

Смольский И.И. Новые инсоляционные периоды и последние похолодания в плиоцене / В сб. Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции / Под ред. В.П.Мельникова и Д.С.Дроздова. – Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015. – С. 360-363.

## НОВЫЕ ИНСОЛЯЦИОННЫЕ ПЕРИОДЫ И ПОСЛЕДНИЕ ПОХОЛОДАНИЯ В ПЛИОЦЕНЕ

Смольский И.И.

*Институт криосферы Земли СО РАН, г. Тюмень*

### Реферат

Астрономическая теория изменения климата основывается на решениях трех проблем: эволюций орбитального и вращательного движений и изменении инсоляции. Все три задачи решены по-новому с использованием более точных методов. Полученные колебания инсоляции в 7 - 8 раз превышают колебания инсоляции в прежних теориях. Новые колебания инсоляции сопоставлены с изменением палеоклимата в Западной Сибири в позднем плейстоцене. Показано, что они согласуются. Приведены инсоляционные периоды изменения палеоклимата за 200 тыс. лет назад и даны их характеристики.

**Ключевые слова:** астрономическая теория; колебания инсоляции; палеоклимат; периоды.

### New periods of insolation and last ice ages in the Pliocene

Joseph J. Smulsky

*Institute of Earth's Cryosphere, Tyumen, Russia*

### Abstract

The astronomical theory of climate change is based on three problems: the evolution of the orbital and rotational movements and changes of insolation. All three problems have been solved by using the more accurate methods. The resulting fluctuations of insolation in 7 - 8 times are higher the fluctuations of insolation in previous theories. New insolation fluctuations are compared with change of the paleoclimate in Western Siberia in the late Pleistocene. It was shown that they are consistent. The insolation periods of paleoclimatic change and their characteristics are given for 200 thousand years ago.

**Key Words:** astronomical theory; fluctuations; insolation; paleoclimate; periods

### Введение

В начале 20<sup>ого</sup> века Милутин Миланкович [1939] создал Астрономическую теорию изменения климата. В ней на основании трех параметров: эксцентриситета  $e$  орбиты Земли, углового положения перигелия  $\varphi_{\text{пр}}$  и угла наклона  $\varepsilon$  плоскости орбиты к плоскости экватора Земли рассчитывается инсоляция Земли на разных ее широтах. В астрономическую теорию климата Земли составными частями входят задачи об орбитальном и вращательном движении Земли и задача об инсоляции Земли в зависимости от параметров ее орбитального и вращательного движения.

Решения М. Миланковича последовательно повторяли несколько поколений исследователей, например [Lascar et al 2004]. Однако все они шли одним и тем же путем, который за столетия сложился в небесной механике. Мы пошли другим путем. Мы не копировали уравнения предшественников, а сами их выводили из первоначальных основ [Смольский 2014]. Во-вторых, при выводе стремились ввести минимальные упрощения. И, в-третьих, задачи решались численными методами, при этом использовались самые высокоточные их варианты или создавались новые. По первой и третьей задачам наши независимые исследования подтвердили исследования предшественников. А результаты вращательного движения – другие [Смольский 2014].

Амплитуда колебаний угла наклона  $\varepsilon$  экватора Земли к ее орбите в семь-восемь раз больше. Эти колебания дают такие изменения инсоляции, которые могут объяснить имевшие место колебания климата в прошлом.

### Эволюция угла наклона и инсоляции на широте 65° северного полушария

На рис. 1 линией 1 показана эволюция угла наклона  $\varepsilon$  за прошедшие 200 тыс. лет. Изменения угла  $\varepsilon$  по нашим решениям совпадают с аппроксимацией данных наблюдения, а также до 2000 лет совпадают [Смольский 2014] с результатами решений других авторов [Lascar et al 2004]. Далее рассчитанный нами угол наклона  $\varepsilon$  начинает отличаться от результатов их решений. По сравнению с расчетами по прежним теориям (линия 2) наши решения дают в 7-8 раз большие амплитуды колебаний. По прежним теориям на этом интервале времени угол наклона изменяется от 22.21° до 24.43°. А по нашим решениям наклон плоскости экватора Земли к плоскости ее орбиты изменяется от 14.8° до 32.1°. Примерно такой же диапазон изменений угла  $\varepsilon$  получен при решении задачи за будущие 200 тыс. лет [Смольский 2013].

В астрономических теориях палеоклимата рассматривается инсоляция за равные калорические полугодия. Начало и конец летнего калорического полугодия определяется так, чтобы инсоляция за любой

его день была больше инсоляции за любой день зимнего полугодия. Далее будем рассматривать инсоляцию на широте  $65^\circ$  северного полушария, которое обозначается буквой  $N$ . Мы рассчитали изменение инсоляции  $Q_S^{65N}$  за 200 тыс. лет в прошлое как по определенным нами параметрам:  $e$ ,  $\varepsilon$  и  $\varphi_{py}$  (линия 1 на рис. 1), так и по тем же параметрам, рассчитанных в работе [Lascar et al 2004] (линия 2). Как видно из графиков, инсоляция  $Q_S^{65N}$  за летнее калорическое полугодие на северной широте  $65^\circ$  по нашим решениям имеет амплитуду колебаний также в 7-8 раз большую, чем по прежним теориям. Моменты потепления и похолодания по нашим расчетам 1 и по прежним теориям 2 также не совпадают.

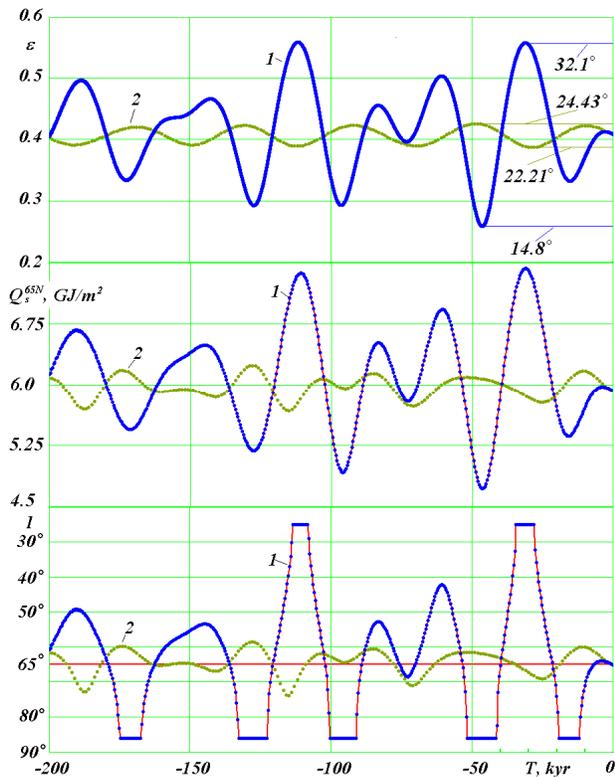


Рис. 1. Эволюция угла наклона  $\varepsilon$ , а также летних инсоляций  $Q_S^{65N}$  и  $I$  за 200 тыс. лет в прошлое. Сравнение новых результатов 1 с результатами прежних теорий 2 на примере работы [Lascar et al 2004]:  $\varepsilon$  – угол наклона в радианах экватора Земли к плоскости ее орбиты;  $Q_S^{65N}$  – инсоляция в ГДж/м<sup>2</sup> за летнее калорическое полугодие на северной широте  $65^\circ$ ;  $I^\circ$  – инсоляция в эквивалентных широтах за летнее калорическое полугодие на северной широте  $65^\circ$ . В градусах приведены максимальные и минимальные значения угла  $\varepsilon$ .  $T$  – время в тыс. лет от 30.12. 1949 г.

На рис. 1 представлена инсоляция  $I$  в эквивалентных широтах, рассчитанная нами для широты  $65^\circ$  северного полушария как по нашим данным (линия 1), так и по данным [Lascar et al 2004] (линия 2). Она определяется следующим образом. Если в эпоху  $T$  летняя инсоляция на широте  $\varphi$  была такая, как в современную эпоху на широте  $\varphi_0$ , то инсоляция в эквивалентных широтах будет  $I = \varphi_0$ . На рис. 1, начиная с  $T = 0$ , инсоляция  $I$  по нашим данным 1 с широты  $65^\circ$  уменьшается на несколько градусов, т.е. на широте  $65^\circ$  становится теплее. Затем после максимума величина  $I$  начинает увеличиваться до

широт  $80^\circ$  и  $90^\circ$ . При  $T = -15$  тыс. лет летняя инсоляция на широте  $65^\circ$  меньше, чем современная летняя инсоляция на полюсе, поэтому на графике  $I$  проведена горизонтальная площадка. Таким образом, горизонтальная площадка примерно 15 тыс. лет назад означает, что инсоляция на широте  $65^\circ$  была меньше, чем сейчас на полюсе. Такое малое количество тепла могло привести к оледенению территорий на широте  $65^\circ$ .

При дальнейшем изменении времени до  $T = -30$  тыс. лет летняя инсоляция  $I$  в эквивалентных широтах достигает широт  $50^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $30^\circ$ , т.е. на широте  $65^\circ$  становится значительно больше солнечного тепла. Горизонтальная площадка в эпоху  $T = -30$  тыс. лет означает, что на широте  $65^\circ$  поступает больше тепла, чем сейчас на экваторе.

Линией 2 приведена инсоляция  $I$  в эквивалентных широтах по прежним теориям. Как видно, на широте  $65^\circ$  летняя инсоляция  $I$  на рассмотренном отрезке времени в 30 - 50 тыс. лет изменяется в пределах от  $60^\circ$  до  $70^\circ$ . Маловероятно, что изменения количества тепла на широте  $65^\circ$  до таких величин, которые сейчас имеются на широтах  $60^\circ$  и  $70^\circ$ , могут привести к существенным потеплениям климата или его похолоданиям. Такие небольшие изменения инсоляции всегда вызывали сомнения [Смульский 2013].

### Инсоляция и последние оледенения в Западной Сибири

В результате изучения разными специалистами палеоклимата Западной Сибири выработано согласованное представление о его эволюции в позднем плейстоцене [Гросвальд 2009; Svendsen et al 1999]. В табл.1 приведены максимумы похолоданий 15.88 тысяч лет назад (т.л.н.) и 46.44 т.л.н., которые согласуются с ключевыми событиями позднего плейстоцена Западной Сибири.

Таблица 1. Отдельные экстремумы инсоляции: потепления отмечены как максимумы (max), а похолодания – как минимумы (min).

$T$ , т.л.н.	4.16	15.88	31.28	46.44	110.8
Тип	max	min	max	min	max
$Q_S^{65N}$ , ГДж/м <sup>2</sup>	5.97	5.36	7.43	4.72	7.38

Большая часть исследователей считают, что на севере Западной Сибири на островах и на шельфе Баренцева и Карского морей неоднократно образовывался ледниковый щит. По Гросвальду [2009], в ледниковые эпохи, которые многократно повторялись в последние 2.3 - 2.5 м.л.н., Баренцево-Карский шельф превращался в сплошную область эрозии (эскарации) и сноса. Этот щит объединялся со скандинавским щитом, а их ледосборы на Печорский бассейн взаимодействовали между собой, периодически отклоняя друг от друга. Имеются только различия относительно границ распространения ледниковых щитов и их положения в разные эпохи. В поздний Вейхелий, эквивалентный сартанскому оледенению [Svendsen et al 1999], совместный ледниковый щит на востоке захватывал Новую Землю, на

севере шел по шельфам северных морей, на западе достигал нижней трети Исландии и Британии, в Европе опускался до широт 56°, а в России поднимался на Север по Западной части Белого моря. Авторы работы [Svendsen et al, 1999] считают, что в Карском море могли быть островные оледенения с опорой на северную часть Таймыра. А в средне-раннем Вейхелии, который эквивалентен Ермаковскому оледенению, восточная часть совместного ледникового щита распространялась по северной части шельфа Карского моря и захватывала почти весь Таймырский полуостров и плато Путорана в Восточной Сибири, а по югу опускалась чуть ниже полярного круга и соединялась с южной границей в Европе сартанского ледника. В отличие от Svendsen et al [1999], у Гросвальда [2009] восточная граница этого ледника захватывает весь Таймыр и западную часть Среднесибирского плоскогорья, на юге опускается до широты 50°, а на западе захватывает всю Исландию и почти всю Британию. В связи с этим Гросвальд считает, что Баренцево-Карский ледниковый щит существовал в обе последние ледниковые эпохи.

На определенном этапе образования ледникового щита в Западной Сибири сток рек бассейнов Оби и Енисея в ледовитый океан прекращается [Гросвальд 2009]. Низменные части Западной Сибири начинают заполняться водой. Исследователи отмечают образование Хантыйского, Енисейского и Пуровского озер [Архипов 1997], которые в последующем соединились между собой и образовывали озеро-море Западной Сибири. С ростом высоты ледникового щита и сменой похолодания на потепление начинался сток льда с него. Сток на север, в Ледовитый океан, прослеживается по подводным желобам: Медвежинскому, Франция-Виктория, Св. Анны и Воронина. А сток на юг отмечен Сибирскими увалами в Западной Сибири и их продолжениям в Восточной Сибири. Эту границу Гросвальд [2009] назвал линией Волкова.

С дальнейшим потеплением начинается таяние ледникового щита и происходит дальнейшее увеличение пресноводного моря до такой степени, что начинается его сток через Тоболо-тургайский желоб в Туранскую низменность Приаралья и, возможно, с проходами на юге – в Каспийскую низменность.

С деятельностью ледника связаны морены, пути перемещения льда (троги), сдвиги, надвиги и прочие дислокации, переносы породы и грунта и множество других процессов. С деятельностью пресноводного моря связаны террасы, озёрные отложения, конусы выноса входящих рек и эрозионные процессы на бортах выводных потоков (спилвеев).

Моренный пояс, Сартанский или Танамский [Архипов 1997], вдоль возвышенности Сибирские Увалы является самый южный. Севернее, в зоне 65.5° и 67° с.ш., существует еще несколько моренных поясов. Вследствие неоднократности похолоданий моренные пояса могли возникать в разные периоды. Пути перемещения ледников разных эпох могли не совпадать. Поэтому морены могут принадлежать к разным ледниковым эпохам. Если последний ледниковый максимум (ПЛМ)

был менее мощный чем предыдущие, то самый южный моренный пояс является результатом деятельности предыдущих ледниковых эпох. Самый южный пояс морен, доходящий до подножия Сибирских Увалов, относят [Архипов 1997] к раннезьярянскому времени к Ермаковскому горизонту. К этому ледниковому периоду относится максимальная стадия Баренцево-Карского щита около 50 тыс. лет назад (Svendsen et al, 1999). После максимальной стадии в Печорском Бассейне этот щит растаял 40 т.л.н.

Как видно из табл. 1, этому Ермаковскому ледниковому периоду соответствует минимум инсоляции 46.44 т.л.н. Инсоляция летом была  $Q_s^{65} = 4.72$  ГДж/м<sup>2</sup> – самая низкая за весь период в 200 тыс. лет.

Последнюю ледниковую эпоху связывают с сартанским горизонтом. В этот период сформировался ледниковый рельеф Западной Сибири, в том числе краевые морены в зоне 65.5° - 67° с.ш. по южному подножию Салехардских увалов и Хадатейским грядам Тазовского полуострова. Севернее их расположены Ямало-Гыданские пояса морен на широте около 68° с.ш. от озёр Ярро-то на Ямале к востоку вдоль Гыданской гряды. Севернее расположены морены, которые являются самыми молодыми. Последние два гряда морен связаны с деградацией сартанского ледника. Как видно из табл. 1 эта эпоха 15.88 т.л.н. с инсоляцией  $Q_s^{65} = 5.36$  ГДж/м<sup>2</sup> была теплее предыдущей на 12%. Поэтому южный моренный пояс не был достигнут моренами последней ледниковой эпохи.

Одновременным сартанскому оледенению в Западной Сибири является последнее оледенение в Скандинавии, которое характеризуют горизонтом позднего Вейхелия [Svendsen et al 1999]. В Архангельском регионе максимум оледенения относят к 17 т.л.н. и дегляциацию – к 16 т.л.н. Восточнее озера Онега дегляциация относится к 14.4 - 12.9 т.л.н. На Таймыре возраст ледника позднего Вейхелия или сартанского времени относится к 18 - 7.5 т.л.н. Пространство между Норвегией и Новой Землёй покрыто ледником – 10.7 т.л.н. По Архипову (1997) радиометрический возраст сартанского ледникового горизонта находится в пределах 23 (22) - 10 т.л.н.

Колонки, поднятые с глубины 470 м. желоба Франца-Иосифа содержали материал морены, покрытый ледниково-морскими илами с возрастом 12.9 т.л.н. и голоценовыми отложениями – 10 т.л.н. Деградиция льда в желобе Св. Анны началась около 13 т.л.н. и завершилась к 10 т.л.н. [Гросвальд, 2009]

Последствия образовавшегося в сартанское время Мансийского озера имеют примерно такой же возраст 20 - 10 т.л.н. [Архипов 1997]. Причем озеро сартанского времени занимало меньшие площади, чем более древнее. Отложения более древнего озера перекрыты отложениями с остатками мамонтов, возраст которых примерно 18 т.л.н.

Как видим, приведенные датировки сартанского оледенения и его последствий совпадают с минимумом инсоляции 15.88 т.л.н.

Между Ермаковским оледенением с минимумом инсоляции 46.44 т.л.н. и сартанским с минимумом

инсоляции 15.88 т.л.н. находится Каргинский межледниковый горизонт с максимумом инсоляции 31.28 т.л.н. Во многих долинах Печорской низменности: Шапкиной, Хвостовой Созьвы и Соймы дресвина и торф из-под рельефообразующих морен имеет возраст от 25 до 40 т.л.н. [Гросвальд 2009]. Под распространенной к северу от Сибирских увалов мореной расположены озерно-болотные отложения, возрастом от 25 до 40 - 50 т.л.н. [Архипов 1997]. Раковины на восточном Баренцево-Карском побережье и берегах Таймыра и Северной Земли имеют возраст от 24 до 38 т.л.н. [Гросвальд 2009].

Как уже отмечалось [Svendsen et al 1999] существовавший ранее Баренцево-Карский ледниковый щит к 40 т.л.н. полностью исчез. По Архипову [1997] казымская пачка Каргинского горизонта (дер. Казым-Мыс, правый берег нижней Оби) простирается по долине Оби до г. Колпашево и бассейна р. Васюган, а также до дер. Липовка на Тоболе. Ее возраст 33 - 31 т.л.н. На нижнем Енисее от г. Игарка до устья Бахты прослеживаются конощельские слои, аналог Казымскому слою с возрастом 33 - 32 т. л. Как правило, это аллювиально-озерные отложения с прослойками торфа.

Третья терраса Иртыша и Тобола с абсолютными отметками 70 - 75 м. у с. Липовка сложена озерно-аллювиальными отложениями [Илларионов 2013]. Возраст древесных и растительных остатков, имеющих в ней, составляет от 31.78 до 32.77 т.л.н. Такой же возраст имеют костные остатки бизонов, шерстистых носорогов и лошадей.

Таким образом, максимум инсоляции  $T = 31.28$  т.л.н. в табл. 1 соответствует периоду Каргинского межледнековья.

### Новые инсоляционные периоды

Экстремумы инсоляции за 50 т.л.н., как показано выше, хорошо согласуются с колебаниями палеоклимата. В результате исследований [Смутьский 2014] установлено, что летняя инсоляция отличается от зимней и инсоляции за год. По разному также изменяется инсоляция по широтам Земли. Тем не менее, летняя инсоляция  $Q_s^{65N}$  на широте  $65^\circ$  северного полушария адекватно отражает колебания инсоляции на высоких широтах  $\varphi > 45^\circ$ , как в северном, так и в южном полушарии. Именно на этих широтах наблюдаются существенные изменения палеоклимата. Поэтому колебания инсоляции  $Q_s^{65N}$  были приняты за основу для установления инсоляционных периодов и их границ.

На рис. 2 пронумерованы все экстремумы инсоляции, за исключением первого, цифрами от  $1_I$  до  $12_I$ . Первый экстремум в эпоху  $T = 4.16$  т.л.н., связанный с оптимумом голоцена, обозначен буквой  $O_I$ . Оптимум голоцена однозначно проявляется в интервале 9 - 3.3 т.л.н. [Гросвальд 2009; Архипов 1997].

Границы периодов, начало и конец, установлены по пересечении инсоляционной кривой  $Q_s^{65N}$  среднего значения  $Q_{sm} = 6.043$  ГДж/м<sup>2</sup>, которое установлено по максимальным и минимальным значениям  $Q_s^{65N}$  за 20 млн. лет. Для качественной границы климата приведены его градации из трёх уровней для холодного и трёх

уровней для тёплого периодов, например, для холодного климата: умеренно холодный (у. х.), холодный (х.) и очень холодный (о. х.). На рис. 2 показаны инсоляционные периоды и их характеристики. Средний уровень инсоляции  $Q_{sm}$  указан позицией  $1_I$ , границы первого и второго теплых уровней отмечены  $1t$  и  $2t$ , а границы холодных уровней -  $1c$  и  $2c$ .

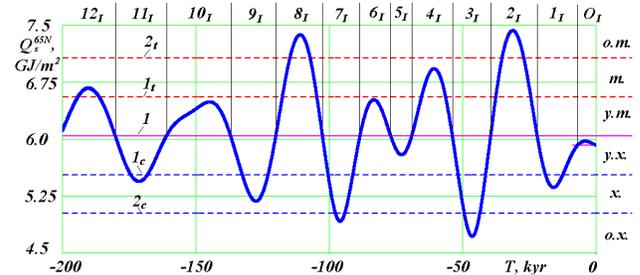


Рис.2. Периоды инсоляции  $O_I, 1_I, 2_I, \dots, 12_I$  за 200 т.л.н. и границы их смены:  $1_I$  - средняя инсоляция  $Q_{sm}$ ;  $1t$  и  $2t$  - первый и второй теплые уровни;  $1c$  и  $2c$  - первый и второй холодные уровни; у. т., т., о. т. - уровни теплых периодов; у. х., х., о. х. - уровни холодных периодов.

Как уже отмечалось, экстремумы инсоляции  $O_I, 1_I, 2_I$  и  $3_I$  (см. рис. 10 и табл. 2) за 50 т.л.н. хорошо согласуются с оптимумом голоцена, последними двумя ледниковыми периодами: Сартанским и Ермаковским, а также с Каргинским межледниковьем между ними.

### Благодарности

Задачи об орбитальном и вращательном движении Земли решались на суперкомпьютерах Сибирского суперкомпьютерного центра СО РАН (г. Новосибирск).

### Литература

- Архипов С.А. 1997. Хронология геологических событий позднего плейстоцена Западной Сибири // Геология и геофизика, 1997, т. 38, № 12. - С. 1863-1884.
- Гросвальд М.Г. 2009. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания. - Москва: Издательство «Наука», 2009. - 152 с.
- Миланкович М. 1939. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. - М.-Л.: ГОНТИ, 1939. - 207 с.
- Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A.C.M., and Levrard B. 2004. A Long-term numerical solution for the Earth // Icarus 170, 2004. Iss. 2: 343-364.
- Смутьский И.И. 2013. Анализ уроков развития астрономической теории палеоклимата // Вестник Российской Академии Наук, 2013. Т. 83. № 1. С. 31-39.
- Смутьский И.И. 2014. Основные положения и новые результаты астрономической теории изменения климата / Институт криосферы Земли СО РАН. - Тюмень, 2014. - 30 с.: ил. 16.- Библиогр.: 44 назв. - Рус. Деп. в ВИНТИ РАН 30.09.2014, № 258-В2014.