

СОПОСТАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИНСОЛЯЦИИ И КЛИМАТА В ПЕРИОД САРТАНСКОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ

А.А. Иванова¹, И.И. Смутьский
Институт криосферы Земли СО РАН
г. Тюмень, ул. Малыгина д.86
¹annaandruhovna@gmail.com

Аннотация

Новые решения проблем, составляющих Астрономическую теорию изменения палеоклимата, привели к колебаниям инсоляции с амплитудой в 7-8 раз большей по сравнению с прежними решениями. Они совпадают с колебаниями климата в позднем плейстоцене. На основании новой Астрономической теории палеоклимата проведено сопоставление климата в сартанский ледниковый период (22-10 т.л.н.) с инсоляционным периодом (22.08-6.86 т.л.н.).

Ключевые слова: инсоляция, сартанский ледниковый период, Западная Сибирь.

New solutions of the problems, which make up the Astronomical theory of paleoclimate change, have led to fluctuations of insolation with amplitude of 7-8 times greater than previous solutions. They coincide with climate fluctuations in the Late Pleistocene. Based on the new solutions the climate of the Sartan glacial period (22-10 ka) is compared with insolation period (22.08-6.86 ka).

Keywords: insolation, Sartan Ice Age, West Siberia.

1. Введение

Изменение климата на Земле зависит от количества солнечного тепла, которое поступает на Землю. Количество этого тепла, или инсоляция Земли зависит от параметров орбитального и вращательного движения Земли. Задачи об этих движениях рассматриваются Астрономической теорией изменения климата, которая в XX веке решена по-новому [Смутьский, 2014; Смутьский, 2016; Smulsky, Krotov, 2014]. В результате были получены большие колебания оси вращения Земли: от 16.7° до 31° , тогда как по прежним решениям ось Земли колебалась от 22.26° до 24.32° [Смутьский, 2014]. То есть, амплитуда колебаний оси Земли увеличилась в 7 раз. Во столько же раз увеличились колебания инсоляции.

За характеристику климата принята инсоляция Q_s^{65N} на широте 65° северного полушария. Она представляет количество тепла за летнее калорическое полугодие, все дни которого теплее дней зимнего полугодия. Ее изменение на рис. 1 показано за 50 тыс. лет назад (т.л.н.). В табл. 1 приведены 4 ее экстремума: 4.16, 15.88, 31.28, 46.44 т.л.н., которые определяют середины потеплений и похолоданий. А границы этих периодов находятся на пересечении инсоляции Q_s^{65N} со средним ее значением (рис. 1). Самый холодный период 3_I за последние 50 тыс. лет имел минимум 46.44 т.л.н. Уровень климата был очень холодный. Он соответствует Ермаковскому ледниковому периоду [Смутьский, 2016]. Его сменил самый теплый период 2_I с максимумом 31.28 т.л.н. Уровень климата был очень теплый. Он соответствует Каргинскому межледниковью [Смутьский, 2016]. С этого максимума шло непрерывное похолодание, которое завершилось минимумом 15.88 т.л.н. Уровень климата был холодный. Он соответствует Сартанскому ледниковому периоду [Смутьский, 2016]. Так как наибольшее количество свидетельств сохранилось об этом ледниковом периоде, то далее сопоставим их с инсоляцией.

Таблица 1. Экстремумы летней инсоляции Q_s^{65N} и инсоляционные периоды за 50 тысяч лет назад (т.л.н.).

T , т.л.н.	4.16	15.88	31.28	46.44
Тип экстремума	max	min	max	min
Q_s^{65N} , ГДж/м ²	5.97	5.36	7.43	4.72
Инсол. периоды	O_I	I_I	2_I	3_I
Границы периодов, т.л.н.	0-6.86	6.86-22.08	22.08-39.5	39.5-53.8

2. Инсоляция в эквивалентных широтах

На рис. 2 показано изменение летней инсоляции I в эквивалентных широтах на широте 65° северного полушария за последние 30 тыс. лет. Инсоляция в эквивалентных широтах – это результат сравнения количества солнечного тепла в прошлом с современным его значением. Тонкой горизонтальной линией отмечена широта 65° , к которой относится инсоляция I . Верхний горизонтальный участок графиков отмечает отрезок времени, когда инсоляция в эпоху $T = -31.28$

т.л.н. летом на широте 65° больше чем в экваториальной зоне в современную эпоху $T = 0$. А нижний горизонтальный участок отмечает эпоху $T = -15.88$ т.л.н., когда летняя инсоляция меньше чем в области полюсов.

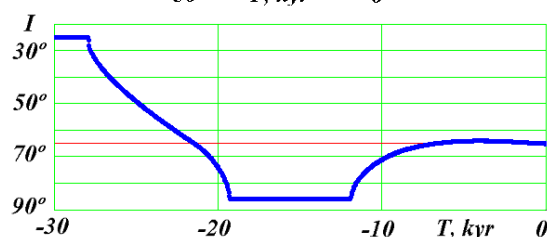
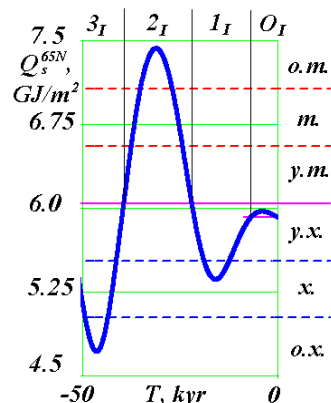
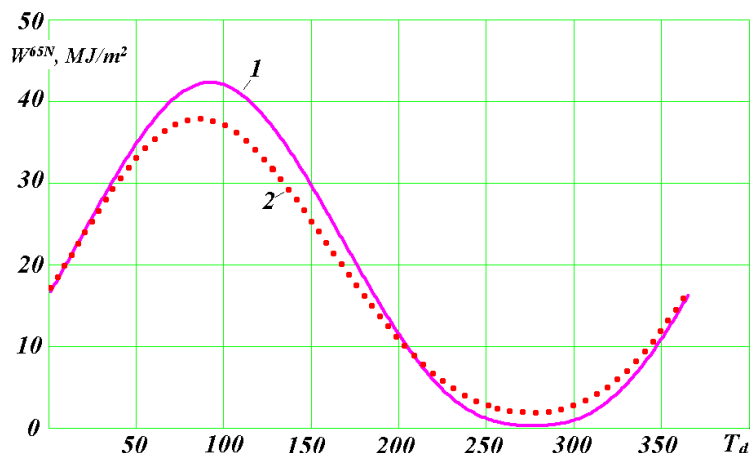


Рис. 1. (Верхний справа) Периоды инсоляции O_I , I_I , 2_I , 3_I за 50 т.л.н., границы их смены и уровни климата: Q_s^{65N} – в Гдж/м²; T , kyr – время в тыс. лет от 30.12.1949 г.; о.т., т., у.т – теплые уровни; у.х., х., о.х. – холодные уровни; о. – очень; у. – умеренно.

Рис. 2. (Нижний справа) Эволюция инсоляции I в эквивалентных широтах за 30 тыс. лет на широте 65° северного полушария

Рис. 3. (Слева) Изменение суточной инсоляции W^{65N} в Мдж/м² на широте 65° северного полушария за 365 дней: 1 – в современную эпоху, 2 – в эпоху $T = -15.88$ т.л.н. T_d – дни года от 22 марта.

3. Изменения инсоляции в течение года в разные эпохи

Годовая инсоляция Q_T получается суммированием суточных инсоляций за 365 дней, а летняя Q_s – их суммированием за летнее калорическое полугодие. На рис. 3 сопоставлены изменения суточных инсоляций на широте 65° в эпоху 15.88 т.л.н. и в современную. Счет дней времени T_d начинается с 22 марта. Суточная W^{65N} инсоляция в современную эпоху (1) вначале ($T_d = 1$ день) равняется 16.7 Мдж/м². Затем в день летнего солнцестояния ($T_d = 93$ день) достигает максимального значения 42.3 Мдж/м², а в день зимнего солнцестояния ($T_d = 276$ день) – минимального значения 0.27 Мдж/м². В эпоху 15.88 т.л.н. (точки 2 на рис. 3) количество тепла летом меньше, а зимой – больше. Например, в день зимнего солнцестояния $W^{65N} = 1.9$ Мдж/м², т.е. в 7 раз больше, нежели в современную эпоху.

Такое соотношение сохраняется по остальным летним и зимним дням. Поэтому в теплый период при очень теплом лете имеет место более холодная зима, и, наоборот, в холодный период при холодном лете имеет место более теплая зима [Смульский, 2016].

4. Критерии изменения инсоляции

При реконструкции палеоклимата по изменению инсоляции предложен ряд критериев [Иванова, Смульский, 2016]. Отметим некоторые из них.

1. Если на широте φ инсоляция в эквивалентных широтах упала до $I = 80^\circ$, то ледник начал образовываться на этой широте.
2. Если после ледникового максимума на широте φ инсоляция в эквивалентных широтах увеличилась до $I = 80^\circ$, то начинается таяние ледника.
3. Если инсоляция в эквивалентных широтах повысилась до $I = 70^\circ$ на широте φ , то ледник деградировал на этой широте.

В результате сравнения изменения инсоляции с палеоклиматом установлено [Смульский, 2016], что инсоляционные периоды согласуются с ключевыми событиями позднего плейстоцена:

сартанским и ермаковским оледенениями, каргинским потеплением между ними и оптимумом голоцена (табл. 1). Наиболее согласованное представление ученых сложилось о сартанском периоде, который является последним ледниковым максимумом. Геологические сведения о нем еще хранят верхние слои Земли. Поэтому проведем реконструкцию последнего ледникового максимума.

5. Общая картина оледенения в сартанский период

Большинство исследователей, например [Гросвальд, 1983; Hughes, 1992; Svendsen et al, 1999] сходятся во мнениях, что в момент максимального похолодания Баренцевый и Карский ледниковые щиты объединялись, и их центр оледенения находился в Карском море. Ледники с центра оледенения стекали на материк на юге и в Ледовитый океан – на севере. Об этом говорят данные по ледниковой эратике: разнос валунов на европейскую часть России шел с востока через Новую Землю, отклоняясь на юго-запад [Гросвальд, 2009]. Следы ледниковой эратики имеются также на Среднесибирском плоскогорье [Андреева, Исаева, 1988], а на архипелаге Шпицберген ледниковые шрамы показывают, что лед двигался с юго-востока на северо-запад [Salvigsen, 1992]. На южной части Новой Земли, а также на о. Вайгач и на Югорском п-ове, расположены друмлинные поля, свидетельствующие о перемещении ледников с севера на юг [Гросвальд, 1983]. По С.А. Архипову и др. север Западной Сибири был «ареной экспансии мощных покровных льдов», надвигавшихся с Карского шельфа [Архипов и др., 1980].

Группа ученых из США и России провела анализ накопленных к настоящему времени баз данных, включающих около 3000 радиоуглеродных дат, по различным явлениям, которые напрямую связаны с вымиранием мамонтов и других крупных млекопитающих: шерстистых носорогов, бизонов, овцебыков, первобытных лошадей [MacDonald et al, 2012]. Исследователи пришли к выводу, что популяции мамонтов за последние 30 тысяч лет их существования испытывали колебания численности, от высокой в теплый период около 40 - 25 тысяч лет назад, до низкой в период похолодания около 25–12 тысяч лет назад. В последний период большинство мамонтов мигрировали с севера Сибири в более южные регионы.

6. Начало оледенения

Как видно из табл. 1, инсоляционный период I_1 , связанный с Сартанским похолоданием, начался 22.08 т.л.н. Это значение подтверждается геологами, в частности Архипов [1997] говорит, что радиометрический возраст сартанского ледникового горизонта находится в пределах 23 - 10 т.л.н.

После двух тысяч лет непрерывного похолодания, в момент 20.8 т.л.н. (см. т. 1 на рис. 4), инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $I = 80^\circ$ на широте $\varphi = 70^\circ$, и оледенение территории распространяется до этой широты. Льдом покрываются о. Новая Земля, частично п-ва Ямал, Гыданский и Таймыр. Оледенению способствует уменьшение тепла летом и увеличение тепла зимой (см. рис. 3): выпавший на островах и побережье снег не успевает растаять за лето, а более теплые зимы приводят к более позднему ледоставу на морях, что увеличивает снежные осадки зимой.

7. Перекрытие стока рек

Через 500 лет в момент 20.3 т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $I = 80^\circ$ на широте 67.5° (точка 1 на рис. 5), что свидетельствует о продвижении ледника на суше и перекрытии стока таких рек, как Обь, Полуй, Надым, Пур, Таз и Енисей [Архипов, 1997; Гросвальд, 2009]. В устьях рек образуются пресноводные озёра.

8. Пик оледенения

Минимум летней инсоляции $Q_s^{65N} = 5.36 \text{ ГДж/м}^2$ достигается в момент времени 15.88 т.л.н. (рис. 6). Инсоляция в эквивалентных широтах $I = 80^\circ$ на широте 61.5° . Но, как видно из рис. 6, это происходило кратковременно, поэтому широта 61.5° является предельной, до которой могло доходить оледенение. По-видимому, в Западной Сибири, как показано точками на карте Свендсена и др. [Svendsen et al, 1999] оледенение доходило до широты 65.5° . В этот период сформировался ледниковый рельеф Западной Сибири, в том числе краевые морены в зоне $65.5^\circ - 67^\circ$ с.ш. по южному подножию Салехардских увалов и Хадатейским грядам Тазовского полуострова [Архипов, 1997; Архипов и др., 1980]. Начиная с эпохи 15.88 т.л.н. и до открытия

стока в Ледовитый океан, формируется большое Западно-сибирское море [Волков, Архипов, 1978].

Период 15-12 т.л.н. связан с масштабным вымиранием мамонтов на Земле. Большой список древних стоянок людей и мамонтовых кладбищ приведен в работе С.С. Макарова [2009]. Кроме того автором составлена карта-схема расположений большинства известных памятников периода 22-10 т.л.н. Все памятники палеолита располагаются ниже Сибирских Увалов. Как уже отмечалось, в период последнего ледникового периода мамонты мигрировали с севера Западной Сибири на юг [MacDonald et al, 2012]. Одним из самых крупным местонахождением мамонтов, находящемся на высоте 145 м над уровнем моря, является Волчья Грива [Leshchinskiy, 2015]. В процессе раскопочных работ в 2015 г. на площади 12 м² почти при 100%-ном отборе получены 620 фрагментов, целых костей и зубов крупных млекопитающих, принадлежавших не менее 6 мамонтам, возрастом 12 т.л.н.

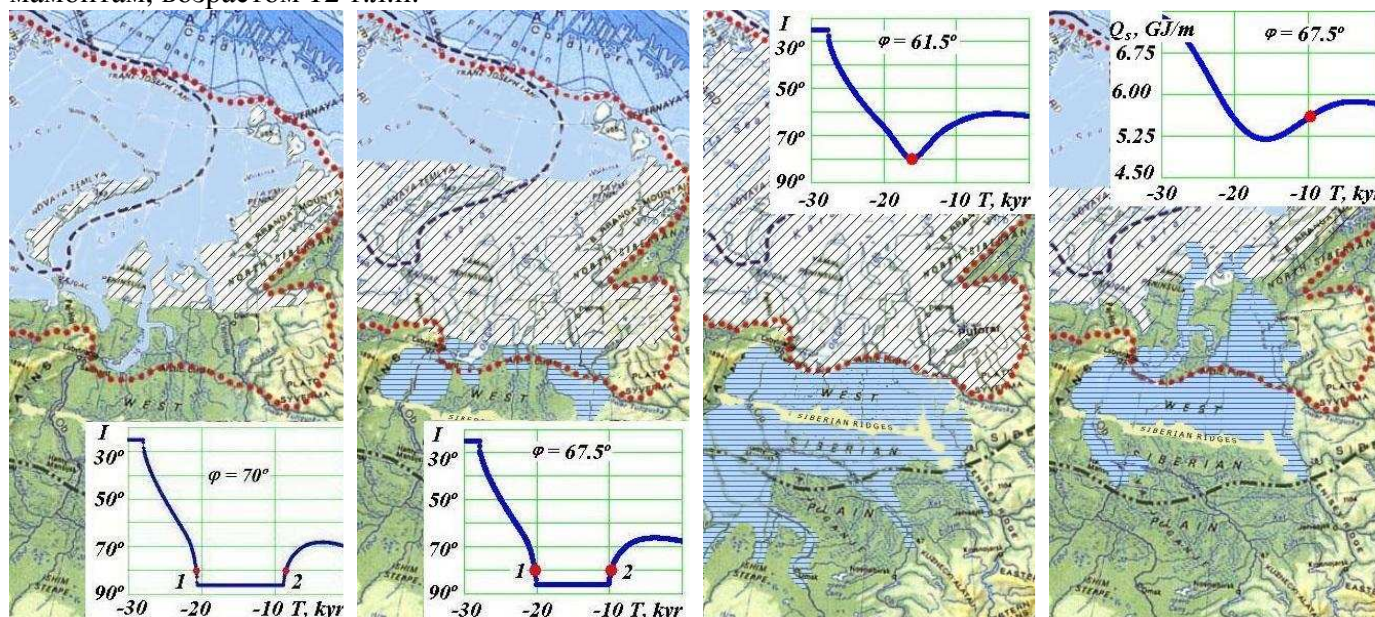


Рис. 4. (Первый слева) Оледенение Западной Сибири в момент времени 20.8 т.л.н. Косой штриховкой показаны территории покрытые ледником; внизу на графике инсоляции в эквивалентных широтах $I(T)$ на широте $\varphi = 70^\circ$ точкой 1 отмечено время этого события, когда достигается $I = 80^\circ$.

Рис. 5. (Второй слева) Оледенение Западной Сибири в момент времени 20.3 т.л.н. Горизонтальной штриховкой отмечены покрытые водой территории.

Рис. 6. (Третий слева) Оледенение в момент времени $T = 15.88$ т.л.н., отмеченный точкой на графике $I(T)$.

Рис. 7. (Четвертый слева) Конец оледенение Западной Сибири в момент времени 9.8 т.л.н. На графике летней инсоляции Q_s в ГДж/м² на широте 67.5° точкой отмечено время этого события.

Высота положения этого кладбища, а также других памятников свидетельствует, что длительный уровень Западно-сибирского моря мог не доходить до высотных отметок порядка 145 м. Имеется ряд свидетельств о превышении высотных отметок в 120 м [Архипов, 1997]. Останки мамонтов на Волчьей Гриве погребены полуметровым слоем аллювиальных отложений. Это может свидетельствовать о кратковременном покрытии их водой во время весенних паводков. С учетом этого можно себе представить, что после особенно многоснежных зим, наступали половодья, во время которых уровень моря повышался до отметок больше 120 м. При этом по Тоболо-тургайской ложбине проходил сток Западно-сибирского моря в Туранскую низменность. А в остальное время уровень понижался, поэтому было достаточно возвышенных участков для обитания первобытного человека и мамонтовой фауны.

9. Деградация ледника

После минимума $T = 15.88$ т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах в эпоху 9.8. т.л.н. достигла значения $I = 80^\circ$ на широте 67.5° (т. 2 на рис. 5). Этот момент показан также точкой на графике летней инсоляции Q_s на рис. 7. С этого момента началось интенсивное таяние ледника. Открывается сток рек в Ледовитый океан, и объем Западно-сибирского моря уменьшается. После

минимума инсоляции ледник начинает отступать с материка. Он оставляет после себя Танамские и Ямало-гыданские моренные образования [Архипов, 1997].

Во время 7.76 т.л.н. инсоляция $I = 70^\circ$ на широте 67.5° , что привело к полному исчезновению ледника на этой широте. Флинт Р.Ф. [1978] считает, что разрушение ледникового покрова началось 15 и закончилось 6 т.л.н.

Когда началось таяние ледникового щита крупнейшие северные подводные желоба, имеющие U-образные профили: Медвежинского, Франц-Виктории, Св. Анны и Воронина отводили ледяные потоки с Баренцево-Карского ледника в Ледовитый океан [Гросвальд, 2009]. Колонки, поднятые с глубины 470 м желоба Франц-Виктории содержали материал морены, покрытый ледниково-морскими илами с возрастом 12.9 т.л.н. По данным Т. Воррена [Vorren et al., 1998], западные подводные желоба освободились ото льда к 15 т.л.н., а все площади шельфа к 12 т.л.н. Эти данные в рамках их рассогласований близки по возрасту с данными по инсоляции.

10. Вывод

Основные события Сарганского ледникового периода согласуются с изменением инсоляции.

Литература

1. Андреева С.М., Исаева Л.Л. Динамика ледникового покрова северо-востока Средне-Сибирского плоскогорья в позднем плейстоцене // МГИ, 1988, вып. 61, с. 112 — 118.
2. Архипов С.А. Хронология геологических событий позднего плейстоцена Западной Сибири // Геология и геофизика, 1997, т. 38, № 12, с. 1863-1884.
3. Архипов С.А., Астахов В.И., Волков И.А. и др. Палеогеография Западно-Сибирской равнины в эпоху позднезырянского ледникового максимума. Новосибирск, Наука, 1980, 110 с.
4. Волков И.А., Архипов С.А. Четвертичные отложения района Новосибирска: оперативно-информационный материал. Новосибирск, Наука, 1978, 90 с.
5. Гросвальд М.Г. Покровные ледники континентальных шельфов. Москва, Наука, 1983, 216 с.
6. Гросвальд М.Г. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания. Ответственный редактор В.М. Котляков. Москва, Наука, 2009. - Институт географии российской академии наук. Гляциологическая ассоциация. Материалы гляциологических исследований. Выпуск 106
7. Иванова А. А., Смутьский И.И. Изменения инсоляции и палеоклимата в Западной Сибири за последние 50 тыс. лет / В сб. Научная и производственная деятельность – средство формирования среды обитания человечества: Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Тюмень, ТИУ, 2016, с. 117-124. URL: www.ikz.ru/~smulski/Papers/PIPIC150ty1.pdf.
8. Макаров С.С. Динамика культурного развития и освоение Западно-Сибирской равнины в позднем плейстоцене // Вестник НГУ, 2009, с. 64-76.
9. Смутьский И.И. 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-B2014. URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/OsPoATLP3.pdf>.
10. Смутьский И.И. Новые результаты по инсоляции Земли и их корреляция с палеоклиматом Западной Сибири в позднем плейстоцене // Геология и Геофизика, 2016, т. 57, № 7, с. 1393-1407. URL: <http://dx.doi.org/10.15372/GiG20160709>.
11. Флинт Р.Ф. История Земли. Москва, Прогресс, 1978. – 358 с.
12. Hughes T.J. Abrupt climatic change related to unstable ice-sheet dynamics: Toward a new paradigm // Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology, 1992, v. 97, p. 203 — 234.
13. Leshchinskiy S. Enzootic diseases and extinction of mammoths as a reflection of deep geochemical changes in ecosystems of Northern Eurasia // Archaeological and Anthropological Sciences, 2015, p.297–317.
14. G.M. MacDonald, D.W. Beilman, Y.V. Kuzmin et al. Pattern of extinction of the woolly mammoth in Beringia. Nature Communications, 2012, vol. 3, article 893.
15. Salvigsen O., Adrielsson L., Hjort C. et al. Ice movements in eastern Svalbard // LUNDQUA Report, 1992, v. 35, p. 9 — 16.
16. Smulsky J.J. and Krotov O.I. New Computing Algorithm of the Earth's Insolation // Applied Physics Research, 2014, Vol. 6, No. 4; p. 56-82. URL: <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v6n4p56>.
17. Svendsen J.I., Astakhov V.I., Bolshiyonov D.Yu. et al. Maximum extent of the Eurasian ice sheets in the Barents and Kara Sea region during the Weichselian // Boreas, 1999, v. 28, № 1, p. 234-242.
18. Vorren T.O., Laberg J.S., Blaume F. et al. The Norwegian- Greenland continental margins: Morphology and late Quaternary sedimentary processes and environment // Quaternary Science Reviews, 1998, v. 17, p. 273 — 302.