

ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОКЛИМАТА ПО ИЗМЕНЕНИЮ ИНСОЛЯЦИИ НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Смульский И.И.¹, Иванова А.А.²

¹ д. ф.-м. н., профессор, г.н.с., e-mail: JSmulsky@mail.ru,

² аспирант, e-mail: AnAnIvanova@yahoo.com

^{1,2} Институт криосферы Земли СО РАН, Россия, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86

Аннотация. Рассмотрены новые результаты Астрономической теории палеоклимата, в которых амплитуда колебания инсоляции в 7-8 раз больше по сравнению с прежними результатами. Сопоставлены распределения составляющих инсоляции по широте Земли в две эпохи: самую теплую и самую холодную. В высоких широтах летняя и годовая инсоляции изменяются больше чем в два раза. В экваториальных широтах изменения годовой инсоляции в 4 раза меньше и обратные по знаку. Зимы в холодные эпохи немного теплее, а в теплые – немного холоднее. За последние 50 тыс. лет имеется 4 экстремума инсоляции 46.4, 31.3, 15.9 и 4.2 тыс. лет назад. Они совпадают с предпоследним ледниковым периодом, последовавшим за ним сильным потеплением, последним ледниковым максимумом и оптимумом Голоцена, соответственно. Приведены критерии, с помощью которых осуществляется реконструкция палеоклимата. Рассмотрены этапы образования Баренцево-Карского ледникового щита около 50 тыс. лет назад, перекрытие им стока сибирских рек, образование пресноводного бассейна, сток его через Тоболо-Тургайскую ложбину в Приаралье. Аналогично рассматриваются и другие периоды.

Ключевые слова: эволюция, инсоляция, палеоклимат, реконструкция, поздний Плейстоцен, Западная Сибирь

1. ВВЕДЕНИЕ

Существуют разные мнения о причинах изменения палеоклимата [16]. Одну из самых многообещающих причин предлагает созданная М. Миланковичем [19] Астрономическая теория палеоклимата. Она основывается на решении трех проблем: 1) как изменяется орбита Земли за интервалы времени в сотни тысяч лет; 2) как изменяется плоскость экватора Земли или ее ось вращения; 3) как изменяется количество солнечного тепла по широте Земли, т.е. ее инсоляция, в зависимости от параметров: эксцентриситета e орбиты Земли; угла ее наклона ϵ к плоскости экватора; угла φ_{py} между перигелием орбиты и восходящим узлом γ .

С конца 20-го века была начата работа по новому переосмыслению Астрономической теории изменения климата [28]. По-новому были выведены уравнения всех трех задач [18]. Они не упрощались и решались высокоточными численными методами. Результаты орбитальной задачи были уточнены, но без качественного влияния на эволюцию инсоляции. Результаты третьей задачи по расчету инсоляции [34, 39] полностью совпали с прежней теорией.

Решение второй задачи об эволюции оси вращения Земли, например, за будущие 200 тыс. лет, привело к большим колебаниям оси: от 16.7° до 31° [29, 30], тогда как по прежним решениям ось

Земли колебалась от 22.26° до 24.32° . Новые решения привели к новым изменениям инсоляции. Ее колебания значительно больше колебаний в прежней теории [30, 38], а также другие периоды колебаний и другие моменты времени наступления экстремумов инсоляции. Сравнения этих результатов с изменением палеоклимата показывают, что они хорошо согласуются с ним [31-33].

Изменения инсоляции получены с высокой точностью по отношению ко времени. Поэтому корреляция колебаний инсоляции с колебаниями палеоклимата позволяет точно привязать последние ко времени. Такая привязка является одной из главных сторон реконструкции палеоклимата. В настоящей работе рассмотрен опыт реконструкции палеоклимата на основе изменения инсоляции. При этом всплывает масса новых вопросов и проблем, которые в последующем потребуют своего решения.

2. ИЗМЕНЕНИЕ ИНСОЛЯЦИИ ПО ШИРОТЕ В РАЗНЫЕ ЭПОХИ

Облучение Земли Солнцем, или инсоляция, рассматривается на верхней границе атмосферы. Инсоляция имеет широкий спектр изменений, как по пространству, так и по времени, например, по месяцам, сезонам или полугодиям. Кроме того инсоляция Земли изменяется на больших интервалах времени, исчисляемых тысячелетиями. Вначале рассмотрим изменение инсоляции по широте в отдельные эпохи.

На рис. 1 сопоставлены инсоляции за год Q_T , за летнее Q_s и зимнее Q_w калорические полугодия в три эпохи за 200 тысяч лет назад (т.л.н.): в современную $T = 0$, в самую теплую $T = -31.28$ kyr и в самую холодную $T = -46.44$ kyr. Здесь время T дано в тысячелетиях и отрицательно при рассмотрении в прошлое. Эти эпохи характеризуются летней инсоляцией на широте $65^\circ N$ со следующими значениями $Q_s^{65N} = 5.9; 7.4; 4.7$ ГДж/м², соответственно. Углы наклона в эти эпохи были $\epsilon = 23.44^\circ; 32.10^\circ; 14.8^\circ$, соответственно.

Летняя инсоляция Q_s (рис. 1, пунктирные линии) имеет минимальное значение на полюсах и достигает максимальное значение на тропиках $\varphi = \epsilon$, а вблизи экватора имеет минимум. От холодной эпохи (линия 3) к теплой 2 летняя инсоляция Q_s на полюсах увеличивается в 2.07 раза. На широте $65^\circ N$ она изменяется в 1.57 раза. Так как эта широта в среднем хорошо представляет изменение инсоляции в высоких широтах, то она была принята М. Миланковичем [19] в качестве опорной для характеристики климата. В теплую эпоху 2 летняя инсоляция Q_s имеет экваториальный минимум в Северном полушарии, а в холодную эпоху 3 – в Южном полушарии.

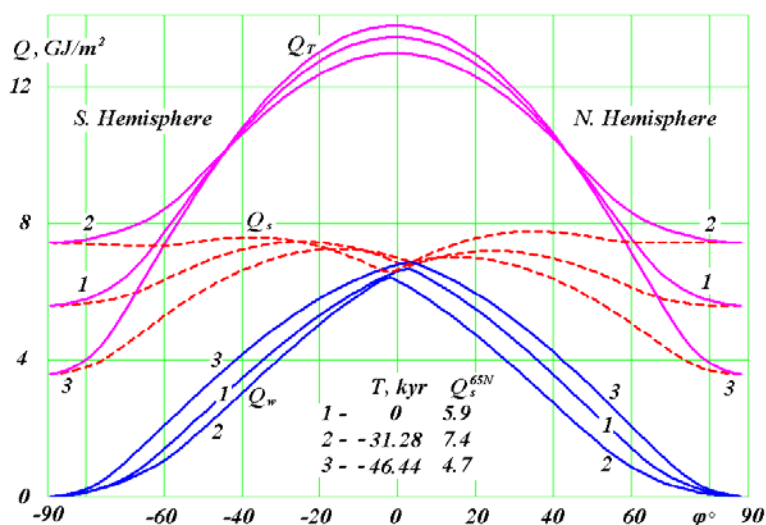
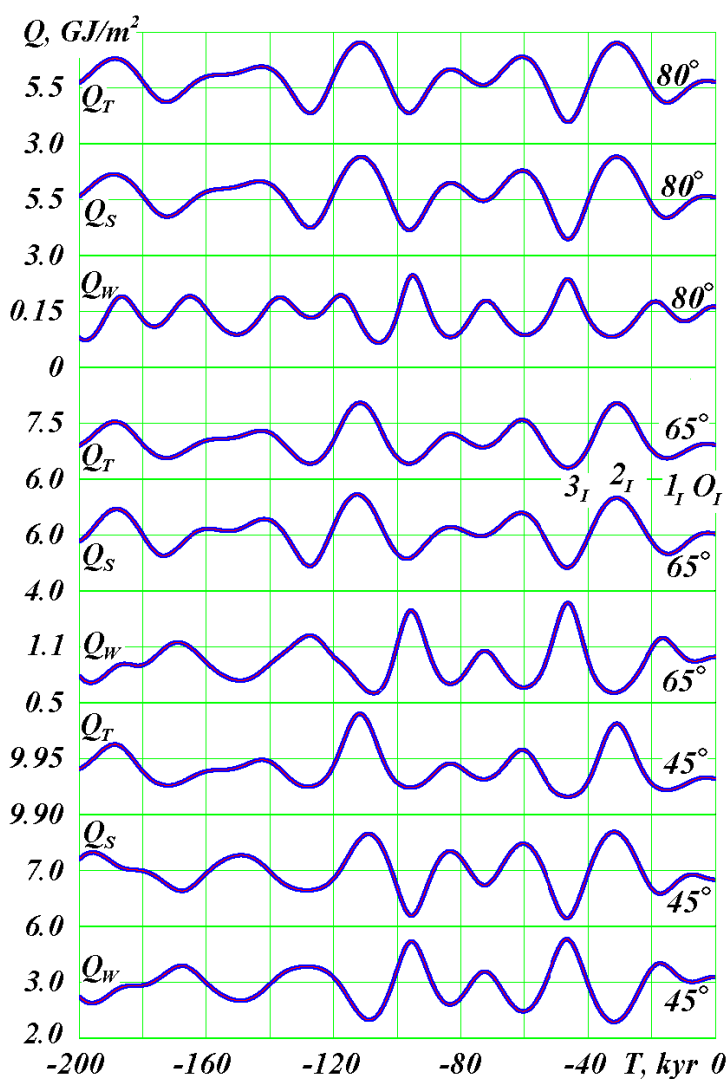


Рис. 1. Сравнение летних Q_s , зимних Q_w и годовых Q_T инсоляций за три эпохи: 1 – современная; 2 – самая теплая; 3 – самая холодная; Q_s^{65N} – инсоляция в ГДж/м² за летнее калорическое полугодие на северной широте 65° ; T – время в тыс. лет (kyr) от 30.12.1949 г.

Зимняя инсоляция Q_w (рис. 1) на полюсах равна нулю и монотонно растет к экваториальной области. В экваториальной области Q_w имеет максимум на той же широте φ , на которой расположен минимум летней инсоляции Q_s . От холодной эпохи 3 к теплой 2 зимняя инсоляция Q_w больше всего изменяется на средних широтах. При этом, для рассматриваемых 2 и 3 эпох изменения, например, на широте $\varphi = 40^\circ$, в 1.38 раза больше в Северном полушарии, чем в Южном. Зимняя инсоляция в холодную эпоху 3 на всех широтах больше, чем в теплую эпоху 2. То есть, зимы в холодные эпохи теплее, нежели в теплые.

Годовая инсоляция Q_T (рис. 1) монотонно увеличивается от полюсов к экватору. На экваторе находится ее максимум, и годовая инсоляция симметрична относительно экватора. То есть, количество тепла за год одинаково по обоим полушариям. От холодной эпохи 3 к теплой 2 инсоляция Q_T за год на полюсах увеличивается почти во столько раз, как и летняя Q_s . С уменьшением широты разница между годовыми инсоляциями уменьшается, и на широте $\varphi \approx 45^\circ$ годовая инсоляция не изменяется. В экваториальной области изменения Q_T обратные ее изменениям на высоких широтах: в холодную эпоху 3 тепла за год больше, чем в теплую. Например, на экваторе Q_T в холодную эпоху возрастает в 1.07 раза по сравнению с теплой. При этом изменение инсоляции Q_T в 4 раза меньше чем в высокоширотной области. Поэтому основные изменения годовой инсоляции происходят в высоких широтах.

3. ИЗМЕНЕНИЕ ИНСОЛЯЦИИ ПО ВРЕМЕНИ НА РАЗНЫХ ШИРОТАХ



На рис. 2 представлены изменения инсоляций Q_T , Q_s и Q_w за 200 т.л.н. на трех широтах 80° , 65° и 45° северного полушария.

На широте 65° летняя инсоляция Q_s хорошо отражает изменение годовой Q_T инсоляции. А зимняя инсоляция Q_w изменяется в противофазе с летней: при теплом лете зима немного холоднее. Таким образом, для широты 65° годовая Q_T и летняя Q_s инсоляции изменяются софазно, а зимняя Q_w – в противофазе первым двум. Такой же характер изменения инсоляций наблюдается для широт 80° и 45° .

Амплитуды колебаний инсоляций с широты 80° до широты 45° уменьшаются пропорционально цене деления годовой инсоляции 2.5; 1.5; 0.05 ГДж/м². Таким образом, в высоких широтах происходят наиболее существенные изменения инсоляции.

Рис. 2. Эволюция инсоляции за прошедшие 200 тыс. лет на трех разных широтах северного полушария. O_i , 1_i , 2_i , 3_i – экстремумы инсоляционных периодов.

На рис. 3 показаны изменения летней инсоляции I в эквивалентных широтах на трех разных широтах: 80° ; 65° и 45° . Она показывает какой широте φ в современную эпоху соответствует летняя инсоляция в эпоху T . На рис. 3 тонкой горизонтальной линией отмечена широта, к которой относится инсоляция I . Верхние горизонтальные участки графиков отмечают отрезок времени, когда инсоляция в эпоху T летом больше, чем в экваториальной зоне в современную эпоху. А нижние горизонтальные участки отмечают эпохи, когда летняя инсоляция меньше чем сейчас в области полюсов.

На широте 65° (рис. 3) по горизонтальным участкам видно, что имеются две теплые эпохи и 5 холодных. На широтах 80° и 45° инсоляция I изменяется аналогично, только на широте 80° длительность холодных периодов увеличивается и добавляется еще один, а на широте 45° увеличивается длительность теплых периодов и добавляется еще четыре теплых. На широте 45° нет периодов с инсоляцией меньше, чем на полюсе.

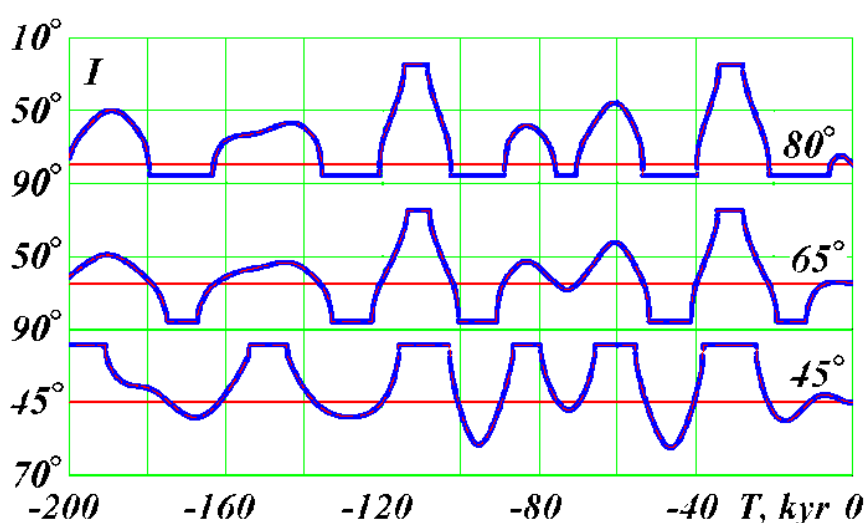


Рис. 3. Эволюция инсоляции I в эквивалентных широтах северного полушария за 200 тыс. лет на трех разных широтах Земли: горизонтальной прямой линией приведена широта, к которой относится изменение инсоляции I .

4. ИНСОЛЯЦИЯ И ПОСЛЕДНИЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В табл. 1 согласно рис. 2 приведены четыре экстремума инсоляции Q_s^{65N} за последние 50 тысяч лет. Потепления отмечены как максимумы (max), а похолодания – как минимумы (min). Инсоляционные периоды [32] обозначены номерами 1_i , 2_i , 3_i и т.д. Первый небольшой оптимум инсоляции обозначен как O_i .

Таблица 1. Экстремумы летней инсоляции Q_s^{65N} и инсоляционные периоды за последние 50 тысяч лет.

T, т.л.н.	4.16	15.88	31.28	46.44
Тип экстремума	max	min	max	min
Q_s^{65N}, ГДж/м²	5.97	5.36	7.43	4.72
Инсоляционные периоды	O_i	1_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

В результате изучения разными специалистами палеоклимата выработано согласованное представление о его эволюции в Западной Сибири в позднем Плейстоцене [12, 40]. Особенно совпадает их мнение о двух последних оледенениях. Большая часть исследователей считает, что на севере Западной Сибири на шельфе Баренцева и Карского морей и на островах неоднократно образовывался ледниковый щит. Например, Соломатин В.И. и Белова Н.Г. [35] полагают, что подземные пластовые льды, покрывающие побережье Ледовитого океана, являются погребенными остатками древних ледников. По Гросвальду М.Г. [12], в ледниковые эпохи, которые многократно повторялись в последние 2.3-2.5 миллиона лет, Баренцево-Карский шельф превращался в сплошную область эрозии и сноса. Этот щит объединялся со скандинавским щитом, а их ледосбросы на Печорский бассейн взаимодействовали между собой, периодически отклоняя друг друга.

Самый южный пояс морен, доходящий до подножия Сибирских Увалов, относят к Ермаковскому времени [3, 4]. К этому ледниковому периоду относится максимальная стадия Баренцево-Карского щита около 50 тыс. лет назад [40]. Как видим, минимум инсоляции 46.44 т.л.н. и инсоляционные период 3, с границами 53.8-39.5 т.л.н. хорошо согласуются с Ермаковским ледниковым периодом или ледниковым максимумом средне-раннего Вейхелия [40].

После максимальной стадии этот ледниковый щит растаял примерно 40 т.л.н. [40]. Во многих долинах Печорской низменности: Шапкиной, Хвостовой Созьвы и Соймы древесина и торф из-под рельефообразующих морен имеет возраст от 25 до 40 т.л.н. [12]. Под распространенной к северу от Сибирских увалов мореной расположены озерно-болотные отложения, возрастом от 25 до 40-50 т.л.н. [2]. Этот период называют Каргинским межледниковьем. Как видим, максимум инсоляции 31.28 т.л.н. и инсоляционный период 2, с границами 39.5-22.08 т.л.н. хорошо согласуются с Каргинским межледниковьем.

В Архангельском регионе максимум оледенения позднего Вейхелия или Сартанского времени относят к 17 т.л.н. и дегляциацию – к 16 т.л.н. [40]. На Таймыре возраст этого ледника относится к 18-7.5 т.л.н. По С.А. Архипову [2] радиометрический возраст Сартанского ледникового горизонта находится в пределах 23-10 т.л.н. Как видим, минимум инсоляции 15.88 т.л.н. и инсоляционный период 1, с границами 22.08-6.86 т.л.н. хорошо согласуются с Сартанским ледниковым периодом или ледниковым максимумом позднего Вейхелия.

В процессе анализа данных по Западной Сибири было установлено [5, 21], что верхняя толща многолетнемерзлых пород (ММП) сформировалась за последние 5-6 т.л.н. Формирование бугристых торфяников в южной зоне распространения ММП Западной Сибири началось примерно 3 т.л.н. [21, 37]. Начало этих процессов связывают с оптимумом Голоцена. Как видим, небольшой максимум инсоляции 4.16 т.л.н. и инсоляционный период 0, с границами 6.86-0 т.л.н. хорошо согласуются с оптимумом Голоцена.

В значительной мере согласованное представление о двух последних оледенениях в Западной Сибири выражено на карте в работе [40] (см. рис. 4). Сплошной и пунктирной линией 1*b* показана граница оледенения в поздний Вейхелий, эквивалентный Сартанскому оледенению [40]. Согласно другим авторам, в частности М.Г. Гросвальду [12], граница оледенения в Западной Сибири проходила восточнее. Она примерно показана точками 2*b*. Ледниковый щит в средне-раннем Вейхелии, который эквивалентен Ермаковскому оледенению, имел по Svendsen и др. [40] восточную границу отмеченную точками 2*b*. По М.Г. Гросвальду [12] граница Ермаковского оледенения в Западной Сибири проходила восточнее и южнее, которую можно представить штрихпунктирной линией 3*b*. Этой линией 3*b* показан [40] предел оледенения в Европе и Западной Сибири, который мог быть в Четвертичном периоде, по мнению разных авторов.

В рассматриваемой далее реконструкции палеоклимата будем ориентироваться на вышеотмеченные границы оледенений.



Рис. 4. Границы Сартанского и Ермаковского оледенений по Svendsen et al [40] (линии 1b, 2b, и 3b) и оледенение Западной Сибири в момент времени 52.9 т.л.н. Белым цветом с 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 $I = 80^\circ$. Здесь и далее карта заимствована из работы Svendsen et al [40]. Масштаб 1:5000000.

5. КРИТЕРИИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОКЛИМАТА

На основании данных об эволюции инсоляции попытаемся проследить изменение палеоклимата в Западной Сибири за 50 т.л.н. Начало оледенения территории можно определить, исходя из покрытия льдом суши в современную эпоху. На широте 80° льдом покрыты Северная Земля, Земля Франца Иосифа и Шпицберген, высота которых порядка сотен метров. Поэтому для континентальных, не горных, областей инсоляцию на широте 80° будем считать пороговой для начала оледенения.

Начало деградации ледника также относим к широте 80° . Полное исчезновение ледника при необходимом количестве тепла потребует некоторого времени. Поэтому отнесем этот момент к широте 70° . На этой широте ледников в Западной Сибири нет. Перечислим эти и другие критерии, которые будем использовать при реконструкции палеоклимата по эволюции инсоляции.

1. Если на широте φ инсоляция в эквивалентных широтах упала до $I = 80^\circ$, то ледник начал образовываться на этой широте.
2. Если после минимума инсоляции 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.

4. Озера-моря образуются при перекрытии ледником стока рек в Ледовитый океан.
5. Территории затапливаются водой в соответствии с их высотными отметками.
6. Озера-моря начинают уменьшаться при освобождении стока рек в Ледовитый океан.
7. При таянии ледников Гренландии и Антарктиды уровень Ледовитого океана повышается, и он наступает на берег.
8. Реконструируемые события должны согласовываться с палеоклиматическими данными.

6. ПРЕПОСЛЕДНИЙ ЛЕДНИКОВЫЙ МАКСИМУМ ИЛ И ЕРМАКОВСКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ

Как видно из табл. 1, инсоляционный период Z_i , связанный с Ермаковским похолоданием, начался 53.8 т.л.н. Через 900 лет в эпоху 52.9 т.л.н. на широте 70° инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $l = 80^\circ$ (точка 1 на рис. 4). В соответствии с первым критерием, льдом покрываются полностью Новая Земля, частично полуострова Ямал и Таймыр. Росту ледника способствуют теплые и, по-видимому, многоснежные зимы (см. Q_w на рис. 1 и рис. 2).

В эпоху 52.6 т.л.н., когда инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $l = 80^\circ$ на широте 67.5° (т. 1 на рис. 5), оледенение территории распространяется до этой широты. При этом сток рек Оби, Пура, Таза и Енисея в Северный Ледовитый океан перекрыт [12]. В устьях рек образуются пресноводные озера.

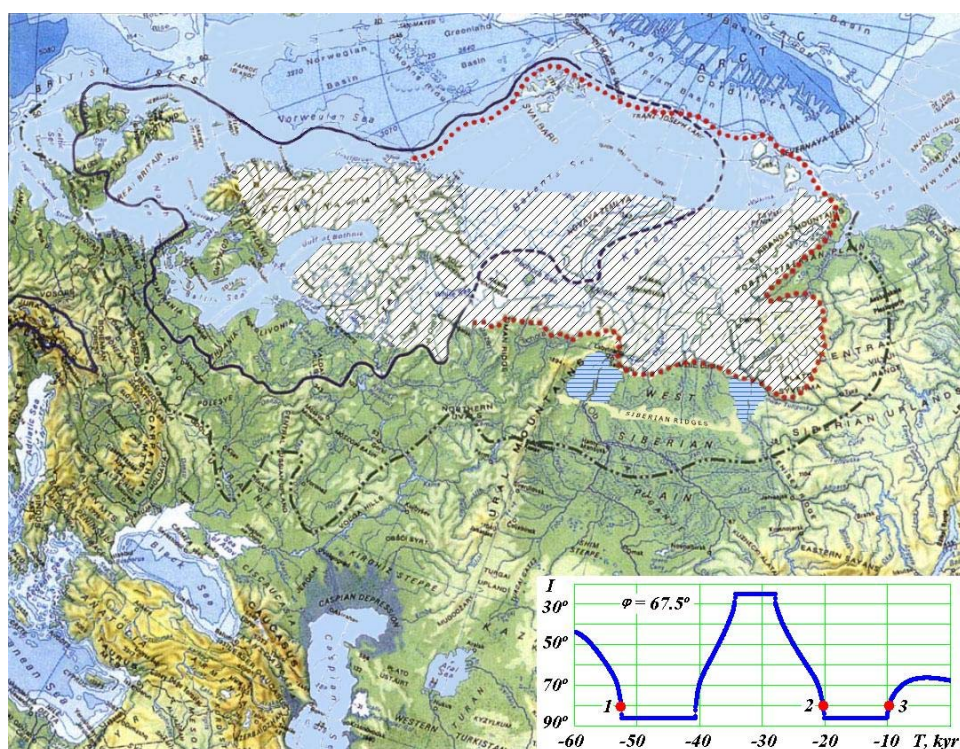


Рис. 5. Оледенение Западной Сибири в момент времени 52.6 т.л.н. (эпоха 1). Голубым цветом с горизонтальной штриховкой отмечены покрытые водой территории. (Остальные обозначения см. рис. 4).

В момент максимального похолодания 46.4 т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $l = 80^\circ$ на широте 53.4° (рис. 6). Как видно из графика $l(T)$ это происходит кратковременно. Поэтому широта 53.4° является предельной, на которой может наступить оледенение. При этом должно быть достаточное количество снежных осадков, что обеспечивается очень теплой зимой (см. Q_w на рис. 1). Примерно на этой широте проводят максимальную границу оледенения Гросвальд М.Г. [12] и Svendsen J.I. и др. [40] (см. рис. 4). На рис. 6 мы провели границу оледенения до

уровня Сибирских Увалов. В вышеотмеченных работах максимальную границу оледенения проводят как ниже Сибирских Увалов, так и выше. Южнее их располагается пресноводное озеро-море, которое может препятствовать распространению оледенения. Поэтому полагаем, что ледник занимает территорию до Сибирских Увалов.

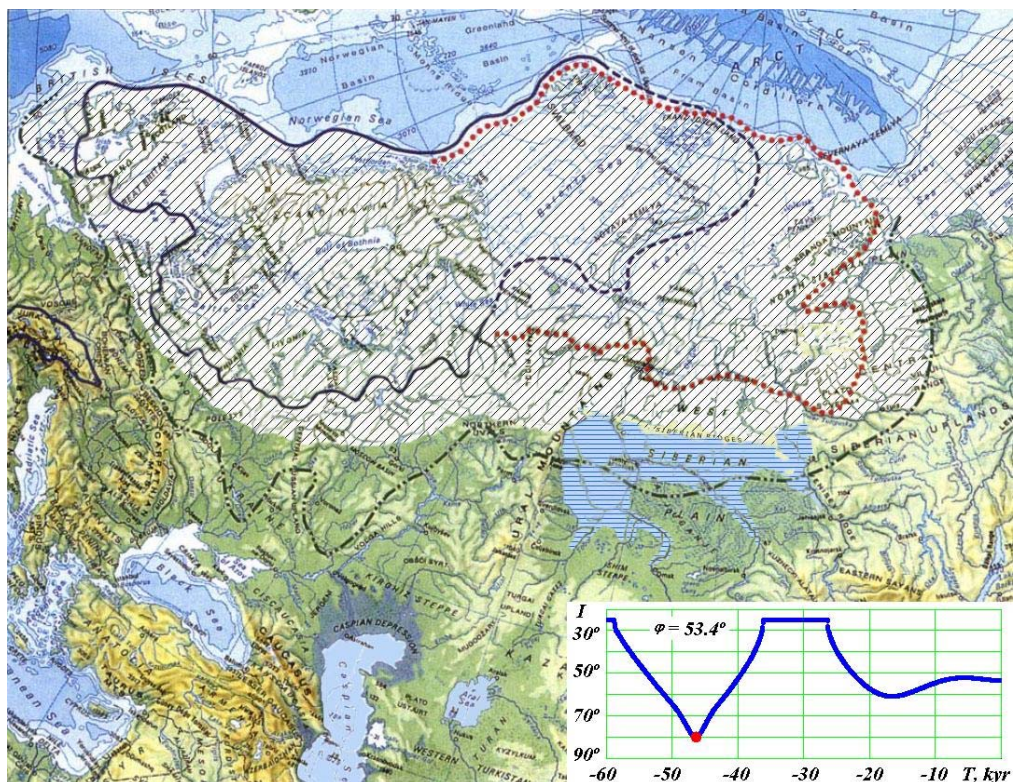


Рис. 6. Оледенение Западной Сибири в момент времени 46.4 т.л.н. (Обозначения см. рис. 4 и рис. 5).

Так как сток рек продолжается, то озера растут в объеме и продвигаются на юг. Во время максимального похолодания 46.4 т.л.н. на рис. 6 показано распространение воды по Западно-Сибирской равнине до высоты 68-69 м над уровнем моря. Так по Енисею она дошла до Енисейска (58° с. ш.), по Оби – практически до Томска, по Иртышу – до Омска, по Ишиму – до Ишима, а по Тоболу – до Кургана. При этом водой заполняются низменные местности вблизи рек. Исследователи выделяют Мансийское и Енисейское озера [9, 10]. Первое занимает часть Западно-Сибирской равнины южнее Сибирских Увалов, а второе располагается в долине Енисея.

После минимума инсоляции 46.4 т.л.н. рост ледникового щита продолжался до 40.3 т.л.н., когда инсоляция на широте 70° не достигла значения $I = 80^\circ$ (см. т. 2 на графике $I(T)$ рис. 4). В эпоху 40.1 т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах достигает значения $I = 70^\circ$ на широте 67.5° (т. 1 на рис. 7). В соответствии с критерием 3 территория до этой широты освобождается от ледника. В связи с этим мощность озер на Западно-Сибирской равнине увеличивается. Севернее Сибирских увалов образуется Пуровское озеро. Оно совместно с Мансийским и Енисейским сливаются и образуют озеро-море Западной Сибири.

На рис. 7 показаны высоты вдоль основных рек, определенные с помощью общедоступной программы «Google Earth». На ней точками отмечены минимальные высоты над уровнем моря в ближайшей окрестности рек и древних водоемов.

С дальнейшим потеплением начинается таяние ледникового щита и происходит увеличение пресноводного моря до такой степени, что начинается его сток через Тоболо-Тургайскую ложбину

в Туранскую низменность Приаралья и, возможно, с проходами на юге – в Каспийскую низменность. Имеются свидетельства [20, 22, 26], что уровень Каспия повышался до +27 м, и он по Кумо-Манычской впадине стекал в Азово-Черноморский бассейн. В Плейстоцене по этому проливу бассейны Каспийского и Черного морей соединялись неоднократно [24]. Последний раз пролив существовал 15-12 тысяч лет назад.

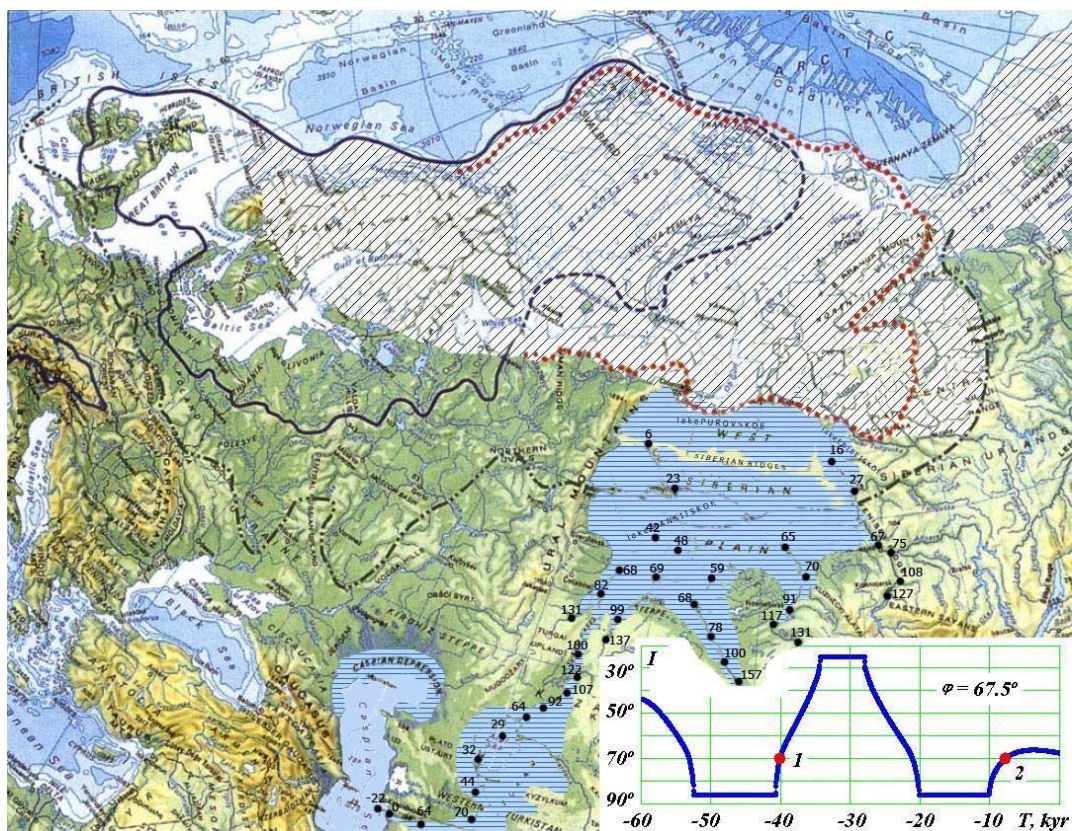


Рис. 7. Оледенение Западной Сибири в момент времени 40.1 т.л.н. На графике инсоляции $I(T)$ точкой I отмечено время этого события, когда достигается $I = 70^\circ$.

Центральная часть Тоболо-Тургайской ложбины простирается меридионально от истоков р. Убаган, притока р. Тобола, до истоков р. Тургай [15]. Ее поперечный профиль имеет корытообразную форму шириной 22-25 км. Как видно из рис. 7, современный уровень дна ложбины преимущественно находится на отметке 100-107 м и не превышает 122 м. Древнее дно ложбины покрыто 70-90 м толщей четвертичных отложений, т.е. абсолютная отметка дна составляет 30-40 м [15]. За прошедшие 40 т.л. часть этих отложений пополнились за счет размыва и сноса бортов ложбины многочисленными небольшими реками. Они питают озера Аксуат, Кушмурун, Жарман, Сарыкопа и др., которые находятся на дне ложбины.

Дополнительно, отложения на дне ложбины пополнились во время Сартанского оледенения. Например, с глубины 75-77.5 м скважины 25 км южнее оз. Кушмурун обломок древесины имел возраст 28800 [12]. Он был заключен в 3-метровый гравийно-галечный слой, покрытый 15-метровой толщей песка с гравием и галькой. Это свидетельствует об отложении его активным потоком в ложбине. Из скважины, расположенной 75 км южнее, с глубины 34 м старичная глина имела возраст 19140 лет. Эта глина преобладает в разрезе верхних 55-60 м отложений ложбины. Кроме того, по образцам из террас, врезанных в днище ложбины, получены датировки 10800 и 11600 л.н. [12]. Эти данные свидетельствуют, что высотные отметки дна ложбины 40 т.л.н. могли быть порядка 50 м. Это, во-первых, а во-вторых, во время Сартанского оледенения по ложбине шел сток из Западно-Сибирской низменности [12], который также способствовал повышению ее уровня. И, в-третьих,

отмеченная выше толща песчано-галечных отложений на дне ложбины не является препятствием при появлении подпора воды. В течение нескольких лет она будет разжижена и снесена потоком воды.

Как видно из рис. 7, высотные отметки к верховьям рек Енисея, Оби, Иртыша и Ишима превышают даже современную отметку Тоболо-Тургайской ложбины в 122 м. Поэтому сток воды из образовавшегося пресноводного озера-моря мог быть только через эту ложбину, когда уровень озера-моря превышал уровень ложбины. Об этом имеется много свидетельств. Например, в 15-20 км ниже Новосибирска, в обнажении Красный Яр, на уровне 115 м выходит 8-10-метровая озерная толща, налегающая на горизонт древних почв с укоренившимися пнями, возрастом порядка 28-29 т.л.н. [4]. Это свидетельствует о высотной отметке озера-моря порядка 125 м [9, 10]. Следы этого озерного уровня сохранились также в долине Тобола, на Тобол-Ишимском и Ишим-Иртышском междуречьях. Чуть выше был уровень Енисейского озера, которое сообщалось с Мансийским через Кас-Кетскую и Верхнетазовскую сквозные долины. Как считал С.В. Гончаров [11], это озеро достигало уровня 120-130 м, а по другим сведениям, оно поднималось выше 140 м [11].

Итак, при стоке воды из Западно-Сибирской низменности через Тоболо-Тургайскую ложбину, она неизбежно попадает в Каспийское море при одном условии. Сток должен быть такой мощности и продолжаться столько времени, чтобы заполнить водой территории с высотными отметками порядка 70-100 м.

С деятельностью ледника связаны морены, пути перемещения льда (троги), сдвиги, надвиги и прочие дислокации, переносы породы и грунта и множество других процессов. Моренный пояс вдоль возвышенности Сибирские Увалы, который относят к Ермаковскому горизонту, является самым южным [3, 4]. Валунно-галечный материал в составе толщи Сибирских Увалов имеет изначально ледниковое происхождение, поскольку отличается слабой окатанностью, часто имеет ледниковые шрамы и царапины и абсолютно не характерен для данной территории [6]. Севернее, в зоне 65.5° и 67° с.ш., существует еще несколько моренных поясов, которые принадлежат Сартанскому оледенению.

7. КАРГИНСКОЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ

Как видно из табл. 1, в эпоху 39.5 т.л.н. начинается Каргинский межледниковый период, который обозначен в табл. 1 как 2₁ и длится до 22.08 т.л.н. Этот теплый период характеризуется самой большой инсоляцией $Q_s^{65N} = 7.43$ ГДж/м² за 200 т.л.н., максимум которой наступает 31.28 т.л.н. Продолжается таяние ледника в высоких широтах. В эпоху 39.5 т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах достигает значения $l = 70^\circ$ на широте 76° (рис. 8). Эту широту можно отнести к середине Карского ледникового щита. В соответствии с критерием 3 ледниковые покровы небольшой толщины исчезают на территориях до широты 76°. Освобождается сток рек в Ледовитый океан, вследствие чего озеро-море начинает уменьшаться. Его следы еще остаются в Туранской низменности.

Высота Карского ледникового щита достигала 1.5-1.6 км [12, 36], поэтому его таяние не завершается при достижении инсоляции значения $l = 70^\circ$ на средней его широте. Оценим время таяния Карского ледникового щита по времени его образования. Начало его образования мы отнесли ко времени 52.9 т.л.н., когда инсоляция достигла значения $l = 80^\circ$ на широте 70° (см. рис. 4). Рост ледника продолжался до эпохи 40.3 т.л.н., когда на этой же широте инсоляция после ее минимума не возросла снова до $l = 80^\circ$. Таким образом, рост Карского ледникового щита продолжался 12.6 т.л. Будем считать, что не больше времени потребуется для его таяния, т.е. ледниковый щит полностью растаял к 27.7 т.л.н.

С другой стороны северная граница Карского ледникового щита достигала широты 80° [12, 40]. На этой широте инсоляция в эквивалентных широтах принимает значение $I = 70^\circ$ в эпоху 39.3 т.л.н. Ледниковый щит такой мощности раньше времени 39.3 т.л.н. не мог растаять. Поэтому исчезновение Карского ледника может находиться в пределах от 39.3 т.л.н. до 27.7 т.л.н., и по среднему значению может быть отнесено ко времени 33.5 т.л.н. В этом случае его таяние длилось 6.8 т.л. Следует отметить, что таяние ледникового щита Сартанского времени, как считает Флинт Р.Ф. [36], длилось 9 т.л.

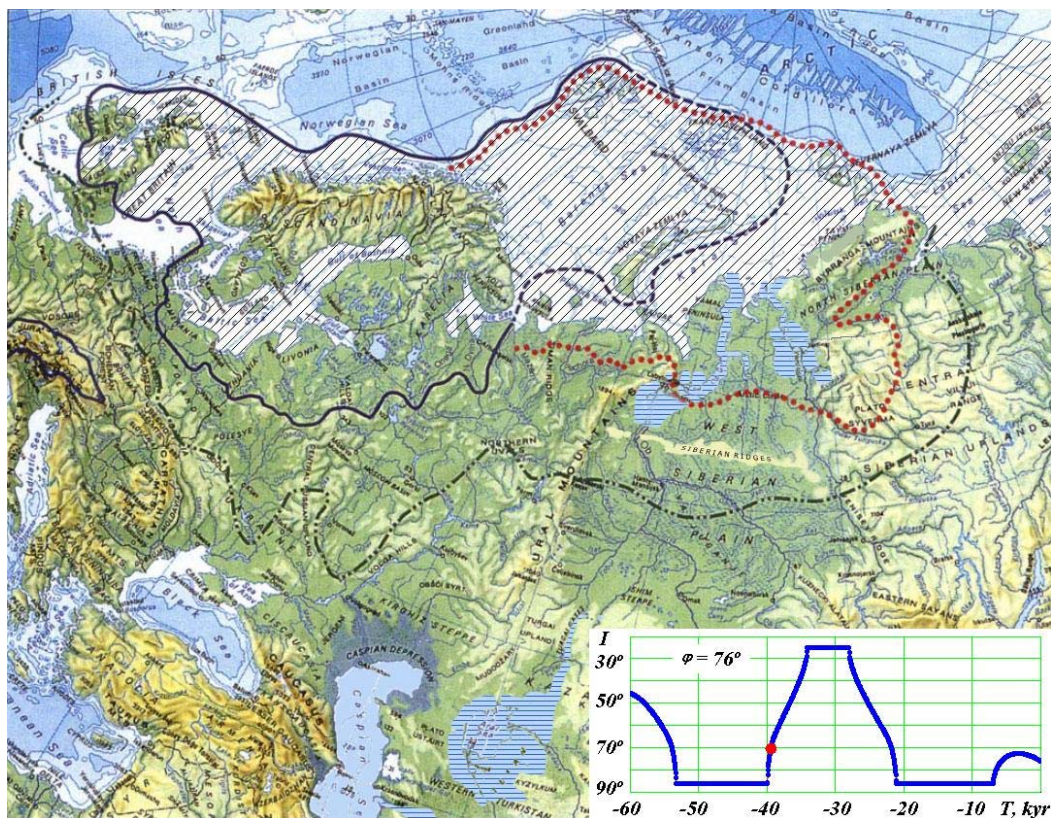


Рис. 8. Конец Ермаковского ледникового периода и начало Каргинского межледниковья в момент времени 39.5 т.л.н.

Итак, в начале Каргинского потепления еще существуют остатки Западно-Сибирского моря. С его деятельностью связаны террасы, озерные отложения, конусы выноса входящих рек и эрозионные процессы на бортах выводящих потоков (спилвеев). По Архипову [2] 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.

В самое теплое время 31.2 т.л.н. завершается таяние Скандинавского и Карского ледниковых щитов. Тают также ледники Гренландии и Антарктиды. Уровень моря поднимается и затопляет низменные побережья (рис. 9).

В северной части Западной и Восточной Сибири обнаруживаются следы морских отложений. Например, раковины на восточном Баренцево-Карском побережье и берегах Таймыра и Северной Земли имеют возраст от 24 до 38 т.л.н. [12].

К концу этого периода 22.08 т.л.н. инсоляция приближается к среднему значению. Уровень океана понижается, и вода уходит с затопленных берегов.

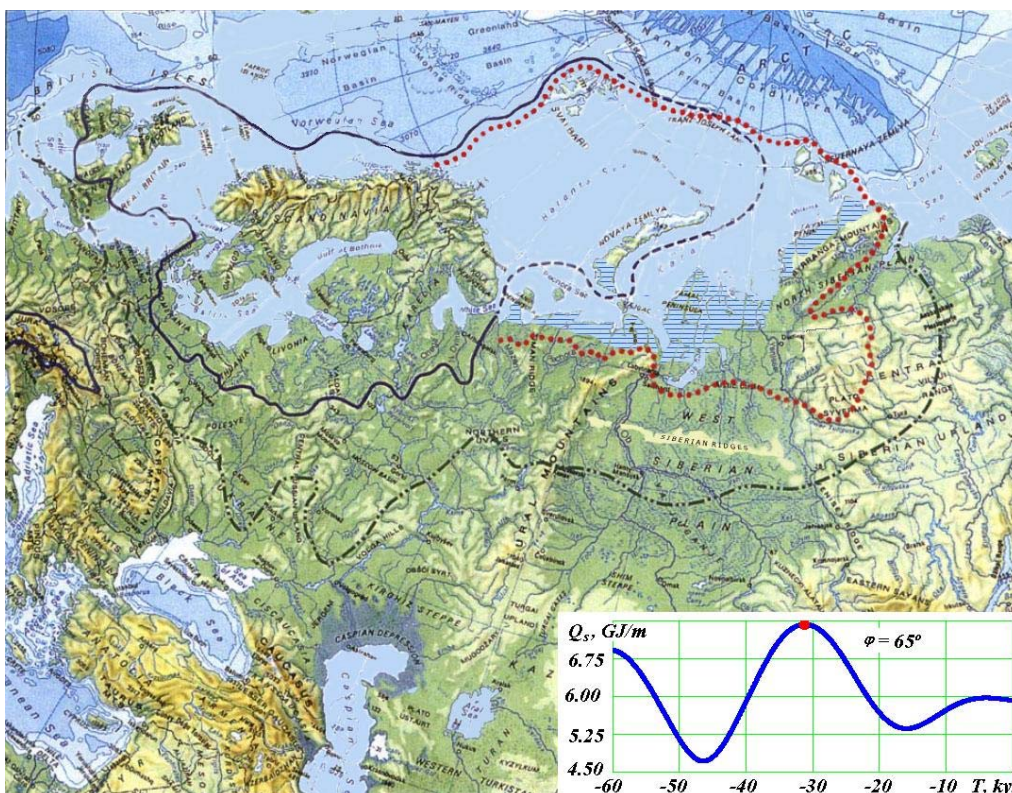


Рис. 9. Теплый период между оледенениями в момент времени 31.28 т.л.н. На графике инсоляции Q_s^{65N} точкой отмечено время этого события.

8. ПОСЛЕДНИЙ ЛЕДНИКОВЫЙ МАКСИМУМ

Как видно из табл. 1, инсоляционный период 1_i , связанный с Сартанским похолоданием, начался 22.08 т.л.н. После двух тысяч лет непрерывного похолодания, в момент 20.8 т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $l = 80^\circ$ на широте $\varphi = 70^\circ$ (т. 3 на рис. 4), оледенение территории распространяется до этой широты. Поэтому картина оледенения территории такая же, как во время 52.9 т.л.н. на рис. 4.

Через 500 лет в момент 20.3 т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах (см. т. 2 на рис. 5) достигла величины $l = 80^\circ$ на широте 67.5° и оледенение распространяется до этой широты. Поэтому картина оледенения территории такая же, как во время 52.6 т.л.н. на рис. 5. В рассматриваемом случае ледник также перекрывает сток рек Оби, Пура, Таза и Енисея в Северный Ледовитый океан. В устьях рек образуются пресноводные озера.

Этот период с минимумом инсоляции $Q_s^{65N} = 5.36$ ГДж/м² в эпоху 15.88 т.л.н. был теплее эпохи Ермаковского оледенения на 12%. Инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $l = 80^\circ$ на широте 61.5° , в отличие от $l = 53.4^\circ$ в эпоху максимального похолодания 46.4 т.л.н. Но это происходило кратковременно, поэтому широта 61.5° является предельной, до которой могло доходить оледенение. По-видимому, в Западной Сибири, как показано на карте Svendsen J.I. и др. [40] оледенение доходило до широты 65.5° . 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 [3, 4]. Севернее их расположены Ямало-Гыданские пояса морен на широте около 68° с.ш. от озер 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 [3, 4]. Таким образом в последнюю ледниковую эпоху ледник не достиг южный моренный пояс у Сибирских Увалов.

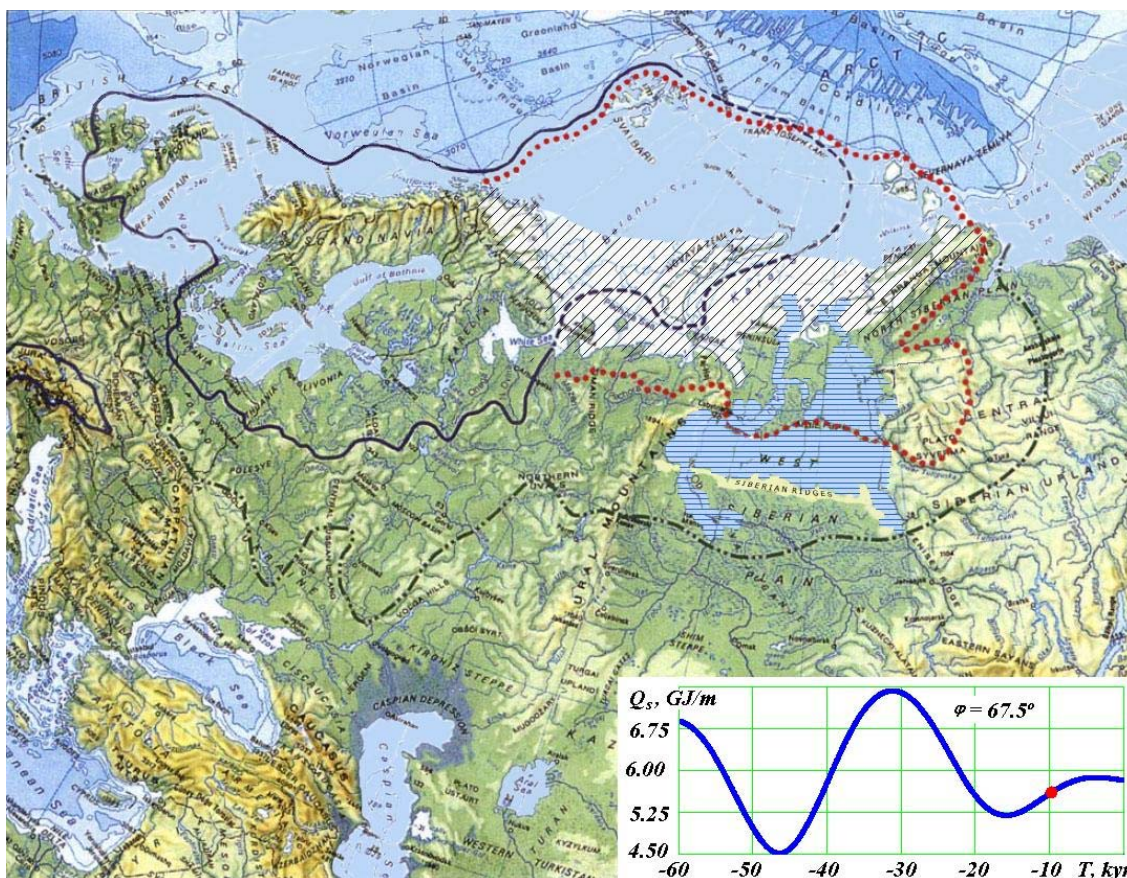


Рис. 10. Конец оледенения Западной Сибири в момент времени 9.8 т.л.н. На графике летней инсоляции Q_s в ГДж/м² на широте 67.5° точкой отмечено время этого события.

О существовании в этот период холодного климата в районе Сибирских Увалов подтверждают исследования энтомологов. Зиновьев Е.В. [14] исследовал бассейн реки Вах, которая находится севернее Сибирских Увалов. До 15 т.л.н. здесь был холодный климат, обусловивший распространение открытых тундровых ландшафтов, а формирование природных сообществ, близких к современным, началось после 12 т.л.н.

После минимума инсоляции на широте 67.5° инсоляция в эквивалентных широтах достигла значения $l = 80^\circ$ в эпоху 9.8 т.л.н. (см. т. 3 на графике $l(T)$ на рис. 5). На рис. 10 показана граница оледенения и образовавшееся озеро-море. С этого момента началось интенсивное таяние ледника. И во время 7.76 т.л.н. инсоляция $l = 70^\circ$, что привело к полному исчезновению ледника на этой широте. Флинт Р.Ф. [36] считает, что разрушение ледникового покрова началось 15 т.л.н. и закончилось 6 т.л.н.

Когда началось таяние ледникового щита, крупнейшие северные подводные желоба: Медвежинского, Франц-Виктория, Св. Анны и Воронина отводили ледяные потоки с Баренцево-Карского ледника в ледовитый океан [12]. Колонки, поднятые с глубины 470 м желоба Франц-Виктории содержали материал морены, покрытый ледниково-морскими илами с возрастом 12.9 т.л.н. и голоценовыми отложениями – 10 т.л.н. Деградация льда в желобе Св. Анны началась около 13 т.л.н. и завершилась к 10 т.л.н. [12].

Ледниковый период Сартанского времени имел меньшую интенсивность и меньшую длительность по сравнению с Ермаковским. Кроме того после него не наступало такое сильное потепление, как после Ермаковского оледенения. Поэтому образовавшееся Мансийское озеро (рис. 10) имело меньшие размеры. По исследованиям [2, 25] его возраст порядка 20-10 т.л.н. и оно занимало

меньшие площади, чем более древнее. Отложения более древнего озера перекрыты отложениями с останками мамонтов, возраст которых примерно 18 т.л.н. [25]. Тем не менее, как уже отмечалось ранее, в это время был сток воды по Тоболо-Тургайскому желобу. Кроме того, отмечается существование пролива 15-12 тысяч лет назад между Каспийским и Черными морями [24].

Возраст Колпашевской террасы на средней Оби на высоте 55 м., образованной Мансийским морем, находится в пределах 12.8-10.6 т.л.н. [2]. К ней примыкает транзитная терраса-равнина [1], которая прослеживается через всю зону Сартанского оледенения до устья Оби. Ее возраст 12.26 ± 0.17 т.л.н. На среднем Енисее терраса высотой 60-70 м у Фарково имеет возраст от 16.4 до 11.7 т.л.н.

По Архипову [2] конус выноса в бассейн верхней Оби выходит из Алтая по долинам рек Бии, Катунь и др., проходит по Бийско-Барнаульской впадине до Новосибирска и далее протягивается в акваторию Мансийского палеозера. Он формирует ряд террас, высота которых на Алтае достигает 220-240 м, у Новосибирска – 140-120 м., в Томском Приобье – 100-80 м. Далее конус выноса уходит по ложбинам Приобского плато в Кулундинскую равнину и в долину Иртыша. Возраст конуса выноса и его террас находится в пределах 17.6-10.4 т.л.н. [2, 7, 23].

9. ОПТИМУМ ИНСОЛЯЦИИ В ГОЛОЦЕНЕ

Как видно из табл. 1, инсоляционный период O_1 , связанный с оптимумом в Голоцене, начался 6.86 т.л.н. и продолжается по настоящее время. В эпоху $T = 4.16$ т.л.н. имеется небольшой максимум инсоляции. Он не превышает средний уровень инсоляции [32]. Тем не менее, с минимума инсоляции 15.88 т.л.н. до этого максимума шло непрерывное потепление. Поэтому уменьшались в объеме ледниковые покровы, что приводило к повышению уровня моря и затоплению побережий.

По мнению исследователей [8, 13] оптимум Голоцена однозначно проявляется в интервале 9-3.3 т.л.н. Исходя из палинологических данных потепление в нем было выражено более слабо, чем в предыдущее межледниковье [13]. С конца ледникового периода до оптимума голоцена, т.е. 8 т.л.н. ÷ 5 т.л.н., принято считать, что происходила трансгрессия моря, с 5 т.л.н. и по настоящее время море отступает [17]. В связи с этим, формирование новой современной террасы и пойменных террас в долинах рек происходят после оптимума Голоцена [17, 27].

10. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение инсоляции за 50 т.л.н. является причиной колебаний палеоклимата в позднем Плейстоцене. В результате уменьшения количества летнего тепла 53 т.л.н. начал образовываться Баренцево-Карский ледниковый щит, который через 1000 лет перекрыл сток рек в Ледовитый океан. К 46 т.л.н. ледниковый щит достиг Сибирских увалов, а образовавшееся Западно-Сибирское море начало распространяться на юг и через Тоболо-Тургайскую ложбину его воды проникали в Приаралье и Каспийскую низменность. С дальнейшим потеплением происходит таяние ледникового щита и к 39 т.л.н. освобождается сток рек в Ледовитый океан, и в максимум потепления 31 т.л.н. тают льды Гренландии и Антарктиды, за счет чего происходит трансгрессия моря.

С 20 т.л.н. начинается новый ледниковый период с пиком похолодания 15-16 т.л.н. Повторяются процессы образования ледникового щита и Западно-Сибирского моря, которые имеют меньшую интенсивность. К 9 т.л.н. ледниковый щит исчезает, а потепление завершается небольшим оптимумом в 5 т.л.н.

Структура и эволюция инсоляции представляет такую укрупненную картину изменения палеоклимата. Дальнейшая ее детализация возможна с помощью моделей процессов образования ледниковых щитов, их таяния, заполнения и освобождения водных бассейнов и моделей других процессов, определяющих палеоклимат.

Библиографический список:

1. Арсланов Х.А., Лавров А.С., Потапенко Л.М. Новые данные о позднеплейстоценовом оледенении севера Западной Сибири. – Оледенения и палеоклиматы Сибири в плейстоцене. – Новосибирск: «Наука», 1983. – С. 27-35.
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. Главные геологические события позднего плейстоцена (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 6. – С. 792-799.
4. Архипов С.А., Астахов В.И., Волков И.В., Волкова В.С., Панычев В.А. Палеогеография Западно-Сибирской равнины в максимум позднезырянского оледенения. – Новосибирск: Наука, 1980. – 109 с.
5. Баулин В.В. История развития многолетнемерзлых пород в районе Нижней Оби в четвертичный период: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – М.: МГУ, 1959. – 19 с.
6. Бобков Р.А. Четвертичное оледенение в истории Западной Сибири. / 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. 31-34.
7. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая. Событийно-катастрофическая модель. – Томск: Изд-во Томск, ун-та, 1993. – 218 с.
8. Васильчук Ю.К. Закономерности развития инженерно-геологических условий севера Западной Сибири в голоцене. Автореф. канд. геол.-мин. наук. – М.: МГУ, 1982. – 27 с.
9. Волков И.А., Архипов С.А. Четвертичные отложения района Новосибирска: оперативно-информационный материал. – Новосибирск: «Наука», 1978. – 90 с.
10. Волков И.А., Волкова В.С., Задкова И.И. Покровные лессовидные отложения и палеогеография юго-запада Западной Сибири в плиоцен-четвертичное время. – Новосибирск: «Наука», 1969. – 332 с.
11. Гончаров С.В. Граница последнего оледенения на Среднем Енисее: Положение и возраст // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 290, № 6. – С. 1436-1439.
12. Гросвальд М.Г. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания // Материалы гляциологических исследований. – М.: «Наука», 2009. – Вып. 106. – 152 с.
13. Ершов Э.Д. Геокриология СССР. Западная Сибирь – М.: Недра, 1989. – 454 с.
14. Зиновьев Е.В. Реконструкция динамики природных сообществ долины реки Глубокий Сабун (бассейн реки Вах) на рубеже позднего плейстоцена – голоцена по энтомологическим данным. – Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции. – Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015. – С. 142-145.
15. Илларионов А.Г. Тургайский спиллвей. К истории становления и развития речной сети Арало-Иртышского региона. – Ижевск, 2013. – 103 с.
16. Котляков В.М., Сонечкин Д.М. Современное прочтение истории ледниковых циклов плейстоцена // Лед и снег. – 2015. – № 2 (130). – С. 103-122.
17. Ломанченков В.С. Об основных этапах геологического развития Лено-Колымской Приморской низменности в позднечетвертичную и современную эпохи. – Четвертичный период Сибири. Материалы докладов Всесоюзного совещания по изучению четвертичного периода, т. II. – М.: «Наука», 1966. – С. 283-288.

18. Мельников В.П., Смульский И.И. Астрономическая теория ледниковых периодов: Новые приближения. Решенные и нерешенные проблемы. – Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2009. – 98 с. URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/AsThAnR.pdf>.
19. Миланкович М. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.-Л.: ГОНТИ, 1939. – 207 с.
20. Михайлов В. Н. Загадки Каспийского моря // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6, № 4. – С. 63-70.
21. Некрасов И.А., Коновальчик Н.Г., Семенова Г.В., Скорбилин Н.А. История геокриологического исследования Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 270 с.
22. Палеогеографический словарь. – М.: Мысль, 1985. – 367 с.
23. Панычев В. А. Радиоуглеродная хронология аллювиальных отложений Предалтайской равнины. – Новосибирск: Наука, 1979. – 132 с.
24. Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. – К. М.: Наука, 1983. – 214 с.
25. Пятосина Н. Мансийское озеро – море оказалось древнее, чем думали // Наука и жизнь. – 2005. – № 2. – С. 138-139.
26. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 267 с.
27. Сакс В.Н. Четвертичный период в Советской Арктике. – М.- Л.: Морское и речное изд-во, 1953. – 627 с.
28. Смульский И.И. Теория взаимодействия. – Новосибирск: Из-во Новосиб. ун-та, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999. – 294 с. URL: http://www.ikz.ru/~smulski/TVfulA5_2.pdf.
29. Смульский И.И. Анализ уроков развития астрономической теории палеоклимата // Вестник Российской Академии Наук. – 2013. – Т. 83, № 1. – С. 31-39. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18448265>. doi:10.7868/S0869587313010118.
30. Смульский И.И. Основные положения и новые результаты астрономической теории изменения климата / Институт криосферы Земли СО РАН. – Тюмень, 2014. – 30 с.: Деп. в ВИНТИ РАН 30.09.2014, № 258-B2014. URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/OsPoATLP3.pdf>.
31. Смульский 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. URL: http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/smulsky_J_J2015_03_15c1.pdf.
32. Смульский 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.
33. Смульский И.И. Эволюция оси Земли и палеоклимата за 200 тысяч лет. – Saarbrucken, Germany: “LAP Lambert Academic Publishing”, 2016. – 228 с.
34. Смульский И.И., Кротов О.И. Новый алгоритм расчета инсоляции Земли / Институт криосферы Земли СО РАН. – Тюмень, 2013. – 38 с. – Деп. в ВИНТИ 08.04.2013 № 103-B2013. URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/NwAlClI2c.pdf>.
35. Соломатин В.И., Белова Н.Г. Доказательства погребенного глетчерного происхождения пластовых льдов // Десятая Международная конференция по мерзлотоведению. Том III (статьи на

русском языке). Тюмень: Тюменский Государственный нефтегазовый университет, 2012. – С. 493-497.

36. Флинт Р.Ф. История Земли. – М.: "Прогресс", 1978. – 358 с.

37. Шполянская Н.А., Евсеев В.П. Выпуклобугристые торфяники северной тайги Западной Сибири // Тезисы докладов Всесоюзного совещания по мерзлотоведению. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – С. 125-126.

38. Smulsky J.J. Fundamental Principles and Results of a New Astronomic Theory of Climate Change // *Advances in Astrophysics*. – 2016. – Vol. 1, No. 1. – pp. 1-21. URL: <http://www.isaacpub.org>, <http://www.isaacpub.org/Journal/AdAp>.

39. Smulsky J.J., Krotov O.I. New Computing Algorithm of the Earth's Insolation // *Applied Physics Research*. – 2014. – Vol. 6, No. 4. – pp. 56-82. URL: <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v6n4p56>.

40. Svendsen J.I., Astakhov V.I., Bolshiyakov D.Yu., Demidov I., Dowdeswell J.A., Gataflin V., Hjort C., Hubberten H.W., Larsen E., Mangerud J., Melles M., Moller P., Saarnisto M., Siegert M.J. Maximum extent of the Eurasian ice sheets in the Barents and Kara Sea region during the Weichselian // *Boreas*. – 1999. – Vol. 28, No 1. – pp. 234-242.

EXPERIENCE OF PALEOCLIMATE RECONSTRUCTION ON INSOLATION CHANGE ON EXAMPLE OF WESTERN SIBERIA IN THE LATE PLEISTOCENE

Smulsky J.J.¹, Ivanova A.A.²

¹ Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Chief Researcher

² Graduate student

^{1,2} Institute of Earth's Cryosphere SB RAS, Russia, 625026, Tyumen, Malygina Str., 86

Abstract. Discussed some new results of Astronomical theory of paleoclimate, in which the amplitude of the oscillations of insolation in 7-8 times more than in the previous results. It is compared the distribution of components of insolation on the Earth's latitude in two epochs: the warmest and the coldest. Summer and annual insolation at high latitudes vary more than twice. Change in annual insolation in equatorial latitudes is 4 times smaller and opposite in sign. Winter in the cold epoch is a little warmer, and in the warm one is a little cooler. Over the past 50 thousand years ago (ka) there are four insolation extremes 46.4, 31.3, 15.9 and 4.2 ka. They coincide with the penultimate ice age, and with followed by strong warming, with last glacial maximum and with Holocene optimum, respectively. It is stated the criteria for reconstructing paleoclimate. Examined the stages of the formation of the Barents-Kara ice sheet about 50 ka, overlapping Siberian rivers by it, forming a freshwater pool, draining it through the Tobol-Turgai ravine in the Aral Sea region. Other periods are traced similarly.

Keywords: evolution, insolation, paleoclimate, reconstruction, late Pleistocene, Western Siberia

References:

1. Arslanov Kh.A., Lavrov A.S., Potapenko L.M. New data on the Late Pleistocene glaciation in northern West Siberia, in: *Pleistocene Glaciations and Paleoclimates of Siberia*. Novosibirsk: Nauka, 1983, pp. 27–35. (In Rus).

2. Arkhipov S.A. Record of Late Pleistocene geological events in West Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 1997, no. 38 (12), pp. 1891-1911.

3. Arkhipov S.A. Main geologic events of the Late Pleistocene (West Siberia). *Russian Geology and Geophysics*, 2000, no. 6 (41), pp. 765-771.
4. Arkhipov S.A., Astakhov V.I., Volkov I.A., Volkova V.S., Panychev V.A. Paleogeography of the West Siberian Plain during the Epoch of the Late Zyryanka Glacial Maximum. Novosibirsk: Nauka, 1980. (In Rus).
5. Baulin V.V. Evolution of Permafrost in the Lower Ob' Area during the Quaternary. Extended Abstract Cand. Sci. (Geol.–Mineral.) Dissertation. Moscow: Moscow State Univ., 1959.
6. Bobkov R.A. Quaternary glaciation in the history of Western Siberia. Arctic, Subarctic: mosaic, contrast, variation Cryosphere: Proceedings of the International Conference. Tyumen: Epoha, 2015, pp. 31-34.
7. Butvilovskii V.V. Paleogeography of the Last Glaciation and Holocene in Altai: An Event–Catastrophic Model. Tomsk: Izd. Tomsk. Gos. Univ., 1993. (In Rus).
8. Vasilchuk Yu.K. Regularities in Evolution of the Engineering-Geologic Conditions of Northern West Siberia in the Holocene. Extended Abstract Cand. Sci. (Geol.-Mineral.) Dissertation. Moscow: Moscow State Univ., 1982.
9. Volkov I.A., Arkhipov S.A. Quaternary Deposits in the Area of Novosibirsk: Current Information. Novosibirsk: Nauka, 1978. (In Rus).
10. Volkov I.A., Volkova V.S., Zadkova I.I. Loess-like Blanket Deposits and Paleogeography of Southwestern West Siberia in the Pliocene–Quaternary. Novosibirsk: Nauka, 1969. (In Rus).
11. Goncharov S.V. The boundary of the Last Glaciation in the Middle Yenisey: Position and Age. *Doklady AS USSR*, 1986, vol. 290, no. 6, pp. 1436-1439.
12. Grosvald M.G. Glaciation in the Russian North and Northeast during the last great cooling. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*, 2009, no. 106.
13. Ershov E.D. Permafrost Studies of the Soviet Union: West Siberia. Moscow: Nedra, 1989. (In Rus).
14. Zinovev E.V. Reconstruction of the dynamics of natural communities Valley Deep Sabuni (Vah river basin) at the boundary of the late Pleistocene – Holocene on the entomological data. Arctic, Subarctic: mosaic, contrast, variation Cryosphere: Proceedings of the International Conference. Tyumen: Epoha, 2015, pp. 142-145.
15. Illarionov A.G. The Turgai Spillway. Izhevsk, 2013. (In Rus).
16. Kotljakov V.M., Sonechkin D.M. A modern interpretation of the history of the Pleistocene glacial cycles. *Ice and snow*, 2015, no. 2 (130), pp. 103-122.
17. Lomanchenkov V.S. On the main stages of geologic evolution of the Lena–Kolyma seacoast depression in the Late Quaternary and recent epochs, in: The Quaternary Period in Siberia, Proc. All-Union Conf. on Quaternary Research. Moscow: Nauka, vol. 2, 1966, pp. 283–288. (In Rus).
18. Melnikov V.P., Smulsky J.J. The Astronomical Theory of Ice Ages: New Approximations. Solved and Unsolved Problems. Novosibirsk: Geo, 2009. URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/AsThAnR.pdf>.
19. Milankovic M. Mathematical Climatology and the Astronomical Theory of Climatic Fluctuations. Moscow–Leningrad: GONTI, 1939. (In Rus).
20. Mihailov V. N. Mysteries of the Caspian Sea. *Soros Educational Journal*, 2000, vol. 6, pp. 63-70.
21. Nekrasov I.A., Konoval'chik N.G., Semenova G.V., Skorbilin N.A. History of Permafrost Studies of West Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1990. (In Rus).

КЛИМАТ И ПРИРОДА, 1 (26), 2018

22. Paleogeographic dictionary. Mysl', 1985, 367 p.
23. Panychev V.A. Radiocarbon Chronology of Alluvial Sediments of the Cis-Altai Plain. Novosibirsk: Nauka, 1979. (In Rus).
24. Popov G.I. Pleistocene of Black Sea-Caspian Straits. Moscow: Nauka, 1983, 214 p.
25. Pyatosina N. The Mansiiskoe lake/sea turned out to be older than expected. *Nauka i Zhizn'*, 2005, no. 2, pp. 138–139.
26. Rychagov G.I. The Pleistocene history of the Caspian Sea. Moscow: MSU, 1997, 267 p.
27. Saks V.N. The Quaternary Period in the Soviet Arctic. Moscow–Leningrad: Morskoe i Rechnoe Izd., 1953. (In Rus).
28. Smulsky J.J. The Theory of Interaction. Russia, Ekaterinburg: Cultural Information Bank, 2004, 304 p. URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/smul1/English1/FounPhisics/TVANOT1.doc>.
29. Smulskii I.I. Analyzing the lessons of the development of the orbital theory of the paleoclimate. *Her. Russ. Acad. Sci.*, 2013, no. 83 (1), pp. 46–54.
30. Smulsky J.J. Fundamentals and New Results of the Astronomical Theory of Climate Change. Tyumen: Available from VINITI, 2014, no. 258- B2014. (In Rus). URL: <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/OsPoATLP3.pdf>
31. Smulsky J.J. New Periods of Insolation and Last Ice Ages in the Pliocene. In col. Arctic, Subarctic: mosaic, contrast, variability of the Cryosphere: Proceedings of the International Conference. Tyumen: Epoha, 2015, pp. 360-363.
32. Smulsky J.J. New results on the Earth insolation and their correlation with the Late Pleistocene paleoclimate of West Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, no. 7, pp. 1393-1407.
33. Smulsky J.J. Evolution of the Earth's axis and paleoclimate for 200 thousand years. Germany, Saarbrucken: LAP Lambert Academic Publishing, 2016, 228 p.
34. Smulsky J.J., Krotov O.I. New computing algorithm of the Earth's insolation. *Appl. Phys. Res.*, 2014, no. 6 (4), pp. 56-82.
35. Solomatin V.I., Belova N.G. Proof of the Glacier Origin of Tabular Massive Ice. Tenth International Conference on Permafrost, Volume 2 (Translations of Russian contributions), Salekhard, pp. 427-432.
36. Flint R.F. History of Earth. Progress, 1978, 358 p.
37. Shpolyanskaya N.A., Evseev V.P. Hummocky peat bogs in the northern taiga of West Siberia, in: Proc. All-Union Conf. on Permafrost Studies. Moscow: Izd. Mosk. Gos. Univ., 1970, pp. 125-126. (In Rus).
38. Smulsky J.J. Fundamental Principles and Results of a New Astronomic Theory of Climate Change. *Advances in Astrophysics*, 2016, vol. 1, no. 1, pp. 1-21. URL: <http://www.isaacpub.org/Journal/AdAp>.
39. Smulsky J.J., Krotov O.I. New Computing Algorithm of the Earth's Insolation. *Applied Physics Research*, 2014, vol. 6, no. 4; pp. 56-82. URL: <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v6n4p56>.
40. Svendsen J.I., Astakhov V.I., Bolshiyarov D.Yu., Demidov I., Dowdeswell J.A., Gataflin V., Hjort C., Hubberten H.W., Larsen E., Mangerud J., Melles M., Moller P., Saarnisto M., Siegert M.J. Maximum extent of the Eurasian ice sheets in the Barents and Kara Sea region during the Weichselian. *Boreas*, 1999, vol. 28, no. 1, pp. 234-242.