

УДК 911. 504.38

А.В. Холопцев, доцент, д-р геогр. наук,**А.С. Грекова, магистрант,****В.И. Швецова, студент***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***ИЗМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ И ДИНАМИКА
ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ
В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ – ГОЛОЦЕНЕ**

Изменения средневековых значений глобальных температур приземного слоя атмосферы в позднем плейстоцене-голоцене были обусловлены переменами фаз циклов Миланковича и Паттерсона-Шнитникова, порождающих динамику среднегодовых значений солнечной постоянной, а также эволюцией криосферы планеты, вызывающей изменения распределения по ее поверхности альбедо.

Ключевые слова: *поздний плейстоцен-голоцен, циклы изменения солнечной постоянной, динамика глобальных температур, альбедо, приземный слой атмосферы, подстилающая поверхность.*

Изменения глобальных температур в приземном слое земной атмосферы на всех этапах эволюции являлись одними из определяющих факторов развития ландшафтной оболочки нашей планеты [1], а также большинства известных форм живой материи. Многие особенности этого процесса, проявлявшиеся в минувшие геологические эпохи, сохранили свою значимость и ныне, а их учет при прогнозировании дальнейших изменений климата мог бы способствовать повышению адекватности результатов. Поэтому выявление подобных особенностей является актуальной проблемой палеогеографии и экологии.

Изучению роли различных природных факторов в изменениях глобального климата планеты посвящены сотни работ отечественных и зарубежных авторов. Первые шаги в развитии данного научного направления связаны с трудами А.И. Воейкова, И.Д. Лукашевича, М.А. Боголепова. Они показали, что на протяжении эволюции, характеристики поля температур приземного слоя атмосферы нашей планеты существенно изменялись, что приводило к возникновению всемирных оледенений и межледниковых оттепелей, оказавших существенное влияние на формирование ее рельефа, почв и осадочного чехла.

Основу современных представлений о закономерностях изменения глобального климата составляют работы М.И. Будыко, М.Ф. Веклича, А.С. Мониной, К.Я. Кондратьева.

Установлено, что к числу наиболее существенных причин изменения глобальных температур воздуха в приземном слое атмосферы, относятся изменения пространственных распределений поступающих в него потоков эффективного теплового излучения подстилающей поверхности [2]. К ним относятся также изменения распределений в атмосфере значений коэффициента ее прозрачности, средней теплоемкости и средней теплопроводности [3].

Пространственно-временная изменчивость эффективного теплового излучения земной поверхности обусловлена как изменениями распределений ее среднего альбедо и радиационного баланса, так и динамикой средних потоков поступающей на нее суммарной солнечной радиации [2]. Поэтому к числу важнейших факторов динамики глобальных температур воздуха на нашей планете принято относить изменения не только расположения ее материков и их рельефа, особенностей океанической и атмосферной циркуляции, но и значений солнечной постоянной – среднего потока солнечного излучения воздействующего на атмосферу.

Изменения последней, происходившие в процессе эволюции биосферы, были в той или иной мере были обусловлены перемещением солнечной системы относительно центра галактики, переменами светимости Солнца, коэффициента прозрачности межпланетного пространства, параметров земной и лунной орбиты.

Наиболее полно изучены короткопериодные циклы изменения солнечной постоянной. Их существование обусловлено изменениями эксцентриситета земной орбиты, угла ее наклона к плоскости эклиптики, прецессией земной оси (циклы Миланковича) [4], а также вариациями параметров лунной орбиты, влияющих на повторяемость солнечных затмений (циклы Паттерсона – Шнитникова).

Выявлены также основные закономерности эволюции глобальных температур приземного слоя атмосферы нашей планеты [2]. Установлено, что, в отличие от предыдущих периодов Кайнозоя, в позднем плейстоцене-голоцене существенно изменялись распределения по ее поверхности значений

среднего альбедо и радиационного баланса. Последнее было связано с возникновением серии всемирных оледенений, при которых значительно возросла площадь криосферы.

Существование непосредственной связи между изменениями солнечной постоянной, глобальных температур приземного слоя земной атмосферы, а также средних значений альбедо подстилающей поверхности, определяемых площадью криосферы, доказано в [2]. Тем не менее, основой современных представлений об особенностях глобальных изменений ландшафтной оболочки планеты, происходивших в позднем плейстоцене, являются данные, полученные главным образом в ходе геологических, геоморфологических, палеонтологических и палинологических исследований [1], носящих точечный либо региональный характер.

Возможности изучения закономерностей развития ландшафтной оболочки планеты в плейстоцене-голоцене, путем сопоставления временных рядов, отражающих динамику глобальных температур приземного слоя атмосферы, а также средних потоков воздействующей на нее солнечной радиации ныне изучены недостаточно.

Учитывая это, в качестве объекта данного исследования выбраны изменения глобальных температур приземного слоя атмосферы нашей планеты в позднем плейстоцене-голоцене.

Предметом исследования является оценка роли в происходивших изменениях глобальных температур приземного слоя атмосферы нашей планеты, происходивших в позднем плейстоцене-голоцене.

Целью данной статьи является разработка предложений по учету выявленных закономерностей при моделировании и прогнозировании современных изменений глобальных температур приземного слоя земной атмосферы.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- 1) математическое моделирование изменений значений солнечной постоянной, происходивших на протяжении последних 100 тысяч лет;
- 2) сопоставление временных рядов, отображающих результаты реконструкции изменений глобальных температур приземного слоя земной атмосферы в позднем плейстоцене-голоцене, а также моделирования соответствующей динамики солнечной постоянной.

Методика исследований и фактический материал

При решении первой задачи предполагалось, что изменения в позднем плейстоцене-голоцене значений солнечной постоянной были вызваны лишь следующими факторами:

- изменения эксцентриситета земной орбиты;
- динамика угла наклона плоскости земной орбиты по отношению к плоскости солнечного экватора;
- циклы Паттерсона – Шнитникова.

Среднее за 11-летний цикл состояние солнечной активности полагалось неизменным. Влияние эффекта нутации земной оси, открытого в 1837 году Д. Бредли и приводящего к изменениям угла ее наклона к плоскости земной орбиты, с амплитудой близкой к 9", не учитывалось. Вследствие этого значение угла ее наклона к плоскости земной орбиты полагалось постоянным и составляющим $23^{\circ}26'$.

Особенности динамики эксцентриситета земной орбиты и угла наклона ее плоскости по отношению к плоскости солнечного экватора моделировались, учитывая [4]. При этом предполагалось, что эксцентриситет Земной орбиты изменяется в пределах от 0,001 до 0,0668, по закону, представляющему собой гармоническое колебание с периодом 105 тысяч лет. В современный период он составляет 0,0167 и продолжает уменьшаться, поэтому в июле Земля приближается к Солнцу на 147 млн. км, а в январе удаляется от него на 152 млн. км, что приводит к изменению суммарного потока солнечной радиации в течение года на 6,5 %. Этот процесс увеличения среднегодового значения солнечной постоянной будет продолжаться еще 25 тыс. лет, способствуя потеплению глобального климата. Далее наступит эпоха похолодания, эксцентриситет земной орбиты будет возрастать, а среднегодовые значения солнечной постоянной уменьшаться.

Через 83 тыс. лет эксцентриситет земной орбиты достигнет максимума (0,0668). При этом расстояние от Земли до Солнца в апогелии увеличится на 19,7 млн. км, а средний годовой поток солнечной радиации, поступающий на нашу планету, уменьшится по сравнению с современным уровнем на 26 %.

При моделировании динамики среднегодовые значения солнечной постоянной учитывалось также, что угол наклона земной орбиты по отношению к плоскости экватора Солнца ныне составляет $7^{\circ}15'$ и изменяется по закону близкому к гармоническому, с амплитудой $1^{\circ}11.5'$. Период этих изменений составляет 41000 лет.

В модели динамики среднего годового потока солнечной радиации, поступающей в земную атмосферу, учитывалось и существование цикла Паттерсона-Шнитникова. Предполагалось, что по закону близкому к гармоническому, имеющему период 1850 лет, изменяется повторяемость солнечных

затмений. В нынешнем цикле этого явления максимальная повторяемость солнечных затмений имела место в XVI веке.

При анализе результатов моделирования учитывался эффект прецессии земной оси, происходящей с периодом 25776 лет. Принято считать, что упомянутый эффект открыл во II веке до н.э. древнегреческий астроном Гиппарх, хотя многое говорит о том, что подобными знаниями люди владели и ранее. В том числе об этом, по-видимому, знали и наши далекие предки, называвшие траекторию на небесной сфере, по которой движется ее неподвижная точка – северный полюс, Сварожьим Кругом (сварога – небо). Они знали, что эта траектория замыкается за 25920 лет. Указанный отрезок времени они делили на 180 частей, каждую из которых, продолжительностью в 144 года, называли кругом Жизни, использовали как основу своего календаря.

Эффект прецессии земной оси проявляется в том, что угол между нею и нормалью к плоскости земной орбиты ψ , в перигелии орбиты нашей планеты изменяется с течением времени по закону: $\psi = \Psi \cos((2\pi t/T_2) + \varphi_2)$, где $T_2 = 25920$ лет, $\varphi_2 = 2\pi * 10500/T_2$.

Нетрудно видеть, что прецессия земной оси на величину солнечной постоянной не влияет, но во многом определяет распределение солнечной радиации между полушариями планеты. Если в результате прецессии, в июле наша планета располагается в перигелии (как это было 13 тыс. лет тому назад), то в разность потоков солнечной радиации, поступающих в ее Северное полушарие за летний и зимний сезон максимальна, а в Южный минимальна. Если перигелий наша планета проходит в январе (что имеет место в современный период), то имеет место обратное.

Вследствие эффекта прецессии земной оси, происходит перераспределение потоков солнечной энергии, поступающей в Северное и Южное полушария, способно влиять на динамику соответствующих сегментов криосферы.

При решении второй задачи временные ряды, включающие результаты моделирования динамики средних за тысячелетие значений солнечной постоянной в плейстоцене-голоцене, сопоставлялись с фактическим материалом – соответствующими временными рядами оценок глобальных температур воздуха в приземном слое атмосферы.

В качестве подобных оценок рассматривались соответствующие тому или иному тысячелетию значения изотопных температур воздуха, извлеченного из различных слоев керна антарктического льда, добытого на станции «Восток». Изотопные температуры воздуха, экстрагированного из каждого слоя льда, определялись по содержанию в нем изотопа кислорода O_{18} .

Результаты и их анализ

В соответствии с рассмотренной методикой осуществлено моделирование изменений средних за столетие значений солнечной постоянной, происходивших за период от 100000 лет до н.э. и до нынешнего времени. Полученные при этом зависимости от времени нормированных значений упомянутой характеристики, а также соответствующих прецессионных поправок, приведены на рисунке 1.

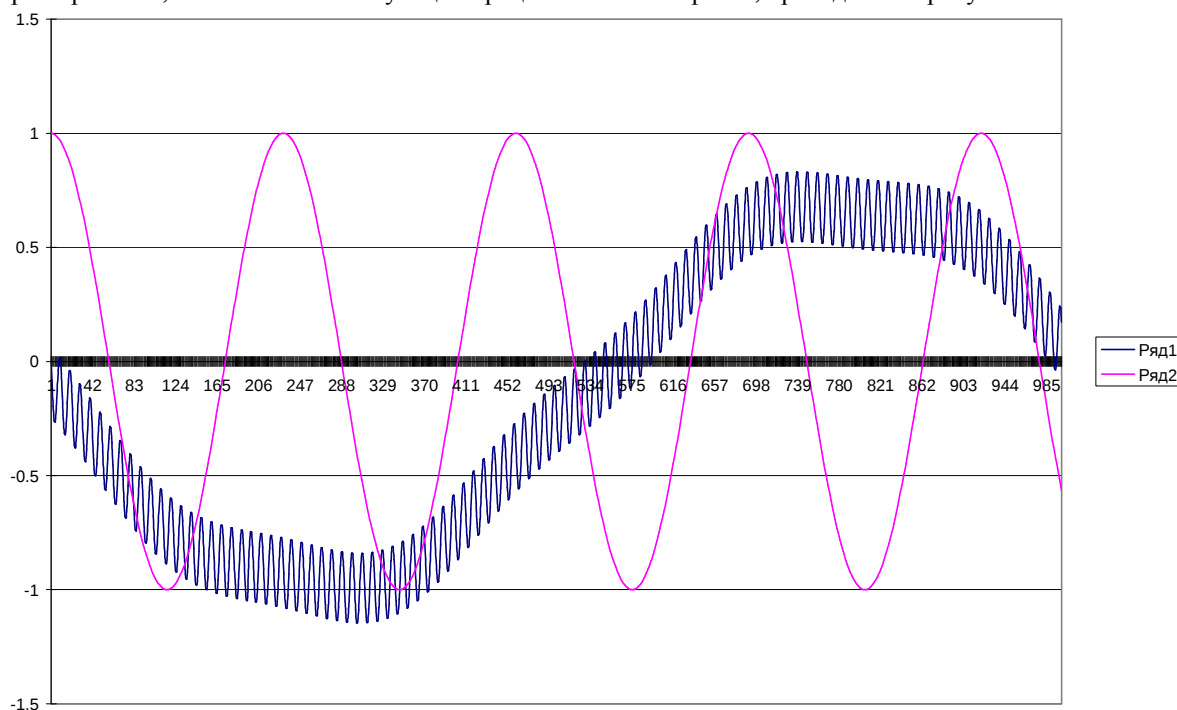


Рисунок 1 – Зависимости от времени (T), отсчитываемого в прошлое, относительных изменений средневековых значений солнечной постоянной $\gamma = (S - Scp/Smax)$ и прецессионных поправок ($F/Fmax$)

Как видно из рисунка 1, рассчитанные с учетом совместного влияния циклов Миланковича, а также Паттерсона – Шнитникова, нормированные значения среднего годового потока солнечной радиации, поступающей в атмосферу Земли, были минимальны 300 веков, а максимальны – 740 веков тому назад. Современного уровня, хотя и в противоположной фазе, рассматриваемый процесс достигал 556 веков тому назад.

В положительных фазах прецессии к перигелию планета приближается, как и в современный период, в январе, а в отрицательных в июле. Современное расположение земной оси в результате прецессии повторялось приблизительно в 24, 50, 76 тысячелетия до н.э. Противоположные фазы прецессии имели место в 11, 37, 63 и 89 тысячелетиях до н.э.

Современная фаза прецессии земной оси обуславливает увеличение на 7% годового потока солнечной радиации, поступающего в Южное полушарие планеты (в сравнении с его значением, соответствующим Северному полушарию). В своей противоположной фазе (имевшей место приблизительно 13000 лет тому назад) этот процесс вызывал уменьшение годового потока солнечной радиации, поступающей в Южное полушарие, по отношению к его значению, приходящемуся на всю планету.

На рисунке 2 приведена зависимость от времени оценок [3] средних за тысячелетие глобальных температур приземного слоя земной атмосферы, реконструированных по изотопным температурам воздуха, экстрагированного из соответствующих слоев керна антарктического льда.

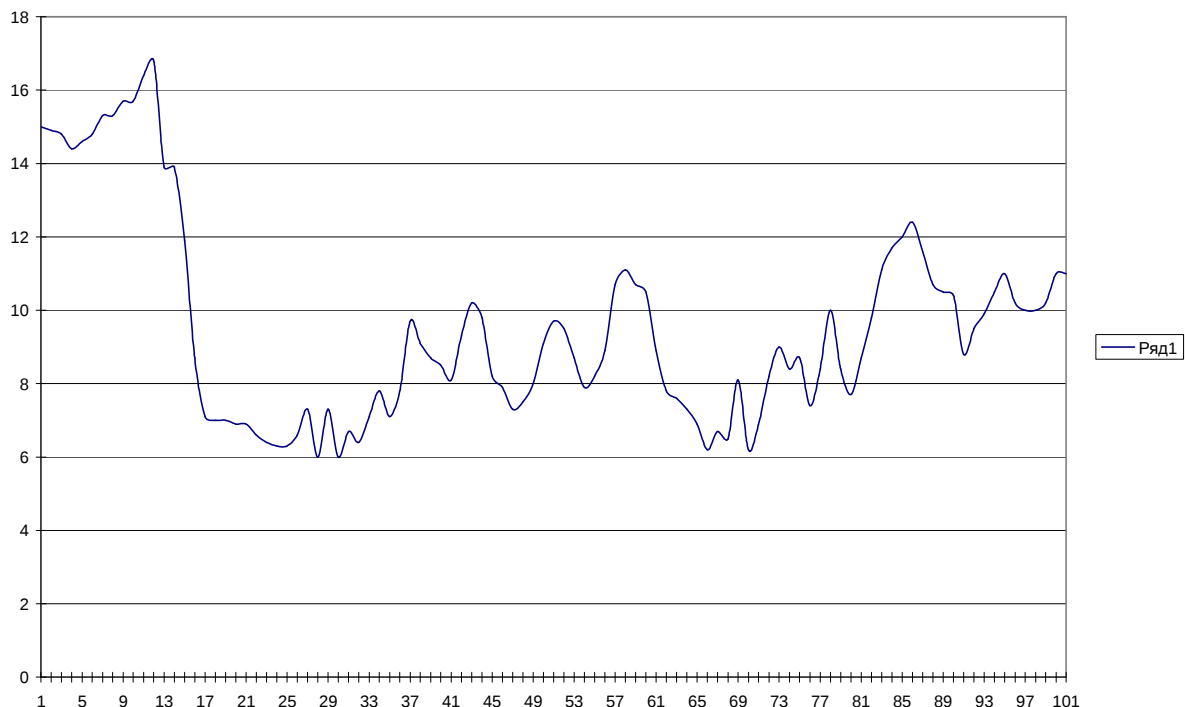


Рисунок 2 – Зависимость от номера тысячелетия (T), отсчитываемого в прошлое, оценок средних глобальных температур приземного слоя атмосферы (t), по данным [3]

Как видно из рисунка 2, зависимость от времени оценок глобальных температур приземного слоя атмосферы (т.н. изотопных температур) существенно отличается по виду от гармонического колебания. Значения средних глобальных температур, соответствующих голоцену (от 0 до 14 тысячелетий тому назад), существенно превосходят их значения для позднего плейстоцена (от 14 до 100 тысяч лет тому назад).

Абсолютный максимум средних глобальных температур на нашей планете имел место в пребореальном периоде – 9–10 тыс. лет до н.э. Последнее противоречит представлениям [1] об изменениях климата в голоцене, согласно которым наиболее теплым его периодом являлся атлантический, соответствующий отрезку времени 5–7 тыс. лет до н.э.

Упомянутые представления основаны на результатах исследований, проводившихся главным образом в континентальных регионах Северного умеренного климатического пояса. Потому вполне адекватными они могут быть признаны лишь для этих регионов.

Корректность обобщения их на все прочие регионы планеты не подкреплена какими-либо доказательствами. В то же время оценки [3] относятся именно к глобальным температурам (усредненным

по всем климатическим поясам и Северного и Южного полушарий планеты), и потому являются более объективными.

Из сопоставления рисунков 1 и 2 видно, что в пребореальный период, когда значения глобальных температур в приземном слое атмосферы достигли абсолютного максимума, средние значения солнечной постоянной были ощутимо меньше современных. Подобное возможно, если на соответствующем отрезке времени ощутимо меньше были площадь криосферы планеты, а также среднее значение ее альbedo.

Из рисунка 1 видно, что вследствие прецессии, земная ось на этом отрезке времени была ориентирована так, что в июле расстояние между Землей и Солнцем было больше, чем в январе. В результате этого большая доля среднегодового потока солнечной радиации, поступала в Южное полушарие. Последнее позволяет предполагать, что площадь сегмента криосферы, расположенного в Южном полушарии была существенно меньше своего современного уровня.

Так как ныне большую часть этого сегмента образует покровное оледенение Антарктиды, представляется вероятным, что в период 9–10 тыс. лет до н.э. значительные территории этого материка были свободны ото льда.

Из рисунка 2 следует, также, что средний поток эффективного теплового излучения поверхности планеты в период от 100 до 14 тысяч лет тому назад был существенно меньше, чем в голоцене.

Из сопоставления рисунков 1 и 2 очевидно, в период с 14 до 30 тысяч лет тому назад значения солнечной постоянной в среднем уменьшались, в то время как средний поток эффективного теплового излучения с поверхности планеты оставался практически неизменным. Последнее возможно лишь в том случае, если соответствующим образом изменялось значение среднего альbedo земной поверхности.

Как установлено в [3], $T^4 = (1 - A)S\Phi$, где Φ – при неизменном угле наклона земной оси к плоскости земной орбиты (в соответствии с принятыми допущениями, его величина рассматривалась как константа); T – средняя температура воздуха в приземном слое атмосферы; S – значение солнечной постоянной; A – среднее альbedo.

Постоянство T в период с 14 до 30 тысяч лет тому назад, при условии, что S уменьшается, свидетельствует о том, что на данном отрезке времени A также уменьшалось.

Из рисунка 1 видно, что в период с 50 до 100 тыс. лет назад средние за тысячелетие значения солнечной постоянной были заметно больше современного уровня (такова была фаза 105 тыс. летнего цикла Миланковича).

Из рисунка 2 следует, что в то же время глобальные температуры приземного слоя атмосферы были ощутимо меньше современных значений. Последнее возможно лишь в случае, если значения альbedo земной поверхности в тот период были значительно выше современных.

При этом, даже во времена межледниковой оттепели, разделяющей волны оледенений Новый Вюрм и Средний Вюрм, суммарная площадь криосферы ощутимо не уменьшалась.

Полученный результат может быть объяснен лишь, если допустить, что межледниковые оттепели в рассматриваемом периоде позднего плейстоцена носили региональный характер.

Как видно, сопоставление рисунков 1 и 2 позволяет утверждать, что, по крайней мере на протяжении последних 100 тысяч лет к числу основных факторов динамики глобальных температур приземного слоя земной атмосферы относились изменения, как среднегодовых потоков солнечной радиации, так и средних значений альbedo земной поверхности, обусловленных изменениями распределения криосферы. Последнее позволяет предполагать, что и в современный период ощутимыми факторами потепления климата могут быть те же процессы.

Поскольку совпадение фаз циклов Миланковича, а также Паттерсона-Шнитникова, приводящее к увеличению среднегодовых значений солнечной постоянной, будет иметь место еще 500 лет, дальнейшая активизация глобального потепления климата могла бы происходить и при отсутствии каких-либо изменений парникового эффекта.

Повышению глобальных температур на планете, несомненно, способствует и продолжающееся уменьшение средних значений альbedo и радиационного баланса многих участков ее подстилающей поверхности, происходящее под влиянием антропогенных факторов (рост площадей городов и застроенных территорий, ускоренная водная эрозия пахотных земель, сокращение площадей зеленого листа в лесных массивах, опустынивание и др.)

Учитывая изложенное, в перечень факторов, учитываемых в современных моделях изменений глобального климата, целесообразно включить также упомянутые процессы.

Выводы

1. Роль изменений среднегодовых значений солнечной постоянной, как фактора динамики глобальных температур ее приземного слоя, в позднем плейстоцене–голоцене доминирующей не являлась. Перемены термического режима на планете происходили в результате совместного влияния этого фактора и изменений площади криосферы планеты, определяющие динамику ее среднего альbedo.

2. Межледниковая оттепель, разделяющая волны оледенений Ранний Вюрм и Средний Вюрм (60–80 тыс. лет тому назад), носила региональный характер, в то время как суммарная площадь криосферы в обоих полушариях ощутимо превосходила современный уровень.

3. Суммарная площадь криосферы в обоих полушариях Земли в период развития оледенения Новый Вюрм не могла превышать современный уровень, поскольку значения среднегодового потока солнечной радиации, поступающей в земную атмосферу, при этом достигали абсолютного минимума (были на 25 % ниже современных значений). Последнее возможно лишь если в данный период ощутимо меньше при этом была площадь криосферы Южного полушария.

4. Абсолютный максимум среднегодовых значений глобальных температур приземного слоя атмосферы в голоцене (в период 8–10 тыс. лет до н.э.) пришелся на время, когда среднегодовые значения солнечной постоянной, были существенно меньше, чем современные. Последнее возможно лишь при условии, что среднее альbedo планеты было также ощутимо меньше своего современного значения, а значительные участки поверхности Антарктиды были свободны от покровных ледников.

Перспектива дальнейших исследований

Полученные результаты будут использованы в исследованиях, например по выявлению роли изменений солнечной радиации и альbedo планеты в современных глобальных изменениях климата.

Библиографический список использованной литературы

1. Величко А.А. Динамика растительности и климата Северной Евразии в позднеледниковье и голоцене / А.А. Величко, А.А. Андреев, В.А. Климанов // Короткопериодные и резкие ландшафтно-климатические изменения за последние 15000 лет: сб. науч. тр. — М., 1994. — С. 4–60.
2. О связи альbedo подстилающей поверхности с изменениями климата / М.И. Будыко, И.М. Байкова, Н.А. Ефимова, Л.А. Строкина // Метеорология и гидрология. — 1998. — № 6. — С. 5.
3. Сорохтин О.Г. Эволюция и прогноз изменений глобального климата Земли / О.Г. Сорохтин. — М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. — С. 23–359.
4. Веклич М.Ф. Основы палеоландшафтоведения / М.Ф. Веклич. — К.: Наук. думка, 1990. — 190 с.

Поступила в редакцию 30.06.2011 г.

Холопцев А.В., Грекова А.С., Швецова В.І. Змінення сонячної постійної і динаміка глобальних температур повітря у приземному шарі атмосфери у пізньому плейстоцені – голоцені

Зміни середньовічних значень глобальних температур приземного шару атмосфери в пізньому плейстоцені-голоцені обумовлені змінами фаз циклів Міланковича і Паттерсона–Шнітнікова, що породжують динаміку середньорічних значень сонячної постійної, а також еволюцією криосфери планети, що викликає зміни розподілу по її поверхні альbedo.

Ключові слова: пізній плейстоцен–голоцен, цикли змінення сонячної постійної, динаміка глобальних температур, альbedo, приземний шар атмосфери, підстильна поверхня.

Holoptsev A.V., Grekova A. S., Shvetsova V. I. Changes in the solar constant and the dynamics of global air temperatures in the surface layer of the atmosphere in the late Pleistocene – Holocene

Changes in the medieval values of global surface air temperatures in the Late Pleistocene-Holocene were due changes phases Milankovich cycles and Patterson-Shnitnikov generating the dynamics of average annual values of the solar constant and the evolution of the planet's cryosphere, that alters the distribution of the surface albedo.

Keywords: Late Pleistocene-Holocene, the cycles of solar constant change, the dynamics of global temperature, albedo, surface layer of the atmosphere, the underlying surface.