

---

## СОБЫТИЯ И ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

### АКАДЕМИК МИХАИЛ ИВАНОВИЧ БУДЫКО – ОСНОВОПОЛОЖНИК ФИЗИЧЕСКОЙ КЛИМАТОЛОГИИ. К 100-летию со дня рождения (20.01.1920-10.12.2001)

*И.И. Борзенкова*

ФГБУ «Государственный Гидрологический институт»,  
Россия, 199004, С. Петербург, 2-я линия В.О., дом 23; [irena\\_borzen@mail.ru](mailto:irena_borzen@mail.ru)

**Реферат.** В январе 2020 года исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося российского ученого, академика Михаила Ивановича Будыко. Его научная деятельность прошла в Ленинграде в Главной Геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова и в Государственном гидрологическом институте. Михаил Иванович – выдающийся ученый в области физики атмосферы, физической климатологии и палеоклиматологии. Исследования Михаила Ивановича и его коллег изменили статус классической климатологии, которая из науки, в значительной степени, описательной, превратилась в науку, владеющую современным физическим аппаратом. В настоящее время физическая климатология, как наука прогностическая, занимает достойное место среди наук о Земле. Высокая научная эрудиция и глубокие познания в области смежных наук позволили М.И. Будыко внести значительный вклад не только в метеорологию, физику атмосферы и климатологию, но и в глобальную экологию и теорию эволюции биосферы. опередив время, уже в начале 1970-х годов он впервые сформулировал концепцию влияния антропогенной деятельности на климатическую систему, которая до сих пор остается актуальной. В работах М.И. Будыко был предложен метод управления глобальным климатом, который позволяет сохранить или стабилизировать современные климатические условия в диапазоне, пригодном для комфортного развития биосферы и проживания человека.

**Ключевые слова.** Академик Будыко, тепловой баланс Земли, полуэмпирическая модель, изменения климата, историческое прошлое, климатические катастрофы, глобальная экология, антропогенное влияние.

### Введение

20 января 2020 года исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося российского ученого – академика Михаила Ивановича Будыко. Михаил Иванович родился в г. Гомель (Белоруссия), позднее семья вернулась в Ленинград, где она ранее проживала. Окончив школу в 1937 году, Михаил Иванович, следуя семейной традиции, поступил в Ленинградский политехнический институт, хотя уже в юные годы проявлял большой интерес к гуманитарным наукам и, прежде

---

всего, к истории и литературе. Оканчивать институт ему пришлось в Свердловске, куда в военное время был эвакуирован факультет ЛПИ.

В Свердловске Михаил Иванович познакомился с некоторыми сотрудниками Главной геофизической обсерватории, которые также во время войны были эвакуированы в Свердловск. Особую роль в его научной судьбе сыграло знакомство и дружба с ведущими сотрудниками обсерватории, Михаилом Исааковичем Юдиным и молодым физиком-теоретиком Марком Евсеевичем Берляндом. Михаил Иванович увлекся научными исследованиями, которыми занимались эти учёные, и поступил на работу в обсерваторию. В первые годы работы он занимался теоретическими исследованиями в области физики приземного слоя, турбулентности и изучения процессов испарения в естественных условиях. Первая монография Михаила Ивановича «Испарение в естественных условиях», вышедшая в 1948 году, являлась его докторской диссертацией, после защиты которой он принимает окончательное решение продолжать работать в Главной геофизической обсерватории (ГГО) (Будыко, 1948). В 1951 году он соглашается занять пост заместителя директора, а в 1954 году становится директором обсерватории, которую возглавлял более 18 лет. За это время обсерватория превратилась в ведущее учреждение Гидрометслужбы СССР по проблемам физики приземного слоя, изменения климата, радиационных процессов, загрязнения воздуха и искусственного воздействия на климат.

В 1975 году Михаил Иванович с небольшой группой коллег и учеников (около 15 человек) перешел в Государственный гидрологический институт (ГГИ), где возглавил отдел «Исследований изменений климата и влагооборота в атмосфере». Период его работы в ГГИ явился наиболее плодотворным в его научной деятельности, когда Михаил Иванович смог полностью сосредоточиться на научной работе. За это время были написаны десятки статей, а также ряд фундаментальных монографий: «Глобальная экология (1977), «Климат в прошлом и будущем» (1980), «Эволюция биосферы» (1984), «История атмосферы» (совместно с А.Б. Роновым, и А.Я. Яншиным, 1985), «Глобальные климатические катастрофы» (соавторы Г.С. Голицын и Ю.А. Израэль, 1986). Под редакцией Михаила Ивановича выходит ряд коллективных монографий, среди них «Вулканы, стратосферный аэрозоль и климат Земли» (1986), «Антропогенные изменения климата» (1987). Монография «Антропогенные изменения климата» под редакцией М.И. Будыко и Ю.А. Израэля явилась крупным вкладом российских ученых в проблему изменения современного климата и ожидаемых последствий глобальных изменений на гидросферу, биосферу и другие аспекты окружающей среды. Хотелось бы отметить не только успешное научное сотрудничество Михаила Ивановича и Юрия Антониевича Израэля, но и особые дружеские и теплые человеческие отношения этих двух замечательных людей и выдающихся ученых.

В 1972 году в результате подписания соглашения о сотрудничестве в области охраны окружающей среды между СССР и США была создана рабочая группа по изучению климата и окружающей среды (РГ8), бессменным руководителем которой со стороны СССР, а затем и России, был Михаил Ивано-

---

вич. В рамках совместных советско-американских исследований был проведен ряд научных симпозиумов и конференций в Ленинграде, Москве, Ташкенте, Тбилиси, Душанбе и на территории США и Италии. Целью этих конференций была не только совместная научная работа по проблеме изменения климата и защите окружающей среды, но и ознакомление американских ученых с природой, жизнью и учеными Советского Союза. Заключительным этапом советско-американского сотрудничества явился совместный научный доклад «Предстоящие изменения климата», изданный на русском (Предстоящие изменения климата, 1991), и английском языке (Prospects..., 1990).

Исследования Михаила Ивановича были отмечены многочисленными отечественными и зарубежными наградами и премиями: Ленинской премией за серию работ по тепловому и радиационному балансу, премиями Академии наук – имени А.П. Виноградова, Л.С. Берга, А.А. Григорьева, премией Всемирной Метеорологической организации (ВМО), медалью Американского Геофизического союза. За работы в области экологии и охраны окружающей среды в 1999 году Михаил Иванович был награжден престижной премией Международного фонда Асахи – «Голубая планета», которая в области исследований окружающей среды эквивалентна Нобелевской.

На рис. 1 представлен портрет Михаила Ивановича Будыко работы известного ленинградского художника, профессора Академии Художеств, члена Союза художников, Михаила Михайловича Девятова.



**Рисунок 1.** Академик Михаил Иванович Будыко. Портрет работы М.М. Девятова. Масло. Оргалит

Михаил Иванович обладал энциклопедическими знаниями не только в профессиональной области, но прекрасно знал историю, литературу и историю искусств. Особенно его привлекала археология и история древних цивилизаций. После путешествий по Египту и странам Средиземноморья, он читал интереснейшие лекции для сотрудников ГГО, сопровождая их показом диапозитивов и собственными фотографиями.

Последняя монография Михаила Ивановича «Эпизоды истории» (2001), посвященная различным аспектам эволюции биосферы, предназначена для широкого круга читателей и может быть отнесена к области научно-популярной литературы, как и две предыдущих: «Путешествие во времени» (1990) и «Загадки истории» (1995). Однако в этих монографиях высказываются новые и не всегда традиционные взгляды на происхождение и развитие древних цивилизаций, на актуальные вопросы всемирной истории и литературы. И как пишет Михаил Иванович в заключении к последней монографии «он выражает надежду, что его инициатива привлечет внимание к множеству малоизвестных вопросов, ответы на которые могут послужить материалом для нового поколения читателей».

### **Изучение физических механизмов переноса солнечной энергии в атмосфере. Создание новой парадигмы классической климатологии**

В 1971 году была опубликована монография М.И. Будыко «Климат и жизнь» (Будыко, 1971), которая явилась итогом научных исследований предшествующих 20 лет. Это было время создания новой парадигмы климатологии как науки, опирающейся, прежде всего, на физические законы и механизмы переноса солнечной энергии в атмосфере. Значение механизмов преобразования солнечной энергии в атмосфере было впервые понято выдающимся русским климатологом А.И. Воейковым, который в монографии «Климаты земного шара» писал: «Я думаю, что одна из важнейших задач физических наук в настоящее время – ведение приходно-расходной книги солнечного тепла, получаемого земным шаром с его воздушной оболочкой» (Воейков, 1884). Буквально следуя этим словам Александра Ивановича, М.И. Будыко с коллективом сотрудников создает серию глобальных карт составляющих радиационных и тепловых потоков, в прямом смысле приходно-расходную книгу энергии, получаемой от Солнца и преобразованной атмосферой и земной поверхностью (Тепловой баланс земной поверхности, 1956; Атлас теплового баланса, 1955, 1963). Эта приходно-расходная книга солнечной радиации в виде серии глобальных карт составляющих радиационного и теплового баланса явилась основой для изучения механизмов и причин изменения климата и заложила основу численного моделирования климата.

Важно отметить, что фундаментальные исследования по созданию атласа были основаны на многолетней работе не только советских (российских) ученых, но и зарубежных исследователей. Важным элементом создания цифровых карт явились данные непосредственных наблюдений за составляющими

---

---

радиационного и теплового баланса, чему способствовала длительная работа по созданию приборов, измеряющих непосредственно приходящую к земной поверхности солнечную радиацию в разных частях земного шара. В России такие исследования были начаты еще в начале XIX века, когда измерения солнечной радиации проводились в Павловске с помощью актинометрических приборов. Позднее в 1964 году по инициативе Михаила Ивановича, в ГГО был создан Центр радиационных исследований, бессменным руководителем которого, вплоть до ухода из жизни, была проф. Т.Г. Берлянд. Задачей центра был сбор, контроль и анализ актинометрической информации, получаемой из разных стран и издаваемой в виде ежегодников.

Огромный фактический материал, полученный при построении мировых карт радиационного баланса, послужил основой для разработки периодического закона географической зональности, который объединил все прежние классификации климата в единую периодическую таблицу. В качестве количественной характеристики каждого типа климата был предложен индекс, который рассчитывается как отношение величины радиационного баланса к количеству тепла, необходимому для испарения годовой суммы осадков. Величина этого индекса, получившего название «индекса сухости», была рассчитана для 1600 станций, более или менее равномерно расположенных по Земному шару. Совместный анализ этой карты и глобальных карт геоботанической и почвенной зональности, позволил построить таблицу географической зональности, каждая клеточка которой количественно характеризовала тот или иной тип климата (Григорьев, Будыко, 1956; Будыко, 1971).

На основе совместного решения уравнений теплового и водного баланса были получены количественные оценки составляющих водного баланса по отдельным речным бассейнам и целым континентам, что, в конечном счете, явилось основой для создания теории влагооборота в атмосфере. Разработанная совместно с проф. Олегом Алексеевичем Дроздовым теория влагооборота позволила определить происхождение влаги, выпадающей в разных частях земного шара и оценить вклад адвективных и региональных осадков отдельно для каждого континента (Будыко, Дроздов, 1953). Эти количественные оценки были положены в основу фундаментальных исследований по водному балансу Земного шара и России, опубликованных в виде монографий и атласов мировых карт, составляющих водного баланса (Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли, 1974)

Материалы по радиационному и тепловому балансу послужили основой для создания полуэмпирической модели климата, работа над которой началась в конце 60-х годов (Будыко, 1974б). В процессе создания этой модели был получен важный вывод о существовании обратной положительной связи между площадью оледенения в высоких широтах и термическим режимом. Из этой зависимости следовал вывод о неустойчивости морского полярного оледенения, которое может быть разрушено при относительно небольшом увеличении прихода солнечной радиации в высокие широты. Этот вывод был получен как на основе анализа состояния полярных льдов в северном полушарии во время потепления 30-х годов XX столетия, так и из данных об измене-

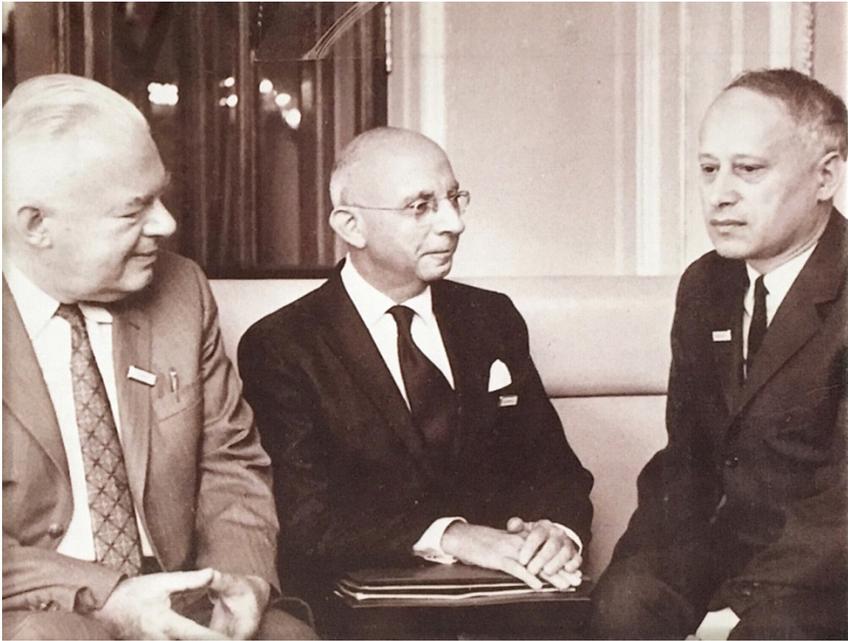
---

нии климата в прошлом, в частности, из работы Брукса начала 50х годов (Brooks, 1950). Идея о неустойчивости современного полярного оледенения была впервые озвучена Михаил Ивановичем на Международном симпозиуме по физической и динамической метеорологии летом 1971 года. Это был первый международный симпозиум, на котором присутствовали наиболее известные ученые в области климатологии, моделирования климата и физики приземного слоя. Стоит вспомнить таких известных ученых в области климатологии и моделирования климата как проф. Г. Флон из Боннского университета (Германия), проф. Х. Ландсберг из Мэрилендского университета (США), Дж. Смагоринский из Принстонского университета (США). Доклады, представленные на симпозиуме, были посвящены основным направлениям физической климатологии: энергетический баланс Земли, численное моделирование климата, общая циркуляция атмосферы, спутниковая метеорология, влияние изменений климата на окружающую среду. В докладе М.И. Будыко было подчеркнuto, что завершение работ по исследованию энергетического и теплового баланса Земли открывает новые возможности для использования данных наземных и спутниковых наблюдений для развития численных моделей климата. Используя данные о тепловом балансе, М.И. Будыко впервые сделал вывод о неустойчивости полярных льдов и зависимости площади полярного оледенения арктической зоны северного полушария от изменения климата. В частности, в докладе было показано, что повышение температуры в арктической зоне может привести к быстрому сокращению площади полярных льдов и уменьшению их толщины, что, в конечном счете, превратит морской лёд в сезонный или в частично сезонный. Этот прогноз прекрасно оправдался в начале 21 столетия, когда по данным спутниковых наблюдений площадь морских полярных льдов за последние 25-30 лет сократилась не менее чем на 40%, при одновременном уменьшении их толщины (Борзенкова, 2016).

Важно подчеркнуть, что в начале 70-х годов не существовало единого мнения о будущем тренде глобального климата в сторону потепления. Многие ведущие зарубежные климатологи, среди них д-р Митчелл Мл. (Мэрилендский университет, США), проф. Х. Лэм (Англия, Университет Восточной Англии) и многие другие, были сторонниками развития глобального похолодания в ближайшем будущем из-за усиления аэрозольного загрязнения и ослабления приходящей солнечной радиации в результате деятельности человека. В докладах М.И. Будыко и Х. Ландсберга на симпозиуме в 1971 году было впервые указано на возможное влияние антропогенной деятельности на развитие тренда потепления глобального климата в будущем. Однако Х. Ландсберг предполагал, что основным фактором влияния человека на климат в будущем могут стать так называемые городские «острова тепла», что приведет к заметному повышению температуры воздуха непосредственно вблизи крупных промышленных центров. В тоже время М.И. Будыко, соглашаясь с Х. Ландсбергом о возможном влиянии городских «островов тепла» на региональный климат, впервые высказал мысль о глобальном изменении климата в будущем под влиянием увеличения в атмосфере концентрации углекислого

---

газа и других «парников газов», выделение которых в атмосферу связано с деятельностью человека (Будыко, 1972а,б). Это заключение вызвало скорое негативную реакцию участников конференции, которые в то время не оценили это высказывание М.И. Будыко. Несмотря на различия во взглядах на будущее изменение климата, участники симпозиума были согласны в необходимости изучения роли деятельности человека на климат в ближайшем будущем. Фотография, представленная на рис.2, сделана во время симпозиума 1971 года, на ней изображены проф. Г. Флон (слева), проф. Х. Ландсберг (в центре) и Михаил Иванович.



**Рисунок 2.** Международный симпозиум по физической и динамической климатологии. Ленинград, август, 1971 год. Слева направо: Проф. Г. Флон (Германия), проф. Х. Ландсберг (США), проф. М.И. Будыко (СССР)

### **Полуэмпирическая модель климата – как инструмент для изучения причин и механизмов климатических изменений**

Многочисленные расчеты, выполненные с помощью простой полуэмпирической модели, значительно изменили существовавшие ранее представления об однозначности и устойчивости современного климата. Построенная М.И. Будыко зависимость между средней планетарной температурой и притоком солнечной радиации на внешнюю границу атмосферы показала, что современный климат не является единственно возможным при существующих внешних климатообразующих факторах (Будыко, 1974б). В частности может существовать климат «белой Земли», когда большая часть земного шара будет покрыта льдом, или климат, при котором площадь оледенения в высоких широтах будет минимальной или полярные льды будут отсутствовать совсем.

Исследования в области истории климата показали, что в прошлом существовало большое многообразие достаточно устойчивых климатических ситуаций, внешние параметры которых немного отличались от современных. Известно, что в позднем мелу (около 100 миллионов лет назад), оледенение в полярных регионах практически отсутствовало или сохранялось только в виде горного. В то же время в четвертичную эпоху (последние 1.5-2.0 миллиона лет) существовали условия, когда границы покровного оледенения достигали умеренных или даже более южных широт (Борзенкова, 1992, 2016; Атлас-монография..., 2010). В работе Л.И. Зубенок на основе простой теплобалансовой модели было показано, что при положительной аномалии летней температуры воздуха, равной 4°C, морской лёд может превратиться в сезонный уже через 4 года (Зубенок, 1963). Реконструкции климата для среднего голоцена (между 10 и 8.5 тыс. лет назад) и максимума потепления последнего межледниковья (127-125 тыс. лет назад) показали, что сравнительно небольшие изменения в количестве приходящей солнечной радиации в весенне-летний период могли привести к кардинальной перестройке в состоянии морских полярных льдов (Величко и др., 1984). И как следствие увеличения радиации на большей части акватории Арктики постоянные льды замещались сезонными или частично сезонными (Борзенкова, 2016). Таким образом, современные эмпирические данные и модельные оценки полностью подтверждают выводы М.И. Будыко, сделанные на основе простой полуэмпирической модели климата еще в начале 70-х годов прошлого столетия (Будыко, 1974б).

С помощью полуэмпирической модели климата были получены первые оценки влияния ослабления солнечной радиации за счет вулканических извержений на изменение температуры воздуха в разных широтных зонах северного полушария (Борзенкова, 1974). Эти расчеты позволили сделать вывод о том, что широтные изменения в термическом режиме определяются в значительной степени местом извержения вулкана. При извержениях в высоких широтах заметное снижение температуры отмечается только в высоких и частично в умеренных широтах, в то время как при извержениях в тропическом поясе влияние на термический режим распространяется на большую часть обоих полушарий. Позднее эти закономерности были получены и в расчетах на больших моделях климата.

В 1976 году в журнале «Метеорология и гидрология» были опубликованы две статьи, которые полностью изменили взгляд на современные и будущие изменения климата. В статье М.И. Будыко и К.Я. Винникова под названием «Глобальное потепление» были приведены два графика аномалий приземной температуры воздуха за период с 1885 по 1975 г. (Будыко, Винников, 1976). Первый из этих графиков характеризовал вековой ход температуры в арктической зоне северного полушария, между 72.5 и 87.5° с.ш., второй – изменение температуры воздуха для всей внетропической зоны, между 17.5 и 87.5° с.ш.. Анализ этих двух графиков показал, что аномалии температуры воздуха в арктической зоне не менее, чем в 2.0-2.5 раза по абсолютной величине превышали изменения температуры, осредненной по всей внетропической зоны. Таким образом, факт «полярного усиления» или положительной обратной

---

связи между альбедо и температурой, теоретически полученный из полуэмпирической модели, был подтвержден эмпирическими данными. Авторы этой работы сделали вывод о развитии положительного тренда температуры для всего северного полушария в ближайшем будущем, опираясь на неоспоримые эмпирические данные, анализ которых был дан во второй статье, опубликованной в том же номере журнала (Борзенкова и др., 1976). Графики векового хода температуры воздуха для 4-х широтных зон и всей внетропической зоны северного полушария в целом, представленные в этой статье, были получены на основе анализа «Карт отклонений температуры воздуха от многолетних средних Северного полушария за период с 1881 по 1960 гг.». Для временного интервала с 1961 по 1975 гг. аналогичные карты были построены в Гидрометцентре СССР на основе оперативной метеорологической информации.

Работа по составлению карт аномалий была начата в ГГО по инициативе Михаила Ивановича и в течение многих лет велась под руководством проф. О.А. Дроздова. На тот период времени этот архив данных был уникальным, нигде в мире не существовало более полной информации об изменениях температуры воздуха за столь длительный период в разных широтных зонах северного полушария. На основе анализа этого архива впервые была получена осредненная для всей внетропической зоны северного полушария величина температуры, которая позднее получила название «глобальная температуры». Дальнейшие исследования показали, что эту величину можно использовать в качестве меры состояния глобальной климатической системы, это понятие стало широко использоваться не только в эмпирической климатологии, но и в прогностических оценках будущих изменений климата и в численном моделировании. В результате анализа этого обширного эмпирического архива возник вопрос о выделении тренда глобальной температуры, обусловленного антропогенным влиянием, и возможности оценки чувствительности глобального климата к внешним факторам.

### **Обнаружение антропогенного изменения климата и чувствительность климата к внешним факторам**

Анализ эмпирических данных об изменениях температуры северного полушария с конца XIX века до середины 70-х годов показал, что вековой ход температуры был обусловлен как естественными факторами, так и влиянием антропогенной составляющей. Естественные колебания в значительной степени были связаны с изменением в приходе солнечной радиации, главным образом, за счет колебаний прозрачности. В свою очередь колебания прозрачности определялись изменениями концентрации атмосферного аэрозоля различного происхождения, в том числе и вулканического. Оценка вклада этого фактора в изменение температуры воздуха была в определенной степени известна (Будыко, 1971; Будыко, Пивоварова, 1967; Борзенкова, 1974), в то время как вклад антропогенного фактора в виде роста концентрации парниковых газов был практически не известен. Для решения этой проблемы в работах К.Я. Винникова и П.Я. Гройсмана была разработана нестационарная

эмпирическая модель современных изменений климата (Винников, Гройсман, 1979, 1982). С помощью нестационарной модели энергетического баланса Земли, в которой учитывались термическая инерция, изменения альbedo, связанные с колебаниями прозрачности, увеличение концентрации углекислого газа и обратная связь между альbedo и температурой, удалось выделить изменения температуры, обусловленные ростом концентрации  $\text{CO}_2$ . Эта модель была использована и для оценки изменения средней полушарной приземной температуры воздуха при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$  по сравнению с её значением в доиндустриальное время. Этот параметр оказался равным 2.1-4.2°C, что было близко к значениям, полученным по моделям климата различной степени детализации (Винников, Гройсман, 1982). Практически модель Винникова-Гройсмана позволила сделать первые оценки чувствительности глобальной температуры к изменению газового состава атмосферы на основе эмпирических данных за период инструментальных наблюдений.

В работе Будыко и Винникова (1983) года был впервые предложен независимый метод определения чувствительности глобального климата к газовому составу атмосферы на основе палеоклиматических данных. В качестве исходной эмпирической информации предполагалось использовать данные об эволюции газового состава атмосферы и реконструкции температуры воздуха для разных геологических эпох, отвечающих разному уровню содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. В конечном счете, эти исследования привели к развитию метода «палеоаналогов», который достаточно долгое время использовался в качестве прогностического для оценки изменения климатических параметров в будущем в результате увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере (Борзенкова, 1992, 2002, 2003; Борзенкова и др., 1992; Будыко, 1991).

### **История атмосферы. Эволюция атмосферы и биосфера Земли**

В 1985 году была опубликована монография «История атмосферы», в которой на основе геологических и геохимических данных, были получены количественные оценки концентрации углекислого газа и кислорода за весь фанерозой, начиная от кембрийского времени до современности, т.е. за 570 миллионов лет (Будыко и др., 1985). В основу этих данных были положены материалы о скорости образования карбонатных отложений в разных районах Земного шара. Эти расчеты показали, что если концентрация в атмосфере до начала промышленной революции составляла 0.026% и к настоящему времени за счет выбросов в атмосферу увеличилась до 0.04%, то в некоторые геологические эпохи концентрация  $\text{CO}_2$  на порядок величины и более могла превышать эти значения. Например, во время карбона, когда формировались максимальные толщи каменного угля, концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляла 0.42%.

Развитие новых технологий в геологии, в частности, изотопных определений температуры по карбонатным остаткам морских и континентальных отложений позволило получить количественные оценки температуры в раз-

---

ных широтных зонах и сопоставить колебания температуры с изменениями концентрации  $\text{CO}_2$  в разные геологические эпохи (Будыко, 1980, 1984; Борзенкова, 2003). Анализ, проведенный в этих работах, показал, что тренд глобального похолодания, начавшийся в неогене (около 40 миллионов лет назад) сменился на положительный только в начале индустриальной эры, когда в результате деятельности человека начался устойчивый рост концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Позднее было показано, что снижение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере имело колебательный характер, когда периоды снижения сменялись периодами роста, но эти изменения не носили детерминированного характера (Будыко, 1984). Сопоставляя данные о концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере с оценками температуры для континентальной суши, которые были получены по схематическим реконструкциям В.М. Синицына 1966 года (Будыко, Винников, 1983), М.И. Будыко впервые получил количественную оценку чувствительности глобальной температуры к удвоению концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере (Будыко, 1984). Позднее, в работах И.И. Борзенковой и В.А. Зубакова на основе обобщения большого количества эмпирических данных были составлены детальные реконструкции температуры воздуха по всему северному полушарию для разных временных срезов в прошлом, что позволило оценить величину глобальной температуры для разных временных эпох прошлого, отвечающих разному уровню содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере (Зубаков, 1986, 1990; Борзенкова и др., 1992). На основе этих данных М.И. Будыко предложил метод «палеоаналогов», который позволял использовать реконструкции температуры воздуха и осадков для теплых эпох прошлого в качестве прогностических карт для климатических условий будущего (Будыко, 1991). Первые прогностические карты температуры воздуха для летнего и зимнего сезонов и годовых сумм осадков была представлены на симпозиуме Рабочей группы 8, которая проходила в Ленинграде, в июне 1981 года. На фотографии (рис. 3) представлены участники РГ8 у входа в отель Ольгино (пригород Ленинграда), где происходило заседание рабочей группы.



**Рисунок 3.** Советско-Американский симпозиум в рамках РГ8. Ленинград, Ольгино, 15-20 июня 1981 года. В центре в светлом костюме М.И. Будыко

Серия карт-реконструкций была составлена для потепления среднего плиоцена (между 4 и 3 миллионов лет назад), когда концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере превышала доиндустриальное значение вдвое и составляла около 0.055% (Влияние ....., 1982).

Климатические реконструкции, соответствующие повышению глобальной температуры на  $1^\circ\text{C}$  и  $1.5^\circ\text{C}$ , были составлены позднее при участии специалистов по палеогеографии из института географии Академии наук (Величко и др., 1984; Атлас-монография..., 2010). Вопрос о правомерности использования данных о климатах прошлого в качестве прогностических карт был обоснован в работах (Антропогенные ..., 1987; Будыко, 1991) на основе оценок Манабе и Везеролда (1980) с использованием численных моделей климата. В частности эти оценки показали сходные картины изменения приземной температуры воздуха, обусловленные такими различными радиационными факторами как изменения в приходе солнечной радиации или изменения концентрации  $\text{CO}_2$ . На основе расчета глобальной температуры по полушарным картам для 8 временных интервалов от позднего мела (около 100 миллионов лет) до плейстоцена, соответствующих разной концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, была получена оценка чувствительности глобальной климатической системы к удвоению концентрации  $\text{CO}_2$ , равная  $3.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$  (Борзенкова, 1992, 2003).

### **Роль стратосферного аэрозоля в колебаниях климата. Аэрозоль как метод управления глобальным климатом**

Если к середине 80-х годов вопрос о роли «парниковых газов» в изменении глобального и регионального климата был в значительной степени решен, то влияние аэрозоля на глобальный и региональный термический режим оставалось в значительной степени неясным. Открытие Юнгом в 1963 году (Junger, 1963) стратосферного аэрозольного слоя (САС), который формируется в верхней атмосфере в результате попадания в высокие слои газообразных веществ различного происхождения, в том числе и антропогенного, позволило по-новому оценить влияние аэрозоля на глобальный и региональный климат (Будыко, 1985; Вулканы, ..., 1986; Кароль, 1980). Теория Юнге о роли газообразных веществ, состоящих в основном из сернистых газов, в формировании САС, позволила Хаммеру с коллегами, разработать методику, позволяющую количественно оценить мощность вулканических извержений в прошлом, по содержанию сернокислых примесей в слоях ледниковых кернов из Гренландии и Антарктиды (Hammer et al., 1980).

Эти исследования явились основой для разработки теории аэрозольных катастроф, которая была сформулирована М.И. Будыко в коллективной монографии 1986 года (Будыко и др., 1986). М.И. Будыко впервые указал на связь между катастрофическими извержениями вулканов или импактными событиями в прошлом и критическими эпохами в геологической истории Земли, во время которых происходили массовые вымирания живых организмов на континентах и в океане. В результате этих исследований был сделан вывод о том,

---

что если когда-либо состоится глобальный ядерный конфликт, то последствием этого конфликта будет резкое увеличение концентрации аэрозольных частиц в САС и снижение приземной температуры воздуха во всех районах Земного шара. Позднее этот сценарий получил название сценария «ядерной зимы» (Будыко, 1985, Будыко и др. 1986).

Оценивая влияние отдельного вулканического извержения или серии извержений взрывного типа на климат, М.И. Будыко предложил метод воздействия на глобальный климат или метод стабилизации климата. Он теоретически показал, что искусственно увеличивая концентрацию аэрозоля в стратосфере, можно снизить величину глобальной температуры до приемлемого значения (Будыко, 1974а, 1985). В последние годы разработки этой идеи М.И. Будыко были продолжены в исследованиях Ю.А. Израэля. Ю.А. Израэль приложил значительные усилия для развития этой идеи, доведя её до практического использования при решении проблемы стабилизации и сохранения современного климата (Израэль и др., 2007; Израэль, Рябошапка, 2011). В 2011 году Юрий Антониевич Израэль организовал международную конференцию «Проблемы адаптации к изменению климата», на которой были впервые рассмотрены вопросы современной геоинженерии климата (Исследование возможностей стабилизации..., 2012). Доклады, представленные на этой конференции, показали, что в настоящее время существуют методы, которые могут быть использованы в случае, если возникнут негативные последствия для биосферы и окружающей среды при повышении глобальной температуры более чем на 1.5-2.0°C.

### Заключение

В заключение особо стоит отметить широту взглядов и энциклопедические знания Михаила Ивановича Будыко. Его исследования оставили глубокий след не только в климатологии и в физике атмосферы, но и во многих смежных науках. Отдавая приоритет теоретическим исследованиям, М.И. Будыко всегда интересовался прикладными задачами климатологии. Будучи директором Главной геофизической обсерватории, он организовал исследования по биоклиматологии человека, используя метод теплового баланса. В рамках этих исследований были построены карты теплового состояния человека в зависимости от изменения основных климатических параметров: температуры воздуха, скорости ветра и влажности воздуха. Наряду с теоретическими расчетами, были организованы и экспериментальные наблюдения (Будыко, 1971; Будыко, Циценко, 1960).

В совместных исследованиях с М.И. Юдиным и О.А. Дроздовым, Михаил Иванович изучал возможность воздействия на климат для создания более комфортных условий для возделывания сельскохозяйственных культур в условиях засушливого и полусушливого климата (Будыко и др., 1952). В процессе изучения роли углекислого газа в изменениях климата, Михаил Иванович занимался изучением влияния высоких концентраций CO<sub>2</sub> на скорость фотосинтеза растительности, причем теоретические исследования сочетались

с экспедиционными работами в разных климатических зонах СССР (Ефимова, 1977; Кобак, 1988; Кобак, Кондрашева, 1985). В дальнейшем исследования в этой области были продолжены Г.В. Менжулиным (Менжулин, 1984). В рамках изучения проблемы углекислого газа были организованы исследования по изучению глобального круговорота углерода и моделирования потоков углекислого газа и кислорода в океане и в пограничном слое с атмосферой (Бютнер, 1986; Кобак, 1988; Лапенис, 1984).

В начале 90-х годов появились первые эмпирические данные о начале таяния вечной мерзлоты в некоторых районах на севере Канады и на Аляске. Это послужило началом исследований состояния многолетнемерзлых грунтов в условиях глобального потепления. Работы по моделированию динамики термического режима многолетнемерзлых грунтов на территории России были продолжены Олегом Александровичем Анисимовым, который в начале 2000-х годов возглавил отдел «Исследований изменений климата и их последствий» в Государственном гидрологическом институте (Анисимов и др., 2012а,б, 2015).

На рис. 4 и 5 представлены две последние фотографии Михаила Ивановича. Фотографии сделаны во время празднования его 80-летия в Государственном гидрологическом институте 20 января 2000 года, на которых директор ГГИ И.А. Шикломанов (рис. 4) и сотрудники отдела поздравляют Михаил Ивановича с юбилеем (рис. 5).



**Рисунок 4.** Директор ГГИ проф. И.А.Шикломанов поздравляет Михаила Ивановича с 80-летием. В президиуме – академик Ю.А. Израэль



Рисунок 5. Сотрудники отдела поздравляют Михаила Ивановича с днем рождения. Рядом с М.И. Бudyко – Ю.А. Израэль, на переднем плане проф. М.Е. Берлянд

### Список литературы

Анисимов О.А., Анохин Ю.А., Лавров С.А. и др. 2012а. Континентальная многолетняя мерзлота. – В сб. «Методы изучения последствий изменений климата для физических и биологических систем. /Под. ред. С.М. Семенова. – М., Росгидромет, с. 268-328.

Анисимов О.А., Борзенкова И.И., Лавров С.А., Стрельченко Ю.Г. 2012б. Современная динамика подводной мерзлоты и эмиссия метана на шельфе морей Восточной Арктики в контексте прошлых и будущих изменений климата. – Лёд и Снег, № 2, с. 97-105.

Анисимов О.А., Жирков А.Ф., Шерстюков А.Б. 2015. Современные изменения криосферы и природной среды в Арктике. – Арктика. XXI век, № 2 (3), с. 24-47.

Антропогенные изменения климата. 1987. /Под. ред. М.И. Бudyко и Ю.А. Израэля. – Л., Гидрометеиздат, 406 с.

Атлас теплового баланса. 1955. /Под ред. М.И. Бudyко. – Л., Изд. ГГО, 41 с.

Атлас теплового баланса земного шара. 1963. /Под. ред. М.И. Бudyко. – М., МГК, 69 с.

---

Атлас – Монография «Климаты и ландшафты северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии». 2010. /Под ред. А.А. Величко. – Москва, ГЕОС, 219 с.

Борзенкова И.И. 1974. К вопросу о возможных влияниях вулканической пыли на радиационный и термический режим. – Труды ГГО, вып. 307, с. 36-42.

Борзенкова И.И. 1992. Изменение климата в кайнозойе. – СПб., Гидрометеоздат, 246 с.

Борзенкова И.И. 2002. Эмпирическая палеоклиматология: состояние проблемы и методы исследований. – В сб. «Изменение климата и их последствия». Материалы специальной сессии, посвященной 85-летию академика М.И. Будыко. /Под ред. Г.В. Менжулина. – Санкт-Петербург, «Наука», с. 75-92.

Борзенкова И.И. 2003. Определение чувствительности глобального климата к газовому составу атмосферы по палеоклиматическим данным. – Известия РАН, сер. Физика атмосферы и океана, том 39, № 2, с. 222-228.

Борзенкова И.И. 2016. История оледенения арктического бассейна: взгляд из прошлого для оценки возможных изменений в будущем. – Лёд и Снег, т. 56, № 2, с. 221-234.

Борзенкова И.И., Винников К.Я., Спирина Л.П., Стехновский Д.И. 1976. Изменение температуры воздуха Северного полушария за период 1881-1975 гг. – Метеорология и Гидрология, № 7, с. 27-35.

Борзенкова И.И., Зубаков В.А., Лапенис А.Г. 1992. Реконструкции глобального климата теплых эпох прошлого. – Метеорология и гидрология, № 8, с. 25-35.

Будыко М.И. 1948. Испарение в естественных условиях. – Л., Гидрометеоздат, 136 с.

Будыко М.И. 1956. Тепловой баланс земной поверхности. – Л., Гидрометеоздат, 255 с.

Будыко М.И. 1971. Климат и жизнь. – Л., Гидрометеоздат, 470 с.

Будыко М.И. 1972а. Современное изменение климата. – Л., Гидрометеоздат, 46 с.

Будыко М.И. 1972б. Влияние человека на климат. – Л., Гидрометеоздат, 47 с.

Будыко М.И. 1974а. Метод воздействия на климат. – Метеорология и гидрология, № 2, с. 91-97.

Будыко М.И. 1974б. Изменения климата. – Л., Гидрометеоздат, 280 с.

Будыко М.И. 1977. Глобальная экология. – Л., Гидрометеоздат, 327 с.

Будыко М.И. 1980. Климат в прошлом и будущем. – Л., Гидрометеоздат, 350 с.

---

Будыко М.И. 1984. Эволюция биосферы. – Л., Гидрометеиздат, 488 с.

Будыко М.И. 1985. Аэрозольные климатические катастрофы. – Природа, № 6, с. 30-38.

Будыко М.И. 1991. Аналоговый метод оценки предстоящих изменений климата. – Метеорология и гидрология, № 7, с. 16-26.

Будыко М.И. 2001. Эпизоды истории: Очерки. – СПб., Наука, 475 с.

Будыко М.И., Дроздов О.А., Львович М.И., Сапожникова С.А., Юдин М.И. 1952. Изменение климата в связи с планом преобразования природы засушливых районов СССР. – Изв. АН СССР, сер. геогр., № 6, с. 4-10.

Будыко М.И., Дроздов О.А. 1953. Закономерности влагооборота в атмосфере. – Известия АН СССР, сер. геогр., № 3, с. 3-11.

Будыко М.И., Циценко Г.В. 1960. Климатические факторы теплоощущения человека. – Известия АН СССР, сер. геогр., № 3, с. 3-11.

Будыко М.И., Пивоварова З.И. 1967. Влияние вулканических извержений на приходящую к поверхности Земли солнечную радиацию. – Метеорология и гидрология, № 10, с. 3-7.

Будыко М.И., Винников К.Я. 1976. Глобальное потепление. – Метеорология и гидрология, № 7, с. 16-26.

Будыко М.И., Винников К.Я. 1983. Проблема обнаружения антропогенного изменения глобального климата. – Метеорология и гидрология, № 9, с. 14-26.

Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. 1985. История атмосферы. – Л., Гидрометеиздат, 207 с. (English trans.: Springer, Verlag, 139 p).

Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. 1986. Глобальные климатические катастрофы. – Л., Гидрометеиздат, 158 с. (English trans.: Springer, Verlag, 99 p).

Бютнер Э.К. 1986. Планетарный газообмен  $O_2$  и  $CO_2$ . – Л., Гидрометеиздат, 239 с.

Величко А.А., Бараш М.С., Гричук В.П., Гуртовая Е.Е., Зеликсон Э.М. 1984. Климат северного полушария в эпоху последнего, микулинского межледниковья. – Изв. АН СССР, сер. геогр., № 1, с. 5-18.

Винников К.Я., Гройсман П.Я. 1979. Эмпирическая модель современных изменений климата. – Метеорология и гидрология, № 3, с. 25-36.

Винников К.Я., Гройсман П.Я. 1982. Эмпирические исследования чувствительности климата. – Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, т. 18, № 11, с. 1159-1169.

Влияние увеличения количества углекислого газа в атмосфере на климат. 1982. – Материалы советско-американского совещания по изучению влияния увеличения количества углекислого газа в атмосфере на климат. Ленинград, июнь 1981 г. – Л., Гидрометеиздат, 56 с.

---

Воейков А.И. 1884. Климаты земного шара, в особенности России. – СПб., Из-во Картографического Заведения.

Вулканы, стратосферный аэрозоль и климат Земли. 1986. /Под ред. С.С. Хмелевцова. – Л., Гидрометеоиздат, 254 с.

Григорьев А.А., Будыко М.И. 1956. О периодическом законе географической зональности. – ДАН СССР, т. 110, № 1, с. 129-132.

Ефимова Н.А. 1977. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. – Л., Гидрометеоиздат, 215 с.

Зубенок Л.И. 1963. Влияние аномалий температуры на ледяной покров Арктики. – Метеорология и гидрология, № 6, с. 25-30.

Зубаков В.А. 1986. Глобальные климатические события плейстоцена. – Л., Гидрометеоиздат, 287 с.

Зубаков В.А. 1990. Глобальные климатические события неогена. – Л., Гидрометеоиздат, 223 с.

Израэль Ю.А., Борзенкова И.И., Северов Д.А. 2007. Роль стратосферных аэрозолей в сохранении современного климата. – Метеорология и гидрология, № 1, с. 5-14.

Израэль Ю.А., Рябошапка А.Г. 2011. Геоинженерия климата: возможности реализации. – В сб.: «Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем», том XXIV, с. 11-24.

Исследование возможностей стабилизации климата с помощью новых технологий. 2012. Материалы международной научной конференции «Проблемы адаптации к современному климату», ноябрь, 2011 /Под. ред. Ю.А. Израэля. – М., Росгидромет.

Кароль И.Л. 1980. Радиационно-фотохимические модели атмосферы. – Л., Гидрометеоиздат, 192 с.

Кобак К.И. 1988. Биотические компоненты углеродного цикла. – Л., Гидрометеоиздат, 246 с.

Кобак К.И., Кондрашева Н.Ю. 1985. Антропогенные воздействия на лесные экосистемы и роль этих воздействий на углеродный цикл. – Ботанический журнал, № 1, с. 305-313.

Лапенис А.Г. 1984. Связь парциального давления углекислого газа в атмосфере с уровнем критической глубины карбонатакопления в океане. – Метеорология и гидрология, № 9, с. 3-7.

Менжулин Г.В. 1984. Влияние современных изменений климата и содержания углекислого газа в атмосфере на продуктивность сельскохозяйственных растений. – Метеорология и Гидрология, № 4, с. 95-101.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. 1974. – Л. Гидрометеоиздат, 638 с.

---

Предстоящие изменения климата. 1991. /Ред. М.И. Будыко и М. Маккракен. – Л., Гидрометеиздат, 272 с.

Brooks С.Е.Р. 1950. Climate through the Ages. – London, 395 p.

Hammer С.У., Clausen Н.В., Dansgaard W. 1980. Greenland ice sheet evidence of post volcanism and its climatic impact. – Nature, vol. 288, pp. 230-235.

Junger С.Е. 1963. Atmospheric chemistry and radioactivity. – N.Y., Acad. Press. (Юнге «Химический состав и радиоактивность атмосферы». – М., 1966, 424 с.)

Manabe S., Wetherald R.T. 1980. On the distribution of climate change resulting from increase in CO<sub>2</sub> content of the atmosphere. – J. Atm. Sci., vol. 37, pp. 99-118.

Prospects for future climate. 1991. /Eds. М.И. Budyko, Yu. Israel, М. McCracken, А.Д. Hecht. A special US/USSR report on climate and climate change. – Chelsen (Mich.), 270 p.

*Статья поступила в редакцию: 06.11.2019 г.*

*После переработки: 12.11.2019 г.*

---

**ACADEMICIAN MIKHAIL IVANOVICH BUDYKO –  
FOUNDER OF PHYSICAL CLIMATOLOGY.  
100-th anniversary of the birth (20.01.1920-10.12.2001)**

*I.I. Borzenkova*

State Hydrological Institute,  
23, 2nd line V. O., 199004, St. Petersburg, Russia; irena\_borzen@mail.ru

**Abstract.** January 2020 marks the 100th anniversary of the birth of outstanding Russian scientist, Mikhail Ivanovich Budyko, member of the Russian Academy of Sciences. He has been working in Leningrad in the A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory and the State Hydrological Institute. Mikhail Ivanovich was an outstanding scientist in the field of atmospheric physics, physical climatology and paleoclimatology. Scientific achievements of Mikhail Ivanovich and his colleagues changed the status of classical climatology. While previously this science was largely descriptive, they turned it into physical discipline having its own model based methodology. At present, physical climatology, as a prognostic science, occupies a worthy place among the Earth Sciences. High scientific erudition and deep knowledge of the Earth sciences at large allowed M.I. Budyko to make significant contribution not only to meteorology, atmospheric physics and climatology, but also to the global ecology and theory of evolution of the biosphere. Many decades ahead of time, in the early 1970s, he first formulated a concept of anthropogenic impacts on the climate system, which is still valid. He also proposed a methodology for controlling the global climate which allows to preserve or stabilize the modern climatic conditions within the range suitable for comfortable development of the biosphere and human society.

**Keywords.** Academician Budyko, heat balance of the Earth's, semi-empirical model, climate change, historical past, climate catastrophes, global ecology, anthropogenic impact.

### References

Anisimov O.A., Anokhin Yu.A., Lavrov C.A. et al. 2012a. Kontinental'naya mnogoletniya merzlota [Permafrost on the continents]. V sbornike: *Metody izucheniya posledstviy izmemeeniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh system*. Pod. red. S.M. Semenova. [In the book: Methods of the studies of the consequences of climate changes for the physical and biological systems]. Moscow, Rosgidromet, pp. 268-328.

Anisimov O.A., Borzenkova I.I., Lavrov S.A., Strel'chenko Yu.G. 2012b. Sovremennaya dinamika podvodnoi merzloty i emissiya metana na shel'fe morei Vostochnoi Arktiki v kontekste proshlykh i budushchikh izmenenii klimata [Current dynamic of the submarine permafrost in frame of past and future climate changes]. *Led i Sneg – Ice and Snow*, no. 2, pp. 97-105.

---

Anisimov O.A., Zhirkov A.F., Sherstukov A.B. 2015. Sovremennyye izmeneniya kriosfery i prirodnoi sredy v Arktike [Current changes in cryosphere and environment in Arctic]. V sbornike: *Arktika. XX vek.* [In book: Arctic. XX century], no. 2(3), pp. 24-47.

*Antropogennyye izmeneniya klimata* [Man's impact on climate changes]. Pod red. M.I. Budyko and Yu.A. Izraelya. 1987. Leningrad, Gidrometeoizdat, 406 p.

*Atlas teplovogo balansa* [Atlas of the heat balance]. Pod red. M.I. Budyko. 1955. Leningrad, GGO, 41 p.

*Atlas teplovogo balansa zemnoga shara* [Atlas of the heat balance of the Earth]. Pod red. M.I. Budyko. Moscow, MGC, 69 p.

*Atlas-Monografiya "Klimaty i landshafty severnoi Evrasii v usloviyakh global'nogo potepleniya. Retrospektivnyi analiz i stsenerii"* [Atlas-Monograph "Climates and landscapes of Northern Eurasia under conditions of global warming. Retrospective analysis and scenarios"]. Pod red. A.A. Velichko. 2010, Moscow, GEOS, 219 p.

Borzenkova I.I. 1974. *K voprosy o vosmozhnykh vliyaniyakh vulkanicheskoi pyli na radiatsionnyi i termicheskii rezhim* [About influence of the volcanic ash on the radiation and temperature regime]. Proceedings of the GGO, vol. 307, pp. 36-42.

Borzenkova I.I. 1992. *Izmenenie klimata v kainozoe* [The climate changes in the Cenozoic]. St. Petersburg, 246 p.

Borzenkova I.I. 2002. *Empiricheskaya paleoklimatologiya: sostoyanie problemy i metody issledovaniya* [Empirical paleoclimatology: Problems and methods of the investigations]. V kn.: *Izmeneniya klimata i ikh posledstviya* [Climate change and its impact]. Sankt-Petersburg, Nauka, pp. 75-92.

Borzenkova I.I. 2003. *Opreделение chuvstvitel'nosti global'nogo klimata k gazovomu sostavu atmosfery po paleoklimaticheskim dannym* [Determination of the global climate sensitivity to the gas composition of the atmosphere from paleoclimatic data]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana – Proceedings of the RAS. Physics of atmosphere and ocean*, vol. 39, no. 2, pp. 222-228.

Borzenkova I.I. 2016. *Istoriya oledeneniya arkticheskogo basseina: vzglyad iz proshlogo dlya otzenki vosmozhnykh izmenenii v budushchem* [History of sea ice in the Arctic basin: Lessons from the past for future]. *Led i Sneg – Ice and Snow*, vol. 56, no. 2, pp. 221-234.

Borzenkova I.I., Vinnikov K.Ya., Spirina L.P., Stekhnovskii D.I. 1976. *Izmenenie temperatury vosdukh Severnogo polushariya za period 188-1975* [Change in air temperature of the Northern hemisphere for period 1881-1975]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 7, pp. 27-35.

Borzenkova I.I., Zubakov V.A., Lapenis A.G. 1992. *Rekonstruktsii global'nogo klimata teplykh epoch proshlogo* [Reconstructions of the global climate conditions over the warm epochs in the past]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 8, pp. 23-35.

---

Budyko M.I. 1948. *Isparenie v estestvennykh usloviyakh* [Evaporation under natural conditions]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 136 p.

Budyko M.I. 1956. *Teplovoi balans zemnoi poverkhnosti* [Heat balance of the Earth's surface]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 255 p.

Budyko M.I. 1971. *Klimat i zhizn'* [Climate and life]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 470 p. (English translation: Climate and Life. 1974. International Geophysics Ser., vol. 18. Acad. Press. New York and London, 508 p.)

Budyko M.I. 1972a. *Sovremennye izmeneniya klimata* [Present climate changes]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 46 p.

Budyko M.I. 1972b. *Vliyanie cheloveka na klimat* [Man's influence on climate]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 47 p.

Budyko M.I. 1974a. Metod vosdeistviya na klimat [Method influence on climate]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 2, pp. 91-97.

Budyko M.I. 1974b. *Izmenenie klimata* [Climatic change]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 280 p. (English trans.: Amer. Geophys. Union, Wash. DC, 261 p.)

Budyko M.I. 1977. *Global'naya ekologiya* [Global ecology]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 327 p.

Budyko M.I. 1980. *Klimat v proshlom i budushchem* [The Earth's climate: past and future]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 350 p. (English trans.: Academic Press, London, 1980, 307 p.)

Budyko M.I. 1984. *Evolutsiya biosfery* [The evolution of the biosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 488 p. (English transl.: Reidel, Dordrecht, 1985)

Budyko M.I. 1985. Aerazol'nye klimaticheskie katastrofy [Aerosol climatic catastrophes]. *Priroda – Nature*, no. 6, pp. 30-38.

Budyko M.I. 1991. Analogovyi metod otsenki predstoyashchikh izmenenii klimata [Analog method for the assessment of the future climate changes]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 7, pp. 16-26.

Budyko M.I. 2001. *Epizody istorii: Ocherki* [Episodes of the history]. Sankt-Petersburg, Nauka, 475 p.

Budyko M.I., Drosdov O.A., L'vovich M.I., Sapozhnikova S.A., Iudin M.I. 1952. *Izmenenie klimata v svyazi s planom preobrazovaniya prirody zasuchlivykh raionov SSSR* [Changes of the climate in connection with the plan for transforming nature in the drought regions of the USSR]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya – Proceedings of the AN of the USSR, Ser. Geogr.*, no. 4, pp. 5-14.

Budyko M.I., Drosdov O.A. 1953. Zakonomernosti vlagooborota v atmosfere [Characteristics of the moisture circulation in the atmosphere]. *Izvestiya AN SSSR, Geografical ser. – Proceedings AN of the USSR, Ser. Geogr.*, no. 3, pp. 3-11.

Budyko M.I., Tsitsenko F.V. 1960. Klimaticheskie faktory teploshcheniya cheloveka. [Climatic factors of thermal sensitivity of man]. *Izvestiya AN SSSR, Geografical ser. – Proceedings of the AN of the USSR, Ser. Geogr.*, no. 3, pp. 3-11.

---

Budyko M.I., Pivovarova Z.I. 1967. Vliyanie vulkanicheskikh izverzhenii na prikhodyashchuu k zemnoi povekhnosti solnechnoi radiatsii [Influence of the volcanic eruptions on the solar radiation incoming to the Earth's surface]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 10, pp. 3-7.

Budyko M.I., Vinnikov K.Ya. 1976. Global'noe poteplenie [Global warming]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 10, pp. 3-7.

Budyko M.I., Vinnikov K.Ya. 1983. Problema obnaruzheniya antropogenogo izmeneniya klimata [Problem of detection of the anthropogenic global climate change]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 9, pp. 14-26.

Budyko M.I., Ronov A.B., Yanshin A.L. *Istoriya atmosfery* [History of the Earth's atmosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 207 p. (English transl.: Springer Verlag, 139 p.)

Budyko M.I., Goliysyn G.S., Izrael Yu.A. *Global'nye klimaticheskie katastrofy* [Global climatic catastrophes]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 158 p.

Buytner E.K. 1986. *Planeternyi gazoobmen O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>* [Planetary gas exchange of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 239 p.

Velichko A.A., Barash M.S., Grichuk V.P., Gurtovaya E.E., Zelikson E.M. 1984. Klimat severnogo polusharita v epokhu poslednego, mikulinskogo mezhlednikov'ya [Climate of the Northern hemisphere over the last Mikulino warming]. *Izvestiya AN SSSR, Geografical ser. –Proceedings of the AN of the USSR, Ser. Geogr.*, no.1, pp. 5-18.

Vinnikov K.Ta., Groisman P.Ya. 1979. Empiricheskaya model' sovremennykh izmenenii klimata [Empirical model of the current climate changes]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 3, pp. 25-36.

Vinnikov K.Ta., Groisman P.Ya. 1982. Empiricheskie issledovaniya chuvstvitel'nosti klimata [Empirical investigations of the sensitivity of the climate]. *Izvestiya AN SSSR, Fizika atmosfery i okeana –Proceedings of the AN USSR*, vol. 18, no. 11, pp. 1159-1169.

Vliyanie uvelicheniya kolichestva uglekislogo gaza na klimat [Influence of the CO<sub>2</sub> increase in the atmosphere on the climate]. *Materialy sovetsko-amerikanskogo soveshchaniya po izucheniu vliayniya uvelicheniya kolichestva uglekislogo gaza na klimat* [Proceedings of the Soviet-American symposium under studies the influence of the CO<sub>2</sub> increase in the atmosphere on the climate]. 1982. Leningrad, Gidrometeoizdat, 50 p.

Voeikov A.I. 1884. *Klimaty Zemnogo shara, v osobennosti Rossii* [Climates of the Earth, especially Russia]. St.-Peterburg, Izdat. Kartograf. Zavedeniya.

*Vulkany, stratosfernnyi aerazol' i klimat Zemli* [Volcanos, stratospheric aerosol and the Earth's climate]. 1986. Leningrad, Gidrometeoizdat, 254 p.

Grigor'ev A.A., Budyko M.I. O periodicheskom zakone geograficheskoi zonal'nosti [On the periodic law of the geographic zonality]. *Doklady AN SSSR – Reports of the AN of the USSR*, vol. 110, no. 1, pp. 129-132.

Efimova N.A. 1977. *Radiatsionnye factory produktivnosti rastitel'nogo pokrova* [Radiation factors of the productivity of the vegetation cover]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 215 p.

Zubenok L.I. 1963. Vliyanie anomalii temperatury na ledyanoi pokrov Arktiki [The influence of the temperature anomalies on the ice cover over the Arctic]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 6, pp. 25-30.

Zubakov V.A. 1986. *Global'nye klimaticheskie sobytiya pleistotsena* [Global climatic events during the Pleistocene]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 287 p.

Zubakov V.A. 1990. *Global'nye klimaticheskie sobytiya neogena* [Global climatic events during the Neogene]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 223 p.

Izrael' Yu.A., Borzenkova I.I., Severov D.A. 2007. Rol' stratosfernykh aerosolei v sokhranении sovremennogo klimata [Role of the stratospheric aerosols for stabilization of the current climate]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 1, pp. 5-14.

Izrael' Yu.A., Ryaboshapko A.G. 2011. Geoinzheneriya klimata: vosmozhnosti realizatsii [Geoengineering of the climate: Possibility of the realisation]. V kn.: *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [In book: The problems of the ecological monitoring and modeling ecosystems]. Moscow, vol. XXIV, pp. 11-24.

Issledovanie vosmozhnostei stanilizatsii klimata s pomoshch'yu novykh tekhnologii [Investigations of the possibility of stabilization of the climate by using of the new technologies]. V kn.: *Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "Problemy adaptatsii k sovremennomu klimatu"* [In book: Proceedings of the International Scientific conference "Problems of adaptation for climate change"]. 2011. Moscow, Rosgidromet.

Karol' I.L. 1980. *Radiatsionno-fotokhimicheskie modeli atmosfery* [Radiation-photochemical models of the atmosphere]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 192 p.

Kobak K.I. 1988. *Bioticheskie komponenty uglerognogo tsikla* [Biotic component of the carbon cycle]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 246 p.

Kobak K.I., Kondrosheva N.Yu. 1985. Antropogennye vozdeistviya na lesnye ekosistemy i rol' etikh vosdeistvii na uglerodnyi tsikl [Anthropogenic influence on the forest ecosystem and their role on the carbon cycle]. *Botanicheskii zhurnal – Journal of Botany*, no. 1, pp. 305-313.

Lapenis A.G. 1984. Svyaz' partzial'nogo davleniya uglekislogo gaza v atmosfere s urovnem kriticheskoi glubiny karbonatonakopleniya v okeane [The relationship between the carbon and dioxide partial pressure in the atmosphere and the level of critical depth of the carbonate accumulation in the ocean]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 9, pp. 3-7.

Menzhulin G.V. 1984. Vliyanie sovremennykh izmenenii klimata i sodержaniya uglekislogo gaza v atmosfere na produktivnost' sel'skokhospystvennykh rastenii [The influence of the present climatic change and CO<sub>2</sub> content in the atmosphere]

---

on the productivity of agricultural plants]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 4, pp. 95-101.

*Predstoyashchie izmeneniya klimata* [Forthcoming climate changes]. 1991. Leningrad, Gidrometeoizdat, 272 p.

Brooks C.E.P. 1950. *Climate through the Ages*. – London, 395 p.

Hammer C.U., Clausen H.B., Dansgaard W. 1980. Greenland ice sheet evidence of post volcanism and its climatic impact. – *Nature*, vol. 288, pp. 230-235.

Junger C.E. 1963. *Atmospheric chemistry and radioactivity*. – N.Y., Acad. Press.

Manabe S., Wetherald R.T. 1980. On the distribution of climate change resulting from increase in CO<sub>2</sub> content of the atmosphere. – *J. Atm. Sci.*, vol. 37, pp. 99-118.

Prospects for future climate. 1991. /Eds. M.I. Budyko, Yu. Israel, M. McKracken, A.D. Hecht. A special US/USSR report on climate and climate change. – Chelsen (Mich.), 270 p.