
ГЛОБАЛЬНАЯ ПЕРСОНА

ВЫДАЮЩИЙСЯ РОССИЙСКИЙ КЛИМАТОЛОГ: ПАМЯТИ М. И. БУДЫКО

Лапенис А. Г.

профессор, заведующий кафедрой физической географии факультета географии и планирования Государственного университета штата Нью-Йорк в Олбани, член Американской ассоциации географов, Американского геофизического союза, Нью-Йоркской академии наук.

E-mail: andreil@albany.edu



Портрет М. И. Будыко. 1970-е гг. Автор неизвестен

Статья посвящена памяти выдающегося русского ученого-климатолога, внесшего фундаментальный вклад в становление и развитие раздела глобалистики, посвященного глобальным климатическим изменениям на планете, в том числе и под влиянием человеческой деятельности. Показан жизненный путь ученого и его теоретические достижения.

Ключевые слова: климат, климатология, атмосфера, температура, наука, ученый, природа.

The paper is dedicated to the memory of the outstanding climatologist who has made a fundamental contribution to the emergence and development of the branch of the global studies devoted to the global climate change on the planet including those under the influence of human activity. The scholar's life journey is presented as well as his academic achievements.

Keywords: *climate, climatology, atmosphere, temperature, science, scientist, nature.*

Вне всякого сомнения, Михаил Иванович Будыко является одним из самых ярких и авторитетных климатологов XX в. В настоящее время практически любой учебник климатологии содержит не одну ссылку на работы этого выдающегося ученого.

Будыко родился в 1920 г. во время Гражданской войны, разрухи и голода в г. Гомеле в Белоруссии (тогда СССР). Позднее вместе с семьей он переехал в Ленинград, где в 1937 г. поступил в Ленинградский политехнический институт. Заканчивать его Будыко пришлось в 1942 г. во время еще одной войны, под бомбежками и обстрелами окружившей Ленинград фашистской армии.

Сразу же по окончании института не имевший возможности выбраться из блокадного города Будыко получил распределение в Ленинградскую главную геофизическую обсерваторию им. Воейкова. В этом учреждении он проработал до 1975 г. Пожалуй, эти 33 года оказались наиболее продуктивными в карьере Будыко. Первые самостоятельные статьи были опубликованы им уже в середине 40-х гг., а в 1948 г. вышла первая книга – «Испарение в естественных условиях».

В конце 40-х гг. в климатологии доминировала теория испарения и водного баланса, предложенная американским ученым из Нью-Джерси Чарльзом Торнвейтом (1899–1963). Торнвейт ввел целый ряд абстрактных концепций, таких как потенциальное испарение, дефицит водного баланса, избыток водного баланса и другие. Будыко определенно воспринял идеи Торнвейта, вместе с тем переработав их в более практичную модель водного баланса почвы, позднее названную моделью «ведра». Вместо сложного концептуального подхода Торнвейта Будыко предложил чрезвычайно элегантный метод, позволяющий связать испарение с насыщенностью почвы влагой и энергетическим балансом поверхности. Удивительно, но до сих пор в сложных математических моделях климата, использующихся в мировых климатических центрах (включая и Российский Гидрометцентр), для расчетов изменений почвенной влаги и испарения зачастую используется метод «ведра», предложенный Будыко более 60 лет назад.

Идеология этой первой книги, связывающей природные процессы с энергетикой природы, прошла позднее красной нитью через всю карьеру Будыко.

Работая совместно со своим учителем, выдающимся российским географом и климатологом Андреем Александровичем Григорьевым (1883–1968), Будыко включился в разработки, послужившие окончанием «золотого века» климатологии как науки описательной. Работы Будыко и Григорьева по климатической зональности и классификации климатов заложили основы совершенно невиданной отрасли знания, способного не только предсказать изменения климата, но и заставить климат изменяться в заданном направлении – как потеплении, так и похолодании.

В начале 50-х гг. Григорьев и Будыко пришли к пониманию того, что управляющим механизмом климата является тепловой баланс поверхности, поддерживаемый входящей солнечной радиацией, с одной стороны, и уходящим излучением, а также явными и скрытыми потоками тепла – с другой. Поскольку интен-

сивность поглощения радиации солнца зависит от свойств атмосферы и земной поверхности, то и процессы, происходящие в климатической системе планеты, – такие как изменение облачности, смена растительного покрова, изменения влажности почвы, – должны в свою очередь влиять на тепловой баланс и, следовательно, на температуру поверхности и атмосферы в целом. В результате детальных исследований энергетического баланса поверхности Будыко и Григорьев открыли периодический закон географической зональности и предложили свою оригинальную классификацию климатов земли.

Суть периодического закона географической зональности заключается в чередовании высокой и низкой продуктивности природных географических зон, рассортированных в «пространстве» типичных для этих зон параметров индекса сухости, и годового энергетического баланса. Индекс сухости Будыко – это отношение того же энергетического баланса поверхности к энергетическому эквиваленту осадков или количеству энергии, требуемой для испарения всей выпавшей за год влаги.

Периодический закон природных зон, открытый Будыко и Григорьевым, по сути, поставил точку в череде различных эмпирических классификаций климата, разрабатываемых еще с середины XIX в. Дальнейшее развитие эмпирических классификаций климата приостановилось, передав вместе с тем позитивный импульс новому подходу, названному позднее методом математического моделирования климата.

Справедливости ради стоит отметить, что понимание важности энергетического баланса в формировании условий окружающей среды появилось в климатологии задолго до Будыко. Еще в 1868 г. выдающийся русско-немецкий климатолог Владимир Петрович Кёппен (1846–1940) отмечал важность приходящей радиации в формировании условий существования растений и их продуктивности. Вместе с тем Кёппен, как и многие его последователи, не смог установить определяющие параметры энергетического баланса и связать их с климатом. Одной из причин было элементарное отсутствие приборов, способных определять интенсивность потоков тепла и влаги. Работы Будыко счастливо совпали с развитием во второй половине XX в. приборной базы метеорологии и климатологии и появлением достаточно длинных рядов наблюдений за различными компонентами энергетического баланса.

Логическим продолжением работ по классификации климата и природных зон стали широкое исследование энергетического баланса земной поверхности и публикация атласа теплового баланса земли в 1958 г. Эта работа, выполненная под руководством Будыко коллективом ученых Главной геофизической обсерватории им. Воейкова, была удостоена Ленинской премии и снискала широкую известность в России и за рубежом.

В начале 1960-х гг. Будыко продолжил изучение связей между тепловым балансом поверхности и климатом. Особый интерес у него вызывала обратная связь между тепловым балансом, температурой поверхности и морскими льдами («Полярные льды и климат», 1962 г.). В конце 50-х – начале 60-х гг., когда Советский

Союз продолжал реализовывать составленный еще при Сталине «План преобразования природы», среди ученых часто появлялся соблазн использовать новое понимание физических принципов изменения климата в целях его «улучшения» и модификаций. В 1962 г. в журнале «Метеорология и гидрология» появилась статья Будыко «О некоторых способах изменения климата», в которой он, основываясь на результатах изучения обратной связи между тепловым балансом и льдами, приходит к выводу о возможности быстрого рукотворного потепления в Арктике. Согласно Будыко, для этого было достаточно распылить над Арктикой сажу, собранную за несколько лет из отходов резиновой промышленности. Быстрое потемнение поверхности льда и снега должно было увеличить количество поглощенной солнечной радиации и привести к ускоренному таянию морских льдов. Суть открытия Будыко заключалась в том, что после освобождения Арктики от плавающих льдов их образование в последующие сезоны стало бы невозможным из-за того, что открытая поверхность воды поглощает гораздо больше солнечной энергии, чем поверхность льда или снега. Иными словами, Будыко показал, что образование нового ледяного покрова потребует гораздо больших изменений в тепловом балансе поверхности, чем его таяние. Интуитивно поверить в такой эффект сложно, но последующие, более детальные, исследования, как и данные математического моделирования, полностью подтвердили правоту выводов Будыко. Данный проект реализован не был, но Будыко запатентовал эту идею и вошел в историю как единственный до настоящего времени климатолог, имевший патент на изменение климата.

В это же время понимание важности обратной связи между льдами и климатом натолкнуло Будыко на создание математической модели глобального климата, в которой изменения температуры связаны не только с изменениями солнечной радиации, но и с интенсивностью обратной связи между льдами и тепловым балансом. Такая модель была опубликована в 1968 г. в той же «Гидрологии и метеорологии», а в 1969 г. на английском языке – в журнале «Tellus». В том же 1969 г. Уильям Селлерс (William D. Sellers) опубликовал очень похожую модель глобального климата (Sellers 1969). Отличие от модели Будыко было в параметризации меридионального потока тепла, который у Будыко выводился из данных наблюдений за энергетическим балансом, а у Селлерса – из соображений макродиффузии. В современных, особенно иностранных, публикациях исследователи зачастую ссылаются на энергобалансовые модели климата как на модели Будыко – Селлерса.

Интересным результатом, полученным Будыко с помощью своей энергобалансовой модели, было теоретическое предсказание существования стабильного режима климата, при котором вся поверхность планеты покрыта снегом и льдом, – так называемая «Белая Земля». Сам Будыко относился к этому решению как к артефакту и никогда особого значения ему не придавал. В западной литературе, однако, особенно в 80-е и 90-е гг., велась серьезная дискуссия о возможности существования «Белой Земли» в геологическом прошлом. Позднее, уже в 2000-х гг., большинство исследователей пришли к выводу о практической невоз-

возможности сколь-либо продолжительного существования такого климата на нашей планете.

В конце тех же 60-х гг. Будыко заинтересовался влиянием на климат не только солнечной радиации, но и внутренних атмосферных факторов, таких как концентрация двуокиси углерода и мелкие пылевые частицы или аэрозоль. Свои идеи на эту тему он объединил в вышедшей в 1971 г. книге «Климат и жизнь». В этом фундаментальном исследовании Будыко показал, как климат мог изменяться в прошлом под воздействием вулканической активности, которая, с одной стороны, насыщала атмосферу CO_2 , а с другой – приводила к повышению в атмосфере концентрации аэрозольных частиц. Вариации атмосферной концентрации двуокиси углерода вызывали изменения парникового эффекта и влияли на температуру поверхности планеты. При этом в течение последних нескольких сотен миллионов лет концентрация атмосферного CO_2 в основном понижалась, что, по мнению Будыко, хорошо согласовывалось с данными палеоклиматических реконструкций, указывающих на более теплый климат прошлых эпох. Вместе с тем вулканическая активность приводила и к выбросам в атмосферу двуокиси серы, которая приводила к образованию в атмосфере мельчайших аэрозольных частиц со свойством высокого отражения коротковолновой радиации. Такие частицы на коротких интервалах времени после извержений вулканов понижали температуру поверхности, создавая «антипарниковый эффект». Таким образом, Будыко определил два наиболее важных для понимания истории климата планеты фактора: атмосферная концентрация CO_2 и атмосферный аэрозоль.

В 1970-х гг. Будыко создал группу ученых, сконцентрировавших свои исследования на проблеме изменений климата. Эта группа обрела очертания еще во время его работы в Главной геофизической обсерватории, а после ухода оттуда в 1975 г. вместе с Будыко переместилась в Государственный гидрологический институт, где и была преобразована в Отдел исследований изменений климата. В период с 1975 по 1980 гг. на работу в ГГИ из ГГО в отдел Будыко перешли многие талантливые ученые, такие как О. А. Дроздов, К. М. Лугина, К. Я. Винников, Г. В. Менжулин, И. И. Борзенкова, Э. К. Бютнер и другие. С этими и некоторыми другими исследователями, пришедшими в этот отдел позже, Будыко и проработал до своей смерти в 2001 г.

Отдел изменений климата в ГГИ представлял довольно сильное научное подразделение, занимавшееся различными аспектами изменений климата – от сбора и анализа данных до изучения влияния изменений климата на продуктивность естественных и сельскохозяйственных экосистем, изучения глобального круговорота углерода и палеоклиматов. С последним направлением было связано несколько публикаций Будыко и его сотрудников, в которых они предложили новый подход к прогнозированию состояния климатической системы посредством составления так называемых аналогов климата будущего. Суть такого подхода была основана на концепции радиационного форсинга или энергетического эквивалента изменений различных климатических факторов. Будыко и его сотрудники считали, что климатическая система должна реагировать сходным образом на изменения ра-

диационного форсинга одинаковой величины независимо от того, чем эти изменения вызваны (светимостью солнца, например, или изменением концентрации атмосферного CO₂ или аэрозоля).

Анализ палеоклиматов позволил Будыко получить оценки изменений глобальной и региональной температуры поверхности при изменении радиационного форсинга на определенную величину. Это отношение изменений температуры к изменениям радиационного форсинга было названо «чувствительностью климата» и оценено как число в диапазоне от 2 до 4 °С на каждые 4,4 Вт/м². Величина радиационного форсинга в 4,4 Вт/м² создается при удвоении атмосферной концентрации CO₂. Поэтому данная величина стала известна как ΔT_{2х}, или чувствительность климата на удвоение атмосферной концентрации углекислого газа. Современные исследования, такие, например, как исследования, проведенные Межправительственной группой экспертов по изменению климата ЮНЕСКО, определяют эту величину практически в том же диапазоне, что и в работах Будыко и его учеников 30-летней давности (IPCC 2007).

Метод палеоаналогов позволял при весьма скромной в СССР вычислительной базе давать состоятельные прогнозы климатов будущего. В начале 1990-х гг. этот метод получил развитие и в США, где М. Хоферт и К. Ковей опубликовали статью (Hoffert, Covey 1992), в которой показали, как метод палеоаналогов может быть использован для определения подгонных коэффициентов в больших климатических моделях. Публикация М. Хоферта и К. Ковей привлекла большое внимание к методу палеоаналогов, который они трансформировали в метод «палеокалибрации математических моделей климата».

Период работы Будыко в ГГИ был ознаменован многими событиями международного масштаба, и прежде всего созданием Рабочей Группы-8 в рамках Межправительственного Соглашения между СССР и США по охране окружающей среды и изменениям климата. РГ-8, по сути, предвосхитила деятельность ЮНЕСКО по этой тематике и провела множество международных совещаний по проблеме изменений климата, а также спонсировала ряд совместных публикаций советских и американских климатологов, таких как, например, «Предстоящие изменения климата» (1991 г.). Авторитет Будыко помогал РГ-8 функционировать даже в самые трудные годы советско-американских отношений, когда все другие каналы общения между советскими и американскими учеными были перекрыты.

С началом перестройки деятельность РГ-8 получила новый импульс и способствовала еще более тесным контактам между советскими и американскими учеными. Будыко являлся бессменным председателем РГ-8 все годы ее существования. После распада СССР деятельность РГ-8 была, по сути, прекращена. Тогда же, в 1992 г., Будыко был избран действительным членом РАН.

В последние годы своей жизни Будыко продолжал руководить созданным им отделом и работать над проблемой прогнозирования климата будущего. За свою долгую научную карьеру он опубликовал 24 монографии, 2 научно-популярные книги по всемирной истории и истории литературы и более 200 научных статей. Он также был почетным членом Географического общества России и Американ-

ского метеорологического общества; избирался депутатом районного и Ленинградского городского Советов; награжден орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, «Знак Почета», «За заслуги перед Отечеством» II степени; медалями; лауреат Ленинской премии, премий им. А. П. Виноградова и им. А. А. Григорьева; удостоен золотой медали им. Ф. П. Литке, золотой медали Всемирной метеорологической организации, медали им. Роберта Хортон, а также в 1998 г. получил почетную премию «Голубая Планета» Фонда Асахи.

Основные труды:

Будыко, М. И.

1948. *Испарение в естественных условиях*. Л.: Гидрометеиздат.

1971. *Климат и жизнь*. Л.: Гидрометеиздат.

1974. *Изменения климата*. Л.: Гидрометеиздат.

1977. *Глобальная экология*. М.: Мысль.

1978. Термический режим динозавров. *Журнал общей биологии* 38(2): 179–188.

1980. *Климат в прошлом и будущем*. Л.: Гидрометеиздат.

1981. Изменения термического режима атмосферы в фанерозое. *Метеорология и гидрология* 10: 5–10.

1982. *Изменения окружающей среды и смены последовательных фаун*. Л.: Гидрометеиздат.

Григорьев, А. А., Будыко, М. И. 1956. О периодическом законе географической зональности. *Доклады АН СССР* 110(1): 129–132.

Будыко, М. И., Герасимов, И. П. 1959. Тепловой и водный баланс земной поверхности, общая теория физической географии и проблема преобразования природы. *Материалы к 3-му съезду Географического общества СССР: доклады по проблеме экономического районирования страны*. Л.: Географическое общество СССР.

Будыко, М. И., Ронов, А. Б. 1979. Эволюция атмосферы в фанерозое. *Геохимия* 5: 643–653.

Budyko, M. I.

1958. *The Heat Balance of the Earth's Surface* / transl. by N. A. Stepanova. Washington, U.S.: Dept. of Commerce, Weather Bureau.

1967. On the Causes of the Extinction of Some Animals at the End of the Pleistocene. *Soviet Geography: Review and Translation* 8(10): 783–793.

1998. Global Climate Warming and its Consequence. *Blue Planet Prize 1998 Commemorative Lectures*. Ecology Symphony. October 30 [cited May 23, 2002]. URL: www.ecology.or.jp/special/9902e.html

Budyko, M. I., Golitsyn, G. S., Izrael, Y. A. 1988. *Global Climatic Catastrophes*. N. Y.: Springer Verlag.

Budyko, M. I., Izrael, Y. A. (eds.) 1991. *Anthropogenic Climatic Change*. Tucson: University of Arizona Press.

Budyko, M. I., Ronov, A. B., Yanshin, A. L. 1987. *History of the Earth's Atmosphere*. N. Y.: Springer Verlag.

Литература

Hoffert, M. I., Covey, C. 1992. Deriving Global Sensitivity from Palaeoclimate Reconstructions. *Nature* 360: 573–576.

IPCC 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Ed. by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller. Cambridge, UK; New York, NY: Cambridge University Press.

Sellers, W. D. 1969. A Global Climatic Model Based on the Energy Balance of the Earth-Atmosphere System. *Journal of Applied Meteorology* 8(3): 392–400.