

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОНОВОГО ПРОГНОЗА УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА СРОК 6 ЛЕТ

Задача сверхдолгосрочного прогноза уровня Каспийского моря (УКМ) возникла, прежде всего, из требований практики [8]. Происходящие аномальные колебания уровня Каспийского моря, сопровождающиеся осушением или, наоборот, затоплением значительных прибрежных территорий, оказывают негативное влияние на многие аспекты экономики стран Каспийского региона. Наиболее ощутимыми для экологии и хозяйственной деятельности стран Каспийского региона являются многолетние изменения экстремумов величин и экстремумов продолжительностей периодов спада и подъема уровня Каспийского моря. Так, продолжительный подъем УКМ в период с 1978 по 1995 г. почти на 2,5 м привел к затоплению больших площадей прибрежной территории, нанеся огромный ущерб экономике прибрежных стран. Его разрушительные последствия были столь же драматичными, как и последствия продолжительного падения уровня моря в период с 1933 по 1977 г. (рис. 1).

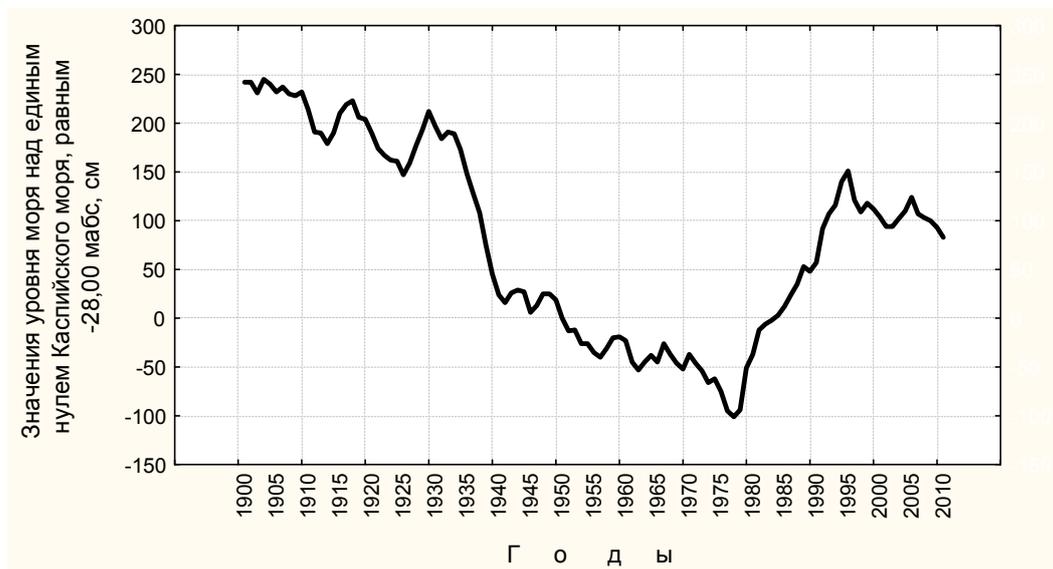


Рис. 1. Многолетний ход уровня Каспийского моря.

Одним из путей защиты населения и прибрежной инфраструктуры в периоды отступления и наступления на берега вод Каспия является долгосрочное планирование защитных мер с учетом реальной динамики водоема и его берегов и их периодическая корректировка. В этом плане долгосрочный прогноз УКМ может дать огромные экономические выгоды. Подсчитано, что каждый вложенный доллар в разработку прогноза

УКМ позволяет получить экономический эффект 5–10 долларов. Поэтому проблема сверхдолгосрочного прогноза уровня Каспийского моря была и остается весьма актуальной.

1. Метод исследования

В основу разработки физико-статистического метода сверхдолгосрочного прогноза УКМ была положена климатическая концепция, заключающаяся в том, что природа многолетних колебаний УКМ климатическая, т.е. колебания УКМ тесно связаны с компонентами климата, прежде всего с атмосферной циркуляцией над крупными регионами Северного полушария. Как показывают многочисленные исследования, влияние циркуляции атмосферы сказывается на основных процессах, формирующих уровенный режим Каспийского моря (сток рек, осадки, испарение). Также показано, что реакция УКМ на те или иные формы атмосферной циркуляции наступает не сразу, а с некоторым запаздыванием. Время запаздывания колеблется в довольно широком диапазоне и зависит от того, как долго будут сохраняться те или иные формы циркуляционных процессов над бассейном Каспия. Исходя из климатической природы многолетних колебаний УКМ, была сформулирована стратегия исследования, заключающаяся в поисках эффективных асинхронных связей между изменениями УКМ и атмосферными процессами, протекающими над крупными регионами Северного полушария. Впервые такой подход к долгосрочному прогнозу УКМ был удачно применен еще в середине прошлого столетия Н.А. Белинским и Г.П. Калининским [4, 5] и получил дальнейшее развитие в работах К.И. Смирновой и др. [10, 11]. Прогнозы УКМ по методике Белинского-Калинина-Смирновой (БКС) выпускались с 1951 года. Средняя оправдываемость прогнозов при допустимой погрешности 40 см составляла 77 %. Однако в силу эмпирической природы методика начиная с 1975 г. стала давать сбои, и в 1982 г. официальный выпуск прогнозов по этой методике был прекращен.

В последние годы в ФГБУ «Гидрометцентр России» были возобновлены исследования по долгосрочному прогнозированию УКМ. Накопленные к этому времени ряды наблюдений за атмосферными процессами и уровнем моря, новые знания о причинах многолетних колебаний УКМ и возросшие вычислительные возможности позволили по-новому подойти к решению проблемы долгосрочного прогноза УКМ [1–3]. Строить абсолютно точный прогноз УКМ на несколько лет вперед на современном уровне знаний – задача неразрешимая. Но такая цель и не ставилась. Речь идет о возможности получения прогностических оценок изменений УКМ с ошибкой, лежащей в допустимых интервалах, удовлетворяющих требованиям практики.

Разработка физико-статистического метода сверхдолгосрочного прогноза УКМ проводилось в два этапа.

На первом этапе формировались временные ряды предикторов, в качестве которых использовались количественные показатели атмосферной циркуляции, а в качестве предиктанта использовался временной ряд годовых приращений УКМ, после чего все исходные ряды проверялись на стационарность, нормальность, периодичность и наличие трендов.

На втором этапе на основе выявленных закономерностей в первом этапе строились различные варианты уравнений регрессии, из них выбирался наиболее оптимальный вариант и оценивалась его прогностическая эффективность.

Таким образом, основой физико-статистического метода прогнозных оценок изменений УКМ на срок до 6 лет служит уравнение регрессии, основанное на количественном учете предшествующих атмосферных процессов.

2. Исходные материалы

В качестве исходных материалов использовались данные наблюдений за уровнем моря по водомерному посту Махачкала за период с 1910 по 2009 г. (длина ряда 99 лет), который обеспечивает наиболее длинный ряд однородных наблюдений (без пропусков) на российском побережье Каспийского моря и практически повторяет многолетний ход среднего уровня моря ($R=0,90$).

Многолетний ход уровня Каспийского моря (рис. 1) имеет ярко выраженную нелинейность. Чтобы исключить или по крайней мере существенно уменьшить ее, исходный ряд приводился в соответствие с моделью стационарного случайного процесса с тем, чтобы к нему можно было применить аппарат линейной математической статистики. Для этого в качестве показателя изменчивости УКМ брались не сами значения уровня, а их приращения в смежные годы, так называемые первые разности ΔH , вычисляемые по формуле

$$\Delta H = H_i - H_{i-1}, \quad (1)$$

где H_i – уровень моря текущего года; H_{i-1} – уровень моря предшествующего года. После выполнения данного преобразования исходный ряд приобретает характер случайного процесса (рис. 2).

При разработке метода прогноза УКМ в качестве предикторов использовались коэффициенты разложения в ряды по естественным составляющим (ЕС) полей аномалий атмосферного давления на уровне моря, рассчитанные за период с 1910 по 2009 г. Способ нахождения ЕС описан в [6]. Основное преимущество такого подхода заключается в максимальной скорости сходимости ряда разложения и возможности физической интерпретации результатов разложения. Он позволяет представить основную информацию

об исходных полях компактно первыми несколькими коэффициентами ряда разложения и производить целенаправленный отбор наиболее информативных компонентов.

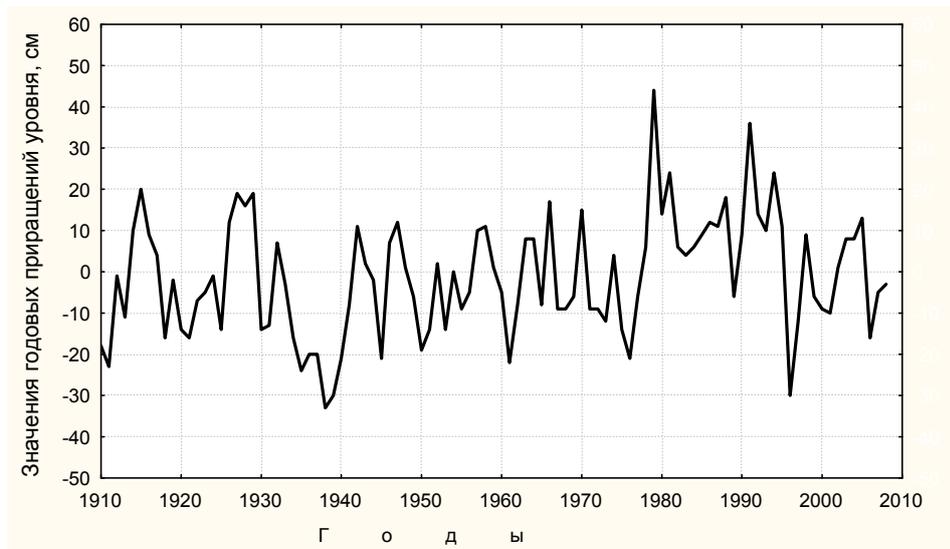


Рис. 2. График многолетнего хода годовых приращений УКМ по водомерному посту Махачкала.

Для расчета коэффициентов разложения по ЕС все Северное полушарие было разбито на пять больших секторов, из них для разработки метода было отобрано три наиболее информативных сектора: I сектор – Атлантический океан, II сектор – Европа, III сектор – Азия (рис. 3), которые характеризуют атмосферные процессы, протекающие над Северной Атлантикой, Европой и Азией. Для каждого сектора была определена сеть равномерно расположенных точек, в которых снимались среднемесячные значения аномалий приземного атмосферного давления, по данным которых были рассчитаны естественные составляющие и коэффициенты разложения [6, 7].

Кроме того, рассматривался VI сектор, представляющий комбинацию I и II секторов и охватывающий атлантико-евразийскую территорию. Для него коэффициенты разложения брались как средние из значений коэффициентов разложения I и II секторов.

Следует отметить, что все отобранные сектора имеют характерные природные различия, обусловленные региональной спецификой направления воздушных потоков и их интенсивностью, связанные с общей циркуляцией атмосферы над Северным полушарием. Характерное распределение регионального преобладания приземных аномалий давления сведено таким образом к нескольким барическим шаблонам, которые используются при анализе циркуляции в пределах каждого сектора.

В изменчивости величин и знаков коэффициентов разложения по секторам отмечаются определенные закономерности, которые были использованы при отборе предикторов.

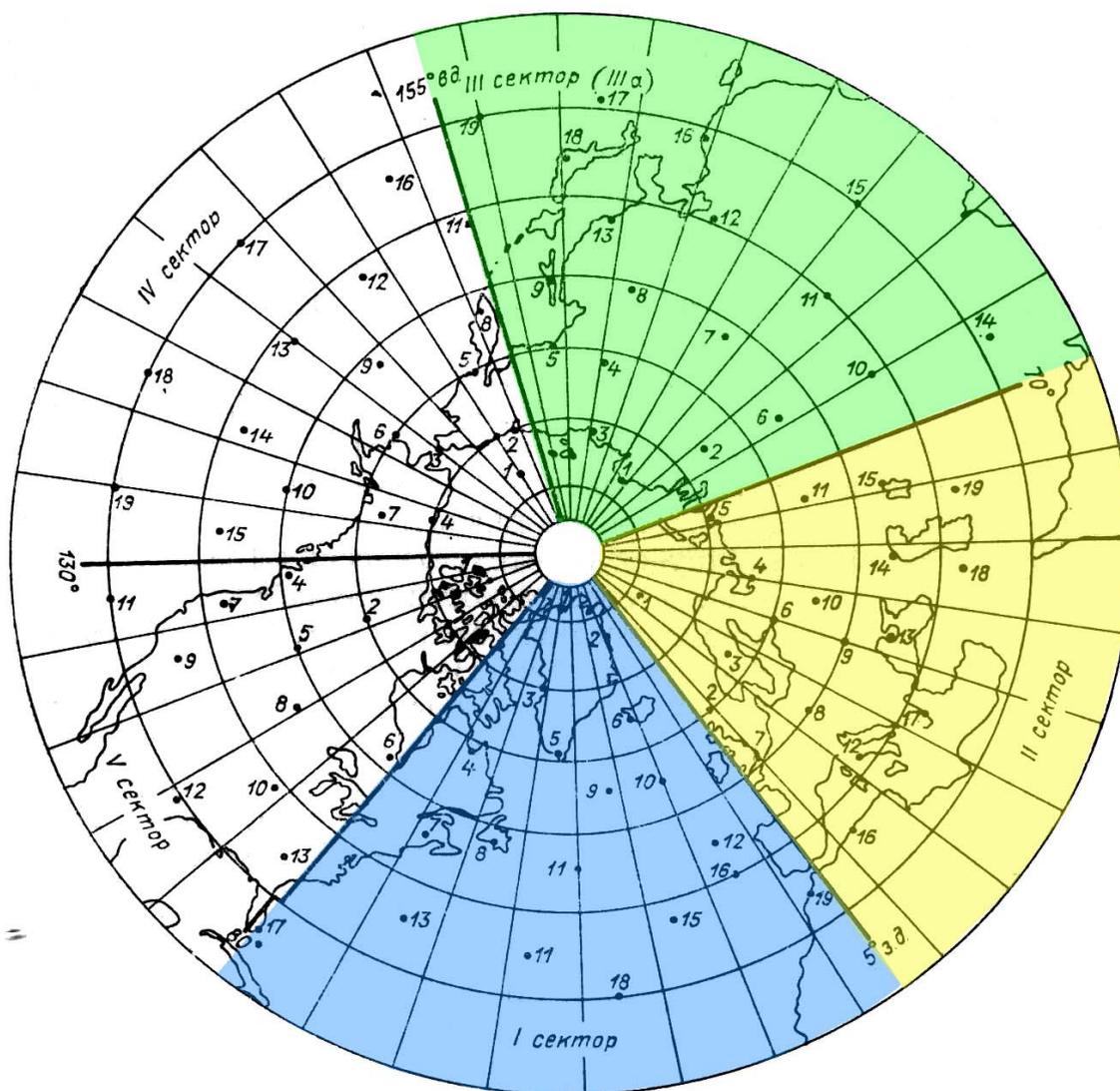


Рис. 3. Сектора для расчета коэффициентов разложения.

3. Обработка временных рядов

Разработка прогноза УКМ на большие сроки неизбежно требует соответствующего увеличения масштабов осреднения исходных рядов по времени, чтобы выявить наиболее характерные особенности (аномалии) процессов и их тенденции. Для выявления крупномасштабных аномалий была выполнена процедура сглаживания исходных рядов. Для этого из исходных рядов с помощью процедуры скользящего сглаживания были отфильтрованы низкочастотная (вековой ход) и высокочастотная части спектра (с периодами менее 5 лет). После выполнения процедуры фильтрации исходных рядов стали четко проявляться основные особенности в многолетнем ходе годовых приращений УКМ (рис. 4) и коэффициентов разложения по естественным составляющим (рис. 5).

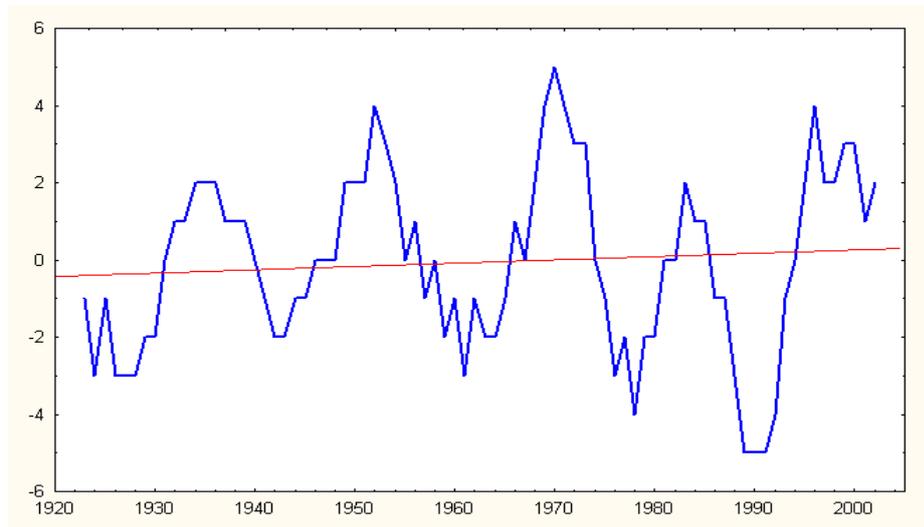


Рис. 4. Кривая многолетнего хода с трендом годовых приращений УКМ после исключения векового хода и высокочастотных составляющих.

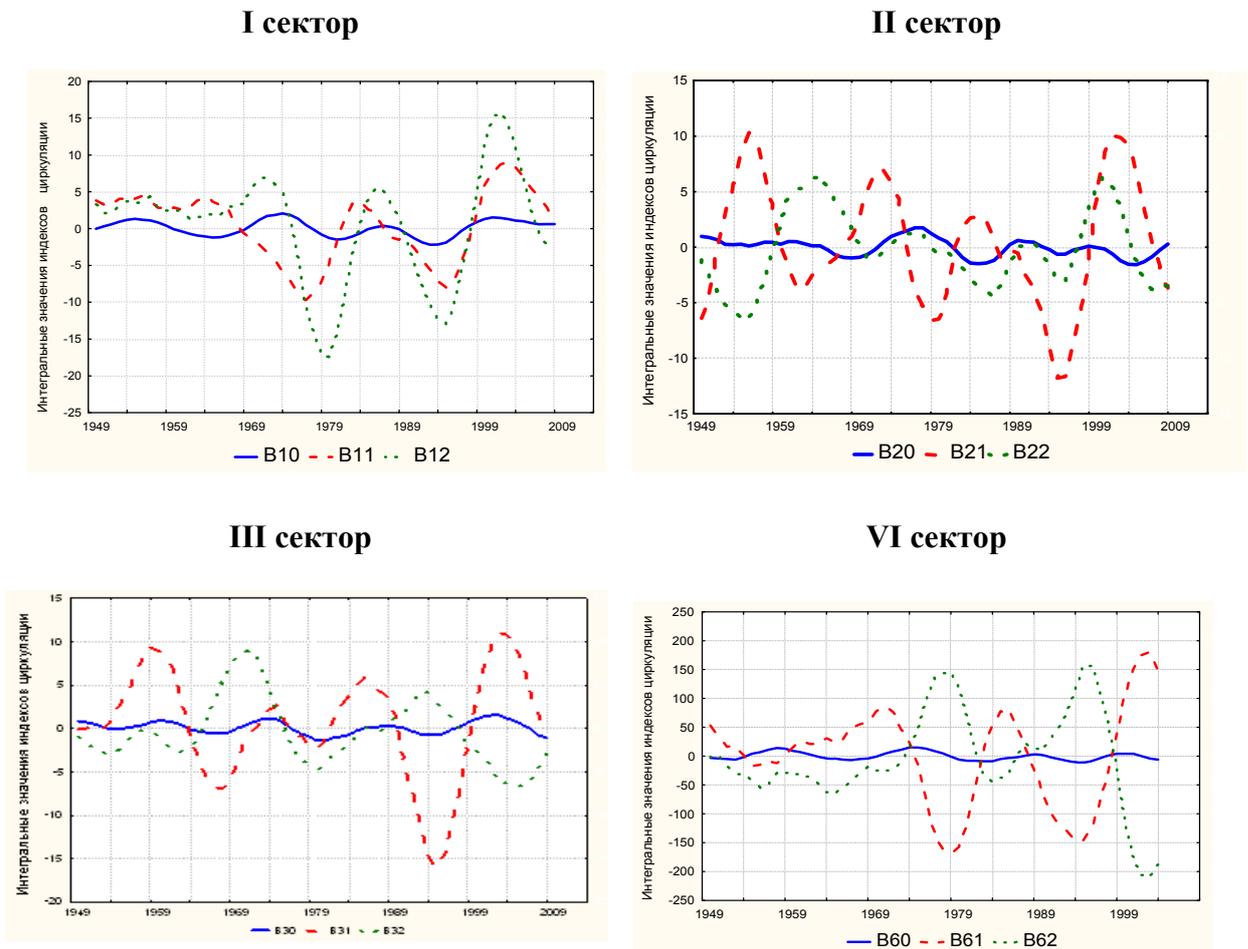


Рис. 5. Сглаженные кривые многолетнего хода коэффициентов разложения для четырех секторов.

На сглаженных кривых наиболее четко проявляются крупные аномалии как в ходе годовых приращений УКМ (ΔH), так и в ходе коэффициентов разложения (B_i). При этом

оказалось, что многолетний ход годовых приращений уровня моря в основных чертах повторяет ход показателей атмосферной циркуляции, но с определенными сдвигами относительно друг друга.

Наиболее информативной статистической характеристикой квазистационарных процессов является автокорреляционная функция. Корреляционный анализ рассматриваемых рядов показал, что наиболее характерной длительностью ритмов (но не периодов) являются квазикратные интервалы 18–20, 10–12 и 5–6 лет. Указанные ритмы обнаруживаются как в сглаженных рядах показателей атмосферной циркуляции, так и в сглаженных рядах УКМ. Детальный анализ изменчивости, концентрирующейся в диапазонах низких частот, позволяет сформировать стратегию сверхдолгосрочного прогноза УКМ. В качестве примера на рис. 6 представлена автокорреляционная функция сглаженных значений годовых приращений УКМ. Для прогнозирования УКМ на 6 лет подбирался свой оптимальный ритм, равный 6 годам.

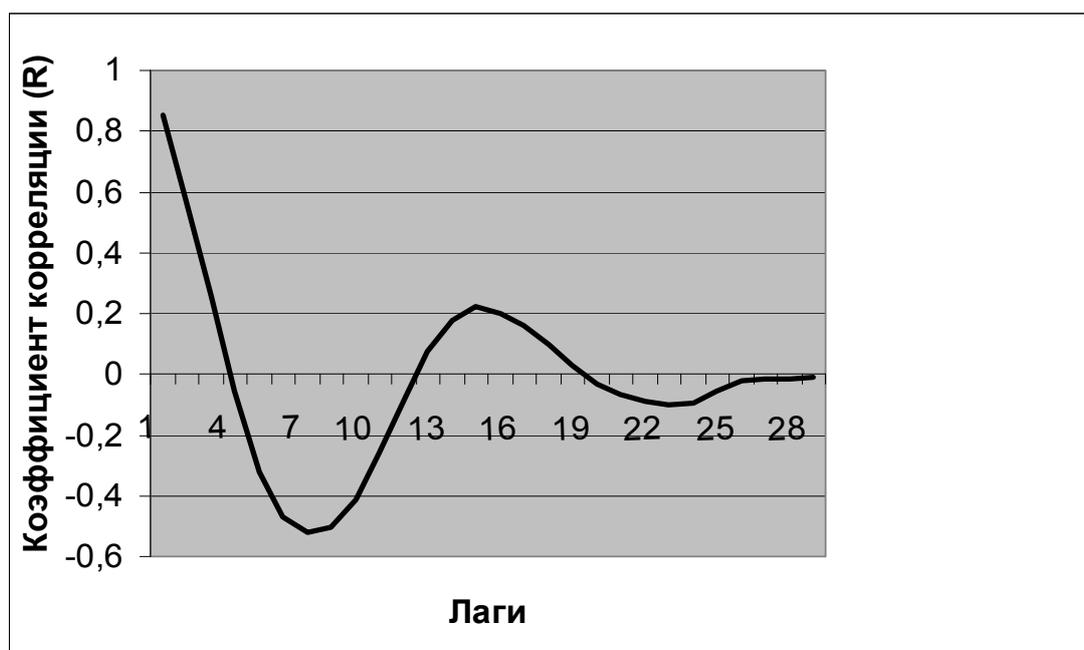


Рис. 6. Автокорреляционная функция сглаженных значений годовых приращений УКМ.

Анализ трендов сглаженных кривых многолетнего хода рассматриваемых величин показывает, что ни одна из величин не имеет значимого тренда. О знаке и величине тренда можно говорить только в статистическом смысле. Тренды выражены слабо, для корректности они исключались. Для этого по уравнениям регрессии определялись значения тренда на каждый год, которые затем вычитались из исходного ряда.

Проверка на нормальность выполнялась путем расчета гистограмм эмпирического распределения с наложенной на них теоретической кривой нормального распределения. На

рис. 7 показана гистограмма сглаженных значений годовых приращений УКМ с наложенной нормальной плотностью распределения.

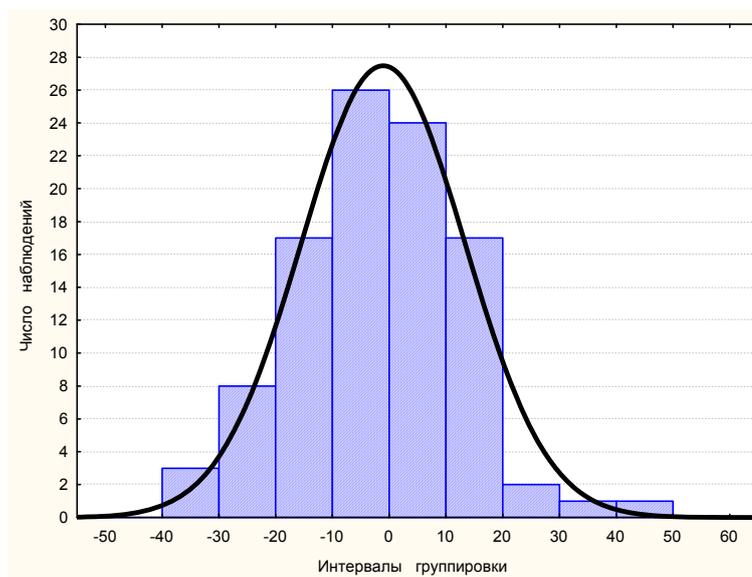


Рис. 7. Гистограмма сглаженных значений годовых приращений УКМ с наложенной нормальной плотностью распределения.

Из рисунка видно, что эмпирическое распределение достаточно хорошо соответствует теоретической кривой нормального распределения.

4. Построение прогностических уравнений регрессии и их анализ

Отбор наиболее значимых уравнений регрессии осуществлялся по схеме

$$(\Delta\Sigma H)_{t+\Delta t} = b_0 + a_i (\Sigma B_i)_t + d, \quad (2)$$

где $(\Delta\Sigma H)_{t+\Delta t}$ – накопленная сумма годовых приращений УКМ на момент прогноза; $(\Sigma B_i)_t$ – накопленная сумма коэффициентов разложения за предшествующие 6 лет от момента составления прогноза; b_0 – свободный член; a_i – коэффициенты регрессии; d – ошибка прогноза (белый шум).

Ряды предикторов и предиктанта формировались путем скользящего суммирования рассматриваемых величин по интервалам заблаговременности, т.е. по 6-летиям. Иными словами, если исходные накопленные суммы коэффициентов разложения брались за годы 1991–1996, 1992–1997 и т.д., то среднегодовые приращения УКМ рассчитывались за годы 1997–2002, 1998–2003 и т.д.

Использованный прием скользящего оценивания исключает необходимость обязательной проверки прогностического уравнения на независимом ряде, так как расчет по прогностическому уравнению в режиме скользящего оценивания позволяет сохранить его

статистическую устойчивость во времени автоматически. Такой прием особенно эффективен, когда приходится иметь дело с достаточно ограниченными объемами выборок.

Для учета информативности тех или иных секторов в экспертном порядке было реализовано три регрессионных модели априорной оценки прогноза УКМ на 5 и 6 лет, оценивающих вклад отдельных секторов (или их совокупности) в общую дисперсию изменчивости УКМ.

В первой модели (М1) в качестве предикторов учитывались коэффициенты с разложения I и II секторов за период с 1910 по 2009 год, во второй (М2) – коэффициенты разложения III и VI секторов за период с 1931 по 2009 год и в третьей модели (М3) – коэффициенты разложения I, II и III секторов за период с 1931 по 2009 год. В качестве предиктанта во всех моделях использовался ряд накопленных по 6-летиям сумм годовых приращений УКМ. Поиск корреляционных связей осуществлялся методом пошаговой множественной линейной регрессии. Его преимущество заключается в том, что он позволяет одновременно учесть несколько предикторов и расставить их в порядке приоритетности.

5. Проверка методики

Оценка значимости и целесообразности практического применения прогностических уравнений осуществлялась на основе следующих статистических характеристик: общего коэффициента корреляции R , среднеквадратичной ошибки прогноза (стандарт) S , критерия Фишера F , среднеквадратичного отклонения прогноза от нормы σ . Практическая применимость (эффективность) метода оценивалась по отношению S/σ (табл. 1). В таблице Δt – заблаговременность прогноза.

Таблица 1

Статистические характеристики уравнений регрессии по трем моделям

Модель	Δt , лет	R	S	F	σ	S/σ
М1	5	0,954	11,4	73	38,4	0,297
	6	0,979	11,4	154	34,2	0,333
М2	5	0,908	10,7	34	37,4	0,286
	6	0,988	8,6	268	28,2	0,299
М3	5	0,973	6,9	109	26,3	0,262
	6	0,982	5,6	155	26,3	0,213

Анализ результатов расчетов показал, что параметры уравнений регрессии в каждой из моделей отличаются друг от друга в зависимости от количества предикторов, длины ряда и заблаговременности прогноза. Следует отметить, что все модели дают удовлетворительные результаты и отвечают требованиям [9]. Однако модель М3, которая учитывает восточные атмосферные процессы, по точности превосходит первые две для заблаговременностей 5 и 6

лет. Это подтверждает тот факт, что на уровенный режим Каспия оказывают влияние атмосферные процессы не только с запада, но и с востока. На рис. 8 показано, что именно учет атмосферных процессов с востока делает модель М3 (верхняя пунктирная кривая) более приоритетной. Она характеризуется более высокими коэффициентами корреляции и большей временной устойчивостью, чем модели М1 и М2.

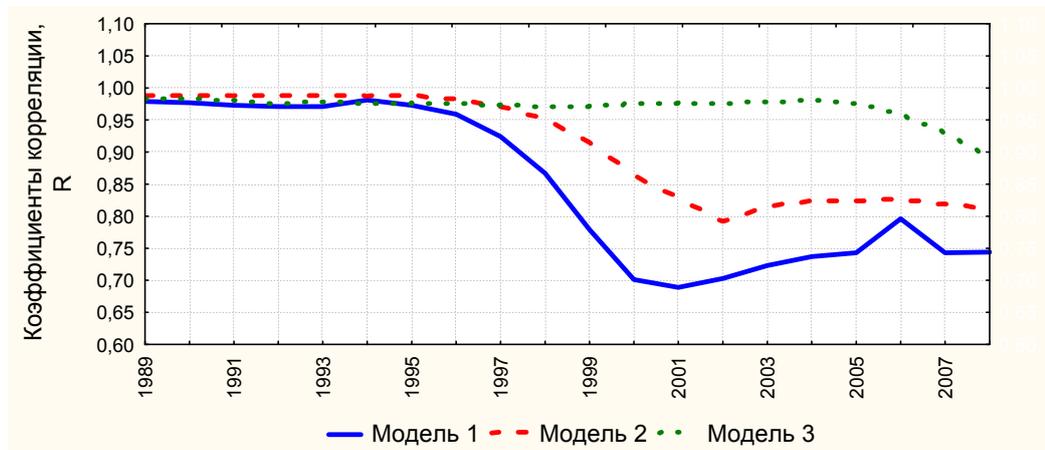


Рис. 8. Временной ход коэффициентов корреляции по трем моделям.

Кроме того, анализ результатов расчетов показал, что наиболее устойчивые связи получаются для заблаговременности 6 лет. Это хорошо видно на рис. 9, на котором показан ход коэффициентов корреляции уравнений регрессии, построенных по модели М3 для заблаговременностей 5 и 6 лет.

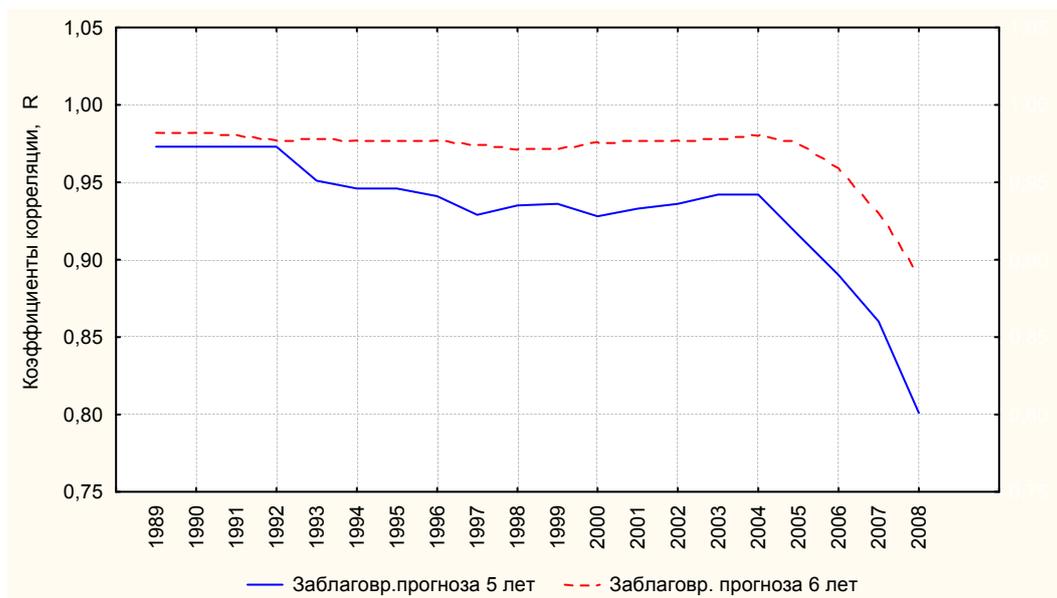


Рис. 9. Временной ход коэффициентов корреляции уравнений регрессии, построенных по модели М3 для заблаговременностей 5 и 6 лет.

На основании этих результатов за основу была принята модель М3, по которой выполнялись проверочные прогнозы изменений уровня моря на срок до 6 лет.

Конкретное выражение уравнения регрессии для модели МЗ имеет вид:

$$y = -1,1349 - 1,4V_0^{\text{III}} + 0,601V_1^{\text{III}} + 0,316V_2^{\text{III}} + 0,718V_0^{\text{II}} + 0,098V_2^{\text{II}} + 0,066V_0^{\text{I}} + 0,093V_1^{\text{I}}. \quad (3)$$

Здесь $y = \sum_{i=1}^n (\Delta H)_{t+\Delta t}$ – накопленные по 6-летиям суммы годовых приращений УКМ; V – коэффициенты разложения. Верхний индекс при V обозначает номер сектора, а нижний – порядковый номер коэффициента разложения. Коэффициент детерминации уравнения регрессии $R^2=0,981$, стандартная ошибка $S = 4,037$. Уравнение (3) учитывает семь наиболее информативных коэффициентов разложения, относящихся к трем секторам (МЗ). Для III сектора наиболее информативными коэффициентами являются V_0 , V_1 и V_2 , для II сектора – V_0 и V_2 , и для I сектора – V_0 и V_1 . При этом следует иметь в виду, что эти коэффициенты отражают элементарные поля, соответствующие ЕС, кроме коэффициента V_0 , который представляет значение аномалии давления, осредненное по всем точкам данного сектора. Коэффициент V_1 отображает зональные потоки воздушных масс (при знаке «+» западно-восточный перенос, а при знаке «-» перенос с востока на запад); коэффициент V_2 отражает меридиональные потоки воздушных масс (при знаке «+» перенос воздушных масс с севера на юг, а при знаке «-» – наоборот). Таким образом, характерное распределение регионального преобладания приземных полей аномалий атмосферного давления сведено к нескольким барическим шаблонам, которые используются при анализе циркуляции в пределах каждого сектора.

На рис. 10 представлен график сопоставления фактических и вычисленных по уравнению (3) накопленных по 6-летиям сумм годовых приращений УКМ.

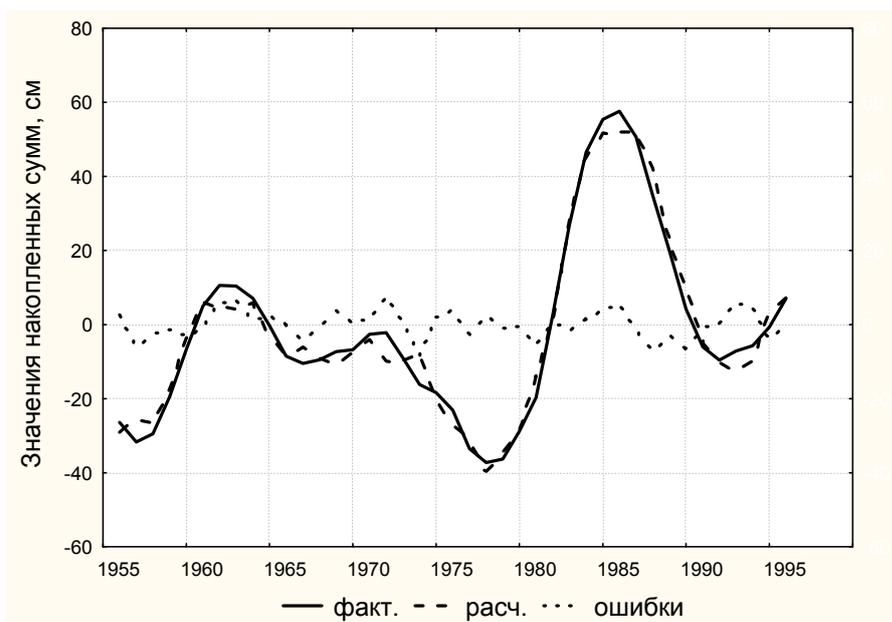


Рис. 10. График хода фактических и вычисленных по уравнению (3) накопленных по 6-летиям сумм годовых приращений УКМ и ход ошибок расчета.

Таким образом, суть усовершенствованной методики состоит в расчете по линейным уравнениям регрессии для значимых корреляционных связей прогностических значений накопленных сумм годовых приращений УКМ на момент прогноза по исходным данным об атмосферной циркуляции, взятым за 6 лет до момента составления прогноза.

Как уже указывалось выше, прогноз осуществлялся в режиме скользящего оценивания параметров уравнения регрессии, представляющего аналог адаптивного регрессионного метода. Он исключает необходимость обязательной проверки прогностического уравнения на независимом ряде и позволяет сохранить его статистическую устойчивость во времени автоматически. Такой подход особенно эффективен, когда приходится иметь дело с относительно ограниченными выборками.

Для проверки качества разработанной методики было составлено 13 проверочных прогнозов с 1997 по 2009 год. Следует отметить, что оценочный период отличался значительными аномалиями в ходе уровня моря. При этом прогностические значения изменения уровня сравнивались с фактическими изменениями уровня моря на момент прогноза. Результаты сопоставления накопленных по 6-летиям сумм годовых приращений УКМ по данным фактических наблюдений и накопленных по 6-летиям прогностических сумм годовых приращений УКМ показаны в табл. 2.

Таблица 2

Результаты сопоставления фактических и прогностических значений изменений УКМ за 6 лет (допустимая погрешность $\sigma = 26$ см)

Годы	$\Sigma \Delta H_{\phi}$	$\Sigma \Delta H_{\text{пр}}$	$\Delta_{\text{метод}}$	$\Sigma \Delta H_{\text{клим}}$	$\Delta_{\text{клим}}$	Оправд. методич. прогнозов	Оправд. климатич. прогнозов
1991-1997	17	-7	24	2	15	+	+
1992-1998	11	-11	22	-2	13	+	+
1993-1999	-4	-15	11	-2	-2	+	+
1994-2000	-36	-17	-19	-2	-34	+	-
1995-2001	-57	-15	-42	-2	-55	-	-
1996-2002	-27	-10	-17	-1	-26	+	-
1997-2003	-7	-9	2	0	-7	+	+
1998-2004	-8	-5	-3	0	-8	+	+
1999-2005	12	1	11	0	12	+	+
2000-2006	3	7	-4	-1	4	+	+
2001-2007	9	9	0	-2	11	+	+
2002-2008	6	10	-4	-3	9	+	+
2003-2009	-9	7	-16	-4	-5	+	+

Средняя оправдываемость методических прогнозов составила 85 %, а климатических – 77 %, т.е. эффективность методических прогнозов оказалась на 8% выше климатических и на 8% выше прогнозов, составленных по методике БКС, но при допустимой ошибке не 40, а

26 см. Этот результат дает основание для применения разработанного метода в оперативную практику.

От прогноза накопленных по 6-летиям сумм годовых приращений уровня легко перейти непосредственно к прогнозу уровня моря, выраженного относительно единого нуля Каспийского моря, равного $-28,00$ м абс, путем прибавления к уровню исходного года (H_0) суммы годовых приращений уровня по формуле

$$H = H_0 + \Sigma \Delta H, \quad (4)$$

где H_0 – исходный средний годовой уровень моря в момент составления прогноза, $\Sigma \Delta H$ – спрогнозированная по уравнению регрессии накопленная за 6 лет сумма годовых приращений УКМ. Согласно формуле (4), к значению уровня моря, взятому в год составления прогноза, прибавляется величина изменения уровня в течение последующих 6 лет, рассчитанная по уравнению регрессии. В табл. 3 представлены сопоставления наблюдаемых и рассчитанных по формуле (4) значений уровня относительно единого нуля Каспийского моря, равного $-28,00$ м абс.

Таблица 3

Результаты сопоставления фактических ($H_{\text{ф}}$) и прогностических значений уровня моря ($H_{\text{пр}}$) (допустимая погрешность $\sigma = 26$ см)

Год составления прогноза	Год, на который дан прогноз	$H_{\text{ф}}$	$H_{\text{пр}}$	Ошибка	Оправды-ваемость
1991	1997	117	85	-32	-
1992	1998	112	96	-16	+
1993	1999	110	101	-9	+
1994	2000	107	123	16	+
1995	2001	98	126	28	-
1996	2002	95	111	16	+
1997	2003	102	100	-2	+
1998	2004	111	113	2	+
1999	2005	123	113	-10	+
2000	2006	107	111	4	+
2001	2007	113	103	-10	+
2002	2008	99	104	5	+
2003	2009	93	109	16	+

Средняя оправдываемость методических прогнозов составила 85 %.

На рис. 11 представлен многолетний ход фактических значений УКМ с 1990 по 2009 г. (сплошная линия) и прогноз фонового изменения УКМ до 2016 г. (пунктирная линия), составленный в 2010 г. и помещенный в гидрометеорологический бюллетень ФГБУ «Гидрометцентр России».

В соответствии с прогнозом на 6 лет (до 2016 г.) ожидается понижение среднего уровня моря по отношению к среднему уровню 2010 г. на 11 см. Наиболее вероятное значение

среднего уровня моря в 2016 г. составит $-27,28$ м абс или 72 см относительно единого нуля Каспийского моря, равного $-28,00$ м абс.

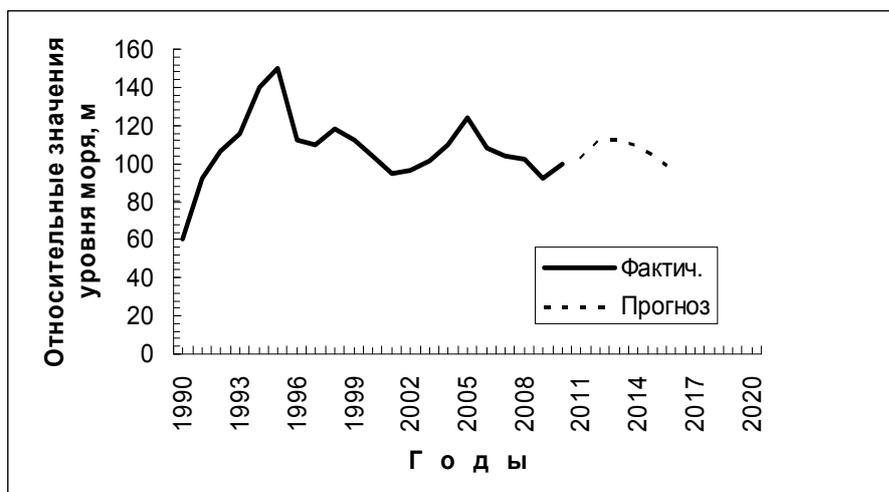


Рис. 11. Многолетний ход фактических значений УКМ с 1990 по 2009 г. и прогноз УКМ до 2016 г.

На заседании ЦМКП Росгидромета от 2 марта 2011 г. принято решение:

Рекомендовать ФГБУ «Гидрометцентр России»:

- внедрить метод фонового прогноза колебаний уровня Каспийского моря на 6 лет в оперативную практику;
- помещать в гидрометеорологический бюллетень, выпускаемый ежегодно в начале мая, прогноз изменения уровня Каспийского моря на ближайшее шестилетие (или его уточнение с прогнозом на один год) с использованием вероятностной формы для характеристики существующей неопределенности.

Список литературы

1. Абузяров З.К., Нестеров Е.С. Некоторые особенности пространственно-временной изменчивости уровня Каспийского моря // Труды Гидрометцентра России. – 2011. – Вып. 345. – С. 5–23.
2. Абузяров З.К. О прогностической оценке фоновых изменений уровня Каспийского моря на срок до 12 лет // Труды Гидрометцентра России. – 2004. – Вып. 339. – С. 3–21.
3. Абузяров З.К. Технология прогноза тенденций изменения УКМ на перспективу 6 и 18 лет // В сб. «Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна». – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – С. 351–363.
4. Белинский Н.А., Калинин Г.П. О прогнозах колебаний уровня Каспийского моря // Труды НИУ ГУГМС. – 1946. – Сер. IV. – Вып. 37. – 36 с.

5. *Белинский Н.А.* Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1957. – 203 с.
6. *Глаголева М.Г.* Методическая записка по разложению в ряды по естественным составляющим полей аномалий атмосферного давления над Северным полушарием. – М.: Гидрометцентр СССР. – 1978. – 22 с.
7. *Глаголева М.Г.* Таблицы коэффициентов разложения в ряды по естественным составляющим полей аномалий среднего месячного давления над Северным полушарием. – М.: Гидрометцентр СССР. – 1977. – 165 с.
8. *Косарев А.Н., Никонова Р.Е.* Современные колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, тенденции // Вестник Каспия. – 2006. – № 4 (60). – С. 40–59.
9. РД 52.27.723. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Ч. III. Служба морских гидрометеорологических прогнозов. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2011. – 196 с.
10. *Смирнова К.И.* Водный баланс и долгосрочный прогноз уровня Каспийского мор // Труды Гидрометцентра СССР. – 1972. – Вып. 94. – 122 с.
11. *Шереметевская О.И., Лунякова Л.Г.* Опыт обеспечения народного хозяйства долгосрочными прогнозами уровня Каспийского моря // Труды Гидрометцентра СССР. – 1985. – Вып. 270. – С. 36–42.