



Сайт журнала: https://agrarianhistory.com/O_zhurnale

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Голышкин Николай Николаевич¹

¹Аспирант, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября 84,
Воронеж, Россия, E-mail: hepr1nov@gmail.com

Аннотация

В современном мире изменение климата – один из наиболее обсуждаемых глобальных вопросов. Специалисты, представители власти и люди по всему миру совместно разрабатывают стратегии для предотвращения дальнейшего нагрева планеты и уменьшения негативных последствий, вызванных данным феноменом. В этих условиях космический мониторинг приобретает исключительное значение, предоставляя возможность не только анализировать текущие процессы, происходящие на Земле, но и прогнозировать грядущие изменения. Данная статья посвящена исследованию роли спутникового наблюдения в условиях меняющегося климата и его влиянию на наше понимание природы.

Ключевые слова: космос, спутник, земля, климат, человек.

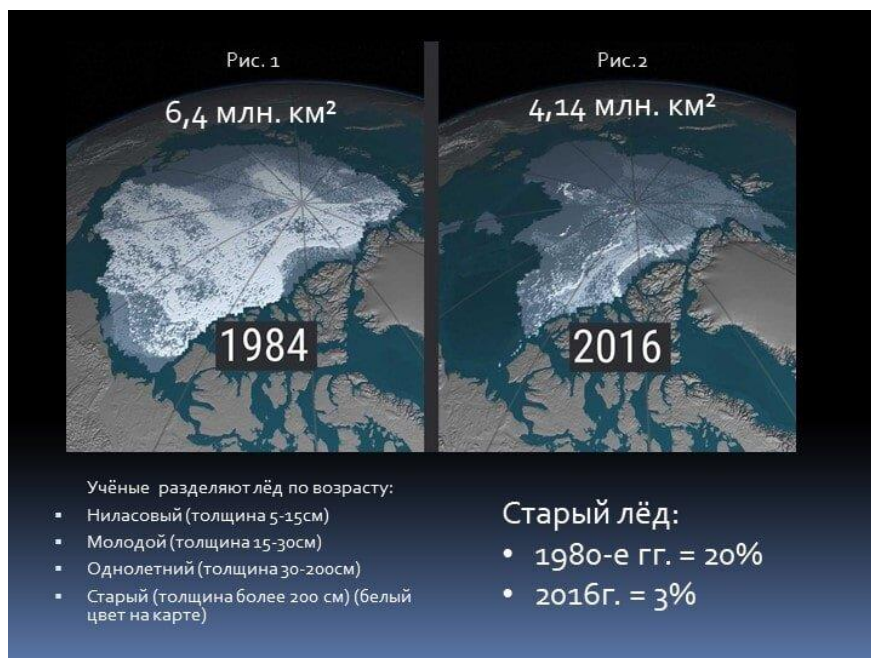
I. ВВЕДЕНИЕ

Настоящее исследование актуально тем, что показывает использование гиперспектральных приборов в сочетании с данными, полученными от PACE OCI, значительно расширяющих возможности глобального космического мониторинга климатических изменений. Использование дистанционного зондирования стало ключевым инструментом в экологической оценке, предоставляя более целостное представление о состоянии окружающей среды в сравнении с традиционными методами. При этом, выполнение точных исследований на местности требует значительных финансовых вложений, существенных временных затрат и пространственно ограничено. Современные достижения в области гиперспектральных технологий значительно расширяют возможности глобального мониторинга изменений климата, а также позволяют оценивать физиологические и биохимические параметры растительности, в частности, эффективность фотосинтетической активности и уровень содержания хлорофилла, что непосредственно связано с валовой первичной продукцией (ВПП), выступающей в качестве ключевого индикатора здоровья экосистемы и её способности к связыванию углерода. Гиперспектральная технология коренным образом расширяет возможности наблюдения за глобальными климатическими изменениями и открывает инновационные пути для разработки более экологичных, экономически эффективных и результативных решений в сфере мониторинга. Это снижает потребность в дорогостоящих и трудоемких полевых работах и способствует достижению глобальных целей устойчивого развития в секторе "зеленых" технологий, обеспечивая непрерывный мониторинг состояния экосистем по всему миру.



II. ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В прошлом, потенциал спутникового анализа сдерживался узким спектральным разрешением, редкими интервалами сбора данных и небольшой территорией охвата. Эти ограничения преодолены благодаря миссии PACE, запущенной в начале 2024 года, которая обеспечивает невиданное ранее спектральное, временное и пространственное разрешение в широком диапазоне частот. Предлагаемый подход к эффективному и масштабируемому мониторингу валовой первичной продукции (ВПП) минимизирует воздействие на окружающую среду и исключает трудоемкие наземные работы. Он способствует оптимизации оценки усвоения углерода практически в реальном времени, объединяя данные спутниковых наблюдений с такими аналитическими методами, как PLSR, и тем самым обеспечивает раннее предупреждение и разработку научно обоснованных стратегий адаптации. Это помогает предотвратить возможные негативные последствия, усовершенствовать устойчивые методы ведения сельского хозяйства в глобальных климатических моделях. В эпоху быстрых климатических изменений такие экологически чистые методы становятся критически важными для получения оперативной информации без нанесения дополнительного вреда природной среде. Ключевым преимуществом представленной методики является ее способность к быстрому анализу и оценке абсорбции углерода различными типами экосистем, что содействует достижению глобальных климатических целей. Ценность этой технологии как экологически чистого средства мониторинга, предоставляющего актуальную информацию при одновременном снижении затрат и минимизации воздействия на окружающую среду, подчеркивается ее потенциалом для улучшения разработки стратегий, внедрения в системы раннего предупреждения и поддержки рационального землепользования. История Земли показывает, что за долгими периодами оледенения следуют сравнительно короткие периоды потепления. Текущий теплый период длится уже около десяти тысяч лет, и, по мнению научного сообщества, наша планета приближается к новому ледниковому периоду, о чем климатологи предупреждали, выражая обеспокоенность относительно возможных последствий для сельского хозяйства.





Поворотным моментом стал 1972 год, когда на климатологическом конгрессе в Ленинграде ученый Михаил Будыко выдвинул теорию о грядущем глобальном потеплении, обусловленном ростом выбросов, связанных с деятельностью человека, и, как следствие, увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере. Эта гипотеза была встречена западными учеными с недоверием, так как они сомневались в способности человечества оказывать значительное влияние на климат. Менее обсуждаемая часть его исследований предполагает положительные эффекты от увеличения концентрации CO₂. В отличие от тревог о неминуемой катастрофе от роста углекислого газа, распространенных в западном мире, Будыко утверждал, что это приведет к смягчению климатических условий повсеместно. Он представлял будущее с увеличением количества осадков в засушливых регионах и беспрецедентным ростом урожайности во всем мире. Тогда же он представил свои прогнозы относительно повышения температуры и изменений в ледовом покрове арктических морей на следующие сто лет. Вспоминая конец 1980-х годов, период острой конфронтации между Западом и Советским Союзом, заметим, что именно тогда закладывались научные основы западной климатической стратегии. На фоне западных опасений по поводу засух и нехватки продовольствия, советский исследователь опубликовал в *New Scientist* статью, предлагающую альтернативную точку зрения – концепцию «парникового рая». СССР, казалось, дарил миру надежду на благополучное будущее.

С исчезновением Советского Союза имя Будыко постепенно ушло на второй план. Теперь, пройдя значительную часть пути к потеплению, имея истощенные европейские и иссякающие американские запасы нефти, с концентрацией CO₂ увеличившейся в полтора раза и с глобальной температурой, поднявшейся на 1,5 градуса, настало время оценить текущие результаты.

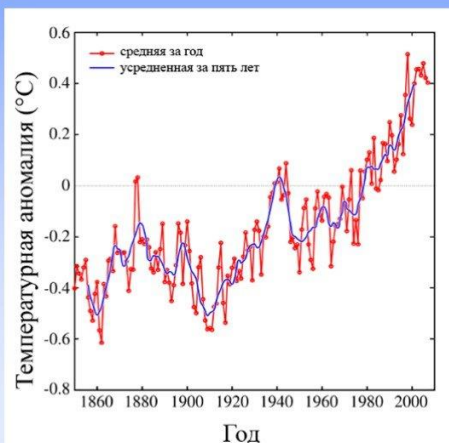
Несмотря на тревожные видеоролики о стихийных бедствиях, наводняющие медиапространство, обратим внимание на факты. Самым важным показателем влияния климата на жизнь людей является урожайность зерновых культур, как основы питания. Засухи, наводнения, штормы, град и заморозки приводят к снижению урожаев, провоцируя голод и гибель людей. Высокая урожайность, наоборот, свидетельствует о благоприятных климатических условиях. Статистические данные по урожайности зерновых в большинстве стран доступны с 1961 по 2021 год – период наиболее интенсивного увеличения CO₂. Обратимся к тем, кто громче всех говорит о надвигающейся катастрофе, – США и Европе. В Соединенных Штатах урожайность увеличилась с 25,2 до 82,7 центнеров с гектара, в Германии – с 24,2 до 70, в Испании – с 10,8 до 42,3. Аналогичные тенденции прослеживаются и на других континентах: Бразилия (12,5 – 44,8), Индия (9,5 – 34,8), Австралия (14,7 – 41,5), ЮАР (11 – 38,4). В среднем в мире урожайность возросла с 11,7 до 41,5 центнеров с гектара, то есть в 2,83 раза.

В регионах с засушливым климатом увеличение было еще более выраженным – в 5 и более раз. График роста урожайности практически зеркально отражает график роста CO₂. Оба показателя демонстрируют экспоненциальный рост. Определяющими факторами для этого служили легчайшие химические элементы, включая воду и разнообразные газообразные соединения, сформировавшие изначальную газовую оболочку, окутывавшую земную поверхность. Доминирующим компонентом в этой атмосфере выступал азот, составляя примерно 75% её объема, в то время как оставшуюся часть занимали углеродсодержащие газы, такие как диоксид углерода и метан. Значительная доля этих газов растворялась в водах первичного океана, иницируя постоянный цикл обмена между водной и воздушной средами. В этот период практически отсутствовал свободный кислород, поскольку он прочно соединялся с водородом, формируя молекулы воды, а также входил в состав разнообразных минералов. В наши дни теплое течение Гольфстрим перемещает подогретые водные массы к высоким широтам Северного полушария. Здесь, отдавая тепло окружающему воздуху, вода постепенно остывает, становится более плотной и погружается в океанские глубины. Ранее в океанах наблюдалось четкое расслоение вод по плотности. В частности, в акватории Красного моря, из-за интенсивного испарения, вода отличалась повышенным содержанием солей и, компенсируя поступление пресной воды с осадками, сбрасывала свои более плотные воды на дно. Это приводило к тому, что верхние слои океана были менее солеными (около 4 промилле), что неблагоприятно влияло на функционирование теплового конвейера. Однако в течение ледникового периода глубинные воды океана медленно нагревались за счет геотермальной энергии, их плотность снижалась, и примерно 15 тысяч лет назад конвекционные процессы в океане возобновились.



Гольфстрим снова заработал в полную силу, произошло потепление климата, и началось оттаивание мерзлых грунтов в Европе и на юге Сибири. Высвобождение древней органики из тающих мамонтовых почв активизировало микроорганизмы, которые преобразовывали её в углекислый газ и метан, что усилило парниковый эффект. В конечном итоге европейская мерзлота полностью исчезла, высвободив в атмосферу и почву около 1000 Гт. накопленного углерода. Концентрация CO₂ в воздухе увеличилась до 0,3%, что стимулировало рост продуктивности растительного покрова планеты. Советские ученые предвидели подобное развитие событий и предсказывали значительное увеличение урожайности сельскохозяйственных культур повсеместно, что подтвердилось впоследствии. В регионах, где прежде выращивались культуры, адаптированные к засушливому климату и направляющие основную часть ресурсов на развитие корневой системы, сегодняшние климатические изменения создали более благоприятные условия, и на тех же полях культивируются современные сорта с более крупными зёрнами и плодами. Повышение температуры привело к замене морозостойких, но менее продуктивных, растений на теплолюбивые и высокоурожайные культуры, например, кукурузу. Во многих районах появилась возможность собирать два урожая в год. Увеличение содержания углекислого газа и рост количества осадков благоприятно повлияли на состояние растительного мира. Данные, полученные со спутников, указывают на расширение ареалов растительности и активизацию фотосинтеза на всех континентах. Популяции саранчи, ранее представлявшие серьезную угрозу сельскому хозяйству из-за своих крупных скоплений, теперь, благодаря обильному питанию, не наносят столь значительного ущерба, и убытки от их нашествий существенно уменьшились. Лесные пожары, хотя не исчезли полностью, за последние десятилетия стали менее губительными по сравнению с началом века. Согласно последним данным всеобщее повышение температуры должно вести к смягчению общих климатических условий. основополагающим принципом этой теории является ключевое значение водяного пара. В жарких тропических областях концентрация водяного пара максимальна, в то время как в приполярных зонах, особенно в зимний период, она минимальна, что обуславливает низкие температуры. Климат, формируемый водяным паром, характеризуется значительными колебаниями и резкими температурными перепадами. В отличие от этого, концентрации CO₂ и метана в атмосфере меняются гораздо менее значительно в зависимости от географической широты, времени года и времени суток. В условиях потеплевшего климата влияние CO₂ на температуру относительно невелико, тогда как водяной пар играет главенствующую роль.

Глобальное потепление



Глобальное потепление
— процесс постепенного увеличения среднегодовой температуры атмосферы Земли и Мирового океана.

На графике видно, что средняя температура по Земле поднялась на 0,7°C по сравнению со временем начала промышленной революции (в 1850-х)



Значительный перегрев атмосферы маловероятен, так как избыток тепла способствует более интенсивному испарению воды с поверхности океанов и растений. Это, в свою очередь, ведет к формированию облачности, что увеличивает отражательную способность Земли (альбедо) и уменьшает поступление солнечной энергии. Воздействие CO₂ на температуру наиболее выражено в холодных регионах. Увеличение концентрации CO₂ вызывает потепление в северных широтах, смягчая зимние температуры и сокращая количество дней с заморозками, что соответствует предсказаниям экспертов. Средняя глобальная температура увеличилась примерно на 1,5 градуса, а в северных широтах потепление достигло 3-6 градусов. В России потепление происходит в 2,7 раза быстрее, чем в среднем по миру, в то время как в некоторых южных регионах, например в Индии, существенного повышения температуры не наблюдается. Таким образом, наблюдается тенденция к улучшению климатических условий: зимы становятся менее продолжительными и более мягкими, а летняя жара не усиливается. Увеличение испарения с поверхности океана способствует росту количества осадков на континентах, но при этом увеличивается и испарение с поверхности земли, что поддерживает баланс тепла и влаги и стабилизирует уровень таких водоемов, как Каспийское море.

В современной ситуации в Российской Федерации, создание общегосударственной системы отслеживания климатических изменений представляет собой масштабный исследовательский проект, объединяющий потенциал более пятидесяти научно-исследовательских и экспертных организаций. Для достижения ключевых задач сформировано шесть объединений, включающих научные институты, занимающиеся моделированием и прогнозированием земной системы, мониторингом и адаптацией морской и наземной среды, контролем углеродного цикла в экосистемах, экономическими аспектами климата и учетом промышленных выбросов. Общее управление проектом на федеральном уровне возложено на Министерство экономического развития и Министерство природных ресурсов. Начиная с 2022 года, Министерство экономического развития, при широком участии научного сообщества, проводит работу по формированию российской системы климатического мониторинга. В рамках этого начинания планируется развитие и улучшение климатических моделей на глобальном и региональном уровнях, что позволит прогнозировать последствия климатических изменений для различных регионов и адаптировать к ним хозяйственную деятельность. Кроме того, климатические факторы будут приниматься во внимание при подготовке прогнозов социально-экономического развития, обеспечивая возможность принятия эффективных мер по адаптации экономики к меняющимся климатическим условиям.

В соответствии с Концепцией 2015 года, направленной на построение общенациональной системы мониторинга, отчетности и проверки объемов выбросов парниковых газов на территории России, во многих регионах страны ведется работа по созданию и тестированию региональных кадастров парниковых газов. Эти кадастры представляют собой систематизированный набор сведений, отражающих объемы как выбросов, так и поглощения парниковых газов. Базой для этих сведений служит официальная статистическая информация.

Ключевые поставщики статистической информации – это сведения, полученные из Росреестра, Рослесхоза, отчетов Минсельхоза о текущей ситуации и размерах посевных площадей, онлайн-платформ региональных администраций и общенационального Регистра выбросов парниковых газов. Тем не менее, обновления в некоторых из этих источников происходят со значительной задержкой, в течение которой ландшафт претерпевает существенные трансформации, включая как законные, так и незаконные лесозаготовки, формирование ветровалов, несанкционированное размещение отходов и появление новых построек. Эти изменения могут отсутствовать в кадастровых сведениях из-за временных лагов в оформлении документов или из-за их противозаконного характера. Следовательно, возникают вопросы относительно достоверности информации, служащей основой для оценки выбросов и поглощения парниковых газов.

Вступление в юридическую силу федерального закона от 2 июля 2021 года, возлагающего на все российские регионы обязанность по учету объемов эмиссии парниковых газов, акцентируется потребность в совершенствовании существующих инструментов мониторинга углеродных выбросов и оперативного сбора актуальных данных.



Одним из действенных способов такого мониторинга служит использование технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Спутниковые изображения открывают широкие перспективы для мониторинга и анализа углеродного следа. Основное достоинство ДЗЗ заключается в предоставлении надежной, объективной и оперативно обновляемой информации о любом участке земной поверхности.

Для упрощения вычислений обычно используется общепринятый СО-эквивалент, который устанавливается для каждого конкретного парникового газа, принимая во внимание его влияние на экологию и период нахождения в атмосфере.

Использование спутниковых данных предоставляет возможность регулярно или в режиме реального времени отслеживать изменения, происходящие на различных типах земной поверхности. Например, выявлять недавно произведенные лесозаготовки и зоны, пострадавшие от ветровалов, нелегальные свалки мусора, разработку месторождений и строительство новых объектов. Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяют с высокой точностью устанавливать границы объектов и контролировать расширение их территорий.

Анализ изменений, зафиксированных на снимках высокого (2 м/пиксель) пространственного разрешения, позволил создать матрицу переходов между различными видами использования земли, которая демонстрирует преобразование одних категорий объектов в другие. В частности, на исследуемых территориях были обнаружены участки вырубок и ветровалов, возникшие за последние пять лет на месте хвойных и лиственных лесов. Кроме того, отмечено уменьшение площади некоторых природных болот с последующим выявлением на их месте областей добычи торфа. Также обнаружены трансформации сельскохозяйственных земель, идентифицированы поля, демонстрирующие зарастание древесной или травянистой растительностью. Интеграция космических данных, полученных посредством технологий дистанционного зондирования Земли, и методов нейронных сетей позволяет оперативно оценивать объемы выбросов парниковых газов в масштабах государства. Данная функциональность реализована в геосервисе "Цифровая Земля", который представляет собой платформу для анализа больших массивов информации, собранной при помощи дистанционного зондирования нашей планеты. Пользователи обладают возможностью обрабатывать эти данные индивидуально или в сотрудничестве с другими, используя веб-интерфейс.

Для приобретения информации, полученной методом дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), применяются изображения, сделанные со спутников, в частности, с российских аппаратов "Канопус-В" (разрешающая способность 2,1 метра в панхромном диапазоне и 10,5 метров в многоспектральном) и "Ресурс-П" (с разрешением 0,8 и 2,4 метра, соответственно). Помимо этого, задействуются общедоступные снимки, например, Sentinel-2 (разрешение варьируется от 10 до 60 метров). Для анализа масштабных массивов данных применяются методы нейронных сетей и средства статистического анализа. Участие квалифицированных экспертов гарантирует повышенную точность получаемых результатов.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование этих моделей, подкрепляемое постоянным притоком новых данных, имеет решающее значение для разработки эффективных стратегий адаптации к климатическим изменениям и смягчения их последствий, а также для обоснования политических решений на международном и национальном уровнях.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алехина Н.М., Таранюк М.И. Космические циклы в атмосферных процессах. Циклы природы и общества: Материалы шестой междунар. конф. Ставрополь, 1998. Ч. 2. С. 79-81.
- Байдал М.Х., Неушкин А.И. Термодинамический режим и сопряженность между Северной Атлантикой, атмосферной циркуляцией и погодой. Обнинск, 1994. 284 с.
- Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 351 с.
- Вительс Л.А. Многолетние изменения повторяемости форм атмосферной циркуляции и их преобразований в связи с солнечной активностью. Труды ГГО. 1960. Вып. 90. С. 95-115.
- Гире А.А. Макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 488 с.
- Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 248 с.
- Кусков А.И., Филандышева Л.Б. Циклический подход к описанию временных рядов на примере теплообеспеченности летнего сезона. Циклические процессы в природе и обществе. 1994. Вып. 3. С. 118-119.
- Мирошниченко Л.И. Солнечная активность и Земля. М., 1981. 104 с.
- Орлова А.В. Пустыни как функция планетарного развития. М.: Недра, 1978. 161 с.
- Полозов В.В. Использование информации о планетах для прогноза естественных изменений климата. Агроэкологические ресурсы (изменчивость и прогнозирование). Новосибирск, 1990. С. 88-98.
- Рубашев Б.М. Проявление долговременных периодов колебаний солнечной активности в атмосферном давлении и температуре. Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л., 1974. С. 43-55.
- Рутковская Н.В. Климатическая характеристика сезонов года Томской области. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1979. 115 с.
- Сазонов Б.И., Логинов В.Ф. Солнечно-тропосферные связи. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 116 с.
- Сидоренков Н.С. Неравномерность вращения Земли и процессы в атмосфере. Тр. Гидрометцентра СССР. 1978. Вып. 205. С. 48-66.
- Таранюк М.И. Цикличность в ходе температур и осадков в зимний период. Второе Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Томск, 1997. С. 17.
- Усманов Р.Ф. Вращение Земли, циркуляция атмосферы и геотектоника. Агроэкологические ресурсы (изменчивость и прогнозирование). Новосибирск, 1990. С. 98-108.
- Филандыппева Л.Б., Окишева Л.Н. Климатические условия развития природы Западно-Сибирской равнины в центральную фазу летнего сезона. Вопросы географии Сибири. 1997. Вып. 22. С. 69-80.
- Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 376 с.
- Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л.: Наука, 1969. 245 с.



SATELLITE MONITORING AND ITS IMPACT ON CLIMATE CHANGE

Golyshkin, Nikolai Nikolaevich¹

¹Postgraduate, Voronezh State Technical University, 84, 20-letiya Oktyabrya Street, Voronezh, Russia, E-mail: hepr1nov@gmail.com

Abstract

Climate change is one of the most discussed global issues today. Experts, government officials, and individuals around the world are collaborating to develop strategies to prevent further warming of the planet and mitigate the negative impacts caused by this phenomenon. In this context, space monitoring is of paramount importance, providing the ability not only to analyze current processes on Earth but also to predict future changes. This article explores the role of satellite observations in a changing climate and its impact on our understanding of nature.

Keywords: space, satellite, earth, climate, humans.

REFERENCE LIST

- Alekhina N.M., Taranyuk M.I. Kosmicheskie cikly v atmosferynyh processah. Cikly prirody i obshchestva: Materialy shestoj mezhdunar. konf. Stavropol', 1998. CH. 2. S. 79-81.
- Bajdal M.H., Neushkin A.I. Termodinamicheskij rezhim i sopryazhennost' mezhdru Severnoj Atlantikoj, atmosfernoj cirkulyaciej i pogodoj. Obninsk, 1994. 284 s.
- Budyko M.I. Klimat v proshlom i budushchem. L.: Gidrometeoizdat, 1980. 351 s.
- Vitel's L.A. Mnogoletnie izmeneniya povtoryaemosti form atmosfernoj cirkulyacii i ih preobrazovanij v svyazi s solnechnoj aktivnost'yu. Trudy GGO. 1960. Vyp. 90. S. 95-115.
- Gire A.A. Makrocirkulyacionnyj metod dolgosrochnyh prognozov pogody. L.: Gidrometeoizdat, 1974. 488 s.
- Isaev A.A. Statistika v meteorologii i klimatologii. M.: Izd-vo MGU, 1988. 248 s.
- Kuskov A.I., Filandysheva L.B. Ciklicheskij podhod k opisaniyu vremennyh ryadov na primere teploobespechennosti letnego sezona. Ciklicheskie processy v prirode i obshchestve. 1994. Vyp. Z. S. 118-119.
- Miroshnichenko L.I. Solnechnaya aktivnost' i Zemlya. M., 1981. 104 s.
- Orlova A.B. Pustyni kak funkciya planetarnogo razvitiya. M.: Nedra, 1978. 161 s.
- Polozov V.V. Ispol'zovanie informacii o planetah dlya prognoza estestvennyh izmenenij klimata. Agroekologicheskie resursy (izmenchivost' i prognozirovanie). Novosibirsk, 1990. S. 88-98.
- Rubashev B.M. Proyavlenie dolgovremennyh periodov kolebanij solnechnoj aktivnosti v atmosfernom davlenii i temperature. Solnechno-atmosfernye svyazi v teorii klimata i prognozah pogody. L., 1974. S. 43-55.



Rutkovskaya N.V. Klimaticheskaya harakteristika sezonov goda Tomskoj oblasti. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1979. 115 s.

Sazonov B.I., Loginov V.F. Solnechno-troposfernye svyazi. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 116 s.

Sidorenkov N.S. Neravnomernost' vrashcheniya Zemli i processy v atmosfere. Tr. Gidrometcentra SSSR. 1978. Vyp. 205. S. 48-66.

Taranyuk M.I. Ciklichnost' v hode temperatur i osadkov v zimnij period. Vtoroe Sibirskoe soveshchanie po klimato-ekologicheskomu monitoringu. Tomsk, 1997. S. 17.

Usmanov R.F. Vrashchenie Zemli, cirkulyaciya atmosfery i geotektonika. Agroekologicheskie resursy (izmenchivost' i prognozirovanie). Novosibirsk, 1990. S. 98-108.

Filand'ppeva L.B., Okisheva L.N. Klimaticheskie usloviya razvitiya prirody Zapadno-Sibirskoj ravniny v central'nyu fazu letnego sezona. Voprosy geografii Sibiri. 1997. Vyp. 22. S. 69-80.

Chizhevskij A.L. Zemnoe ekho solnechnyh bur'. M.: Mysl', 1976. 376 s.

Shnitnikov A.B. Vnutrivekovaya izmenchivost' komponentov obshchej uvlazhnennosti. L.: Nauka, 1969. 245 s.