

М. Х. БАЙДАЛ

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА

Задачи перспективного планирования с учетом максимального использования природных ресурсов в нашей стране возводят вопросы изучения и предвидения колебаний климата в проблему первостепенной важности. Многие отрасли народного хозяйства в последние годы при составлении текущих и перспективных планов широко используют климатологические материалы и сезонные прогнозы погоды.

Однако средние многолетние характеристики в настоящее время удовлетворяют далеко не всех. Необходимо знать масштабы и последовательность колебаний климата как в прошлом, так и в будущем. Такие задачи ставятся перед климатологами и прогнозистами-долгосрочниками организациями по градостроительству, по строительству линий высоковольтных электропередач, по развитию сельскохозяйственного производства и т. п.

К ученым Казахского научно-исследовательского гидрометеорологического института (КазНИГМИ) в последнее время обратился Гипроводхоз (г. Москва) с просьбой рассчитать изменения климата в районе Аральского моря до 2050 г. с учетом резкого сокращения объема воды в море, рассчитать изменение водности бассейна Аральского моря вообще и в связи с забором воды из Амударьи и Сырдарьи на орошение в частности. Институту экономики Госплана КазССР необходимы сведения о закономерностях колебания климата и характере климата в десятилетия, с 1971 по 1980 г., для уточнения перспективного плана развития и специализации отраслей народного хозяйства республики. С аналогичными просьбами в КазНИГМИ обращаются некоторые министерства, областные управления сельского хозяйства и отдельные совхозы.

Такой спрос вполне понятен и со временем он будет возрастать, ибо максимальный эффект любого мероприятия в народном хозяйстве может быть достигнут только тогда, когда оно правильно сочетается с погодно-климатическими условиями. Так, например, борьба за высокие и устойчивые урожаи может дать особенно большой эффект при умелом сочетании высокой агротехнической культуры с погодно-климатическими условиями. Вполне очевидно, что, зная заранее о предстоящем влажном лете и применив соответствующие этому агротехнические приемы, возможно и должно

получить не только «нормальный», но и максимально высокий урожай сельскохозяйственных культур.

С точки зрения рационального использования пастбищных угодий очевидно, что характер мероприятий и пастбищеоборотов будет различным для сухого года в ряду влажных лет и для сухого года в ряду сухих лет.

Таким образом, текущие планы также желательно составлять с учетом фона погодно-климатических явлений, т. е. с учетом особенностей климата ряда лет.

Из вышеизложенного возникает вопрос. Как предвидеть предстоящие колебания климата? Ведь известно, что в настоящее время долгосрочные прогнозы погоды даже на сезон представляют собой проблему исключительной сложности. Надо сказать, что с увеличением срока предвидения в общем увеличивается сложность задачи. Однако при этом исключительно большое значение имеет метод диагноза и прогноза явлений. Структурный анализ причин колебаний климата и комплексный учет климатообразующих факторов, по нашему мнению, позволяет положительно ответить на поставленный выше вопрос.

В последнее время наблюдается тенденция к переходу ученых от общих интерпретаций причин колебаний климата к исследованию конкретных зависимостей между отдельными элементами климата и климатообразующими факторами. Без тщательного изучения роли каждого из климатообразующих и климатовозмущающих факторов в отдельности и в сочетании друг с другом, т. е. без изучения структуры указанных связей, невозможно правильное объяснение ни прошедших, ни предстоящих колебаний климата. Известные методы изыскания периодичностей и цикличностей колебаний рядов эмпирических величин не смогут дать достоверной информации о предстоящих изменениях и колебаниях их параметров до тех пор, пока не будут вскрыты природа этих колебаний и причины их изменения.

Еще сейчас немало делается безуспешных попыток математически объяснить и рассчитать на будущее кривые колебания элементов климата для различных районов земного шара без учета структуры взаимодействия климатообразующих факторов, без вскрытия физических закономерностей.

Наличие явлений, у которых причиной служат несколько факторов, дает возможность ученым, как отмечает академик В. А. Бугаев [11], занимать крайние позиции, т. е. стремиться объяснить эти явления одним всерешающим фактором. С этими крайними позициями связаны различные гипотезы. Так возникли гипотезы, пытающиеся объяснить колебания климата одними циркуляционными условиями атмосферы, солнечной радиацией, взаимодействием суши и моря, солнечной активностью, гравитационными силами, колебаниями скорости вращения Земли и т. д.

Безнадежно ждать, что колебания климата сможет кто-либо объяснить без учета комплекса воздействующих факторов в их

динамической взаимосвязи. В данной статье приводятся результаты структурного анализа многолетних колебаний осадков. Аналогичные исследования проведены также по температуре воздуха, различным характеристикам ледников в Казахстане и т. д. Этот анализ осуществлялся при допущении квазипостоянства характеристик радиационного фактора на данной широте и подстилающей поверхности (почвенно-орографических условий). В качестве основных факторов колебания климата рассматривались среднеширотный тип атмосферной циркуляции, полюс атмосферной циркуляции и солнечная активность. Правомочность анализа последней в качестве климатообразующего фактора видно из нижеследующего.

Как известно из многочисленных исследований, с повышением солнечной активности повышается уровень атмосферного электричества, увеличивается активность ядер конденсации водяных паров, увеличивается вертикальная неустойчивость воздушных масс, число гроз и пр. Это ведет к увеличению количества осадков.

Исследования показали также, что в годы максимума солнечной активности увеличивается глубина циклонов и они становятся более обширными, нежели в годы минимума. В результате, как показали наши исследования [1—10], количество осадков в годы максимума солнечной активности в Казахстане увеличивается на 20—30% многолетней нормы, а в годы минимума уменьшается на 30—40% нормы.

Что касается типов среднеширотной циркуляции атмосферы, то они также весьма существенно сказываются на количестве осадков. Так, в месяцы с преобладанием северных и северо-западных вторжений воздушных масс на Казахстан (тип Е) количество осадков бывает обычно более 120% средней многолетней нормы, а в месяцы с преобладанием южных и юго-восточных течений (тип С) — менее 80%. Около нормы (80—120%) осадки бывают в месяцы с движением барических образований и воздушных масс в широтном направлении с запада на восток (тип Ш).

Из сказанного следует, что минимальное количество осадков в Казахстане наблюдается в том случае, когда тип С циркуляции совпадает с минимумом солнечной активности. Максимальное же количество осадков обуславливается совпадением типа Е атмосферной циркуляции с максимумом солнечной активности. Около нормы количество осадков бывает и тогда, когда тип Е циркуляции сочетается с минимумом солнечной активности, а также, когда тип С циркуляции сочетается с максимумом солнечной активности.

Следует иметь в виду, что как тип атмосферных процессов, так и экстремумы 11-летних циклов солнечной активности в различных районах Казахстана сказываются несколько по-разному. Тем не менее в целом можно говорить, что наиболее благоприятные условия в отношении осадков в Казахстане складываются в месяцы и годы с преобладанием Е циркуляции, сочетающейся с максимумом

солнечной активности, а наиболее неблагоприятные — в месяцы и годы с преобладанием С циркуляции, сочетающейся с минимумом солнечной активности. Характерным примером первого может служить 1958 г., а второго — 1955 г.

Солнечная активность (пятнообразовательная деятельность) сказывается на осадках не только непосредственно, но и через циркуляцию, влияя на повторяемость ее основных типов (Е, С, Ш). На максимуме несколько увеличивается повторяемость типа Е, а на минимуме — типа С. Таким образом, оба способа влияния солнечной активности в ее максимумы способствуют увлажнению в Казахстане, а в минимумы — засушливости. Это хорошо подтверждается фактическими данными о катастрофических засухах. Все они наблюдались только в годы минимума 11-летних циклов солнечной активности.

Совершенно обратная картина наблюдается для территории Украины и Нижнего Поволжья, где упомянутые выше два типа меридиональной циркуляции (Е и С) обуславливают обратные казахстанским условия увлажнения, т. е. здесь с типом Е циркуляции связан дефицит, а с типом С избыток осадков.

Следовательно, для Украины и Нижнего Поволжья как в максимумы, так и в минимумы солнечной активности два способа ее влияния имеют противоположные знаки. Поэтому катастрофические засухи здесь не имеют такой строгой закономерности, как в Казахстане. На Украине и Нижнем Поволжье засухи распределяются более или менее равномерно в течение 11-летних циклов солнечной активности.

Выше указывалось, что солнечная активность лишь несколько влияет на повторяемость макротипов атмосферной циркуляции. В большей степени повторяемость их связана с собственными закономерностями преобразования, в результате чего встречаются длительные периоды (порядка 8—15 лет) с преобладанием одного из типов атмосферной циркуляции. Границы этих периодов (циркуляционных эпох), как показали наши исследования, хорошо совпадают с максимумами 11-летних циклов солнечной активности. Внутри же таких эпох (особенно около середины) преобладает какой-либо из трех типов циркуляции. Поэтому при переходе от одной циркуляционной эпохи к другой происходит существенное изменение климатических характеристик. Мы говорим, что в эпохе каждого типа циркуляции атмосферы существуют свои эпохальные нормы метеорологических элементов. Можно сказать, что это различные климаты. Для того чтобы данное утверждение было убедительным, укажем, что в эпоху 1929—1939 гг. (эпоха типа Е циркуляции) в большинстве районов Казахстана средняя январская температура воздуха была на 6—8° ниже средней многолетней. В частности, в Алма-Ате она равнялась —14°. В последующей эпохе, 1940—1948 гг. (эпоха типа С циркуляции), средняя январская температура была на 7—8° выше средней многолетней. В Алма-Ате средняя за девять январей была только —2°.

Количество осадков за июль в первой эпохе в Алма-Ате было около 40 мм, а во второй 18 мм. Этого, по нашему мнению, достаточно для того, чтобы говорить о климатах эпох циркуляции.

Полюс атмосферной циркуляции, выявленный нами в 1955 г., также весьма существенно влияет на климат всего северного полушария. Он представляет собой район в северных широтах, вокруг которого происходит вращение атмосферы. В районе расположения циркуляционного полюса обычно наблюдаются антициклонические образования, которые летом прослеживаются от приземных слоев до средней стратосферы, а зимой с уровня 4—5 км сменяются высотной барической депрессией.

Вследствие антициклонических условий и значительного радиационного выхолаживания в районе циркуляционного полюса формируются наиболее сильно выхолаженные массы воздуха. Это — главный холодильник в северном полушарии. Весьма интересным и прогностически ценным свойством полюса циркуляции является также и то, что он не остается в одном и том же районе, а от сезона к сезону перемещается чаще всего с востока на запад, причем в центре Арктики он бывает реже, чем на ее периферии. Полный оборот по территории Арктики циркуляционный полюс совершает около двух лет.

Оказывая существенное влияние на погоду в умеренных и низких широтах, циркуляционный полюс является причиной двухлетней цикличности в многолетнем ходе ряда элементов климата, водных объектов, режима высотных течений и т. д. Этому же фактору обязана двухлетняя цикличность осадков, обнаруженная теперь уже во многих районах земного шара.

Выяснив роль каждого из трех охарактеризованных климатообразующих и климатовозмущающих факторов, мы можем теперь перейти к объяснению многолетних колебаний осадков. Это можно сделать с помощью следующего уравнения климата:

$$R = R_n \pm \Delta R_{\text{ц}} \pm \Delta R_{\text{с}} \pm \frac{1}{3} \delta R_n,$$

где R — количество осадков данного года или сезона; R_n — многолетняя норма осадков; $\Delta R_{\text{ц}}$ — поправка к многолетней норме осадков, обусловленная преобладающим типом атмосферной циркуляции; $\Delta R_{\text{с}}$ — поправка к многолетней норме осадков, обусловленная уровнем солнечной активности; δR_n — средняя многолетняя изменчивость осадков от года к году или от сезона к сезону.

В качестве примера приведем результаты расчета суммы осадков за июнь—июль для станций Атбасар, Кокчетав, Целиноград. Для этого района поправки к норме осадков на типы атмосферной циркуляции Е, С, Ш равны соответственно +25, —25, 0%, а на экстремумы солнечной активности¹, т. е. на максимумы и мини-

¹ Под экстремумами здесь имеются в виду годы максимальных и минимальных значений чисел Вольфа в 11-летних циклах и соседние с ними годы.

мумы 11-летних циклов соответственно $+30$ и -40% многолетней нормы.

В табл. 1 приведены результаты расчета и фактическое количество осадков для последних трех максимумов и трех минимумов солнечной активности в процентах от многолетней нормы.

Таблица 1

Вид экстремума солнечной активности	Год	Расчетное количество осадков	Фактическое количество осадков	Погрешность расчета
Максимум	1938	167	196	29
	1939	127	96	31
Минимум	1942	47	62	15
	1943	77	73	4
Максимум	1946	155	143	12
	1947	123	117	6
	1948	137	77	60
Минимум	1953	102	96	8
	1954	87	64	23
	1955	52	23	29
Максимум	1957	98	75	23
	1958	137	124	13
	1959	123	132	9
Минимум	1963	77	100	23
	1964	88	107	19
	1965	38	45	7

Как видно из этой таблицы, только в 1 случае из 16 (6%) погрешность расчета превысила 31% или 15% амплитуды колебания осадков. Обеспеченность расчета, таким образом, составляет 94%.

Характерно, что применение обратных знаков к поправкам дает успешность расчета только в 33%, что свидетельствует о справедливости приведенного выше уравнения.

Применимость уравнения климата для расчета осадков проверена также для горных условий. Расчет годовых сумм осадков для трех станций, Медео, Верхний Горельник и Мын-Джилки, сделанный подряд для всех лет с 1937 по 1965 г., показал обеспеченность 96%.

Чрезвычайно интересным в этих расчетах оказалось и то, что, применяя постоянный индекс циркуляции для циркуляционных эпох и учитывая прогностические значения солнечной радиации, можно рассчитать осадки на эпоху (8—10 лет), сохранив успешность расчетов на уровне около 80%. Это значит, что с такой обеспеченностью можно рассчитать годовое количество осадков на 7—8 лет вперед, т. е. определить на этот период общий характер колебаний климата.

В заключение описания практической проверки применимости уравнения климата, учитывающего несколько климатообразующих факторов, приведем также результаты расчета площади сокращения Центрального Туяксуйского ледника и ледникового стока с него. Обеспеченность этих расчетов по первому элементу с учетом ежегодных данных по атмосферной циркуляции и солнечной активности оказалась равной 84%, а обеспеченность расчетов на циркуляционные эпохи — 72%.

Таким образом, мы можем констатировать, что комплексный факторный анализ колебаний климата и их предвидение могут осуществляться уже сейчас численным способом и на длительные отрезки времени. Не располагая данными о площади сокращения Центрального Туяксуйского ледника за 1962—1968 гг. перед IV симпозиумом гляциологов, мы решили вычислить их в начале сентября 1968 г. с помощью уравнения климата. Полученные результаты затем сличены с теми, которые сняты с графика связи площади сокращения ледника и ледникового стока (табл. 2).

Таблица 2

Год	Площадь, м ²		Год	Площадь, м ²	
	рассчитанная	снятая с графика		рассчитанная	снятая с графика
1962	4500	5250	1965	3300	2800
1963	1800	1700	1966	800	1000
1964	1100	750	1967	1500	1550

При многолетней норме 3022 м² расчеты показали, что после 1962 г. преобладают величины сокращения ледника, в 2—3 раза меньшие, что свидетельствует (наряду с уменьшенным ледниковым стоком) о признаках стабилизации ледников. К такому же выводу пришли другие исследователи-гляциологи, докладывавшие о результатах своих экспедиционных наблюдений на IV симпозиуме гляциологов, проходившем на Кавказе в сентябре 1968 г.

Судя по тому, что предстоящая циркуляционная эпоха (1970—1981 гг.) предполагается типа E, можно говорить о возможности перехода отдельных ледников Средней Азии, Казахстана и Алтая в стадию наступания.

Из-за ограниченности объема статьи не было приведено примера структурного анализа и расчета многолетних колебаний других элементов климата, но автор считает, что и приведенных данных достаточно для того, чтобы убедиться в полезности предложенного метода.

В заключение следует отметить, что многолетние колебания уровня Азовского моря, которые никем еще удовлетворительно не объяснены, совершенно очевидно объясняются при использовании уравнения климата. То же самое можно сказать и в отношении многолетних колебаний уровня Аральского моря и озера Балхаш.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байдал М. Х. Эпохальные особенности атмосферной циркуляции и связанные с ними явления. Труды КазНИГМИ, вып. 10, 1959.
2. Байдал М. Х. Анализ и долгосрочный прогноз сезонных гидрометеорологических явлений на основе учета макроциркуляционных эпох. Труды КазНИГМИ, вып. 20, 1962.
3. Байдал М. Х. Засухи и солнечная активность. Труды КазНИГМИ, вып. 20, 1963.
4. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана, ч. I и II. Гидрометеоиздат, Л., 1964.
5. Байдал М. Х. Динамика ледников в связи с макроциркуляционными эпохами. Материалы гляциологических исследований. Изд. межведомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР, М., 1964, № 10 (Хроника и обсуждения), стр. 112—120.
6. Байдал М. Х. О синхронном и асинхронном колебании ледников Земли в зависимости от эпохи макротипов атмосферной циркуляции. Материалы гляциологических исследований. Изд. межведомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР, М., 1964, № 9 (Хроника и обсуждения), стр. 164.
7. Байдал М. Х. Природа и прогностическая ценность двухлетней цикличности гидрометеорологических явлений. Труды КазНИГМИ, вып. 23, 1965.
8. Байдал М. Х. Эпохально-циклические колебания климата Казахстана. Сб. «Географические проблемы освоения пустынь и горных территорий Казахстана». Алма-Ата, 1965, стр. 104.
9. Байдал М. Х. Многолетние флуктуации климата Казахстана. Сб. «Развитие географических наук в Казахстане». Изд. АН КазССР, Алма-Ата, 1967.
10. Байдал М. Х. Масштабы колебаний климата и их генетические факторы. Сб. «Географические исследования в Казахстане». Изд. ВГО (Казахский филиал). Алма-Ата, 1968.
11. Бугаев В. А. Колебания климата и климатообразующие процессы. Метеорология и гидрология, № 2, 1964.
12. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Гидрометеоиздат, Л., 1966.