

О прогностической оценке фоновых изменений уровня каспийского моря на срок до 12 лет

Введение

Большая межгодовая изменчивость уровенной поверхности Каспийского моря является одной из главных особенностей его гидрологического режима, существенно влияющая на многие аспекты жизнедеятельности стран каспийского региона. В связи с этим в последние десятилетия остро стоит вопрос о необходимости разработки сверхдолгосрочного прогноза уровня Каспийского моря (УКМ) на сроки измеряемые годами и даже десятилетиями. Актуальность таких прогнозов определяется хозяйственными потребностями, связанными с развитием инфраструктуры и проведением берегоукрепительных работ по защите побережий моря от продолжительных подъемов и падений УКМ. Только в XX столетии в уровенном режиме Каспийского моря отмечалось два экстремальных явления, имеющие драматические последствия: аномальное падение уровня моря в период с 1930 по 1977 г. почти на 3,2 м и вслед за этим аномальный подъем в период с 1978 по 1995 г. почти на 2,5 м. При этом как экстремальное падение, так и экстремальный подъем УКМ оказали одинаково отрицательное воздействие на экономику и экологию региона.

Несмотря на большое количество работ, посвященных этой проблеме [1-5, 7-10, 12-19, 20-23], вопрос о причинах, обуславливающих многолетние колебания УКМ, не нашел своего полного объяснения. Учеными и специалистами предпринимались многочисленные попытки прогнозных оценок будущих изменений УКМ. В большинстве своем они оказывались крайне противоречивыми, т.к. основывались на совершенно различных подходах и гипотезах. Так, одна группа специалистов считает, что в ближайшие 10-20 лет уровень моря возрастет на 5 м и более, а другая, наоборот, предупреждает о вероятном падении уровня на 2-3 м. Естественно, что такие неоднозначные прогнозы не могут служить основанием для принятия ответственных решений по защите побережья Каспийского моря и планированию социально-экономического развития региона.

Наиболее реалистический подход к решению данной проблемы основан на концепции, заключающейся в том, что колебания среднего уровня моря являются следствием неравенства между приходной и расходной частями уравнений водного баланса, которые в свою очередь, связаны с крупномасштабными изменениями режима общей циркуляции атмосферы [18,21,22]. Согласно этой концепции принимается, что УКМ является интегральной характеристикой приращений, определяемых суммой вкладов отдельных составляющих водного баланса за конкретный промежуток времени. Отдельные составляющие водного баланса (осадки, испарение, речной сток), являясь компонентами климатической системы, определяются циркуляционными особенностями атмосферных процессов над водосборным бассейном Каспийского моря и далеко за его пределами. Второстепенные составляющие водного баланса, обусловленные внутренними причинами, такими как водообмен через дно моря, плотностные изменения уровня, а также различного рода антропогенные воздействия, обычно оцениваются косвенными методами.

К сожалению, сегодня невозможно дать сверхдолгосрочный прогноз УКМ на основе уравнения водного баланса на сроки более одного года, из-за отсутствия климатической модели адекватно описывающей региональные изменения климата, позволяющей предвычислять на многие годы вперед изменения основных составляющих водного баланса и давать прогнозные оценки будущих изменений УКМ. В настоящее время метод долгосрочного прогноза УКМ, основанный на приближенном расчете водного баланса моря, достаточно хорошо разработан и успешно применяется в прогностической практике Гидрометцентра России при составлении прогнозов УКМ с заблаговременностью только на один год [21].

Гораздо сложнее обстоит дело со сверхдолгосрочными прогнозами УКМ на сроки более одного года: 5 лет и более.

Существующая практика проведения исследований в этом направлении в основном опирается на поиск асинхронных корреляционных связей между колебаниями УКМ и количественными показателями атмосферной циркуляции, который основан на следующих физических предпосылках. Количество осадков, выпадающих в бассейн Волги и других рек, впадающих в Каспийское море, а именно они в первую очередь определяют УКМ, связано с интенсивностью циклонической и антициклонической деятельности над территорией Северной Атлантики и Европы. При этом увеличение осадков и стока рек обусловлено активизацией циклонической деятельности, а уменьшение осадков и стока рек – активизацией антициклонической деятельности. В первом случае создаются условия, способствующие росту УКМ, а во втором – падению. Подробно эти вопросы освещены в [5, 7, 8, 15-17, 23].

Впервые такой подход к решению проблемы сверхдолгосрочного прогноза УКМ был применен в [7] и развит в работах [21, 22].

Цель настоящего исследования заключается в том, чтобы, используя почти 100-летний архив данных об атмосферной циркуляции над северным полушарием и наблюдений за УКМ и, опираясь на новые знания о закономерностях в многолетнем ходе УКМ и характеристиках атмосферных процессов, проанализировать взаимосвязи между интегральными характеристиками УКМ и атмосферной циркуляцией с различными временными сдвигами и построить прогностическое уравнение, позволяющее оценить фоновые изменения УКМ на срок до 12 лет. Следует отметить, что в данной работе не ставилась задача предсказать, каким будет средний уровень моря в конкретном году через 12 лет, т.к. в такой постановке она в принципе не решается статистическими методами. Речь идет только об оценке фоновых изменений УКМ на этом отрезке времени.

В качестве исходной гипотезы было принято положение о том, что колебания УКМ являются интегральной характеристикой воздействия атмосферных процессов за определенный промежуток времени. При этом УКМ на эти воздействия реагирует не сразу, а с некоторым запаздыванием, т.е. наиболее значительные колебания УКМ формируются не сразу, а в течение достаточно продолжительного времени различными по интенсивности формами атмосферной циркуляции. Время запаздывания реакции УКМ на атмосферные процессы можно интерпретировать как характерное время адаптации УКМ к изменившимся циркуляционным процессам, которое меняется в довольно широких пределах (от года до нескольких лет) и, по-видимому, связано как с преемственностью процессов, так и их цикличностью. Реакция УКМ на воздействия атмосферных процессов усложняется наложением ряда факторов антропогенного характера. Поскольку конкретного эволюционного механизма влияния атмосферных процессов на ожидаемый с некоторым упреждением характер хода УКМ в явном виде определить не удастся, то для выявления взаимосвязей между временным ходом УКМ и характеристиками атмосферной циркуляции был применен метод корреляционного анализа. При этом исходные ряды УКМ и характеристик атмосферной циркуляции приводились в соответствие с моделью стационарного случайного процесса, с тем, чтобы к ним можно было применить аппарат математической статистики.

Поиск асинхронных связей осуществлялся с помощью метода пошаговой множественной регрессии, модифицированного путем использования процедуры скользящего оценивания информативности предикторов и полного перебора возможных регрессионных моделей и отбора из них наиболее оптимальной. Для этих целей использовался пакет программ «STATISTICA» [9].

Работа выполнялась в четыре этапа.

На первом этапе формировались исходные временные ряды средних годовых значений УКМ и средних годовых значений количественных характеристик атмосферной циркуляции. На втором этапе проводилась проверка исходных рядов на стационарность и

нормальность и осуществлялось сглаживание исходных рядов и их статистический анализ. На третьем этапе подготавливались ряды предиктанта и предикторов, осуществлялся расчет прогностических уравнений и оценивалась их достоверность. На четвертом этапе по прогностическим уравнениям рассчитывались прогностические оценки фоновых изменений УКМ на 12 лет вперед.

1. Подготовка исходных материалов

В качестве исходного материала использовались срочные данные наблюдений за уровнем моря на водомерном посту Махачкала, обеспечивающем наиболее длинный ряд непрерывных наблюдений на российском побережье Каспийского моря с 1900 г. по настоящее время. По этим данным рассчитывались средние годовые значения уровня моря.

Многолетний ход средних годовых колебаний УКМ носит нестационарный характер (рис.1). Поэтому в данном исследовании использовались не сами уровни, а их годовые приращения, которые определялись путем вычитания среднего годового уровня предшествующего года от среднего годового уровня текущего года, т.е. $\Delta H = H_i - H_{i-1}$.

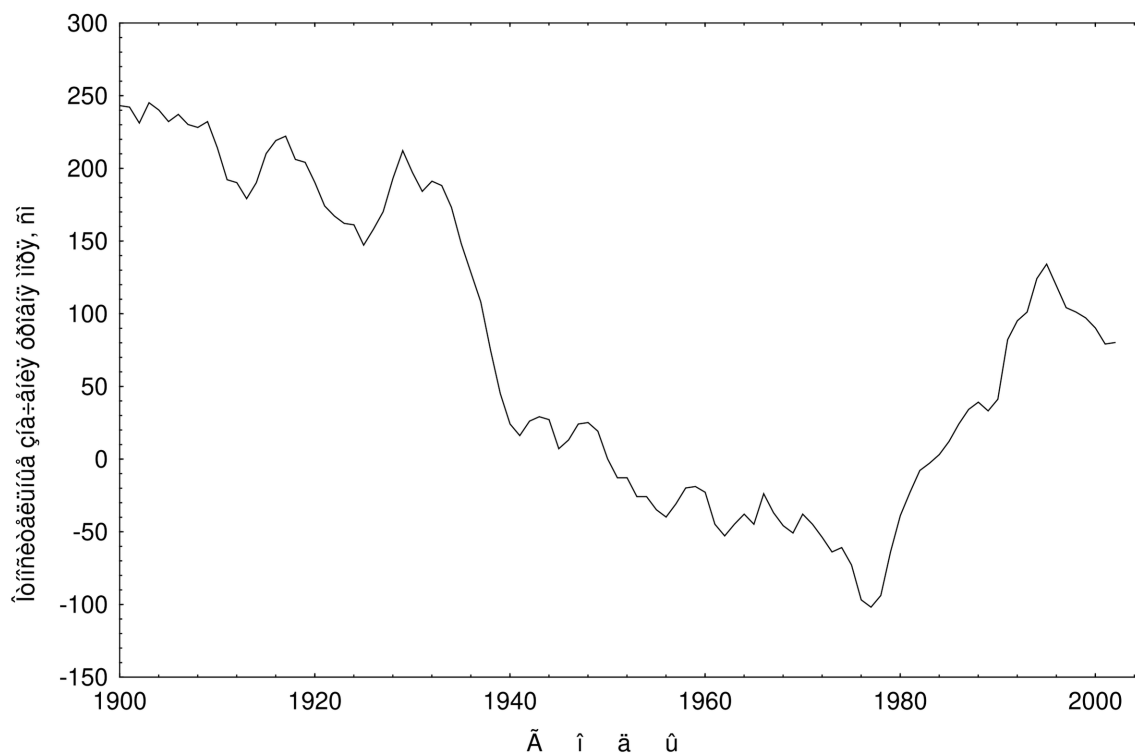


Рис. 1. Многолетний ход уровня Каспийского моря по данным наблюдений на водомерном посту Махачкала.

(Значения уровня даны в см над единым нулем Каспийского моря, равным -28,00 м абс.)

В результате применения этой процедуры многолетний ход годовых приращений УКМ можно рассматривать как случайный квазистационарный процесс (рис.2).

Для описания атмосферных процессов над северным полушарием рассматривались поля аномалий среднего месячного давления над отдельными секторами северного полушария, в пределах которых они представлялись аналитически с помощью метода разложения в ряды по естественным ортогональным функциям (ЕОФ) [11]. Коэффициенты членов ряда B_i (где i –порядок члена разложения) используются в качестве количественных

показателей атмосферной циркуляции и позволяют наиболее точно в статистическом смысле описать рассматриваемое поле малым числом членов разложения.

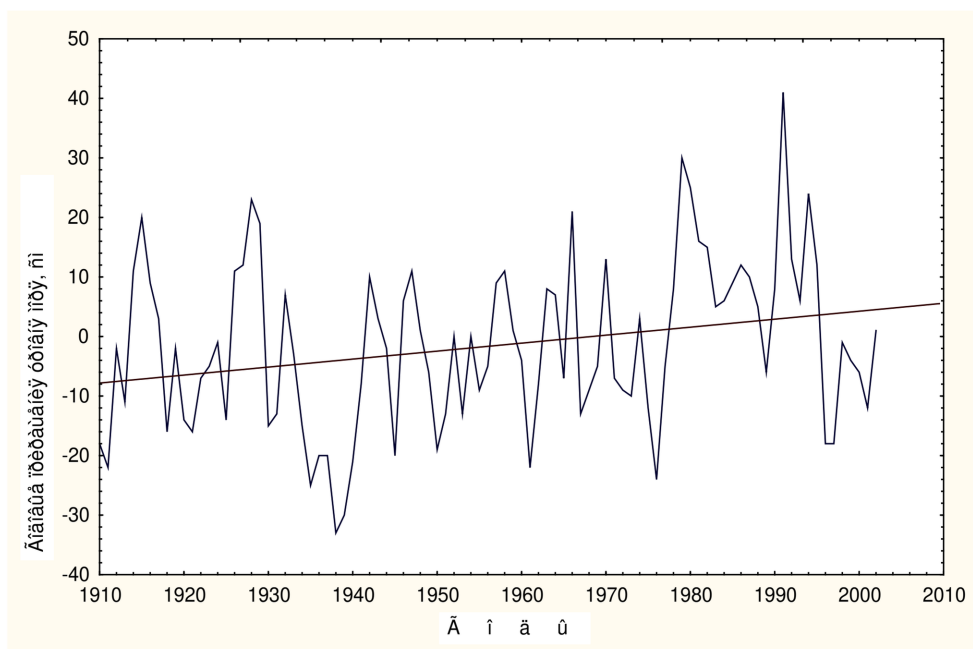


Рис. 2. График временного хода годовых приращений УКМ с трендом.

Коэффициенты разложения B_i отражают вклад каждого члена разложения в фактическую величину рассматриваемого элемента. Первые члены ряда разложения, содержащие информацию о начальной фазе и амплитуде крупномасштабных процессов, одновременно являются носителями сравнительно долговременной метеорологической памяти, что весьма важно для выполнения поставленной задачи. В работе были использованы средние годовые значения коэффициентов B_i , которые регулярно, начиная с 1910 г. рассчитываются для 5 секторов северного полушария. Архив этих данных регулярно пополняется в Гидрометцентре России.

Анализ временного хода коэффициентов разложения показывает, что имеются существенные различия в характере атмосферных процессов в отдельных секторах и их влиянии на уровенный режим Каспийского моря. В результате специально проделанной работы было выявлено, что из 5 секторов наиболее информативными для решения поставленной задачи, оказались сектор 2 и 1, данные которых и были приняты для дальнейшего исследования.

Первый сектор охватывает акваторию Северной Атлантики от 5° з.д. до 80° з.д. Примыкающий к нему второй сектор охватывает Европу и западную часть Азии до 70° в.д. Коэффициенты разложения B_i брались с нулевого до третьего порядка включительно (B_0, B_1, B_2, B_3). При этом B_0 характеризует средние значения аномалий давления для всего сектора. При $B_0 > 0$ в соответствующем секторе преобладает циклоническая деятельность, а при $B_0 < 0$ – антициклоническая. Коэффициенты B_1 и B_2 характеризуют интенсивность и направление зонального (B_1) и меридионального (B_2) переноса воздушных масс. При $B_1 > 0$ происходит ослабление общей циркуляции атмосферы, преобладает антициклоническая деятельность, что обычно ведет за собой уменьшение осадков и увеличение испарения. При $B_1 < 0$ происходит усиление общей циркуляции атмосферы в средних широтах. Это обычно приводит к усилению циклонической деятельности и, соответственно, к увеличению осадков и уменьшению испарения. При $B_2 > 0$ происходит меридиональный перенос холодного и сухого воздуха из арктического бассейна. Наоборот, при $B_2 < 0$ происходит меридиональный вынос теплого и влажного воздуха в средние широты из тропиков. Этот коэффициент, в

частности, связан с выходом южных циклонов, которые приносят на водосборный бассейн Каспия и Волги большое количество осадков, особенно в зимнее время. Коэффициент B_3 описывает более сложные формы распределения аномалий давления над соответствующим сектором и поэтому его эффект на характер гидрометеорологических процессов на водосборном бассейне Каспия трудно поддаются физической интерпретации. Их роль может быть оценена только статистически. Многолетний ход годовых значений коэффициентов B_i также как и ход годовых приращений УКМ представляет случайный процесс. В качестве примера, на рис. 3 и 4 показаны кривые многолетнего хода коэффициентов разложения B''_0 (для 2-го сектора) и B'_0 (для 1-го сектора) с трендами. Аналогичный вид имеют графики и для других коэффициентов разложения.

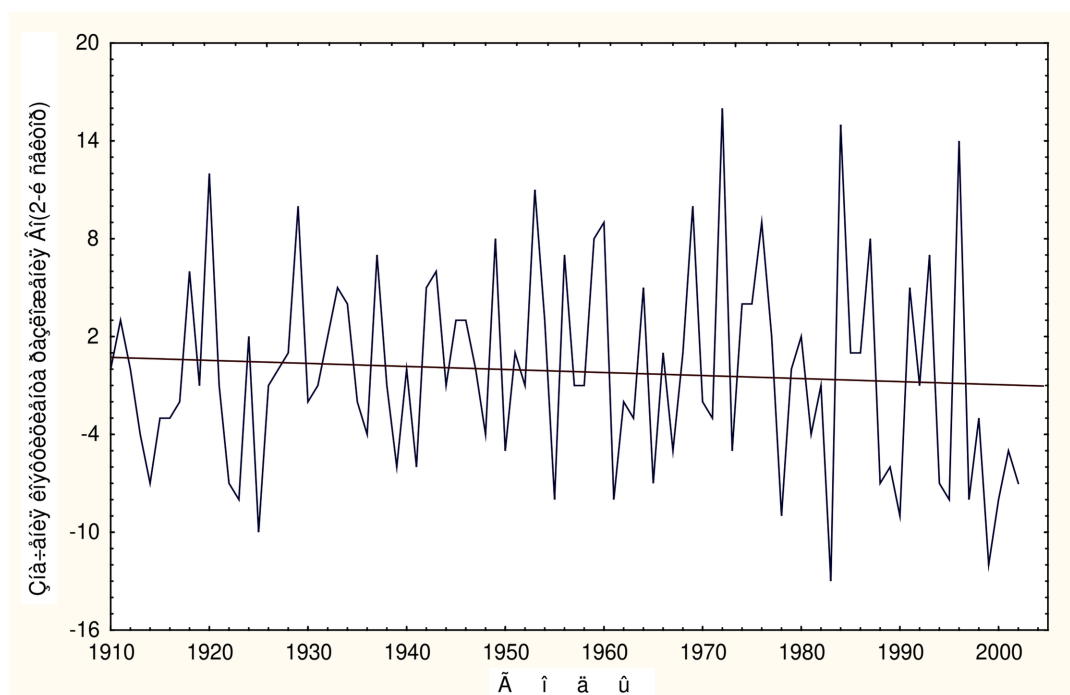


Рис. 3. График исходного временного ряда коэффициента разложения B_0 (2-й сектор).

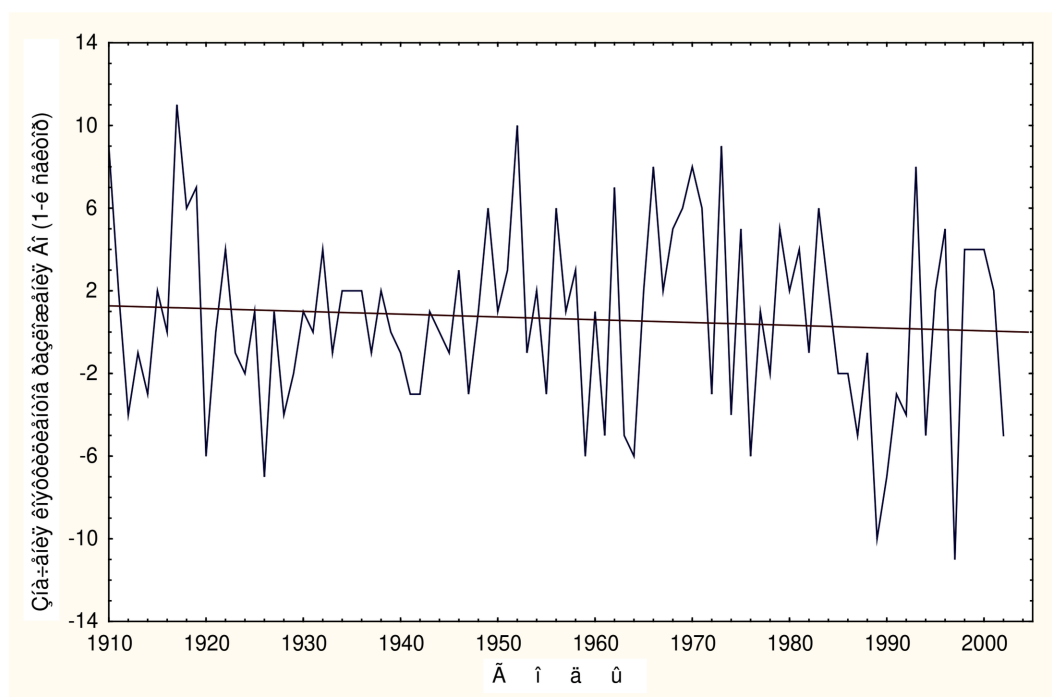


Рис. 4. График исходного временного ряда коэффициента разложения B_0 (1-й сектор) с линейным трендом.

По внешнему виду кривые на рис.3 и 4 похожи на последовательность стохастических колебаний различной продолжительности, т.е. имеют полициклический характер. Такое же распределение имеют и кривые временного хода других коэффициентов разложения. На них трудно визуально обнаружить какие-либо закономерности во временном ходе рассматриваемых величин. Их изменения от года к году происходят хаотически в довольно широких пределах. Периодограммы, автокорреляционные функции и функции спектральной плотности исходных рядов обнаруживают существование большого количества циклов различной продолжительности, что, по-видимому, может быть обусловлено не столько воздействием внешних факторов, сколько результатом суперпозиции высокочастотных и низкочастотных ритмов, затухающих реально существующие ритмы.

Для выявления реально присутствующих крупномасштабных колебаний в ходе B_i и ΔH была выполнена процедура сглаживания исходных временных рядов путем скользящего осреднения по 5-летиям.

На сглаженных кривых (рис. 5,6,7) наиболее четко проявляются крупные аномалии как в ходе ΔH , так и в ходе B_i . При этом ход ΔH в основных чертах повторяет характер хода B_i с определенными сдвигами относительно кривых B_i .

2. Статистический анализ временных рядов

Корректность методов статистического анализа, а также интерпретация результатов анализа в значительной степени зависит от некоторых основных свойств анализируемого процесса. К их числу, в первую очередь, относятся стационарность, нормальность и наличие циклических составляющих.

Стационарность сглаженных рядов проверялась по наличию трендов. Анализ трендов сглаженных кривых многолетнего хода рассматриваемых величин за период 1923-2002 гг. показывает, что ни одна из величин не имеет значимого тренда. О знаке и величине тренда можно говорить только в статистическом смысле. Однако для корректности, сначала исключались линейные тренды, после чего сглаженные ряды подвергались статистическому анализу.

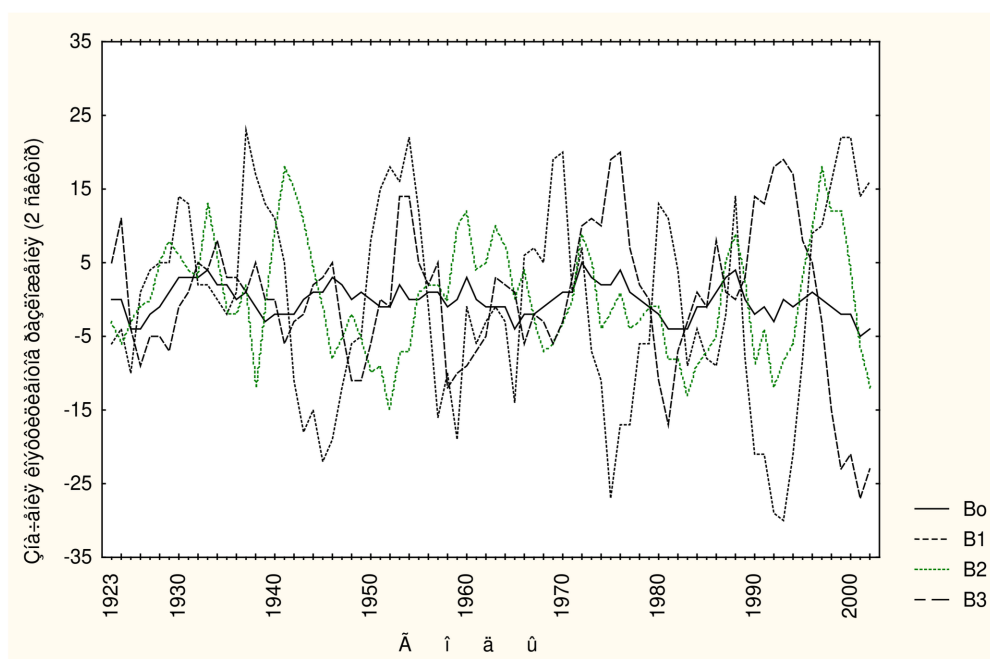


Рис. 5. Сглаженные кривые многолетнего хода коэффициентов разложения B_i (2-й сектор).

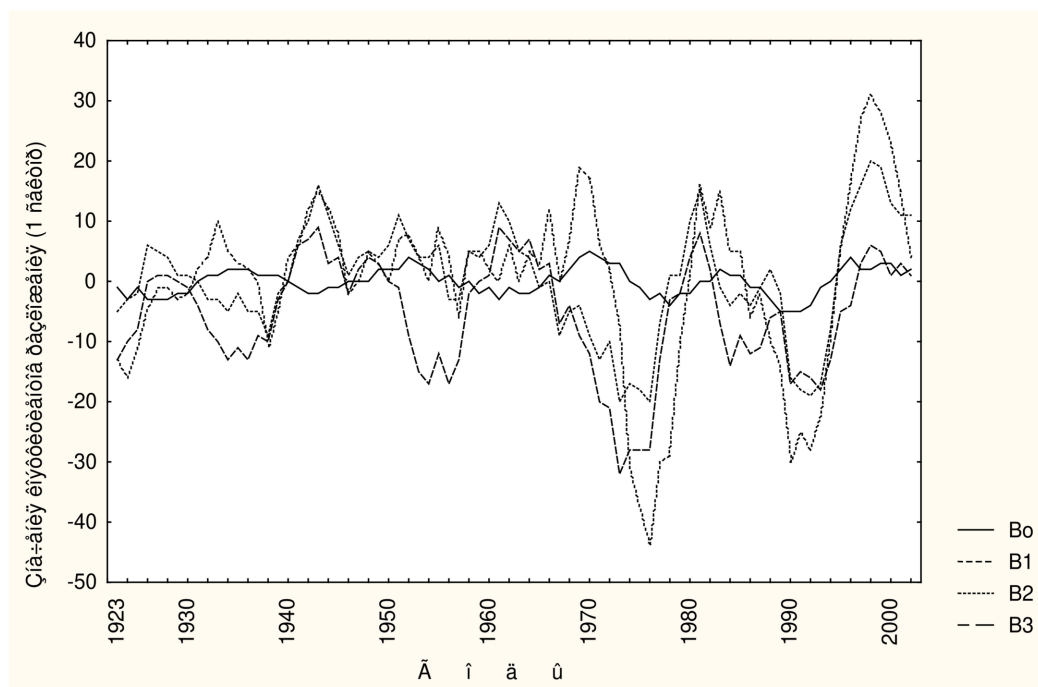


Рис.6. Сглаженные кривые многолетнего хода коэффициентов разложения B_i (1-й сектор).

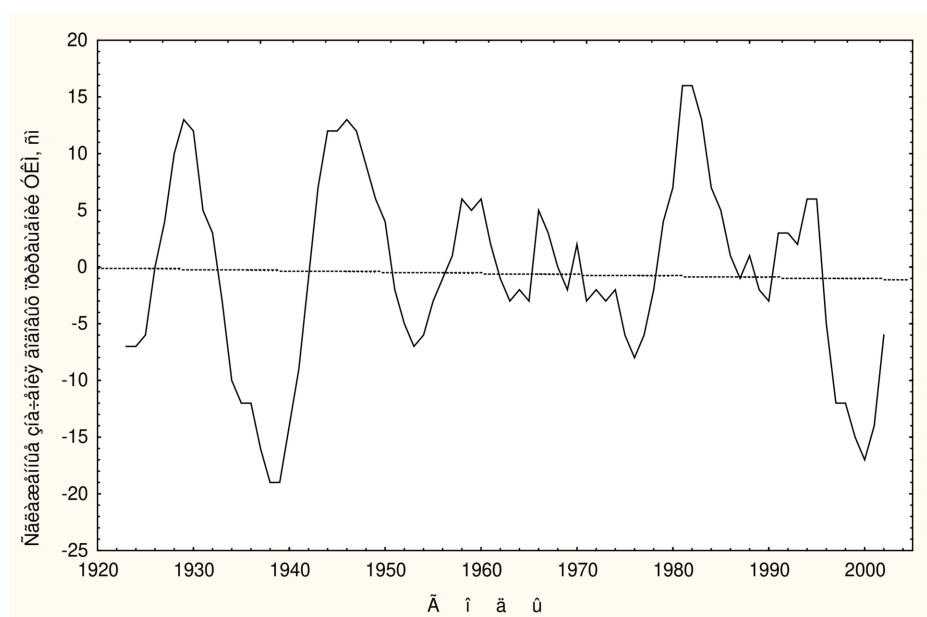


Рис. 7. Сглаженная кривая многолетнего хода годовых приращений УМК.

Проверка сглаженных рядов B_i и ΔH на нормальность осуществлялась путем оценки соответствия эмпирической плотности вероятности значений временных рядов теоретическому нормальному распределению (закону Гаусса). Для этого рассчитывались гистограммы эмпирического распределения с наложенной на них теоретической кривой нормального распределения. На рис. 8 показана гистограмма сглаженных значений годовых приращений УМК с нормальной наложенной плотностью распределения, из которого видно достаточно хорошее соответствие между эмпирической и теоретической (нормальной) кривой распределения. Такой же примерно вид имеют и гистограммы

распределения коэффициентов разложения. Кроме того, использовались другие критерии соответствия, а именно, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса и медиана, значения которых теоретически должны быть равны нулю, т.е. их выборочные (эмпирические) значения должны быть относительно малы. Рассчитанные эмпирические значения этих характеристик для рассматриваемых выборочных реализаций приведены в табл. 1.

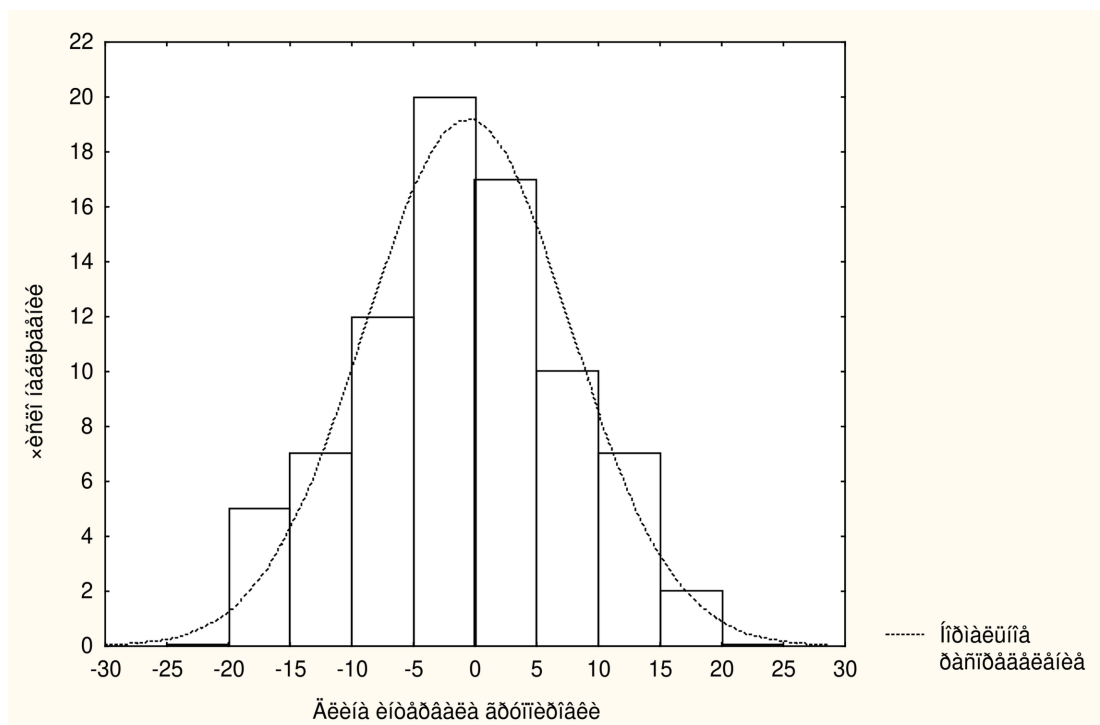


Рис. 8. Гистограмма сглаженных значений годовых приращений УКМ с нормальной наложенной плотностью распределения.

Таблица 1

Статистические характеристики многолетней изменчивости сглаженных рядов годовых приращений УКМ и характеристик атмосферной циркуляции

B_i	Среднее	Σ	min	max	Амп лит.	Дисперсия	Станд. откл.	Станд. ошибка	Коэфф. асиммет.	Коэфф. эксцесса	Медиана
B''_0	-0,15	-12	-5	5	10	4,8	2,19	0,25	0,019	-0,298	0
B''_1	-0,53	-42	-30	23	53	179,3	13,39	1,50	-0,16	-0,753	-1
B''_2	0,15	12	-15	18	33	56,9	7,54	0,84	0,307	-0,472	-1
B''_3	0,03	2	-27	20	47	93,7	9,68	1,08	-0,319	0,530	0,5
B'_0	-0,63	-5	-5	5	10	5,3	2,30	0,26	-0,081	-0,506	0
B'_1	0,42	34	-20	20	40	86,5	9,30	1,04	-0,329	-0,110	1
B'_2	0,03	2	-44	31	75	207,3	14,40	1,61	-0,797	1,109	2
B'_3	-5,66	-453	-32	9	41	89,3	9,45	1,06	-0,631	-0,027	-4
ΔH	-0,59	-47	-19	16	35	69,0	8,31	0,93	-0,17	-0,360	-1

Из таблицы видно, что для большинства рядов B_i и ряда ΔH коэффициенты асимметрии и эксцесса, а также средняя и медиана близки нулю, что говорит об их близком соответствии нормальному распределению, и, следовательно, можно говорить о квазистационарности этих рядов. Исключение составляют только ряды для коэффициентов разложения 1 сектора B'_2 и B'_3 (в таблице они выделены жирным шрифтом), для которых имеет место некоторое смещение этих характеристик от нуля. Поэтому в дальнейшем при

построении прогностических зависимостей эти коэффициенты были подвержены специальному анализу.

Также представляло интерес исследовать внутреннюю структуру сглаженных временных рядов с помощью корреляционного и спектрального анализа.

На рис. 9 в качестве примера приведена автокорреляционная функция сглаженной кривой хода годовых приращений УКМ, а на рис. 10 соответствующая ей функция спектральной плотности $S_{\Delta H}(\omega)$, дающая представление о дисперсии колебаний в многолетнем ходе ΔH . На рис.10 наиболее существенным является наличие межгодовой изменчивости сглаженных значений ΔH , для которой характерна модуляция с цикличностью 5, 12 и 18 лет, происхождение которых имеет разные причины. В частности, 5-летние циклы могут быть обусловлены северо-атлантическим колебанием атмосферы (САК), 12-летние циклы - солнечной активностью, а 18-летние циклы, по-видимому, обусловлены долгопериодными динамическими взаимодействиями в системе океан-атмосфера.

В частности, тот факт, что выборочные оценки автокорреляционной функции УКМ переходят через нулевое значение на сдвиге около 12 лет свидетельствует о возможности прогноза УКМ с 12-летней заблаговременностью по предистории атмосферных процессов.

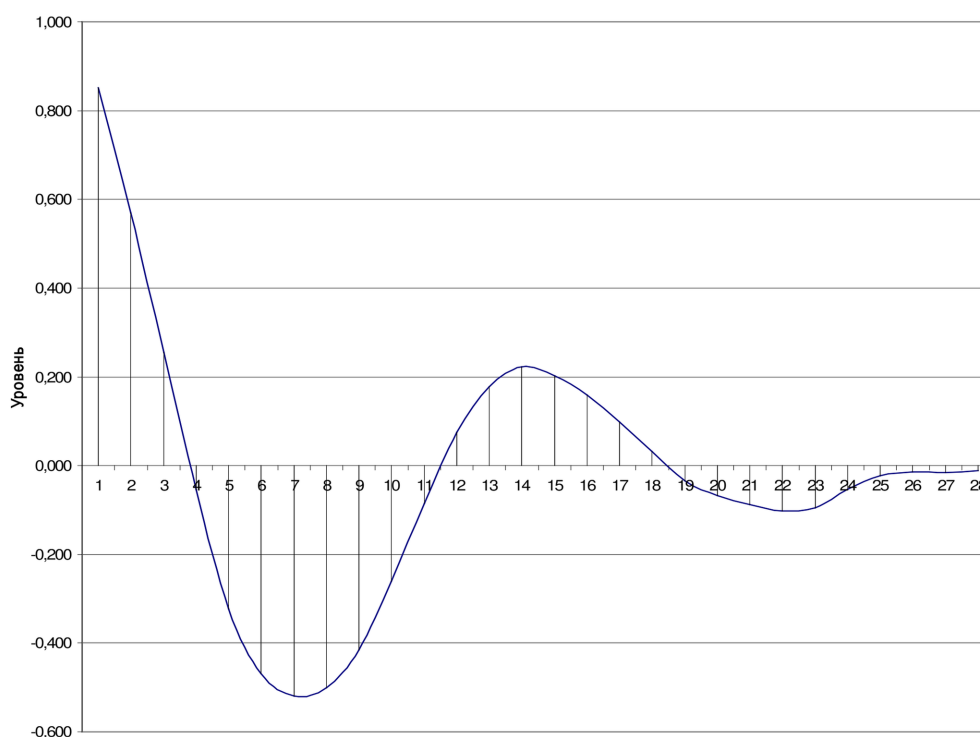


Рис. 9. Корреляционная функция сглаженной кривой многолетнего хода годовых приращений УКМ.

Что касается оценки спектров сглаженных рядов, то на них не обнаруживается большого количества пиков, как на исходных рядах, спектральные кривые имеют гладкий вид. На всех спектрах выделяются статистически значимые максимумы, сосредоточенные в интервале периодов 10 - 40 лет. В качестве примера на рис. 10 приведен график спектральной плотности сглаженной кривой хода годовых приращений УКМ. На функции спектральной плотности заметно выделяются колебания в диапазоне 12-18-летней цикличности.

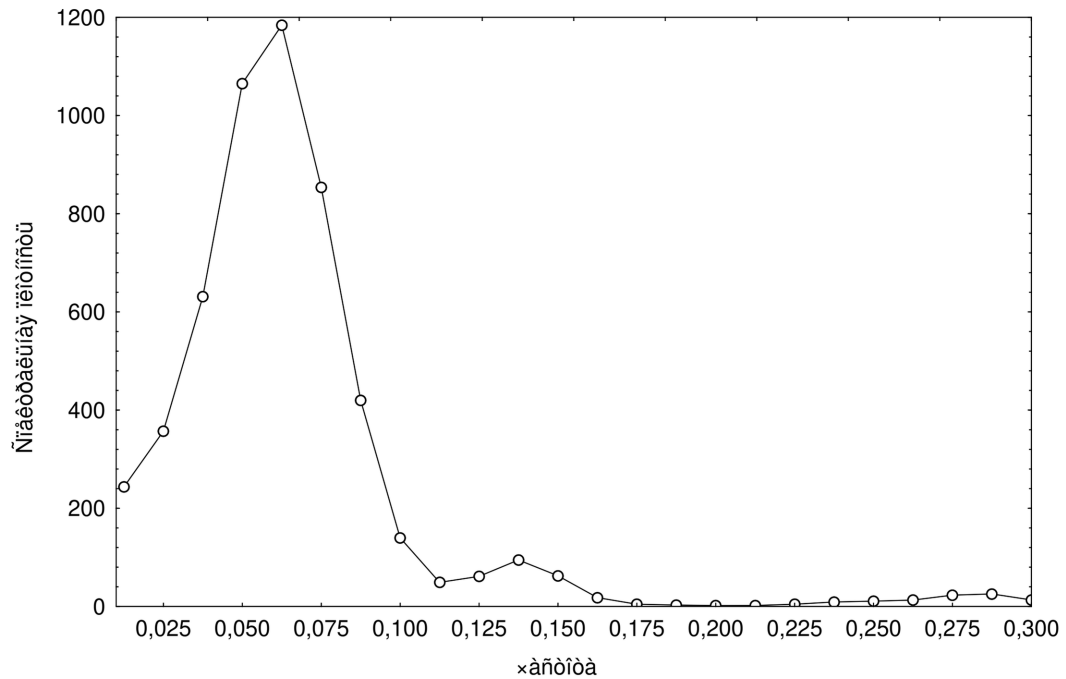


Рис. 10. График спектральной плотности сглаженной кривой годовых приращений УКМ.

3. Подготовка предиктанта и предикторов и построение прогностических зависимостей

Как было отмечено выше, при разработке модели сверхдолгосрочного прогноза фоновых изменений на большие сроки (порядка 12 лет) обычно используются интегральные характеристики планетарного масштаба, описывающие крупномасштабные атмосферные процессы и процессы аномальных колебаний УКМ. Поэтому в качестве предикторов при построении прогностических уравнений в работе использовались ряды скользящих накопленных сумм по 12-летиям отклонений коэффициентов разложения B_i от нормы ($\Sigma(\Delta B_i - \Delta B)$), а в качестве предиктанта ряд скользящих накопленных сумм по 12-летиям отклонений от нормы годовых приращений УКМ ($\Sigma(\Delta H - \Delta H)$). Затем ряд предиктанта смещался влево на 12 лет по отношению к рядам предикторов, после чего ряды выравнивались. Таким образом искалось прогностическое уравнение вида

$$\Sigma(\Delta H - \Delta H)_t = f(\Sigma(\Delta B_i - \Delta B)_{t-\Delta t})$$

Важным вопросом является выбор наиболее эффективных предикторов [6]. При этом предикторы должны быть некоррелированы между собой. Для выявления дублирующих и неэффективных предикторов рассчитывалась корреляционная матрица (табл. 2). Из таблицы видно, что некоторые пары аргументов имеют достаточно высокие коэффициенты корреляции, что говорит о их взаимосвязи. Вместе с тем из теории статистики известно, что если какая-то пара аргументов имеет коэффициент корреляции близкий к единице, то в этом случае система уравнений будет иметь неустойчивое решение. Во избежание этого, из каждой пары аргументов, имеющих коэффициент корреляции больше 0,7 (они отмечены в таблице жирным шрифтом), один из аргументов исключался. В результате выполнения этой процедуры из 8 предикторов наиболее значимыми, вносящими наибольший вклад в общую дисперсию, было отобрано только 5: B''_0 , B''_1 , B''_2 , B''_3 , B'_0 , которые и были приняты для дальнейшего рассмотрения. Из двух рассматриваемых секторов наиболее информативным является сектор 2, для которого оказались значимыми все четыре коэффициента разложения

и менее информативным сектор 1, для которого значимым оказался только один коэффициент разложения B'_0 .

Таблица 2

Корреляционная матрица сглаженных рядов B_i и ΔH

B_i	B''_0	B''_1	B''_2	B''_3	B'_0	B'_1	B'_2	B'_3	ΔH
B''_0	1	-0,09	0,29	0,45	0,09	-0,30	-0,20	-0,43	0,07
B''_1	-0,09	1	0,11	-0,48	0,53	0,43	0,56	0,24	-0,37
B''_2	0,29	0,112	1	-0,16	-0,09	0,33	0,32	0,31	-0,15
B''_3	0,45	-0,48	-0,16	1	-0,20	-0,72	-0,64	-0,72	-0,04
B'_0	0,09	0,53	-0,09	-0,20	1	0,14	0,60	-0,13	-0,26
B'_1	-0,30	0,43	0,33	-0,72	0,14	1	0,72	0,84	0,07
B'_2	-0,20	0,56	0,32	-0,64	0,60	0,72	1	0,58	0,02
B'_3	-0,43	0,24	0,31	-0,72	-0,13	0,84	0,58	1	0,22
ΔH	0,07	-0,37	-0,15	-0,04	-0,26	0,07	0,02	0,22	1

Прогностические уравнения строились с помощью метода множественной линейной пошаговой регрессии. Для поиска наиболее оптимального варианта прогностической связи применялись различные комбинации предиктанта и предикторов, различные временные преобразования исходных временных рядов – масштабы сглаживания, временные сдвиги, длина выборок, количество предикторов и т.д.

Окончательное уравнение, принятое для расчета фоновых изменений УКМ на 12 лет вперед, имеет вид

$$Y = 0,713 \cdot B''_0 - 0,243 \cdot B''_1 + 0,390 \cdot B''_2 + 0,689 \cdot B''_3 + 3,567 \cdot B'_0 - 74,861 \quad (1)$$

В табл. 3 приведены статистические оценки надежности этого уравнения, а на рис. 11 фактическая и рассчитанная по уравнению (1) кривые хода накопленных сумм годовых приращений УКМ.

Таблица 3

Статистические оценки надежности прогностического уравнения

ΔT	R	σ	S	S/σ	ρ	Q%	N	n
12	0,945	61,434	20,901	0,340	0,940	94	66	5

В этой таблице ΔT – период прогноза в годах, R- общий коэффициент корреляции, σ – среднее квадратичное отклонение прогнозируемой величины от среднего многолетнего значения (нормы), S- средняя квадратическая ошибка прогностической зависимости, ρ – корреляционное отношение, характеризующее степень линейности прогностического уравнения (при $\rho = R$ прогностическое уравнение строго линейное), Q – обеспеченность метода, N – длина ряда, n – число предикторов. Малое различие между общим коэффициентом корреляции и корреляционным отношением говорит о линейности выборочных рядов.

Характеристикой надежности и эффективности прогностического уравнения является отношение S/σ . Чем меньше S/σ , тем надежнее прогностическое уравнение. Уравнение считается применимым для выпуска оперативных прогнозов при $S/\sigma \leq 0,67$. В нашем случае величина S/σ составляет 0,34, что значительно меньше допустимого критерия. По всем

показателям табл. 3, прогностическое уравнение (1) может быть с успехом применимо для составления прогностических оценок фоновых изменений УКМ на срок до 12 лет.

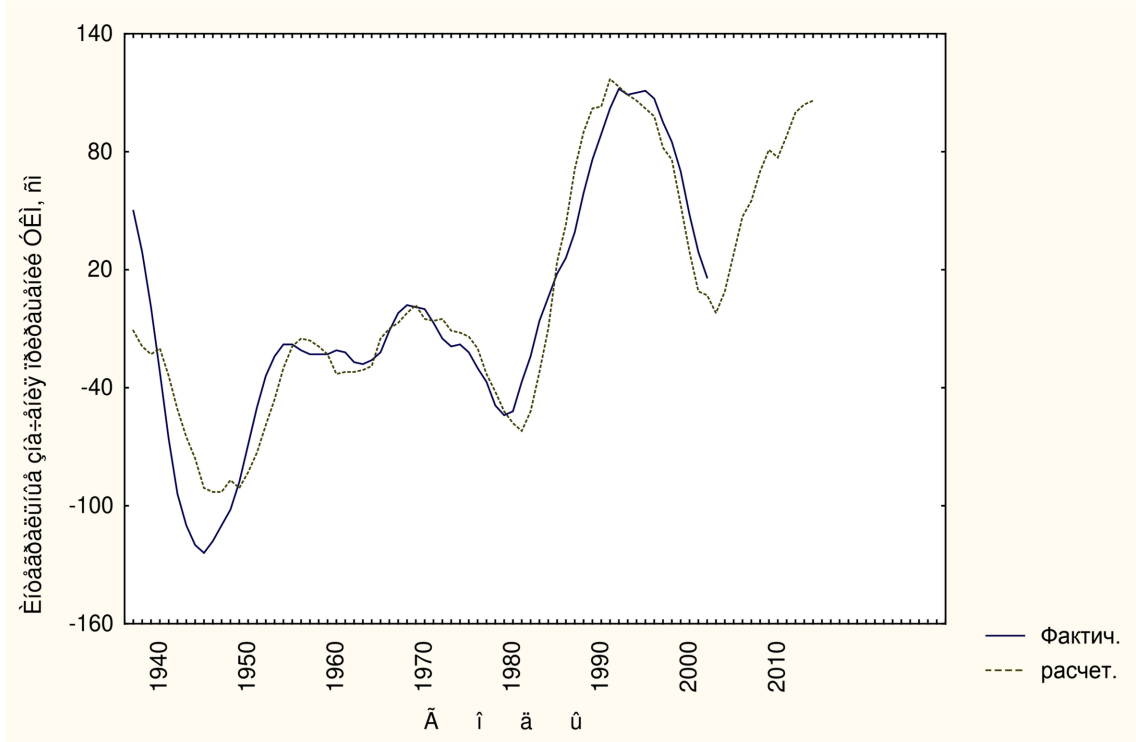


Рис. 11. Фактическая и рассчитанная по уравнению (1) кривые хода накопленных сумм годовых приращений УКМ.

В табл. 4 приведены прогностические значения приращений УКМ за 12 лет (см) и их темп изменения на каждый год, начиная с 2003 г.

Таблица 4

Прогностические значения приращений УКМ за 12 лет
и их темп изменения по годам

Годы	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Значения $\Sigma\Delta H$, см	-1,8	8,8	28,3	47,2	55,2	69,6	81,0	77,4	88,3	96,6	104,4	105,6
Темп из- менения	-	10,6	19,5	18,9	8,0	14,4	11,4	-3,6	10,9	8,3	7,8	1,2

Расчет прогностических значений накопленных сумм приращений УКМ на 12 лет осуществлялся с помощью процедуры скользящего оценивания по мере подключения новых данных. Так, суммарное приращение УКМ на 2003 г. рассчитывается путем введения в прогностическое уравнение величины ΔB_i накопленной к 1991 г. за 12 предшествующих лет, на 2004 г., накопленной к 1992 г. и т.д. Такой подход исключает необходимость обязательной проверки прогностического уравнения на независимом ряде, т.к. расчет по прогностическому уравнению в режиме скользящего оценивания позволяет сохранить его статистическую устойчивость во времени автоматически. По мере увеличения длины ряда уравнение каждый раз пересчитывается. Таким образом, статистическая модель непрерывно адаптируется к новым условиям. Такой подход особенно эффективен, когда приходится иметь дело с достаточно ограниченными объемами выборок.

В соответствии с рис. 11 и табл. 4 в ожидаемом изменении УКМ в период с 2003 по 2014 г. наблюдается тенденция роста уровня моря с незначительными колебаниями. Ожидается, что к 2014 г. уровенная поверхность моря повысится в среднем на 1 м, и будет находиться около отметки – 26,00 м абс. Эта прогностическая оценка может ежегодно

корректироваться путем пересчета прогностического уравнения с добавлением новых данных.

Заключение

Результаты исследования показали, что многолетние колебания УКМ связаны с атмосферными колебаниями планетарного масштаба. Эти результаты подтверждаются практическими расчетами. В разнообразии приемов учета влияния атмосферной циркуляции на УКМ заложены большие возможности для разработки прогностических оценок изменения УКМ, расширения границ использования метеорологической информации при прогнозе УКМ на различные сроки. Появляется возможность построения иерархической системы уравнений для прогноза УКМ на различные сроки: месяц, год, 5-6, 12 и 18 лет. Поэтому может быть предложена многоуровневая по заблаговременности и степени обобщения система сверхдолгосрочных специализированных оценок изменений УКМ. В настоящее время в методическом плане разработка такой системы подходит к завершению. Применяемый в Гидрометцентре России балансовый метод прогноза помесечного хода УКМ по 7 водпостам Каспия (Баку, о.Жилой, Махачкала, Форт-Шевченко, Туркменбаши, Куули-Маяк и Кара-Богаз-Гол) с годовой заблаговременностью и среднего уровня моря совместно со статистическим прогнозом среднего уровня моря с нулевой заблаговременностью, выпускаемый в Государственной Геофизической Обсерватории (ГГО), охватывает первый этап системы. Следующий этап, связан с разработкой сверхдолгосрочных прогнозов на 5 и 18 лет, методические основы которых также разработаны [1,2]. Завершающим этапом являются результаты настоящего исследования, в котором предложен метод прогностической оценки фоновых изменений УКМ на срок 12 лет.

Список литературы

1. Абузьяров З.К. Технология прогноза тенденций изменения УКМ на перспективу 6 и 18 лет //Сб. «Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря».- Спб.:Гидрометеоиздат.- 2003.- В печати.
2. Абузьяров З.К., Нестеров Е.С. Развитие методов и технологий морского метеорологического обслуживанию.//Гидрометцентру России.-СПб, 1999.- С. 216-231.
3. Абузьяров З.К. Состояние и перспективы прогноза колебаний уровня Каспийского моря на различные сроки в Гидрометцентре России. Международный симпозиум: природные и социально-экономические исследования, разработки и управления природными ресурсами.// Тезисы докладов.- М.: 1995
4. Арпе К., Спорышев П.В., Семенов В.А., Голицын Г.С. и др. Исследование причин колебаний уровня Каспийского моря с помощью моделей общей циркуляции атмосферы.// В кн.: Изменения климата и их последствия. – СПб.: Наука.- 2002.- С. 165-179.
5. Бабкин В.И. Сток Волги в периоды ослабления и усиления циклонической активности.// Метеорология и Гидрология. – 1995.- № 1. - С. 94-100.
6. Батырева О.В. Расчет значимости коэффициента множественной корреляции и выбор оптимального числа предсказателей.// Метеорология и Гидрология. – 1969.- № 3.- С. 49-57.
7. Белинский Н.А., Калинин Г.П. О прогнозах колебаний уровня Каспийского моря // Труды НИУ ГУГМС.- 1946.- Серия IV.- Вып.37.- С.3-22.
8. Белинский Н.А. Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов // Гидрометеоиздат.- 1957.- 203 с.
9. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде WINDOWS //М.:«Филинь».- 1998.- 608 с.

10. Будыко М.И., Ефимова И.А., Лобанов В.В. Будущий уровень Каспийского моря //Метеорология и Гидрология.- № 5.- 1988.- С.86-94.
11. Глаголева М.Г. Таблицы коэффициентов разложения в ряды по естественным составляющим полей аномалий среднего месячного давления над северным полушарием. - М.: 1977.- 164 с.
12. Голицын Г.С., Дзюба А.В., Осипов А.Г., Панин Г.Н. Региональные изменения климата и их проявления в современном подъеме уровня Каспийского моря //Доклады АН СССР.- 1980.-Т.313.- № 5.- С. 1224-1227.
13. Зайцева И.С. Многолетние колебания стока Волги и глобальные изменения климата // Известия РАН.- Сер.географич.-1996.-№ 5.- С. 45-54.
14. Иващенко Н.Н., Кутало А.А., Сонечкин Д.М. Каспий и климат. 2. Многомасштабные связи колебаний уровня Каспия и характеристик климата //Метеорология и Гидрология.- 2002.- № 6.- С.65-71.
15. Ким И.С., Никулина С.П. Изменения уровня Каспийского моря и циркуляция атмосферы // Метеорология и Гидрология.- 1994.- № 7. – С.16.
16. Мещерская А.В., Голод М.П., Белянкина И.Г. Колебания уровня Каспийского моря в связи с особенностями общей циркуляции атмосферы в XX веке //В кн. «Изменения климата и их последствия».- СПб.: Наука.- 2002.- С.180-195.
17. Нестеров Е.С. Климатические тренды характеристик атмосферы и океана в атлантико-европейском регионе // Труды Гидрометцентра России.- 2000.- Вып.332.- С.74-80.
18. Никонова Р.Е., Бортник В.Н. Характеристика межгодовой и сезонной изменчивости составляющих водного баланса и уровня Каспийского моря за период его современного повышения // Водные ресурсы.- 1994.-Т.21.- № 4.- С. 410-414.
19. Руководство по морским гидрологическим прогнозам // С-Пб.: Гидрометеиздат.- 1994.- 525 с.
20. Сидоренков Н.С., Швейкина В.И. Исследование климатического режима бассейна Волги и Каспийского моря за последнее столетие // Водные ресурсы.- 1996.- Т.23.- № 4.- С. 401-406.
21. Смирнова К.И. Водный баланс и долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря // Труды Гидрометцентра СССР.- 1972.- Вып. 94.- 122 с.
22. Шереметевская О.И., Лунякова Л.Г. Опыт обеспечения народного хозяйства долгосрочными прогнозами уровня Каспийского моря //Труды Гидрометцентра СССР.- 1985.-Вып. 270.- С. 36-42.
23. Rodionov S.N. Global and regional climate interaction: The Caspian Sea Experience. Kluwer academic publishers.- Dortrecht; Boston; London.- 1994, 239 p.