

ИЗМЕНЕНИЯ ИНСОЛЯЦИИ И ПАЛЕОКЛИМАТА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ТЫС. ЛЕТ

А.А. Иванова^{1,2}, И.И. Смутьский¹

¹Институт криосферы Земли СО РАН, г. Тюмень

²Тюменский государственный университет, г. Тюмень

1. Введение

Основу астрономической теории изменения палеоклимата составляют три проблемы: 1) как изменяется орбита Земли; 2) как изменяется плоскость экватора Земли или ее ось вращения; 3) как изменяется количество солнечного тепла на поверхности Земли, т.е. ее инсоляция, в зависимости от параметров: эксцентриситета e орбиты Земли; угла ее наклона ε к плоскости экватора; угла φ_{pp} между перигелием орбиты и восходящим узлом γ . Все эти проблемы решены по-новому [1], [7] - [8]. 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° [7]. То есть, амплитуда колебаний оси Земли увеличилась в 7 раз. Во столько же раз увеличились колебания инсоляции.

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
Последние события в плейстоцене	Оптимум Голоцена	Сартанское оледенение	Каргинское потепление	Ермаковское оледенение

В табл. 1 приведены четыре экстремума летней инсоляции Q_s^{65N} на широте 65° Северного полушария за последние 50 тысяч лет [9]. Потепления отмечены как максимумы (max), а похолодания – как минимумы (min). Границы инсоляционных периодов O_I , I_I , 2_I и 3_I определены при пересечении летней инсоляции Q_s^{65N} со средним ее значением. Первый небольшой оптимум инсоляции обозначен как O_I .

Моменты наступления экстремумов инсоляции и их амплитуда совпали с последними событиями в плейстоцене: Ермаковским и Сартанскими ледниковыми периодами, Каргинским потеплением между ними и оптимумом Голоцена [9]. Эти события позднего плейстоцена приведены в табл. 1.

На основании сопоставления инсоляции и палеоклимата попытаемся реконструировать события за последние 50 тысяч лет.

2. Основания и критерии реконструкции палеоклимата

При изучении палеоклимата разными специалистами выработано согласованное представление о его эволюции в Западной Сибири в позднем плейстоцене [2] - [3], [5]. В значительной мере их мнение совпадает о двух последних оледенениях в Западной Сибири. Это мнение представлено на карте из работы Svendsen et al [2] (см. рис. 1). Сплошной и пунктирной линией 1 показана граница оледенения в поздний Вейхелий, эквивалентный Сартанскому оледенению [2]. Согласно другим авторам, в частности М.Г. Гросвальду [5], граница оледенения в Западной Сибири проходила восточнее. Она примерно показана точками 2m. Ледниковый щит в средне-раннем Вейхелии, который эквивалентен Ермаковскому оледенению, имел по Svendsen et al [2] восточную границу отмеченную точками 2m. По М.Г. Гросвальду [5] граница Ермаковского оледенения в Западной Сибири проходила восточнее и южнее, которую можно представить штрихпунктирной линией 3m. Этой линией 3m Svendsen et al [2] показали 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.

Инсоляция Земли имеет широкий спектр изменений, как по пространству, так и по времени. Все изменения инсоляции рассчитываются за 200 т.л.н. с помощью программы *Ins12bdEn.mcd* [1], которая имеется в свободном доступе: <http://www.ikz.ru/~smulski//Data/Insol/>.



Рис. 1. Границы Сарганского и Ермаковского оледенений по Svendsen et al [2] (линии 1m, 2m, и 3m) и оледенение Западной Сибири в момент времени 52.9 т.л.н. Наклонной штриховкой 4m 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 $I = 80^\circ$; T – время в тыс. лет (кыр) от 30.12. 1949 г.

Здесь мы будем использовать изменение инсоляции в эквивалентных широтах $I(T)$ на разных широтах. На графике $I(T)$ на рис. 1 показано изменение инсоляции в эквивалентных широтах на широте $\varphi = 70^\circ$. Она рассчитывается следующим образом. Если в эпоху T летняя инсоляция на широте φ была такая, как в современную эпоху $T = 0$ на широте φ_0 , то инсоляция в эквивалентных широтах будет $I = \varphi_0$. Из графика видно, что начиная с $T = 0$ до $T = -5$ кыр эквивалентная широта I уменьшается, т.е. становится теплее на широте $\varphi = 70^\circ$. Затем примерно до $T = -8$ кыр эквивалентная широта I увеличивается почти до 90° , т.е. на широте $\varphi = 70^\circ$ становится так холодно, как сейчас на полюсе ($I = 90^\circ$). Далее идет нижний горизонтальный участок, который отмечает эпохи, когда было холодней, чем сейчас на полюсе. А верхний горизонтальный участок графика отмечает время, когда инсоляция в эпоху T летом больше чем в экваториальной зоне в современную эпоху $T = 0$.

При реконструкции палеоклимата по изменению инсоляции будем использовать следующие критерии.

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.
4. Озера-моря образуются при перекрытии ледником стока рек в Ледовитый океан.
5. Территории затопляются 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.

3. Предпоследний ледниковый максимум или Ермаковское оледенение

Как видно из табл. 1, инсоляционный период 3_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 $I = 80^\circ$. В соответствии с первым критерием, льдом покрываются полностью Новая Земля, частично полуострова Ямал и Таймыр. На рис. 1 горизонтальной штриховкой показаны территории покрытые ледником. Внизу на графике инсоляции в эквивалентных широтах $I(T)$ на широте $\varphi = 70^\circ$ точкой 1 отмечено время $T = 52.9$ т.л.н. этой эпохи.

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

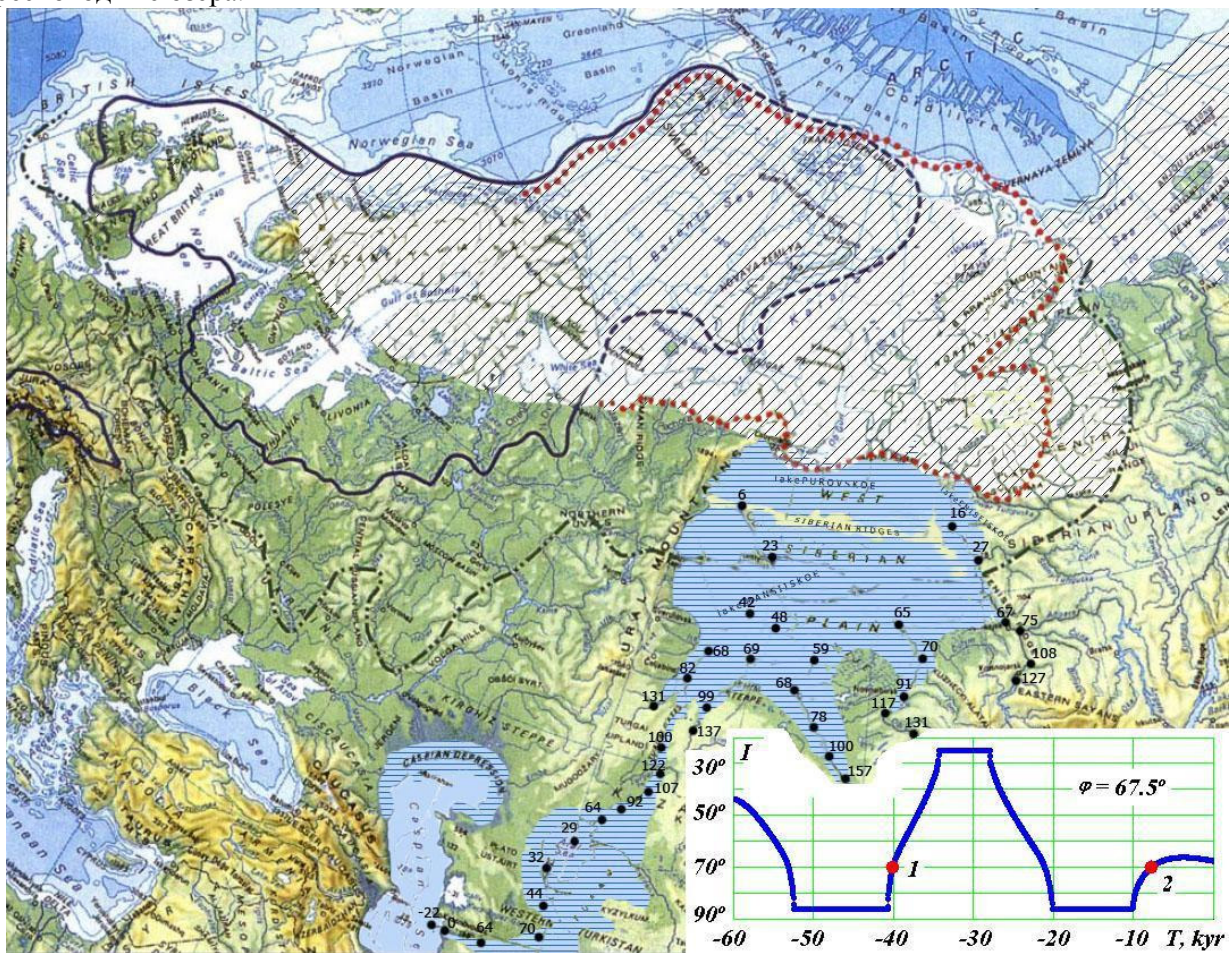


Рис. 2. Оледенение Западной Сибири в момент времени 40.1 т.л.н. Вдоль водотоков числами на карте показаны высоты в м над уровнем моря; На графике инсоляции $I(T)$ на широте $\varphi = 67.5^\circ$ точкой 1 отмечено время этого события, когда достигается $I = 70^\circ$. Наклонной штриховкой показаны территории покрытые ледником, горизонтальной – водой.

В момент максимального похолодания 46.4 т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $I = 80^\circ$ на широте 53.4° . Это происходит кратковременно. Поэтому широта

53.4° является предельной, на которой может наступить оледенение. Примерно на этой широте проводят максимальную границу Гросвальд М.Г. [5] и Svendsen J.I. и др. [2] (см. рис. 1).

Во время максимального похолодания 46.4 т.л.н. распространение воды по Западно-Сибирской равнине доходило до высот 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. Исследователи выделяют Мансийское и Енисейское озера [5], [8]. 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. 1). В эпоху 40.1 т.л.н. инсоляция в эквивалентных широтах достигает значения $I = 70^\circ$ на широте 67.5°. В соответствии с критерием 3 территория до этой широты освобождается от ледника. Мощность озер на Западно-Сибирской равнине увеличивается. Севернее Сибирских увалов образуется Пуровское озеро. Оно совместно с Мансийским и Енисейским образуют озеро-море Западной Сибири, которое изображено на рис.2 кривой штриховкой.

Для определения границ распространения водоемов с помощью общедоступной программы «Google Earth» определялись высоты местности. На рис. 2 числами 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-Тургайский желоб в Туранскую низменность Приаралья и, возможно, с проходами на юге – в Каспийскую низменность. Как видно из рис. 2, современный уровень дна Тургайского желоба преимущественно находится на отметке 100-107 м и не превышает 122 м. Древнее дно желоба покрыто 70-90 м толщей четвертичных отложений, т.е. абсолютная отметка дна составляет 30-40 м [6]. За прошедшие 40 т.л. часть этих отложений пополнились за счет размыва и сноса бортов желоба многочисленными небольшими реками.

Дополнительно отложения на дне желоба пополнились во время Сарганского оледенения. Например, с глубины 75 - 77.5 м скважины 25 км южнее оз. Кушмурун обломок древесины имел возраст 28800 [5]. Из скважины, расположенной 75 км южнее, с глубины 34 м старичная глина имела возраст 19140 лет. Эти данные свидетельствуют, что высотные отметки дна желоба 40 т.л.н. могли быть порядка 50 м.

Как видно рис. 2, высотные отметки к верховьям рек Енисей, Обь, Иртыш и Ишим превышают даже современную отметку Тоболо-Тургайского желоба в 122 м. Поэтому истечение воды из образовавшегося пресноводного озера-моря могло быть только через этот желоб, когда уровень озера-моря превышал уровень желоба. 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 с возрастом порядка 28-29 т.л.н. [3]. Это свидетельствует о высотной отметке озера-моря порядка 125 м [3]. Чуть выше был уровень Енисейского озера, которое сообщалось с Мансийским через Кас-Кетскую и Верхнетазовскую сквозные долины. Это озеро достигало уровня 120-130 м, а по другим сведениям, оно поднималось выше 140 м [3].

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 является самый южный. Его относят к Ермаковскому горизонту [3]. Р.А. Бобков [4] исследовал грунты Сибирских Увалов. Весь валунно-галечный материал в составе толщи Сибирских Увалов имеет изначально ледниковое происхождение, поскольку отличается слабой окатанностью, часто имеет ледниковые шрамы и царапины и не характерен для данной территории.

4. Каргинское межледниковье

Как видно из табл. 1, в эпоху 39.5 т.л.н. начинается Каргинский межледниковый период, который обозначен в табл. 1 как 2_I и длится до 22.08 т.л.н. Этот теплый период характеризуется самой большой инсоляцией $Q_s^{65N} = 7.43 \text{ ГДж/м}^2$ за 200 т.л.н. Продолжается таяние ледника в высоких широтах. Инсоляция в эквивалентных широтах достигает значения $I = 70^\circ$ на широте 76°, которую можно отнести к середине Карского ледникового щита. В соответствии с критерием 3

ледниковые покровы небольшой толщины исчезают на территориях до этой широты. 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 км [10], поэтому его таяние не завершается при достижении инсоляции значения $I = 70^\circ$ на средней его широте. Оценим время таяния Карского ледникового щита по времени его образования 52.9 т.л.н. Рост ледника продолжался до 40.3 т.л.н. в течение 12.6 т.л. Если для его таяния потребуется такое же время, то ледниковый щит полностью растает к 27.7 т.л.н. С другой стороны, на северной границе Карского ледникового щита ($\varphi = 80^\circ$ [2], [5]) инсоляция $I = 70^\circ$ достигается в эпоху 39.3 т.л.н. Поэтому исчезновение Карского ледника по среднему значению может быть отнесено ко времени 33.5 т.л.н.

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. 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. [5].

5. Последний ледниковый максимум

Как видно из табл. 1, инсоляционный период I_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 (см. т. 3 на рис. 1) достигла величины $I = 80^\circ$ на широте $\varphi = 70^\circ$, оледенение территории распространяется до этой широты. Поэтому картина оледенения территории такая же, как во время 52.9 т.л.н. на рис. 1.

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

Этот период с минимумом инсоляции $Q_s^{65N} = 5.36$ ГДж/м² в эпоху 15.88 т.л.н. был теплее Ермаковского оледенения на 12%. Инсоляция в эквивалентных широтах достигла величины $I = 80^\circ$ на широте 61.5° . 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. [2] 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 [3]. После минимума инсоляции на широте 67.5° инсоляция в эквивалентных широтах достигла значения $I = 80^\circ$ в эпоху 9.8 т.л.н. С этого момента началось интенсивное таяние ледника. И во время 7.76 т.л.н. инсоляция $I = 70^\circ$, что привело к полному исчезновению ледника на этой широте. Флинт Р.Ф. [10] считает, что разрушение ледникового покрова началось 15 и закончилось 6 т.л.н.

Когда началось таяние ледникового щита крупнейшие северные подводные желоба: Медвежинского, Франц-Виктории, Св. Анны и Воронина отводили ледяные потоки с Баренцево-Карского ледника в ледовитый океан [5]. Колонки, поднятые с глубины 470 м желоба Франц-Виктории содержали материал морены, покрытый ледниково-морскими илами с возрастом 12.9 т.л.н. Деградация льда в желобе Св. Анны началась около 13 т.л.н. и завершилась к 10 т.л.н. [5].

Ледниковый период Сартанского времени имел меньшую интенсивность и длительность по сравнению с Ермаковским. Кроме того после него не наступало такое сильное потепление. Поэтому образовавшееся Мансийское озеро имело меньшие размеры [3].

8. Оптимум инсоляции в голоцене

Как видно из табл. 1, инсоляционный период O_I , 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. 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 ряда исследователей [3] оптимум голоцена однозначно проявляется в интервале 9 – 3.3 т.л.н. 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.

9. Заключение

Выполненные сопоставления инсоляции и палеоклимата за последние 50 тыс. лет показывают, что ход событий в Западной Сибири определяется изменением инсоляции. Предпринятая попытка реконструкции палеоклимата на данном этапе является весьма схематичной. Она позволяет лишь определиться с главной причиной изменения палеоклимата и в пределах нескольких тысяч лет сказать о возрасте палеособытий. В процессе этой работы было введено несколько критериев для определения начала и конца событий. Их выбор, а также величина в дальнейшем будет совершенствоваться. Кроме того, изменения палеоклимата определяется совокупностью многих процессов, которые характерны для каждой территории. Поэтому для полной реконструкции палеоклимата нужно рассматривать действие этих процессов.

Список литературы

1. **Smulsky J.J. and Krotov O.I.** New Computing Algorithm of the Earth's Insolation//Applied Physics Research, Vol. 6, No. 4; 2014, p. 56-82. <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v6n4p56>.
2. **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, v. 28, № 1, 1999, p. 234-242.
3. **Архипов С.А.** Хронология геологических событий позднего плейстоцена Западной Сибири. Геология и геофизика, 1997, т. 38, № 12, с. 1863-1884.
4. **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.
5. **Гросвальд М.Г.** Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания. Ответственный редактор В.М. Котляков. Москва: Издательство «Наука», 2009. - Институт географии российской академии наук. Гляциологическая ассоциация. Материалы гляциологических исследований. Выпуск 106
6. **Илларионов А.Г.** Тургайский спиллвей. Ижевск, 2013, 103 с.
7. **Смульский И.И.** Анализ уроков развития астрономической теории палеоклимата//Вестник Российской Академии Наук, 2013. Т. 83. № 1. С. 31-39. <http://elibrary.ru/item.asp?id=18448265>.
8. **Смульский 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. <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/OsPoATLP3.pdf>.
9. **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. http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/smulsky_J_J2015_03_15c1.pdf.
10. **Флинт Р.Ф.** История Земли. – М.:”Прогресс”, 1978. – 358 с.