



28. Скляров Ю.А., Бричков Ю.И., Воробьев В.А. О двух методах спутниковых измерений уходящих радиационных потоков // Исследование Земли из космоса. 1993. № 6. С. 3-11.
29. Скляров Ю.А., Бричков Ю.И., Воробьев В.А., Котума А.И. Об обработке данных спутниковых измерений уходящих радиационных потоков широкоугольными радиометрами // Исследование Земли из космоса. 1996. №3. С. 48-56.
30. Скляров Ю.А., Бричков Ю.И., Воробьев В.А., Котума А.И. Измерения уходящего коротковолнового излучения и альbedo радиометром ИКОР с ИСЗ «Метеор-3» №7 // Исследование Земли из космоса. 1999. № 2. С. 15-26.
31. Скляров Ю.А., Бричков Ю.И., Котума А.И., Фомина Н.В., Фейгин В.М., Липовецкий В.А. Радиометрические измерения с ИСЗ «Ресурс-01» № 4 // Исследование Земли из космоса. 2000. № 3. С. 58-62.
32. Sklyarov Yu.A., Brichkov Yu.I., Vorobyov V.A., Kotuma A.I., Fomina N.V. Radiometric measurements from russian satellites «Meteor-3» № 7 and «Resurs-01» № 4 // Current problems in atmospheric radiation. Proc. of Int. Radiation Simpos. Ed. W.L.

- Smith and Yu.M. Timofeyev. Deepak Publ. 2001. Hampton VA USA. PP. 571-574.
33. Дмитриев А.А., Скляров Ю.А., Шабельников А.В., Соколова Л.П., Полянская Е.А. Изменчивость осадков, температуры и солнечная активность / Под ред. Ю.А.Склярова. Саратов: Изд-во СГУ, 1990. 112 с.
34. Скляров Ю.А., Двинских В.А., Бричков Ю.И., Котума А.И. Переменность потока излучения Солнца и ее земные проявления // Исследование Земли из космоса. 1998. № 6. С. 40-46.
35. Скляров Ю.А. Проблема оценки многолетнего тренда солнечной постоянной и его связи с глобальной температурой // Исследование Земли из космоса. 2001. № 6. С. 11-17.
36. Скляров Ю.А., Бричков Ю.И., Бранцев И.И. Пятиканальный солнечный фотометр // Тезисы докладов V Совещания по атмосферной оптике. Томск, 1991. С. 96.
37. Кмито А.А., Скляров Ю.А. Пиргелиметрия. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 232 с.
38. Kmito A.A., Sklyarov Yu.A. Pyrheliometry. New Delhi: Oxonian Press, PVT. LTD, 1987. 236 p.

УДК 551.583

## ПРОБЛЕМА ГЛОБАЛЬНОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ю.А. Скляров, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой метеорологии и климатологии СГУ  
Г.Ф. Иванова, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии СГУ

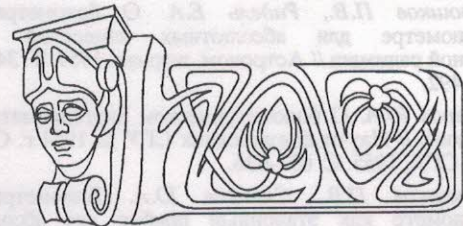
E-mail: sklyarov@sgu.ssu.runnet.ru

В статье рассматриваются основные факторы, оказывающие влияние на климат. За последнее столетие наблюдалось повышение средней глобальной температуры воздуха у поверхности земли на 0,5 °С. На примере Саратова показано, что потепление обусловлено повышением ночных, минимальных за сутки, значений температуры воздуха, которое особенно ощутимо в зимние и весенние месяцы.

### The problem of global and regional climate change Yu.A. Sklyarov, G.F. Ivanova

The main factors concerning the influence on climate are examined. The rise of the mean global near surface temperature up to 0.5 °C was observed during the last century. On the basis of Saratov data it is shown, that warming was caused by the rise of nighttime minimum daily air temperatures. This rise is especially considerable during winter and spring months.

Проблема многолетних изменений климата и в первую очередь основного ее показателя, температуры воздуха, волнует все человечество. От одного столетия к другому интерес к ней не ослабевает, а наоборот, усиливается. Тем более что за последнее десятилетие отмечались своеобразные климатические рекорды и тяжелейшие природные катастрофы в виде смерчей, наводнений, ураганов, засух и т. д. Таким образом, в общественном сознании находит отражение понимание роли климата как важного фактора окружающей среды. Намечившиеся тенденции антропогенного потепления климата являются неопровержимым свидетельством актуальности рассматриваемой проблемы.



Одним из основных параметров климата является температура воздуха. Температура атмосферного воздуха формируется не изолированно, а в тесном взаимодействии со всеми сферами климатической системы, в которую входят наряду с атмосферой еще 4 сферы: гидросфера, подстилающая поверхность, криосфера и биосфера.

Физические, химические и другие процессы, происходящие в каждой из этих сфер, накладывают свой отпечаток на остальные, то есть все процессы в климатической системе взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Основные факторы, на протяжении тысячелетий оказывающие существенное влияние на климат, следующие.

1. Изменение концентрации парниковых газов атмосферы (углекислого газа  $\text{CO}_2$  и метана).
2. Изменение концентрации тропосферных аэрозолей, образующихся в результате взаимодействия оксидов серы и атмосферного водяного пара.
3. Изменение концентрации стратосферного аэрозоля, связанного с вулканической деятельностью, время жизни которого 5-7 лет.
4. Аперiodические колебания до (12 °С) температуры морской воды на акватории Тихого океана (0-12° Ю.Ш. и 180-80° З.Д.) (явление Эль-Ниньо/ Южное колебание); Северо-Атлантическое колебание.
5. Изменение альbedo подстилающей поверхности.





- 6. Изменение солнечной постоянной (СП).
- 7. Изменение параметров орбиты Земли (эксцентриситет, поворот перигелия), угла наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики, прецессия.
- 8. Облачность (количество, тип, распределение по высоте).

На первые два фактора в промышленную эпоху возрастающее воздействие оказывает хозяйственная деятельность человека.

Исследование термического режима глобального состояния атмосферы Земли с помощью наземной метеорологической сети показало, что за последнее столетие наблюдалось повышение средней глобальной температуры у поверхности Земли на  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

Исследования как отечественных, так и зарубежных ученых показывают, что потепление в Северном полушарии происходит медленнее, чем в Южном.

На рис. 1 представлен многолетний ход аномалий средней глобальной температуры воздуха (СГТВ) для Земли в целом и для Северного и Южного полушария [1]. Средние темпы потепления составили для Земли в целом  $0.04^{\circ}\text{C}/10$  лет, для Северного полушария  $0.038^{\circ}\text{C}/10$  лет, а на Южном полушарии  $0.042^{\circ}\text{C}/10$  лет.

Для территории России характерен положительный тренд со скоростью  $0.9^{\circ}\text{C}/100$  лет, а для Европейской части России темпы роста температуры несколько слабее  $0.85^{\circ}\text{C}/100$  лет.

Глобальное потепление происходит на фоне устойчивого роста концентрации парниковых газов, особенно диоксида углерода  $\text{CO}_2$ . Концентрация его в атмосфере превысила доиндустриальный уровень на 29%. Изменение глобальной температуры воздуха в историческом периоде в связи с изменением концентрации  $\text{CO}_2$  представлено на рис. 2 [1]. Как видно из этого рисунка, кривые хода содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и изменения температуры во многом сходны. Наряду с общим характером изменений за длительный период, видны также циклические колебания в ходе этих параметров.

По исследованиям группы авторов на основе спектрального анализа получены основные циклы в колебании среднегодовой температуры по Саратову за период 1881-1985 годов [2]. Оказалось, что периоды годовых колебаний температуры 2.15, 2.82, 3.86, 5.17, 6.94 близки к спектральным периодам солнечной активности, точнее периодам флуктуации параметра  $y(t)$ , который учитывает изменение чисел Вольфа в связи с изменением геомагнитной активности Солнца. Наиболее длинный период изменения годовых температур составил для Саратова 25 лет. Экстраполяция дает следующие периоды изменения температуры: 96.9 лет, 218 и 872 года [2].

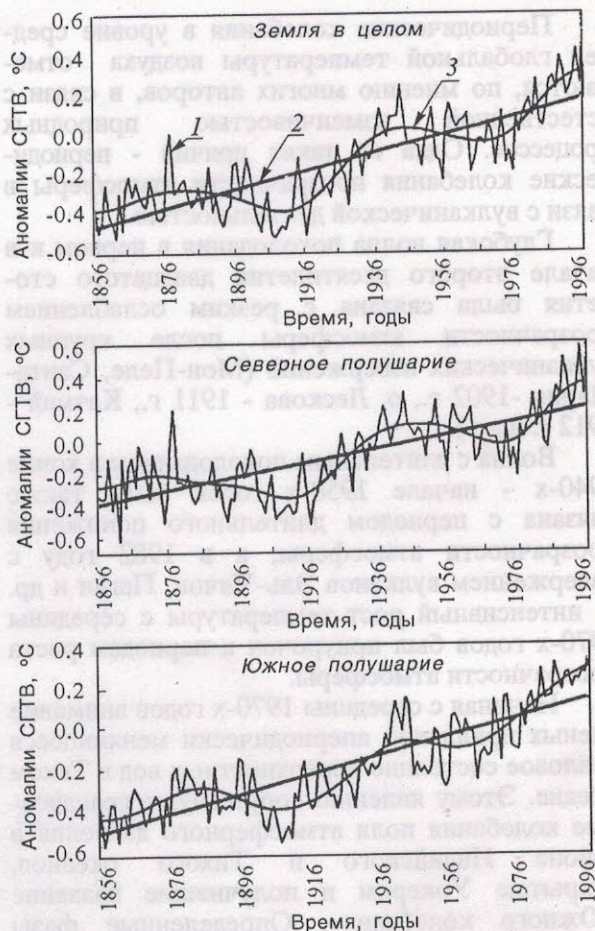


Рис. 1. Вековой ход аномалий СГТВ ( $^{\circ}\text{C}$ ). 1 - результаты наблюдений; 2 - линейное сглаживание (тренд); 3 - результаты сглаживания низкочастотным фильтром Поттера [1]

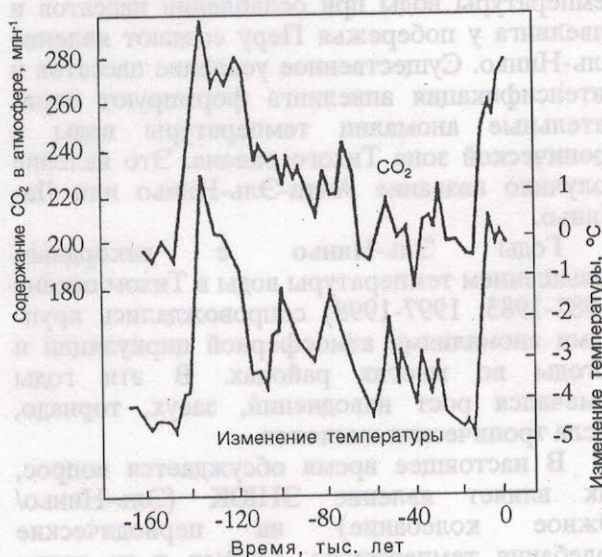


Рис. 2. Исторические средние глобальные температуры за последние 160 тыс. лет (данные по керну льда со станции Восток) [1]





Периодические колебания в уровне средней глобальной температуры воздуха отмечаются, по мнению многих авторов, в связи с естественной изменчивостью природных процессов. Одна из таких причин - периодические колебания прозрачности атмосферы в связи с вулканической деятельностью.

Глубокая волна похолодания в первом и в начале второго десятилетия двадцатого столетия была связана с резким ослаблением прозрачности атмосферы после крупных вулканических извержений (Мон-Пеле, Санта-Мария -1902 г., о. Лескова - 1911 г., Катмай - 1912 г. и др.).

Волна с длительным похолоданием в конце 1940-х - начале 1950-х годов была также связана с периодом длительного понижения прозрачности атмосферы, а в 1982 году с извержением вулканов Эль-Чичон, Паган и др. А интенсивный рост температуры с середины 1970-х годов был приурочен к периодам роста прозрачности атмосферы.

Начиная с середины 1970-х годов внимание ученых привлекло аperiodически меняющееся тепловое состояние поверхностных вод в Тихом океане. Этому явлению сопутствуют грандиозные колебания поля атмосферного давления в районе Индийского и Тихого океанов, открытые Уокером и получившие название «Южного колебания». Определенные фазы этого колебания, определяющие периоды значительного усиления и ослабления пассатов в Тихом океане, сопровождаются формированием значительных аномалий температуры воды в зоне пассатов.

Значительные положительные аномалии температуры воды при ослаблении пассатов и апвеллинга у побережья Перу создают явление Эль-Ниньо. Существенное усиление пассатов и интенсификация апвеллинга формируют отрицательные аномалии температуры воды в тропической зоне Тихого океана. Это явление получило название Анти-Эль-Ниньо или Ла-Ниньо.

Годы Эль-Ниньо с рекордным повышением температуры воды в Тихом океане (1982-1983; 1997-1998) сопровождались крупными аномалиями атмосферной циркуляции и погоды во многих районах. В эти годы отмечался рост наводнений, засух, торнадо, числа тропических циклонов.

В настоящее время обсуждается вопрос, как влияет явление ЭНЮК (Эль-Ниньо/Южное колебание) на периодические колебания температуры, осадков и на какие регионы это влияние распространяется. Ряд ученых считает, что явление ЭНЮК является ко всему прочему генератором Северо-Атлантического колебания и оказывает влияние на

погоду и климат не только Южной Америки и Африки, но и Европы. Однако авторы [3], сопоставив годы с Эль-Ниньо и Северо-Атлантическим колебанием, пришли к выводу, что Северо-Атлантическое колебание первично, так как ЭНЮК возникает через 3-4 года после Северо-Атлантического колебания.

Атмосферная циркуляция над Атлантикой определяется Исландским минимумом давления (к юго-западу от о. Исландия) и Азорским максимумом давления (в районе Азорских островов).

Колебания давления в областях исландского минимума и азорского максимума и миграция этих центров действия атмосферы относятся к Северо-Атлантическому колебанию.

Наиболее примечательной особенностью динамики изменения давления в центрах действия атмосферы на акватории Северной Атлантики за последние 120 лет являлось исключительно высокое давление в центре исландской депрессии и низкое давление в центре азорского максимума в 60-е годы 20 века. А во второй половине 80-х - первой половине 90-х годов наблюдалась полностью противоположная картина. Давление в центре исландской депрессии упало до экстремально низких значений, а в центре азорского антициклона экстремально возросло.

Значимых трендов за более чем 100 лет наблюдений в изменениях давления в этих центрах и положения их в пространстве не обнаружено. Однако в многолетнем ходе наблюдаются колебания давления с периодом около 7-8 лет.

Так как циркуляционные процессы в Европе определяются интенсивностью западного переноса с Атлантического океана, нами была рассчитана корреляционная зависимость между абсолютными минимумами температуры в Саратове и предикторами Северо-Атлантического колебания. Оказалось, что связь между давлением в центрах азорского максимума и исландского минимума и абсолютными минимумами температуры статистически значимая.

В последнее время обсуждается проблема возможного влияния тренда солнечной постоянной (СП) на глобальное потепление климата. Эта проблема подробно освещена в [4]. Можно отметить, что к настоящему времени исследования различных ученых по вопросу многолетнего тренда солнечной постоянной противоречивы. Так, Ричард Вилсон в 1997 году объявил об обнаружении положительного тренда, равного +0.04 % от СП за 10-летний период наблюдений (1986-1996). По мнению Р.Вилсона, этот тренд может дать вклад в глобальное потепление за 100 лет на уровне 0.4 °С.



По исследованиям других ученых (Frohlich S., Lean J. [5, 6]) сделан противоположный вывод: за период между теми же минимумами солнечной активности 1986 и 1996 годов обнаружен обратный тренд -  $0.13 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}/10 \text{ лет}$ , который, по мнению авторов, сопоставим с погрешностями оценок.

В работе [7] приводится комментарий корреляционной связи аномалий температуры воздуха Северного полушария с продолжительностью циклов солнечной активности (рис. 3, [8]): чем короче длина цикла, тем больше положительные аномалии; при длине цикла около 10.5 лет температура Северного полушария около нормы; чем длиннее циклы солнечной активности (более 11 лет), тем значительнее отрицательные аномалии. В той же работе [7] обсуждается сопоставимая синхронность в многолетнем ходе 11-летних скользящих средних чисел Вольфа и аномалий глобальной поверхностной температуры океана (рис. 4, [9]).

Колебание светимости Солнца может существенно менять температуру как в отдельных регионах, так и по всему земному шару. По данным [7] при уменьшении светимости Солнца на 0.25 % глобальная температура может понизиться на 0.46 К, а температура в отдельных чувствительных регионах может изменяться на 1.5 К.

Исследование колебаний климата на основе изучения средних значений температуры воздуха является традиционным. Однако для того чтобы оценить генезис формирования трендов, весьма полезно рассмотреть отдельно структурные составляющие средних величин, а именно, суточные минимумы и максимумы температуры воздуха. Тем более, что именно крайние проявления климатических особенностей в данном районе или пункте могут привести к серьезным последствиям, связанным со стихийными бедствиями.

В настоящей работе приведены результаты анализа многолетнего временного хода месячных максимумов и минимумов температуры воздуха по станции Саратов - Юго-Восток за период с 1912 по 2000 год.

Для исключения случайных колебаний, которые затрудняют выявление закономерностей длиннопериодных циклов в изменениях месячных экстремумов, применен метод скользящих средних с использованием биномиальных весовых коэффициентов, симметрично убывающих от центрального члена осреднения. Ряды 5-летних скользящих средних значений месячных экстремумов аппроксимировались с помощью линейного тренда, полученного методом наименьших квадратов:

$$T_i = b_0 + b_1 i,$$

где  $T_i$  - расчетная температура в  $i$ -й год;  $b_0, b_1$  - коэффициенты уравнения тренда.

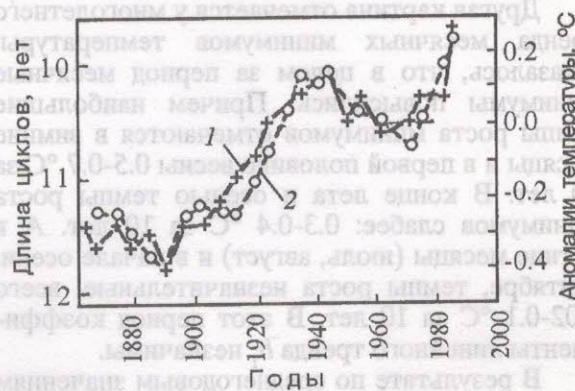


Рис. 3. Длина солнечных циклов (1) и аномалии температуры поверхности северного полушария (2) [8]

Оценка значимости коэффициентов трендов производилась по критерию Стьюдента на уровне доверительной вероятности  $P=0.95$ .

За период наблюдений с 1912 по 2000 год отмечается снижение уровня годовых максимумов температуры, причем темпы снижения весьма существенные и составляют  $0.27 \text{ °C}$  за 10 лет.

Наблюдается разброс в темпах многолетней изменчивости месячных максимумов температуры. Оказалось, что в летние и осенние месяцы отмечаются отрицательные тренды. Причем уменьшение летних максимумов происходит наиболее быстрыми темпами:  $0.2-0.4 \text{ °C}$  за 10 лет. А в осенние месяцы снижение максимумов происходит медленнее:  $0.1-0.2 \text{ °C}$  за 10 лет.

В противоположность летним максимумам, которые снижаются, в зимние месяцы и весной отмечается уже рост месячных максимумов температуры со скоростью  $0.1-0.2 \text{ °C}$  за 10 лет.

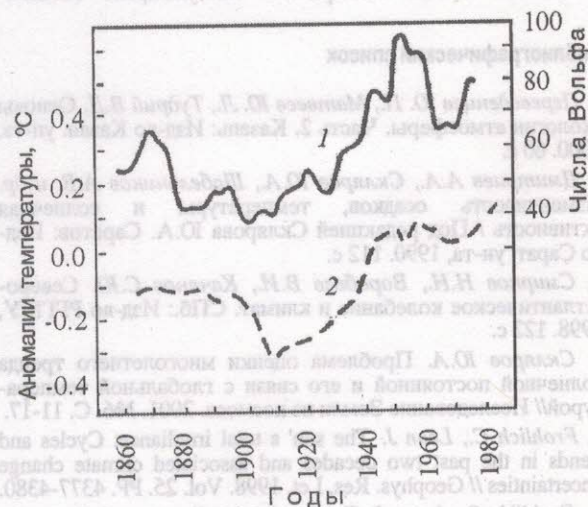


Рис. 4. Одиннадцатилетние скользящие средние чисел Вольфа (1) и аномалии глобальной поверхностной температуры океана (2) [9]





Другая картина отмечается у многолетнего тренда месячных минимумов температуры. Оказалось, что в целом за период месячные минимумы повысились. Причем наибольшие темпы роста минимумов отмечаются в зимние месяцы и в первой половине весны  $0.5-0.7$  °C за 10 лет. В конце лета и осенью темпы роста минимумов слабее:  $0.3-0.4$  °C за 10 лет. А в летние месяцы (июль, август) и в начале осени, сентябре, темпы роста незначительные, всего  $0.02-0.1$  °C за 10 лет. В этот период коэффициенты линейного тренда  $b_1$  незначимы.

В результате по среднегодовым значениям температуры в Саратове отмечается положительный тренд:  $0.23$  °C за 10 лет. Если рассмотреть динамику многолетней изменчивости средней месячной температуры в Саратове по месяцам, то оказывается, что однозначной картины не наблюдается. В зависимости от сезона положительный тренд изменяется от  $0.3-0.5$  °C за 10 лет в зимние и весенние месяцы до  $0.04-0.1$  °C за 10 лет в летний и осенний периоды.

Таким образом, потепление в Саратове за последние 90 лет обусловлено повышением минимальных значений температуры воздуха, которое особенно ощутимо в зимнее и весеннее время.

Возвращаясь к вопросу о возможной связи повышения глобальной температуры с ростом концентрации парниковых газов, можно отметить следующее. Нет однозначной связи потепления с растущей концентрацией  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  и других парниковых газов. В работе [10] отмечается, что большая часть потепления в XX столетии пришлось на его первую половину, когда выброс парниковых газов был достаточно скромным. А с 1940 по 1970 годы, в период основного роста концентрации  $\text{CO}_2$ , большая часть северного полушария охлаж-

далась. Следуя моделям, потепление должно было быть наиболее выраженным в полярных широтах и наименьшим в тропиках [11]. А за последние более 150 лет все шло по-другому. Температурные градиенты между высокими и низкими широтами возрастали, а не снижались, как предсказывали климатические модели. Еще большие трудности в объяснении причин потепления вызвало обнаружение изменения структуры суточных и месячных средних температур. Обычно предоставляемые данные о температуре являлись суточными или месячными средними без указаний минимальных или максимальных температур. Авторы работы [12] отмечают, что уже первые исследования за период 1940-1980 годов на территории США и Канады показали, что в это время наблюдался заметный тренд в уменьшении суточного диапазона температур (СДТ). Последний определялся как разница между максимальной и минимальной суточной температурами (аналогично и для месячных диапазонов). К началу 1990-х годов уже по более чем 1000 станциям, расположенным практически на всех континентах, отмечено снижение СДТ. Причем это снижение вызывалось подъемом минимальных ночных или ранних утренних температур. Авторы работы [12] считают, что не общий подъем суточных температур, а именно рост минимальных при существенном уменьшении СДТ фиксируется как общее потепление. Это явление также ждет объяснения. Приведенных примеров достаточно, чтобы оценить сложность процессов, связанных с глобальным потеплением. Комплексный анализ проблем изменения глобального климата имеется в работе [13], где представлены современные оценки, выполненные большой группой специалистов нескольких стран.

#### Библиографический список

1. Переведенцев Ю. П., Матвеев Ю. Л., Тудрий В. Д. Основы экологии атмосферы. Часть 2. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2000. 60 с.
2. Дмитриев А.А., Скляр Ю.А., Шабельников А.В. и др. Изменчивость осадков, температуры и солнечная активность / Под редакцией Скляра Ю.А. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1990. 112 с.
3. Смирнов Н.Н., Воробьев В.И., Качанов С.Ю. Северо-Атлантическое колебание и климат. СПб.: Изд-во РГТМУ, 1998. 122 с.
4. Скляр Ю.А. Проблема оценки многолетнего тренда солнечной постоянной и его связи с глобальной температурой // Исследование Земли из космоса. 2001. №6. С. 11-17.
5. Frohlich C., Lean J. The sun's total irradiance: Cycles and trends in the past two decades and associated climate change uncertainties // Geophys. Res. Lett. 1998. Vol. 25. PP. 4377-4380.
6. Frohlich C., Lean J. Total solar irradiance variation: the construction of a composite and its comparison with models // Sympos. 185: New eyes to see inside the Sun and Stars / Eds F.L. Deubner, J.Christensen-Dalsgaard, D.Kurtz. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Acad. Publ. 1998. PP. 89-102.
7. Скляр Ю.А., Двинских В.А., Бричков Ю.И., Котума А.И. Переменность потока излучения Солнца и ее земные проявления // Исследование Земли из космоса. 1998. №6. С. 40-46.
8. Friis-Christensen E., Lassen K. Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate // Science. 1991. Vol. 254. PP. 698-700.
9. Reid G.C. Solar total irradiance variation and the global sea surface temperature record // J. Geophys. Res. 1991. Vol. 96. PP. 2835-2844.
10. Kukla G., Karl T.R. Nighttime warming and the greenhouse effect // Environ. Sci. Technol. 1993. Vol. 27, №8. PP. 1468-1474.
11. Climate change 1992: The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment. WMO/UN Environment Programme. Cambridge Univ. Press, 1992.
12. Karl T.R., Kukla G., Gavin J. Decreasing diurnal temperature range in the United States and Canada from 1941 through 1980 // J.Clim. Appl. Meteorol. 1984. Vol. 23, № 11. PP. 1489-1503.
13. Изменение глобального климата: Концептуальные аспекты. СПб., 2001. 123 с.