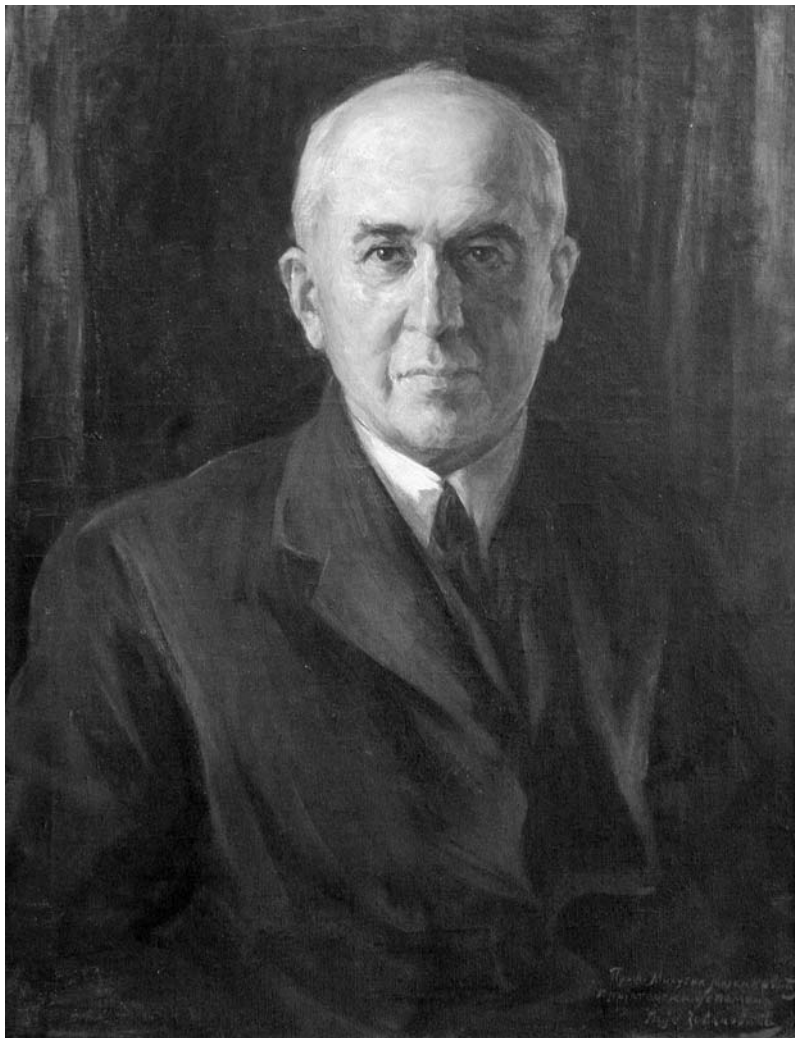


## СОДЕРЖАНИЕ

---

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

<sup>1</sup> 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 Веней. Об этом он писал в своих многочисленных мемуарах<sup>2</sup>. 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,

<sup>2</sup> 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»<sup>3</sup>.

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

---

<sup>3</sup> 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 Белграде<sup>4</sup>. 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»<sup>5</sup>.

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

<sup>4</sup> Миланкович М. *Успомене, доживљяи и сазнања*.

<sup>5</sup> Там же. С. 427.

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

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 тел<sup>7</sup>. В следующей работе он показал, что и направления сил, воздействующих на три тела, также пересекаются в общей точке, названной «полюс гравитации»<sup>8</sup>. 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

<sup>6</sup> Миланкович М. *Успомене, доживляи и сазнања*. С. 425.

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

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

позиции кинематической симметрии<sup>9</sup>. 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 Майкельсона<sup>10</sup>.

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

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

<sup>10</sup> 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 теории<sup>11</sup>.

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 настроением. «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»<sup>12</sup>.

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 звезд<sup>13</sup>. 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

---

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

<sup>12</sup> Миланкович М. *Успомене, доживљаи и сазнања*. С. 456.

<sup>13</sup> 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?»<sup>14</sup> 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»<sup>15</sup>. Согласно такому положению вещей, метеорологи задавали вполне логичный вопрос: «Зачем идти в обход через Солнце, чтобы узнать, что происходит на Земле?»<sup>16</sup> 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

<sup>14</sup> Миланкович М. *Успомене, доживљаи и сазнања*. С. 456.

<sup>15</sup> 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».

<sup>16</sup> Там же.

полностью разделены»<sup>17</sup>. 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»<sup>18</sup>, — писал впоследствии Миланкович. Ранее «эти науки были строго разграничены, каждый ученый в своей области имел свою отдельную “нору”, из которой с трудом вылезал»<sup>19</sup>. 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»<sup>20</sup>. 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.

---

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

<sup>18</sup> Миланкович М. *Успомене, доживляя и сазнања*. С. 817.

<sup>19</sup> Там же. С. 467.

<sup>20</sup> 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»<sup>21</sup>.

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



Таковыми 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»<sup>22</sup>.

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»<sup>23</sup>. А это постоянно увеличивает количество научных предположений. Поэтому «основной вопрос математической феноменологии заключается в определении методом аналогии между процессами идентичных основ действия явлений»<sup>24</sup>. 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

---

<sup>22</sup> Станоевич Дж. *Централне силе у природи*. Београд, 1906. С. 86.

<sup>23</sup> Стоянович К. *Тумачене физичких и социјалних појава*. Београд, 1910. С. 130.

<sup>24</sup> 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...»<sup>25</sup>

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

<sup>25</sup> 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 воспринять свое поле научных исследований как «поиск связей притока солнечной радиации на Землю и температуры, создаваемой солнечными лучами на ее поверхности и в атмосфере»<sup>26</sup>. 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

---

<sup>26</sup> 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»<sup>27</sup>.

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»<sup>28</sup>.

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»<sup>29</sup>. 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-

<sup>27</sup> Миланкович М. *Успомене, доживля и сазнања*. С. 456.

<sup>28</sup> Там же. С. 457.

<sup>29</sup> 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 Янковича<sup>30</sup>. 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 Хана<sup>31</sup>. 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  $-273^{\circ}\text{C}$ . 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

---

<sup>30</sup> 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.

<sup>31</sup> 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»<sup>32</sup>.

Это содержание первой статьи Миланковича, ознаменовавшей начало его занятий проблемой климата<sup>33</sup>. 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»<sup>34</sup>. 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-

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

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

<sup>34</sup> Там же. С. 136.

ванная в «*Известиях Венской академии наук*», на тему распределения солнечного тепла по поверхности Земли<sup>35</sup>. «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»<sup>36</sup>. 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»<sup>37</sup>.

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

<sup>35</sup> 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.

<sup>36</sup> Миланкович М. *Успомене, доживљаи и сазнања*. С. 457.

<sup>37</sup> 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»<sup>38</sup>. 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.

---

<sup>38</sup> 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. Юмом<sup>1</sup>. 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. Лаверье 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

---

<sup>1</sup> 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 мира<sup>2</sup>.

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»<sup>3</sup>. 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

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Charles Lyell. *Principles of Geology*. London, 1853. С. 127.

или усиливая различия зимних и летних температур...»<sup>4</sup> 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»<sup>5</sup>. 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»<sup>6</sup>. 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

---

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

<sup>5</sup> Там же.

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

периодах»<sup>7</sup>. 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»<sup>8</sup>. 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

<sup>7</sup> Alexander von Humboldt. *Cosmos*. Vol. IV, Bohn, 1852. С. 459.

<sup>8</sup> 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)»<sup>9</sup>. 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,

<sup>9</sup> 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 эксцентricности еще надо было доказать»<sup>10</sup>. 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 явлениям<sup>11</sup>.

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

<sup>10</sup> 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.

<sup>11</sup> 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 климата<sup>12</sup>. Еще за двадцать лет до выхода книги он размышлял о «прецессии равноденствия как вероятной причине ряда революций, сотрясавших поверхность Земли»<sup>13</sup>. 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»<sup>14</sup>. 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

---

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

<sup>13</sup> Там же. С. 21.

<sup>14</sup> Там же. С. 22.

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

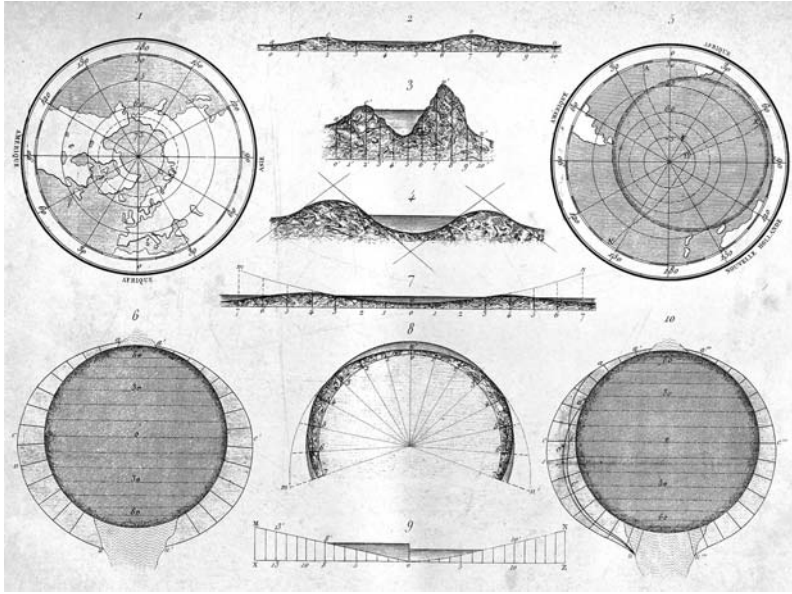


Схема климатических последствий действия прецессии Ж. Адемара  
(См.: Joseph Adhémar. *Révolutions de la mer*. Paris, 1842)

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

<sup>15</sup> Joseph Adhémar. *Révolutions de la Mer — formation geologique des couches superieures 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»<sup>16</sup>. 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.

---

<sup>16</sup> 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.<sup>17</sup>

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»<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> 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.

<sup>18</sup> 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...»<sup>19</sup> 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

---

<sup>19</sup> 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»<sup>20</sup>.

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”»<sup>21</sup>.

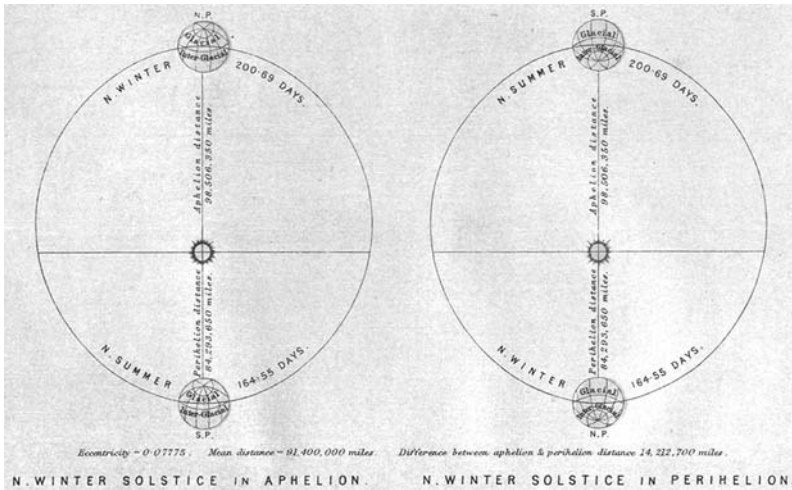
Кроме тяжелых жизненных обстоятельств, основной проблемой Кроля была борьба с предрассудками и отсутствием знаний. Ж. Адемара не принимали из-за его теории катастроф, а Дж. Кроль тратил много мыслительной энергии на полемику с лордом Кельвином по поводу его оценки возраста Солнца и скорости охлаждения 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 эксцентриситеты 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-

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

<sup>21</sup> 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»<sup>22</sup>.



### 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 Лаверье доказал, что эксцентричность не влияет на общее количество

<sup>22</sup> 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 эксцентриситеты орбиты) в полушарии Земли<sup>1</sup>. 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

<sup>1</sup> 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»<sup>2</sup>.

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»<sup>3</sup>.

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 теорией<sup>4</sup>.

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

<sup>2</sup> Успомене. С. 603.

<sup>3</sup> Там же. С. 467.

<sup>4</sup> 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»<sup>5</sup>. 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 эпох<sup>6</sup>. Позднее, в 1933 г., Жозеф Дево рассчитал данные об отражательной

<sup>5</sup> Успомене. С. 474.

<sup>6</sup> 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»<sup>7</sup>. 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 планете<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> *Успомене*. С. 624.

<sup>8</sup> 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 Солнце<sup>9</sup>.

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».

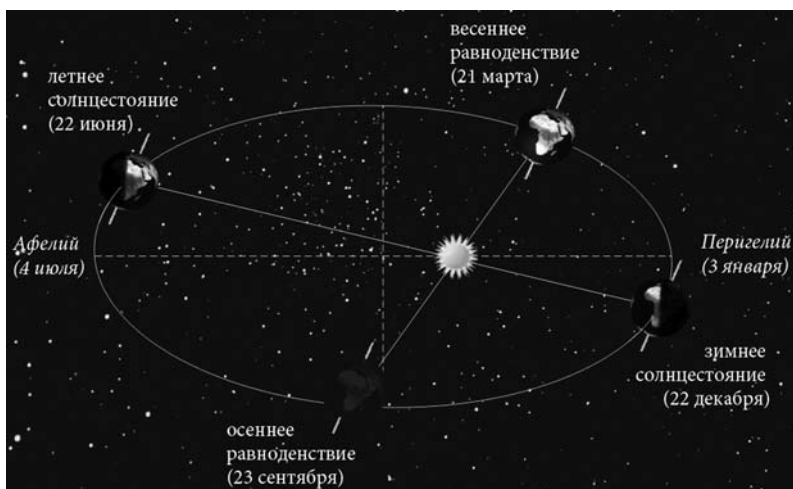
<sup>9</sup> См.: Петрович А. *Opus solis — хелиоцентрични канон Милутина Миланковича*. «Скривени хоризонт — размеджа историе српске науке». Крагуевац, 2006. С. 211–239.

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 разработки<sup>10</sup>. 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 —

<sup>10</sup> 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).