целого геологического периода.



Кратер «Миланкович» на Марсе,
на берегу Океана ледяного холода

Формальное признание подтвердило «научное царство» Миланковича, которое стало неожиданно возрастать. На берегу океана Ледяного холода, рядом с границей Аркадия находится кратер из «научного царства», названный в честь Миланковича. Он расположен не на Земле, а на координатах +147 +55 планеты Марс. Так закончился самый большой цикл творчества Миланковича — именно с этой планеты в 1913 г. он начал климатологические исследования. Путник, который прошел через

Вселенную, пришел к месту, откуда начал свое путешествие. Он был бы доволен, если бы в 1973 г. присутствовал на заседании Международного астрономического союза, который, по предложению советских ученых, принял решение о наименовании кратера в честь М. Миланковича. Другая межа этого «царства» находится на Луне, в координатах +170 +77, где Миланкович на заседании того же союза в 1970 г. в Брайтоне получил кратер средней величины рядом с Северным полюсом. В столетие со дня рождения М. Миланковича союз согласился, чтобы малая планета 1936 GA, которую 13 апреля 1936 г. открыл сербский астроном Перо Джуркович (независимо друг от друга 15 апреля эту планету открыли Й. Пиегза в Кракове и Т. Банакевич в Варшаве), носила имя 1605 Milankovitch. Вспомним, что М. Миланкович трижды избирался заместителем председателя Сербской академии наук, он был членом Югославской академии наук и искусств, и, по предложению немецкого геолога Рудольфа Грамана, профессором университета в Майнце, членом Академии естественных наук «Леопольдина» в Галле³¹. Миланкович был членом Института палеонтологии в Риме и Института науки, литературы и искусства в Венеции. С 1993 г. Европейский союз геофизики стал присуждать медаль имени Милутина Миланковича, позднее NASA в историческом обзоре протагонистов наук о Земле назвала Милутина Миланковича одним из пятнадцати величайших ученых всех времен в этой области.

³¹ Р. Граман был большим почитателем М. Миланковича. «Вашиими исследованиями, полными духа и сложных расчетов, Вы дали геологии четвертичного периода сильный импульс и возможность вписать дескриптивные результаты исследований в точную систему» (Письмо Рудольфа Грамана Милутину Миланковичу от 24 января 1931 г. Архив САНУ 10131-II-359).

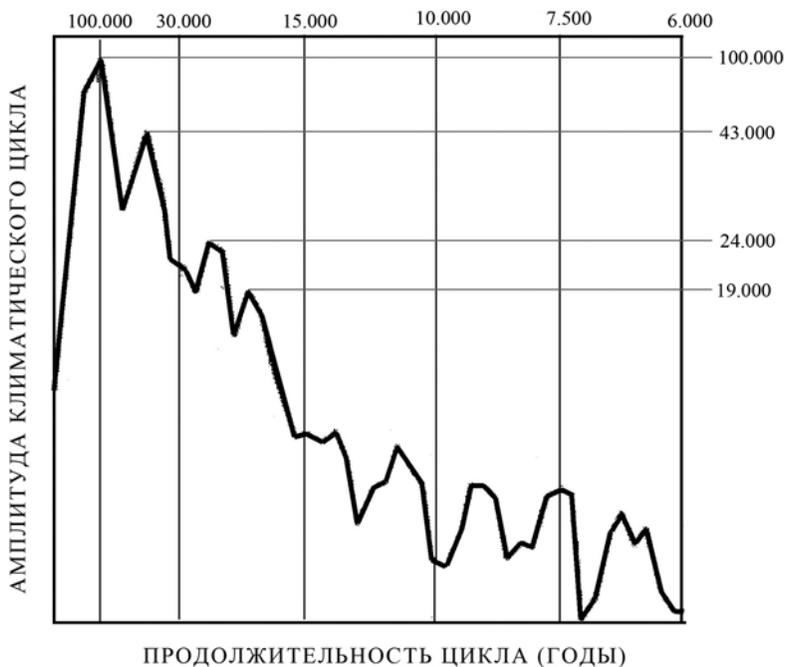
7. ЦИКЛЫ МИЛАНКОВИЧА И ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

О БУДУЩЕМ КЛИМАТА И КАНОНА МИЛАНКОВИЧА

Какое будущее уготовано теории Милутина Миланковича? Сможет ли она дать ответ на многочисленные сложные вопросы об изменении климата? Или ее время истекает? Начиная с момента своего возникновения, пройдя через полемику с Альбрехтом Пенком и другими геологами того времени, теория Миланковича всегда была предметом для дискуссий, которые, после короткого антракта, продолжились в 1950-е гг. после открытия радиоуглеродного метода датировки. В то время казалось, что хронология ледниковых эпох не согласуется с расчетами Миланковича. И в наши дни теория Миланковича прямо или косвенно подвергается сомнению, так что «Канон инсоляции» никогда не испытывал нужды в оппонентах.

Думается, что в этой многолетней борьбе канон окреп и, как бы сказал Миланкович, жил своей силой. Его союзником стал проект CLIMAP. По проекту был проведен анализ всех гипотез, с помощью которых пробовали объяснить проблему изменения климата иными способами, чем те, которые предлагал канон. Например, пытались найти зависимость изменений солнечной радиации от изменений в распространении межзвездной пыли. Искали наличие вулканического пепла в атмосфере. Исследовали изменение магнитного поля Земли, распространение диоксида углерода между океаном и атмосферой, изменения в океанических течениях... Был сделан следующий вывод: «Из всего набора идей только орбитальная гипотеза сформулирована таким образом, что дает возможность прогнозировать большие гляциальные колебания в плейстоцене»¹.

¹ Hays, J. D., Imbrie, J., Shackleton, N. J. *Variations in the Earth's Orbit: Pacesetter of the Ice Ages*. Science 194, 1976. С 1121–1132.



Графическое представление выводов проекта CLIMAP с четко выраженными соответствиями между климатическими подъемами и частотой циклов Миланковича

Учитывая серьезность исследования, в рамках которого в глубоководных отложениях было обнаружено подтверждение этого тезиса, а также наличие различных фактов в пользу «Канона», обнаруженных по всей Земле, казалось, что с «неканоническими» теориями покончено. Но по сей день появляются идеи, затрагивающие новые вопросы, но не приводящие к новой теории. Все это происходит по той причине, что подробный механизм астрономического влияния на климатические изменения неизвестен, невозможно точно определить время реагирования изменений климата на колебание астрономических факторов воздействия². Отдельные геологические наблюдения,

² К такому выводу пришли на конференции «Миланкович и климат», состоявшейся в 1982 г. в университете Колумбии в Нью-Йорке. См.: Andre Berger

хотя не вполне достаточные, чтобы служить основной для нового теоретического видения, становятся поводом для того, чтобы появились «неудобные вопросы», на которые в теории Миланковича нет ответа. Время от времени появляются геологические доказательства существования некоторых других, не орбитальных спектральных максимумов в климатических материалах. Данные 1992 г. о затопленных каньонах в Неваде, названных Берлогой дьявола, показывают, что предпоследняя ледниковая эпоха закончилась 140 000 лет назад, значительно раньше, чем предсказывала астрономическая теория. Проблема этой находки, расходящейся с мировыми геологическими данными, не разрешена, но используется как аргумент при оценке применимости астрономической теории. Это расхождение (которое, возможно, отражает только локальную флуктуацию, так как оно не нашло подтверждения в других местах) не дает возможности оспорить следующее соответствие. Как было замечено, *отсутствие доказательств не является доказательством отсутствия*. Соответствия и расхождения могут сосуществовать, с той лишь разницей, что расхождения не подтверждены теорией, а для соответствий существует «Канон солнечной радиации». «Канон» поляризовал климатологию на «теплые» и «холодные» подходы, то есть те, которые эту теорию или принимают, или отрицают, создавая своеобразный климат в данной научной области и определяя не только макро-, но и микроклимат научных исследований.

Кажется, что на методологическую проблему Берлоги дьявола Миланкович дал ответ: «Во всех своих работах я подчеркивал (и геологи об этом знают), что минимальные и максимальные значения температур могут запаздывать на несколько тысяч лет за эпохами, которые на моих солярных кривых соответствуют экстремальным значениям инсоляции...»³ И правда, разве стоит отказываться от астрономической теории из-за того, что первый день весны не похож на весну? Всем известно, что теплая погода может опоздать на месяц от начала весны или прийти на месяц раньше. Несмотря на это, весна наступает всегда. Требо-

et al. (eds.). *Milankovitch and Climate*. Parts 1-2, Understanding the Response to Astronomical Forcing, 2 vols.; D. Reidel, Dordrecht, Holland, 1984.

³ Миланкович М. *Изабрана дела*. Книга 6. Београд, 1997. С. 459

вать от теории точного определения, каким будет первый день весны, значит, не понимать ее канонический смысл.

Согласно этому, отступление от «орбитальной гипотезы» приводит к невозможности «прогнозирования частоты гляциальных колебаний» и накопления все большего количества нередко противоречащих друг другу гипотез. Получается ситуация *déjà vu*: циклический и эпициклический механизм Птолемея стал сложнее одновременно с возросшей точностью наблюдений (положение планет, которое было найдено с помощью математических вычислений, приблизилось к данным, полученным практическим путем, — наблюдением за их положением). Таким же образом затуманивается и астрономический горизонт климатической проблемы. Такой ущерб значительно больше малой пользы внедрения новых гипотез и моделей, так как климатология, таким образом, возвращается в доастрономическую, догелиоцентрическую и доканоническую эпоху.

Проект СОНМАР (Cooperative Holocene Mapping Project) подтвердил ключевую роль астрономических факторов, реконструируя в 1988 г. формулы глобальных климатических изменений за последние 18 000 лет. Следующее подтверждение теории было получено в 1989 г. в проекте СПЕСМАР (Spectral Mapping Project), показавшем, что климатическая система реагирует на изменения солнечной радиации в каждом из трех астрономических циклов, рассмотренных Миланковичем. Если реакция климатической системы на прецессию и изменения наклона оси в основном линейная, климатический «ответ» на изменения эксцентricности орбиты нелинеен (из-за большого ледяного покрытия в Северном полушарии, служащего основным генератором инертности климата).

Поэтому все проблемы, с которыми сталкивается «Канон инсоляции», не умаляют его ценности как метода, на котором основана современная климатология⁴. Связывая точные науки (небесную механику, сферическую астрономию, математическую физику) с описательными (геологией, метеорологией, океанологией, гляциологией), Миланкович нашел недостающее звено

⁴ Maya Elkitabbi, Jose Rial. *An outsider's review of the astronomical theory of the climate: is the eccentricity-driven insolation the main driver of the ice ages?* «Earth-Science Reviews», 56, 2001. С. 161–177.

и основал надежный метод реконструкции и прогнозирования климата. «Неоспорим тот факт, что основы всех наук, связанных с любой теорией палеоклимата, могут быть найдены в “Каноне Миланковича”. Прочитанный критически, он навсегда останется фундаментом науки о климате. Благодаря работе Миланковича, мы однажды сможем понять, каким образом Земля, как система, “отвечает” на астрономические влияния, и как она может вести себя в будущем»⁵.

Хотя и возникают новые вопросы, база теории Миланковича, каноническое соответствие небесных и земных ритмов, остается без изменений. Попытки перепроверки «Канона инсоляции» или отказа от него не смогли разрушить или поколебать его твердую основу. Хотя две из трех основных возможностей его применения практически забыты и все внимание направлено на ледниковые эпохи, волна «прилива», поднятая проектом CLIMAP, вряд ли превратится в «отлив».



Каноническое соответствие небесных и земных ритмов:
циклы Миланковича из эпохи позднего миоцена, зафиксированные
в слоях известковой глины в местности Гибелишеми на Сицилии
(См.: Frederik Hilgen, Lucas Lourens)

⁵ André Berger, Fedor Mesinger. *Canon of Insolation*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81. С. 1615–1618.

Сейчас самая большая проблема теории — мощный геологический отклик на частоту эксцентricности (тогда как по теории Миланковича из-за незначительного влияния этой осцилляции следовало ожидать более слабой реакции). CLIMAP дал свое объяснение этой проблемы, но некоторые палеонтологи его не принимают, повторяя, что сравнение явных подъемов в спектре климатических данных с астрономическими данными показывает: одной астрономической теории недостаточно, чтобы объяснить преобладающее воздействие цикла в 100 000 лет в больших ледниковых эпизодах плейстоцена. Появляются предложения объяснить ледниковые периоды неким внутренним механизмом и/или внешними влияниями вне астрономической теории.

Тут мы затрагиваем область политики климата. Такой подход дает возможность преувеличенного акцентирования внимания на земных причинах изменения климата, что само по себе, возможно, было бы и неплохо, если бы подход не базировался на геоцентрической идее о том, что промышленный прогресс может за короткий срок изменить климат независимо от солнечного воздействия и вопреки ему. Основная идея Миланковича, напротив, состоит в том, что климатические изменения следует в первую очередь рассматривать в астрономической перспективе, а также необходимо признать орбитальную динамику нашей планеты как основной (может быть, единственный) двигатель колебания температуры на ней. Такой беспристрастный подход, четкое разделение теории на «астрономическую» и «физическую» части, может стать прекрасным «огнетушителем» слишком пламенных разговоров о глобальном потеплении из-за сжигания ископаемого топлива, которые на первый план выдвигают «физический» подход и теснят назад «астрономический».

Современные науки о Земле считают, что сегодняшние изменения климата (когда речь заходит об изменениях климата, неизвестно, к какому периоду относится слово *сегодняшние*) вызваны в первую очередь «физическими», земными причинами, — парниковыми газами, и среди них — углекислым газом, порождаемым промышленным сжиганием ископаемого топлива. Так, промышленность получила роль, которую в предшествовавших геоцентрических толкованиях изменений климата играли вулканы, также выбрасывающие парниковые газы. Существуют

мнения, что во время извержения вулкана Святой Елены в 1981 г. за один день было выпущено больше парниковых газов, чем автомобилями за сто лет; извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах в 1991 г. накрыло Землю облаком серной кислоты и других сульфатов, снижая в течение почти что двух лет на полградуса среднюю глобальную температуру⁶. Но эти факты нашли слабый отклик, так как промышленный миф получил космические размеры, отдаляя климатологию от астрономического горизонта. Она опять оказалась в области догадок, так как промышленное воздействие мы не можем наблюдать в геологических находках, а должны опираться на симуляционные модели, в которых мы получаем то, что закладываем.

Такое положение сегодняшних наук о Земле, подчеркивающих геоцентрическое воздействие и умаляющих астрономическое, лучше всего отражают документы Межправительственной комиссии по климатическим изменениям (IPCC), основанной в 1990 г. ООН для консультаций по вопросам изменений климата. IPCC считает, что астрономические факторы воздействуют на глобальное потепление (которое они не подвергают сомнению) не столь сильно, как на него влияет промышленность. Неслучайно, что IPCC не упоминает циклы Миланковича, являющиеся термином, без которого в климатологии ничего невозможно понять.

Авторы документов IPCC, видимо, не читали «Канон». В этих документах Миланкович даже не упоминается, а только «подразумевается», что является шагом к игнорированию теории и поворотом на неверную дорогу. Если мы забудем «Канон инсоляции» и начнем бесконечный анализ искусственных влияний на климат, нам угрожает опасность потерять ориентиры и за деревьями не увидеть леса. Об изменениях климата тяжело рассуждать теоретически, если на первый план ставить искусственные влияния, не объединенные никаким теоретическим подходом. Не существует подтверждения теории искусственного двигателя климатических изменений, а предполагаемая обусловленность углекислым газом не может быть к ней отнесена.

⁶ A. McGee, Thomas J. Casadevall. *A Compilation of Sulfur Dioxide and Carbon Dioxide Emission-Rate Data from Mount St. Helens during 1980-88*. U.S. Geological Survey Open-File Report, 94–212.

Brian J. Soden, et al. *Global Cooling after Eruption of Mount Pinatubo: A Test of Climate Feedback by Water Vapor*. Science 296, 2002. С. 727–730.

Известно, что в давнем прошлом планеты климат менялся неоднократно, некоторые из изменений были очень существенны (взять хотя бы последнюю межледниковую эпоху, начавшуюся 10 000 лет назад). Известно, что такие изменения будут происходить и в будущем, вне зависимости от парниковых газов, производимых промышленностью. Следует отдавать себе отчет, что *сегодняшнее* воздействие промышленности не имеет значения для *сегодняшней* динамики климата. Но даже если бы промышленность и могла влиять на изменения климата, то она не смогла бы сократить время реагирования ледника на нее. Например, полярному леднику нужно от 10 000 до 100 000 лет, чтобы отреагировать на любое глобальное потепление, которое произошло бы в наши дни. Большие горные ледники реагируют через 1000–10 000 лет, а небольшим горным ледникам требуется от 100 до 1000 лет. Отсюда следует одно из объяснений текущего отступления ледников, реагирующих на естественное потепление, произошедшее в теплом периоде Средневековья, или в еще более теплый период 6000 лет назад. Как мы уже сказали, Милутин Миланкович предупреждал, что климатическая реакция на поступление солнечной радиации может произойти с опозданием на несколько тысяч лет. С другой стороны, инерция очевидна и в оценке, что климатической системе нужно как минимум 40 000 лет, чтобы сбалансировать нарушенный человеком естественный порядок, что может произойти в следующие несколько веков⁷.

Климат Земли еще не такой теплый, как в XI в.⁸ Это было однозначно продемонстрировано последними исследованиями, в которых использовались девять независимых геологических климатических образцов (торф, озерные отложения, ядра из ледника, срезы дерева с годовыми кольцами и другие) для сбора температурных отличий изменения климата в Китае за последние два тысячелетия⁹. Композитные записи температуры

⁷ Andre Berger et al. *Milankovitch and beyond*. «Paleoclimate and the Earth Climate System», Serbian Academy of Science and Arts. Belgrade, 2005.

⁸ Hubert H. Lamb. *Climate, History and the Modern World*. Routledge. London, 1995.

⁹ Yang, B., Braeuning, A., Johnson, K.R. and Yafeng, S. *General characteristics of temperature variation in China during the last two millennia*. «Geophysical Research Letters», 2002, 29: 10.1029/2001.

показали необычно теплые климатические условия в период от 800 до 1400 гг. н. э., что нарушает идею «невиданного потепления» XX в. Теплый климат в этот период может рассматриваться как правильное выражение естественных условий, аналогичных условиям почти что тысячелетней давности. Пик теплого периода наступил в Гренландии между 900 и 1200 гг. и в Европе между 1100 и 1300 гг. Температуры в том периоде, известном как средневековый (малый) климатический оптимум, достигли таких же значений, как в постгляциальном климатическом оптимуме. Затем последовало пятьсот лет большого холода, известных как малый ледниковый период, когда в Гренландии после 1400 г. исчезли поселения.

Другие многочисленные факты также свидетельствуют о том, что XX в., вероятно, не является уникальным, самым теплым климатическим периодом за последнее тысячелетие. За последние десятилетия температура современного теплого периода не достигла температурных значений средневекового периода тепла. Кроме того, концентрация CO_2 в Средневековье была намного ниже, чем в текущем теплом периоде, поэтому нет причин приписывать сегодняшнее потепление климата росту CO_2 ¹⁰. Ряд исследователей считают, что увеличение содержания CO_2 в атмосфере в межледниковые периоды является не причиной, а следствием потепления.

Громкое акцентирование роста средней глобальной температуры скрывает тот факт, что глобального равномерного потепления не наблюдается. Текущее наибольшее потепление происходит между 40° и 70° северной географической широты, но при этом за последние десятилетия наблюдается охлаждение северных районов Атлантического океана. Р. Брайтвейт в 2002 г. провел анализ баланса масс 246 ледников в мире, который показал, что в некоторых областях ледники имеют отрицательный прирост массы, что соответствует потеплению (например, отступающие ледники в Альпах). Тем не менее, есть районы с положительным приростом, например, растущие скандинавские ледники и ледники Кавказа, находящиеся в равновесии. Рассматривая развитие проанализированных ледников (приблизи-

¹⁰ Soon, W. and Baliunas, S. *Proxy climatic and environmental changes of the past 1000 years*. «Climate Research», 2003, 23. С. 89–110.

тельно 80 000 от оценочного общего количества) за последние 50 лет, Брайтвейт заметил, что «за последние годы не наблюдается явной общей или глобальной тенденции к увеличению таяния ледников»¹¹.

Проще говоря, техногенные причины не сильнее орбитальных, искусственное воздействие на климат может быть оперативным, в то время как орбитальное воздействие подразумевает запаздывание, о чем писал М. Миланкович. Слишком усердные разговоры в пользу парникового эффекта имеют характеристики не научной теории, а идеологического манифеста. Энтони Гиденс считает: «Еще 25 лет назад существовало ортодоксальное научное убеждение в том, что мир находится в фазе похолодания. Приличная часть доказательств, использовавшихся для поддержания гипотезы о глобальном похолодании, сейчас применяется в поддержку гипотезы о глобальном потеплении — тепловые удары, волны холода, экстраординарные погодные условия»¹².

В этом смысле теория М. Миланковича не гонится за веяниями моды, а возвращает проблему климата на фундаментальные основы, коими являются поступление солнечной радиации на Землю и ее вековая динамика. Прочитав «Канон солнечной радиации», невозможно будет утверждать, что человек и промышленный рост являются главной движущей силой изменения климата. Позиция, представленная в теории М. Миланковича, не позволяет климатологии превратиться в алиби и оправдание различных торговых намерений и амбициозных политических программ.

Борьбе с этими иллюзиями помогает и сам М. Миланкович. В письме сыну Васко от 5 марта 1948 г. он писал: «Летом мы приготовились к холодной зиме. Купили две тонны угля-крека¹³ на рынке и две тонны через Академию и заполнили весь подвал. Но зима не наступила. С 3 января по 15 февраля не было ни одного холодного дня, и только во второй половине февраля зима нанесла короткий визит. Сейчас уже начало весны. В одиннадцать часов термометр на моем окне в тени показывал +9°C.

¹¹ Braithwaite, R.J. 2002. *Glacier mass balance: the first 50 years of international monitoring*. «Progress in Physical Geography», 2002, 26. С. 76–95.

¹² Giddens, A. 1999. Reith Lecture (http://news.bbc.co.uk/hi/english/static/events/reith_99).

¹³ Вид угля, добываемого в Боснии и Герцеговине.

Мы потратили только половину наших запасов угля, осталось достаточно для следующей зимы»¹⁴. Хотя температура в 1948 г. была высокой, как и сейчас, Миланкович не думал об искусственно созданном потеплении. Он должен был стать первым, кто указал бы на этот факт. Но Миланкович даже не думал об этом, так как с точки зрения «Канона» мнение, что за климатические изменения несет ответственность динамика лета, а не зимы, является абсурдным. Кроме того, в словаре Миланковича не было слова «глобальное». Оно появилось в сегодняшнем ложном сиянии конца XX в.

Возникновение на повестке дня вопроса политики климата говорит о том, что столкновение с природой достигло такой стадии, когда более не возможно идеологически прикрывать сомнительную пользу от ее покорения. Идея о покорении природы все чаще показывает себя как антропоцентрическая иллюзия тех, чьим идеалом является «Титаник», а моментом истины — столкновение с айсбергом. Человеческое общество с начала эпохи просвещения находится в необъявленной войне с природой, оправдываемой идеологией эксплуатации, потребительского отношения, стремлением к повышению комфорта и так называемому прогрессу. Чтобы снять с себя ответственность за возможный исторический провал утопического общества потребителей, в котором избыток комфорта оплачивается недостатком гармонии, и чтобы объяснить потребителям, почему закончилась нефть, вся ответственность перекладывается на климат. В этом смысле астрономическая теория имеют видную общественную функцию предотвращения идеологизации проблемы изменения климата.

М. Миланкович обладал ясным видением климатического будущего: «Расчеты, сделанные мной в прошлом году для прошедших веков, могут быть проделаны и для будущих, так как астрономические явления можно проследить с одинаковой степенью уверенности как в прошлом, так и в будущем. В этом — огромная разница между астрономией и дескриптивными науками (например, геологией). Последняя может констатировать только то, что было, а астрономия может сказать, что будет. Неудивитель-

¹⁴ Миланкович в сотрудничестве с Мариной Миланкович. *Письма от моего отца*. Сидней, 2004 г. (Неопубликованная рукопись).

но, что я, не глядя на то, что вокруг происходит, был захвачен мыслями о будущих веках... В веках, сгруппированных вокруг 28 000 г. после Р. Х., 55° северной географической широты в летнем полугодии будет принимать точно такое же количество солнечного тепла, какое теперь принимает 52°. Виноград сейчас вызревает в Германии только до 52°; а в те века будет созревать до 55°, то есть до самого моря и границы с Данией»¹⁵. «...Мои расчеты изменения земного климата я не стал продолжать дальше и сомневаюсь, что скоро к этому вернусь. Я убедился, что в следующие 50 000 лет не следует ожидать неблагоприятных изменений нашего климата, так как все это время эксцентриситет земной орбиты будет очень небольшим»¹⁶.

С точки зрения М. Миланковича проблема совершенно ясна — планета становится теплее, и этот процесс продлится еще как минимум 28 000 лет, если не произойдет резкого изменения климата, быстрого перехода в ледниковую эпоху *именно по причине* потепления, о чем говорят некоторые климатологи. «Такой рост летнего тепла повлияет на вегетацию в наших краях. Моя смоковница в Дале, которая редко когда созревала, так как не получала достаточно тепла, будет через тысячу лет давать с каждым годом все лучший урожай», — довольно наглядно пояснял Миланкович, описывая наступающее под действием орбитальных сил естественное глобальное потепление¹⁷. Поэтому история с промышленным потеплением, которое как будто усиливает естественное потепление, по своей сути является излишней. Учитывая несоизмеримость космической и земной энергии, это своего рода *santa simplicitas*, святая простота, подбрасывание хворостинки в разгоревшийся костер инквизиции.. Речь идет о естественном, космическом процессе, на который человек воздействовать не может.

Так, не по своей воле Милутин Миланкович стал самым важным свидетелем против идеологически смонтированной проблемы климата, его «*Канон инсоляции*» служит прекрасным корректирующим фактором массовых разговоров в пользу порожденного промышленностью парникового эффекта. Он показывает,

¹⁵ Миланкович М. *Кроз васиону и векове*. Београд, 2008. С. 220.

¹⁶ Там же. С. 226.

¹⁷ Там же.

что изменение происходит всегда, но как результат отношений с Солнцем, а не с электрической лампочкой. Промышленность ископаемых видов топлива может оказывать определенное воздействие на жизнь, но, по существу, не на климат. Мы должны понимать, что сегодня несравнимо больше говорят о политике климата, чем о его изменениях. Эти два вопроса надо четко разграничивать, они между собой никак не связаны, и могут жить параллельно, так как текущая направленность изменений климата не может быть ни доказана, ни опровергнута, учитывая, что их динамика превосходит время, которое нам отпущено¹⁸.

М. Миланкович указывает нам на опорные точки небесной механики, предопределяющие климатический пульс нашей планеты. Их можно свести к следующим фактам: эксцентricность уменьшается, и поэтому прецессионное движение играет все меньшую климатическую роль, также уменьшается наклон земной оси, что означает сокращение поступления солнечной радиации в Арктике. Из этого следует, что планета в следующие несколько тысяч лет будет хорошо обеспечена теплом, и эта межледниковая эпоха будет самой долгой в ее истории. Безусловно, могут произойти события, которые мы не можем предвидеть, так как наш опыт космических событий более чем скуден, но, что касается циклов Миланковича, они приведут к результатам, в которых нет сомнений.

Мы можем верить М. Миланковичу, потому как он пришел к общей гелиоцентрической математической климатологии, которая подходит для всех планет, объединяет астрономию и науки о Земле и осуществляет оптимальную практическую связь небесной механики и наук о Земле. «Канон поступления солнечной радиации» следует понимать как общую астрономическую теорию климата, касающуюся всех планет с твердой корой¹⁹. М. Миланкович первым рассчитал климатические условия на Меркурии, Венере, Марсе и Луне, придя в начале XX в. к результатам, о которых наука того времени не могла и мечтать,

¹⁸ Aleksandar Petrović. *Greenhouse: An Inverse Perspective on Climate Change*. Natural Hazards and Disasters, Sri Krishnadevaraya University, Department of Geography. Anantapur, India, 2009. С. 1–17.

¹⁹ Сейчас о циклах Миланковича говорят применительно и к планетам за пределами Солнечной системы.

и которые получили во второй половине XX в. эмпирическое подтверждение²⁰.

Создавая принципы моделирования климата всех планет Солнечной системы, в которой Земля является только отдельным случаем, М. Миланкович первым комплексно математически поставил вопрос климата как космической проблемы (с Солнцем в центре этой проблемы). После Аристарха и Коперника это была третья великая гелиоцентрическая теория. Теория М. Миланковича — это полная математическая картина воздействия солнечной радиации на солярный климат планеты (теоретический климат планет, обусловленный только поступлением солнечной радиации). До сих пор это не нашло полного осознания, так как астрономическая теория климата расходится с традиционными принципами европейской научной культуры. Хотя теория Коперника давно декларативно принята, европейская научная культура инстинктивно стремится к геоцентрическим объяснениям. В отрицании «Канона Миланковича», как и теорий Ж. Адемара и Дж. Кроля, лежит скрытое столкновение геоцентрической и гелиоцентрической картин мира²¹. Противники «Канона» (от Альбрехта Пенка до IPCC) на первый план выдвигают геоцентрические причины климатических изменений.

В европейской культуре ни одна гелиоцентрическая теория не была принята спокойно. Даже сама астрономическая теория изменений климата появилась не как следствие эволюции научных теорий, а как ряд героических поступков Ж. Адемара, Дж. Кроля и Милутина Миланковича, который оставил работу инженера-строителя и в противовес описательной и специализированной науке начал заново создавать заброшенную астрономическую теорию климата.

М. Миланкович пришел к объяснению динамики поступления солнечной радиации через астрономические расчеты, схожие с расчетами затмений Солнца и Луны (которые обычно называются канонами затмений, известными еще в античные времена), поэтому его работа получила название «Канон

²⁰ Aleksandar Petrović. *Milanković — The Founder of the Cosmic Climatology*. Berger, A., et al (eds). *Paleoclimate and the Earth Climate System*. Belgrade, 2004. С. 199–200.

²¹ Petrović A., Marković S. *Annus mirabilis and the end of the geocentric causality*. *Quaternary International*, 214, 2010. С. 114–118.

инсоляции». Потребовалось более двух столетий, чтобы после канона затмений через теорию Миланковича мы получили канон инсоляции. Античные каноны затмений и сейчас не потеряли своего значения. Несомненное будущее теории М. Миланковича заключается в том, что она не просто теория, а канон в настоящем смысле этого слова.

В заключение мы можем назвать основной принцип, на котором основывается будущее «Канона инсоляции». Это его гелиоцентричность, способствовавшая «наведению моста» между небесной механикой и науками о Земле, математическому соединению точных и описательных наук, что впервые дало возможность числового моделирования, реконструкции и прогнозирования климата на планетах. Таким образом, «Канон инсоляции» подразумевает великую гармонию, соединяющую то, что разделено в геоцентрическом мире.



Др. Александр Петрович, профессор культурной антропологии в университете г. Крагуевац, Сербия. Председатель Сербского общества истории науки, секретарь Комитета по климатическим изменениям и трудам Милутина Миланковича Сербской академии наук и искусств. Руководитель национального научного проекта *«Антропология глобального потепления: исторические причины и социальные последствия»*.

С 1997 г. по настоящее время работает над изданием собрания сочинений Милутина Миланковича (том 1–9) и трактовкой его трудов. Монография А. Петровича *«Milutin Milankovic and the Mathematical Theory of Climate Change»* представлена в 2002 г. на Саммите «Планета Земля» в Йоханнесбурге. А. Петрович — автор выставки *«Канон Милутина Миланковича»*, открытой в начале 2009 г. в галерее Сербской академии наук и искусств. Он издал ряд книг и журнальных статей, посвященных трудам Милутина Миланковича и проблемам астрономической теории изменений климата, а также вопросам антропологии и политики климата. Читал лекции в университетах Европы, России, Индии и Китая.

Александр ПЕТРОВИЧ
КАНОН ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА
Милутин Миланкович и астрономическая теория изменений климата

Редактор *С.В. Орлова*
Дизайн обложки *С.А. Романова*
Оригинал-макет *Л.В. Климкович*

Подписано в печать 03.05.2011. Формат 60×90 ¹/₁₆
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,25
Тираж 300 экз. Заказ № 2052

Отпечатано в типографии «Нестор-История»
198095, СПб., ул. Розенштейна, д. 21. Тел.: (812) 622-01-23