

## Литература

1. *Abish B., Joseph P.V., Johannessen Ola. M.* Climate change in the subtropical Jetstream during 1950-2009 // *Adv. Atmos. Sci.* 2015. Vol. 32(1). P. 140–148.
2. *Arches C.L., Caldeira K.* Historical trends in the jet streams // *Geophys. Res. Lett.* Vol. 35. P. L08803.
3. *Chenoli S.N., Mazuki M., Tumer J., Samah A.A.* Historical and projected changes in the Southern Hemisphere subtropical jet during winter from CMIP5 models // *Clim. Dyn.* 2017. Vol. 48. P. 661–681.
4. *Fu Q., Johanson C.M., Wallace J.M., Reichler T.* Enhanced mid-latitude tropospheric warming in satellite measurements // *Science.* 2006. Vol. 312. P. 1179.
5. *Fu Q., Lin P.* Poleward shift of subtropical jets from satellite-observed lower-stratospheric temperatures // *J. Clim.* 2011. Vol. 24. No. 21. P. 5597–5603.
6. *Gallego D., Ribera P., Garcia-Herrera R., Hernandez E., Gimeno L.* A new look for the Southern Hemisphere jet stream // *Clim. Dyn.* 2005. Vol. 24. P. 607–621.
7. *Gottelmen A., Shindell D.I., Lamarque J.F.* Impact of aerosol radiative effects on 2000-2010 surface temperatures // *Clim. Dyn.* 2015. Vol. 45. P. 2165–2179.
8. *Hudson R.D.* Measurements of the movement of the jet streams at mid-latitudes, in Northern and Southern Hemispheres, 1979 to 2010 // *Atmos. Chem. Phys.* 2012. Vol. 12. P. 7797–7808.
9. *Pena-Ortiz C., Gallego D., Ribera P., Anvarez-Castro M.* Observed trends in global jet stream characteristics during the second half of the 20<sup>th</sup> century // *J. Geophys. Res. A.* 2013. Vol. 118. No. 7. P. 2702–2713.
10. *Rotstayn L.D., Collier M.A., Jeffrey S.J., Kidston J., Syktus J.I., Wong K.K.* Anthropogenic effects on the subtropical jet in the Southern Hemisphere: aerosols versus long-lived greenhouse gases // *Environ. Res. Lett.* 2013. Vol. 8. P. 014030.
11. *Staten P.W., Rutz J.J., Reichler T., Lu J.* Breaking down the tropospheric circulation response by forcing // *Clim. Dyn.* 2012. Vol. 39. No. 9-10. P. 2361–2375.
12. *Wilcox L.J., Charlton-Perez A.J., Cyray L.J.* Trends in Austral jet position in ensembles of high- and low-top CMIP5 models // *J. Geophys. Res.* 2012. Vol. 117. P. D13115.

УДК 551.791 + 551.583 + 523.2

### **ИЗМЕНЕНИЕ ИНСОЛЯЦИИ И ПАЛЕОКЛИМАТА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В САРТАНСКИЙ ПЕРИОД**

*Иванова А.А., Смутьский И.И.*

*Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской Академии наук, г. Тюмень*

*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.

### **THE CHANGE OF INSOLATION AND PALEOCLIMATE OF THE WESTERN SIBERIA DURING THE SARTAN COOL PERIOD**

*Ivanova A.A., Smulsky J.J.*

*Institute of Earth's Cryosphere of Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Tyumen*

*Abstract.* New solutions of the problems, which involve in 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.** Количество солнечного тепла, т.е. 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 [7; 8]. В результате были получены большие колебания оси вращения Земли: от  $16.7^\circ$  до  $31^\circ$ , в отличие от прежних решений: от  $22,26^\circ$  до  $24,32^\circ$ . То есть амплитуда колебаний оси Земли увеличилась в 7 раз. Во столько же раз увеличились колебания инсоляции.

За характеристику климата принята летняя инсоляция  $Q_s^{65N}$  на широте  $65^\circ$  северного полушария. Ее изменение на рис. 1а показано за 50 тыс. лет назад (т.л.н.). В таблице приведены 4 экстремума  $Q_s^{65N}$ , определяющие середины инсоляционных периодов: 4,16 (оптимум голоцена), 15,88 (сартанский ледниковый), 31,28 (каргинское потепление), 46,44 т.л.н. (ермаковский ледниковый). Здесь же даны их границы.

Таблица

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 <sup>2</sup>	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. 1б показано изменение летней инсоляции в эквивалентных широтах  $I$  на широте  $65^\circ$  северного полушария за последние 30 тыс. лет. Инсоляция  $I$  равна современной широте  $\varphi$ , на которой столько солнечного тепла, как в рассматриваемом прошлом. Верхний горизонтальный участок  $I$  отмечает промежуток времени, когда инсоляция летом на широте  $65^\circ$  больше, чем в экваториальной зоне в современную эпоху  $T = 0$ . А нижний горизонтальный участок отмечает эпоху, когда летняя инсоляция меньше, чем в области полюсов.

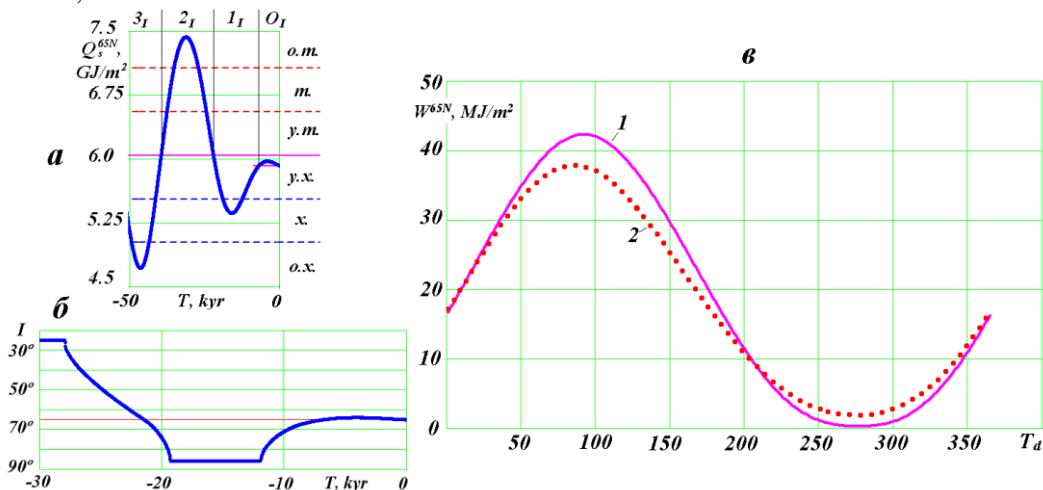


Рисунок 1 – Графики изменения инсоляции на широте  $65^\circ$  северного полушария:

**а** – инсоляция за летнее калорическое полугодие  $Q_s^{65N}$  – в ГДж/м<sup>2</sup>; периоды инсоляции  $O_I, I_I, 2_I, 3_I$  за 50 т.л.н.,  $T$ , 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. **б** – инсоляция  $I$  в эквивалентных широтах за 30 тыс. лет. **в** – суточной инсоляции  $W^{65N}$  в Мдж/м<sup>2</sup> 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.** На рис. 1в сопоставлены изменения за год суточных инсоляций на широте  $65^\circ$  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

( $I$ ) вначале ( $T_d = 1$  день) равняется  $16,7 \text{ МДж/м}^2$ . Затем в день летнего солнцестояния ( $T_d = 93$  день) достигает максимального значения  $42,3 \text{ МДж/м}^2$ , а в день зимнего солнцестояния ( $T_d = 276$  день) – минимального значения  $0,27 \text{ МДж/м}^2$ . В эпоху 15.88 т.л.н. (точки 2 на рис. 1в) количество тепла летом меньше, а зимой – больше.

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 [7].

**4. Критерии при реконструкции палеоклимата.** При реконструкции палеоклимата по изменению инсоляции предложен ряд критериев [5]. Например, если инсоляции в эквивалентных широтах уменьшается до  $I = 80^\circ$ , то ледник начинает образовываться на этой широте. Если после минимума инсоляция увеличилась до  $I = 80^\circ$ , то начинается таяние ледника, а если повысилась до  $I = 70^\circ$  на широте  $\varphi$ , то ледник деградировал на этой широте.

В результате сравнения изменения инсоляции с палеоклиматом установлено [7], 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 исследователей сложилось о последнем ледниковом периоде.

**5. Общая картина оледенения в сартанский период.** Большинство исследователей, например, [2; 4; 12] 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 эрратике: разнос валунов на европейскую часть России шел с востока через Новую Землю [4]. Следы ледниковой эрратики имеются также на Среднесибирском плоскогорье [1], а на архипелаге Шпицберген ледниковые шрамы показывают, что лед двигался с юго-востока на северо-запад [11]. 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 [4]. По С.А. Архипову и др., север Западной Сибири был «ареной экспансии мощных покровных льдов», надвигавшихся с Карского шельфа [2].

**6. Начало оледенения.** Как видно из табл. 1, инсоляционный период  $I_L$ , связанный с сартанским похолоданием, начался 22,08 т.л.н. Это значение подтверждается геологами, в частности, Архипов [2] 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.  $I$  на рис. 2а) инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины  $I = 80^\circ$  на широте  $\square = 70^\circ$ , 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. 1в): 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  $67,5^\circ$  (точка  $I$  на рис. 2б), что свидетельствует о продвижении ледника на суше и перекрытии стока таких рек, как Обь, Полуй, Надым, Пур, Таз и Енисей [2; 3; 4]. 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. 2в). Инсоляция в эквивалентных широтах  $I = 80^\circ$  на широте  $61,5^\circ$ . Но, как видно из рис. 2в, это происходило кратковременно, поэтому широта  $61,5^\circ$  является предельной, до которой могло доходить оледенение. По-видимому, в Западной Сибири, как показано точками на карте Свендсена и др. [12] оледенение доходило до широты  $65,5^\circ$ . 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 [2]. Начиная с эпохи 15,88 т.л.н. и до открытия стока рек, формируется большое Западно-Сибирское море [3].

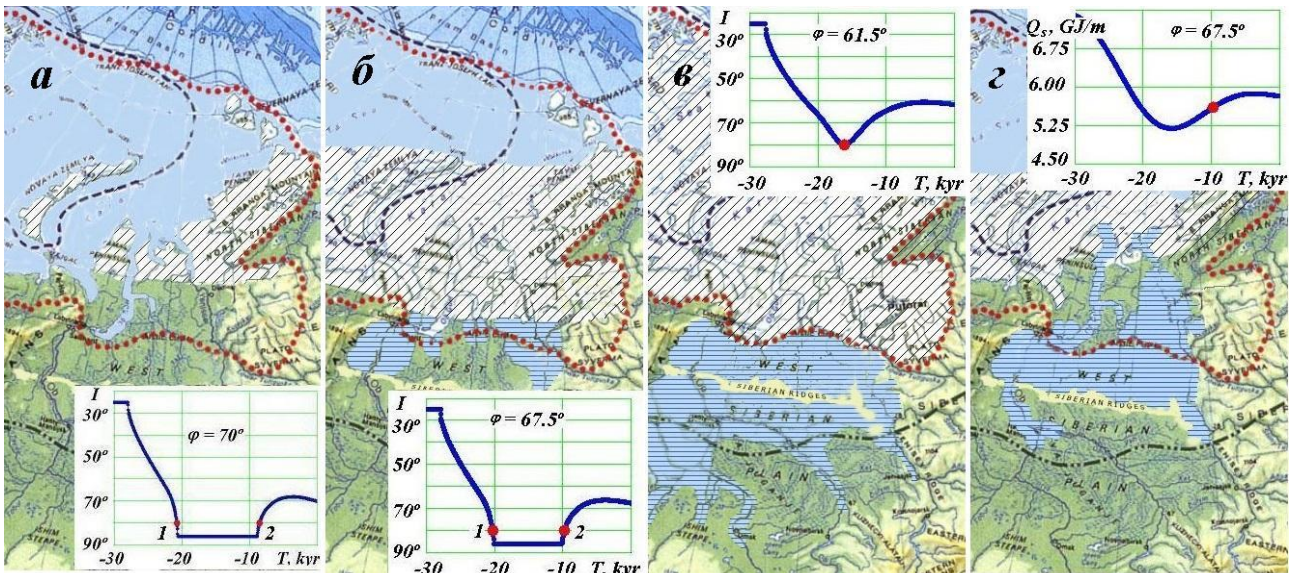


Рисунок 2 – Оледенение Западной Сибири в моменты времени:

*а* – 20.8 т.л.н., *б* – 20.3 т.л.н., *в* – 15.88 т.л.н., *з* – 9.8 т.л.н. Косой штриховкой показаны территории, покрытые ледником, горизонтальной штриховкой отмечены территории, покрытые водой; на графиках инсоляции в эквивалентных широтах  $I(T)$  на широтах = 70°, 67.5° и 61.5° точками отмечено время событий, когда достигается  $I = 80^\circ$

Период 15–12 т.л.н. связан с вымиранием мамонтов на Земле. Большой список древних стоянок людей, мамонтовых кладбищ и их карта-схема периода 22–10 т.л.н. приведены в работе С.С. Макарова [6]. Все памятники палеолита располагаются ниже Сибирских Увалов. В сартанский период мамонты мигрировали с севера Западной Сибири на юг [10].

Одним из самых крупным местонахождений мамонтов возрастом 12 т.л.н., является Волчья Грива, которая находится на высоте 145 м над уровнем моря [9]. 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 [2]. Останки мамонтов на Волчьей Гриве погребены полуметровым слоем аллювиальных отложений. Это может свидетельствовать о кратковременном покрытии их водой во время весенних паводков. Таким образом, 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. 2б). Этот момент показан также точкой на графике летней инсоляции  $Q_s$  на рис. 2г. 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 [2].

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 [4].

#### 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. *Волков И.А., Архипов С.А.* Четвертичные отложения района Новосибирска: оперативно-информационный материал. Новосибирск: Наука, 1978. 90 с.
4. *Гросвальд М.Г.* Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания // Мат-лы гляциол. исслед. Вып. 106. Москва: Наука, 2009. 152 с.
5. *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: Мат-лы Всерос. молодежная науч.-практ. конф. Тюмень, ТИУ, 2016. С. 117–124. URL: [www.ikz.ru/~smulski/Papers/IIPICI50ty1.pdf](http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/IIPICI50ty1.pdf).
6. *Макаров С.С.* Динамика культурного развития и освоение Западно-Сибирской равнины в позднем плейстоцене // Вестник НГУ. 2009. С. 64–76.
7. *Смутский 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>.
8. *Смутский И.И.* Эволюция оси Земли и палеоклимата за 200 тысяч лет. Saarbrücken, Germany: «LAP Lambert Academic Publishing», 2016. 228 с. ISBN 978-3-659-95633-1.
9. *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.
10. *MacDonald G.M., Beilman D.W., Kuzmin Y.V. et al.* Pattern of extinction of the woolly mammoth in Beringia. *Nature Communications*. 2012. Vol. 3. article 893.
11. *Salvigsen O., Adrielsson L., Hjort C. et al.* Ice movements in eastern Svalbard // *LUNDQUA Report*, 1992, v. 35, p. 9–16.
12. *Svendsen J.I., Astakhov V.I., Bolshiyakov 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.

УДК 551.501

## СОВМЕСТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА АЗИАТСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

*Катаев С.Г.<sup>1</sup>, Катаева С.С.<sup>2</sup>, Иванова Э.В.<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup>*Томский государственный педагогический университет, г. Томск*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск*

<sup>3</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения  
Российской Академии наук, г. Томск*

<sup>4</sup>*Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск*

*Аннотация.* Предложен метод совместного изучения структуры разнородных метеорологических полей. Особенность подхода заключается в поэтапном применении процедур классификации и интерполяции. Предложенный подход иллюстрируется на примере полей приземной температуры и давления на Азиатской территории России.

*Ключевые слова:* поле температуры, поле давления, классификация, пространственная интерполяция, среднеквадратичная ошибка.

## A JOINT STUDY OF METEOROLOGICAL FIELDS ON THE ASIAN TERRITORY OF RUSSIA

*Kataev S.G.<sup>1</sup>, Kataeva S.S.<sup>2</sup>, Ivanova E.V.<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup>*Tomsk State Pedagogical University, Tomsk*

<sup>2</sup>*National Research Tomsk State University, Tomsk*