

К ВОПРОСУ О СВЕРХДОЛГОСРОЧНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

З.К. Абузяров

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
abusiar@mecom.ru

Введение

Аномальные колебания уровня Каспийского моря (УКМ) ведут за собой существенные и нередко катастрофические последствия социально-экономического и экологического характера, затрагивающие, прежде всего, морские мелководья и сушу на низменных участках побережья. В этих условиях надежные прогнозы изменений УКМ на различные сроки приобретают чрезвычайную актуальность. На их основе подготавливаются и осуществляются мероприятия по защите прибрежной инфраструктуры и освоению природных ресурсов Каспия.

Процессы формирования многолетних колебаний УКМ весьма сложны и зависят от комплекса факторов гидрометеорологического, тектонического, космического, антропогенного происхождения, сложным образом взаимодействующих друг с другом.

Как далеко вперед и с какой надежностью можно прогнозировать УКМ – вопросы далеко не тривиальные, требующие глубокого анализа взаимосвязей между характеристиками УКМ и факторами, их обуславливающими.

В последние годы наметился значительный прогресс в понимании механизмов формирования многолетних колебаний УКМ. К настоящему времени накоплен достаточно убедительный материал для принятия однозначного решения вопроса о причинах многолетних колебаний УКМ в пользу преобладающей роли климатического фактора. Другие факторы, такие как тектонические процессы в земной коре, антропогенные и космические воздействия, хотя и оказывают определенное влияние на уровеньный режим Каспийского моря, но не имеют решающего значения. Концепция климатической обусловленности разномасштабных колебаний УКМ получила широкое развитие в целом ряде исследований, связанных с анализом причин многолетних колебаний УКМ и их прогнозированием [3–8, 11–21].

Глобальные и региональные изменения компонент климатической системы определяют неравенство приходной и расходной частей водного баланса Каспийского моря и, как следствие, колебания уровня моря синоптического, сезонного, межгодового и векового масштабов.

Разномасштабная изменчивость составляющих водного баланса и уровня моря достаточно подробно исследована в [14, 17, 20]. Результаты этих исследований показали, что значительные по величине и продолжительности колебания УКМ происходят в тех случаях, когда происходит смена преобладающего режима крупномасштабной циркуляции атмосферы и в течение длительного времени во всем Атлантико-Евразийском секторе устанавливается устойчивый барико-циркуляционный режим антициклонического или циклонического типа. Именно, аномально развитые процессы антициклонического типа в 1930 и 1970-е годы определили преобладание засушливой погоды, маловодность рек и интенсивное испарение на водосборе Каспия, что привело к падению уровня на 1,8 и 0,7 м соответственно. С другой стороны, развитие процессов циклонического типа циркуляции в 1978–1995 гг. привело к увеличению осадков, многоводности рек и, как следствие, резкому подъему уровня моря на 2,4 м.

Механизм формирования уровня Каспийского моря зависит от изменчивости климатических и погодных условий на водосборном бассейне Каспия и далеко за его пределами. Формирование основного объема речного стока происходит в климатических условиях, отличающихся от условий, складывающихся над морской акваторией. Атмосферные процессы, определяющие увлажненность бассейна Каспия, как правило, оказывают различное воздействие в различных его частях, зависящее от географического положения моря, изолированности от океана и орографии прибрежных районов моря. Бассейн Волги, в том числе бассейны Верхней Волги, Оки, Камы и междуречья, где формируется до 80 % годового объема волжского стока, находится в зоне преимущественно западного переноса воздушных масс. На климатические условия Европейской территории России (ЕТР) и Каспийского бассейна также оказывают влияние Арктический бассейн и континентальные Азиатские воздушные массы. Изменения в режиме циркуляции атмосферы, наблюдающиеся в отдельные периоды и сезоны года, приводят к значительным изменениям в ходе гидрометеорологических элементов на водосборе Каспия.

Многолетние колебания УКМ можно рассматривать на основе уравнения водного баланса. Модель водного баланса моря позволяет рассчитывать основные составляющие водного баланса (приток речных вод в Каспий и видимое испарение). В качестве одного из возможных сценариев климатических условий на водосборе Каспия используются результаты расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы. К сожалению, надежный расчет прогностических оценок будущих изменений УКМ данным способом затруднен из-за несовершенства и грубого разрешения атмосферных моделей, позволяющих предвычислять основные составляющие водного баланса моря.

В настоящее время на основе решения уравнения водного баланса достаточно надежные прогнозы УКМ составляются только на срок до одного года [1].

Исследования последних лет показали, что наиболее простой и реалистичный путь разработки прогностических оценок УКМ на большие сроки лежит в поиске статистических связей между интегральными величинами межгодовой изменчивости УКМ и интегральными величинами показателей атмосферной циркуляции над крупными территориями северного полушария. Достаточно ясное понимание существования взаимосвязей УКМ с гидрометеорологическими факторами сформировалось именно на статистическом анализе многолетних наблюдений за уровнем моря и гидрометеорологическими элементами. Это доказано многолетней практикой исследований, проводимых в Гидрометцентре России [2, 3, 6, 7, 12, 16, 20].

Появившиеся в последние годы материалы исследований и накопившиеся данные наблюдений за УКМ и атмосферными процессами дают возможность по-новому и полнее обосновать зависимость колебаний УКМ от циркуляционных особенностей атмосферы и показать достаточно наглядно, в чем состоит возможность прогноза УКМ на длительные сроки.

Ниже дается краткий обзор основных результатов, полученных в последние годы в области прогнозирования УКМ в системе Росгидромета.

Результаты исследований в ГУ «Гидрометцентр России»

ГУ «Гидрометцентр России» в течение почти полувека ежегодно в первых числах мая выпускает гидрометеорологический бюллетень с официальным прогнозом изменений УКМ с мая текущего года по апрель следующего года. Метод прогноза основывается на приближенном решении уравнения водного баланса моря и, в основном, правильно ориентирует пользователей о внутригодовом распределении УКМ. Средняя оправдываемость прогнозов составляет около 85 %.

В 2009 году метод был доработан и автоматизирован [1, 4]. Программное средство оформлено в виде рабочего места (PM) «UROVNI», которое реализует возможность интерактивной работы в режиме «человек-машина». В процессе работы на ПК обеспечивается визуальный контроль и корректировка результатов счета, если в этом появляется необходимость. Полностью автоматизированы все подготовительные операции, начиная от сбора и обработки исходной информации и заканчивая выпуском официального гидрометеорологического бюллетеня ГУ «Гидрометцентр России». Результаты прогноза представляются в табличной и графической форме как приложения к бюллетеню (рис. 1).

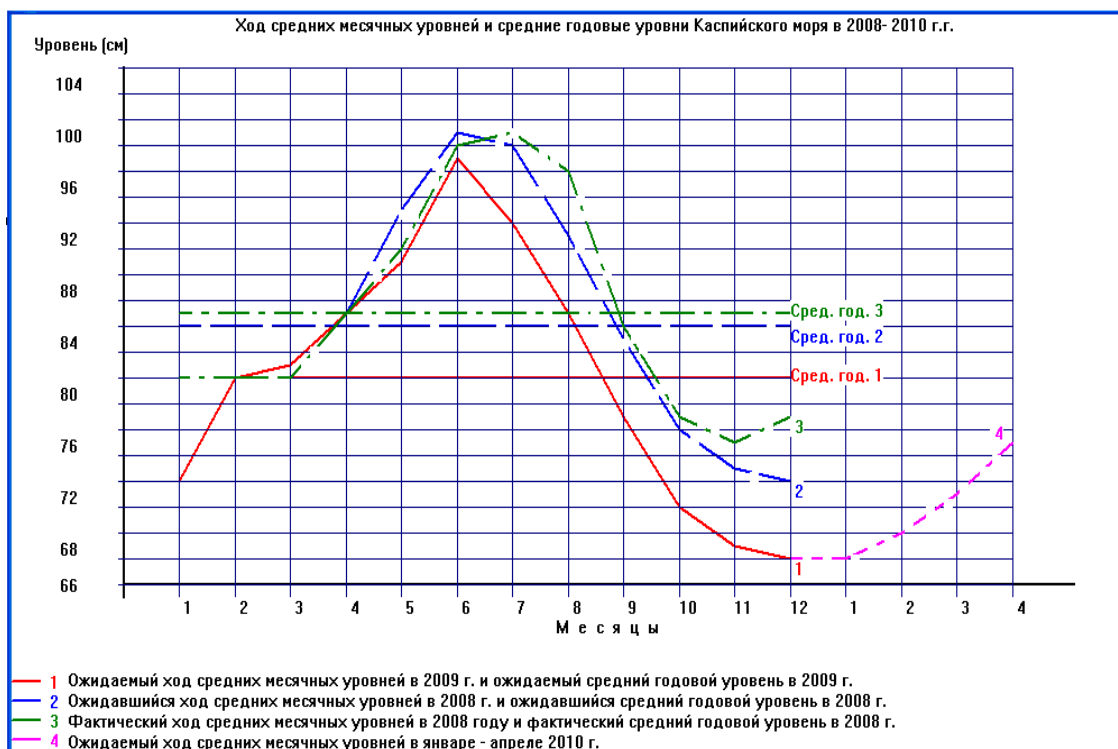


Рис. 1. Ход средних месячных уровней и средние годовые уровни Каспийского моря в 2008-2010 гг. (Приложение к гидрометеорологическому бюллетеню).

В процессе доработки метода были уточнены статистические характеристики составляющих водного баланса и уровня моря и допустимые погрешности прогнозов. Выполненные усовершенствования сделали метод более простым и удобным в практическом исполнении.

Несмотря на практическую значимость прогнозов УКМ на один год, они удовлетворяют далеко не всех потребителей. Поэтому в ГУ «Гидрометцентр России» уже в течение многих лет проводятся исследования по увеличению заблаговременности прогноза УКМ на сроки 5–6 и более лет [2, 3, 6, 7, 12, 13, 16, 19, 20].

Метод исследования заключается в поиске значимых корреляционных связей между циклическими колебаниями в ходе атмосферных процессов и в ходе УКМ, а также в поиске наиболее оптимальной разности фаз в ходе этих колебаний. При поиске связей, с целью долгосрочного прогнозирования УКМ, используются отдельные факторы или комплекс факторов, такие как атмосферная циркуляция, солнечная активность, гидрометеорологические величины (температура воздуха, осадки, испарение и др.).

Спектрально-корреляционный анализ сглаженных исходных рядов рассматриваемых величин обнаруживает существование хорошо выраженных циклов. Среди них наиболее устойчивыми являются циклы с продолжительностью 6, 12 и 18 лет. Указанные циклы обнаруживаются как в ходе показателей атмосферной циркуляции, так и в ходе годовых

приращений УКМ. Происхождение этих циклов объясняется разными причинами. Так, например, 6-летние циклы, по-видимому, связаны с влиянием центров действия атмосферы (ЦДА), прежде всего, с влиянием Северо-Атлантического колебания (САК); 12-летний цикл, – с 11,5-летней цикличностью солнечной активности, а 18-летний цикл – с процессами автоколебаний в системе океан–атмосфера–суша. Выявленные особенности изменчивости УКМ, концентрирующиеся в диапазоне низких частот, позволяют сформировать стратегию сверхдолгосрочного прогноза УКМ.

В основу прогностических оценок изменений УКМ на большие сроки была положена гипотеза о том, что многолетние колебания УКМ являются результатом длительного действия крупномасштабных атмосферных процессов, протекающих над северным полушарием и его отдельными регионами. При этом уровеньная поверхность Каспийского моря реагирует на эти процессы не сразу, а с некоторой задержкой во времени, измеряемой годами. Время задержки можно интерпретировать как характерное время адаптации уровня моря к тем или иным формам атмосферной циркуляции на водосборе Каспия. Сам механизм формирования уровня режима Каспийского моря зависит от изменчивости климатических и погодных условий на водосборном бассейне Каспия и, главным образом, в бассейне Волги, регулирующих влагооборот и речной сток и, как следствие, непостоянство водного баланса и уровня моря. Наиболее вероятно, что эти процессы зависят от изменчивости характеристик ЦДА.

Впервые официальные прогнозы УКМ на 5 лет, основанные на вышеизложенных положениях, в институте начали выпускаться в 1951 г. по методике, разработанной Н.А. Белинским и Г.П. Калинин [7], позже уточненной К.И. Смирновой [20]. В основе методики лежала установленная авторами асинхронная корреляционная связь между интегральными характеристиками уровня и интегральными характеристиками показателей атмосферной циркуляции в форме индексов циркуляции Белинского над Атлантико-Европейской территорией северного полушария. Средняя оправдываемость прогнозов, при допустимой погрешности 40 см, составила 78 %. Однако в силу эмпирической природы методика стала давать сбои, и в 1982 году официальный выпуск прогнозов был прекращен.

В последние годы методика была усовершенствована [2, 3]. Суть усовершенствования заключалась в использовании наиболее информативных предикторов, характеризующих атмосферные процессы над крупными территориями северного полушария. Вместо индексов циркуляции Белинского, рассчитываемых по ограниченным районам по схеме Вительса, были использованы коэффициенты разложения полей аномалий приземного атмосферного

давления в ряды по эмпирическим ортогональным функциям координат (ЕОФ), рассчитанные для крупных территорий северного полушария (рис. 2).

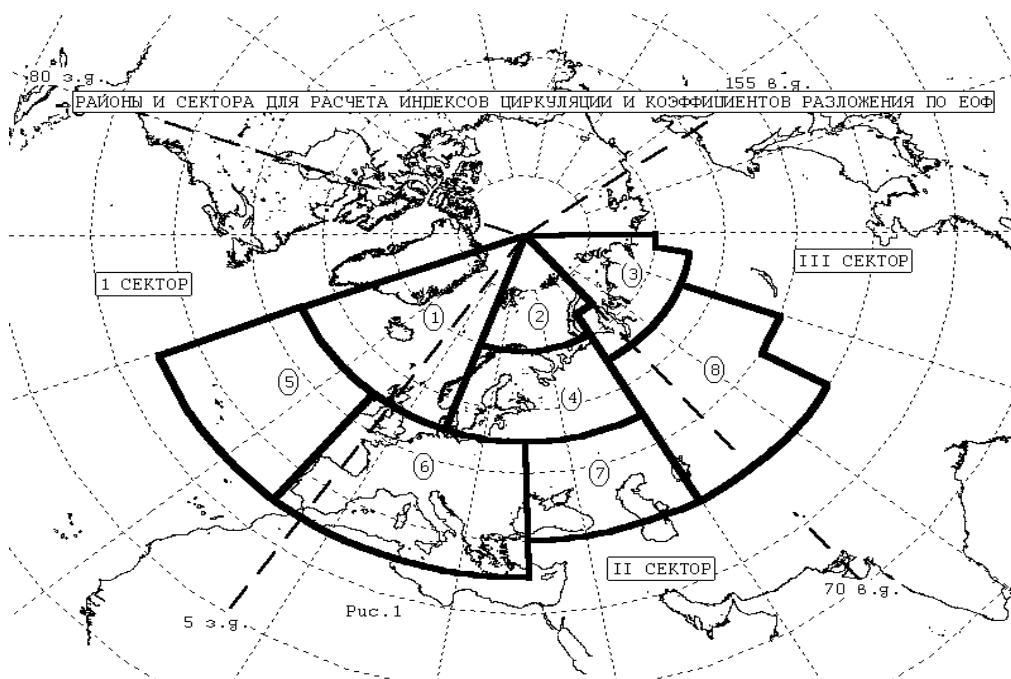


Рис. 2. Сектора, для которых рассчитывались коэффициенты разложения (I–III) и индексы циркуляции Белинского (1–8).

Различие между этими подходами заключается в том, что показатели атмосферной циркуляции, рассчитанные двумя способами, отражают процессы различного масштаба. Индексы циркуляции Белинского характеризуют атмосферные процессы над относительно ограниченными районами и достаточно тесно коррелируются между собой. Кроме того, индексы Белинского рассчитывались вручную разными специалистами, в результате чего нарушается однородность рядов. Индексы Белинского характеризуют только цикло - антициклоническую деятельность, но не отражают направление воздушных потоков.

Что касается коэффициентов разложения, то они характеризуют процессы планетарного масштаба и обеспечивают лучшую физическую интерпретацию исходных полей. Они характеризуют не только интенсивность циркуляции, но и преобладающее направление воздушных потоков. Как известно, ряды разложения полей по ЕОФ быстро сходятся, что позволяет ограничиваться первыми двумя-тремя членами ряда разложения. Это позволяет при разработке методики прогноза ограничиваться меньшим количеством предикторов для достижения одного и того же результата.

При разработке методики в качестве показателя изменчивости уровня моря использовались приращения уровня в смежные годы по пункту Махачкала, обеспечивающему наиболее длинный ряд однородных наблюдений на российском побережье Каспийского моря, охватывающий период с 1900 года по настоящее время. Следует отметить, что кривая многолетнего хода УКМ для пункта Махачкала близко соответствует кривой многолетнего хода среднего УКМ с коэффициентом корреляции 0,95. С физической точки зрения годовые приращения уровня характеризуют отток или приток воды в море, т.е. изменения водного баланса моря.

В качестве показателя изменчивости атмосферных процессов использовались коэффициенты разложения полей аномалий приземного атмосферного давления в ряды по ЕОФ, рассчитанные для трех наиболее информативных секторов, охватывающих Атлантико-Евразийский регион северного полушария.

Как известно, разложение полей в ряд по ЕОФ позволяет с помощью первых трех собственных векторов корреляционных матриц представить в компактном виде основную информацию об этих полях с точностью до 91–95 %. Первые члены ряда, содержащие информацию о начальной фазе и амплитуде крупномасштабных атмосферных процессов, одновременно являются носителями долговременной метеорологической памяти.

По каждому из секторов в расчет принимались по три первых коэффициента разложения, характеризующие среднее значение аномалии давления, зональную и меридиональную составляющую атмосферной циркуляции.

Отклонения от нормы коэффициентов разложения, сохраняющие знак в течение значительного времени, приводят либо к понижению уровня, либо к его повышению. Поэтому естественно предположить, что среднему значению коэффициента разложения должно отвечать такое состояние моря, при котором не происходит ни понижения, ни повышения уровня, т.е. приходная часть водного баланса моря уравнивается расходной частью. Учитывая, что связь между коэффициентами разложения и годовыми приращениями УКМ принимается линейной, последовательное суммирование отклонений значений коэффициентов разложения от нормы должно давать величины, соответствующие ходу УКМ.

Известно, что увеличение заблаговременности прогноза прежде всего связано с учетом наиболее крупных и устойчивых особенностей в многолетнем ходе УКМ и атмосферных процессов. Для этого к исходным рядам была применена процедура скользящего осреднения по различным интервалам времени. В результате из исходных рядов были исключены низкочастотные (вековой ход) и высокочастотные (с периодом менее 5 лет) участки спектра,

после чего формировались ряды предикторов и предиктанта путем скользящего суммирования по 5 или 6-летиям. При этом кривая хода накопленных сумм годовых приращений уровня повторяет, с определенными сдвигами, характер кривой хода накопленных сумм коэффициентов разложения. Соответствие циклических колебаний УКМ и атмосферной циркуляции служит доказательством общности причин, обуславливающих эти колебания.

Установление меры тесноты связей между интегральными характеристиками уровня и показателей атмосферной циркуляции осуществлялось с помощью метода пошаговой множественной линейной регрессии.

Отбор наиболее значимых уравнений регрессии осуществлялся по схеме

$$(\sum \Delta H)_{t+\Delta t} = C_0 + a_i \cdot (\sum B_i)_t + d,$$

где $(\sum \Delta H)_{t+\Delta t}$ – накопленная сумма годовых приращений УКМ на момент прогноза; $(\sum B_i)_t$ – накопленная сумма коэффициентов разложения за интервал времени, предшествующий моменту составления прогноза; C_0 – свободный член; a_i – коэффициенты регрессии; d – ошибка прогноза.

Прогноз по данному уравнению может осуществляться в режиме скользящего оценивания параметров уравнения регрессии. Прогноз УКМ при этом приобретает адаптивный характер, учитывающий происходящие и уточняющие перспективные изменения факторов, формирующих уровенный режим Каспийского моря. Такой подход особенно эффективен, когда приходится иметь дело с относительно ограниченными выборками. Предикторы, отобранные для построения регрессионной прогностической модели, остаются неизменными до того момента, пока ежегодная их оценка показывает достаточную эффективность прогнозирования.

Таким образом, суть усовершенствованной методики состоит в расчете прогностических значений накопленных сумм годовых приращений УКМ на момент прогноза по исходным данным об атмосферной циркуляции, взятым за шесть лет до момента составления прогноза. Средняя оправдываемость фоновых прогнозов изменений УКМ на шесть лет составила 85 %. Данный подход был применен также для расчета прогностических оценок изменений уровня моря на срок 12 и 18 лет [2, 3].

В соответствии с этими оценками, уровень моря в ближайшие 10–12 лет будет колебаться в пределах абсолютных отметок от –27,08 до –27,58 м БСВ (от 92 до 42 см в относительных отметках) с небольшой тенденцией к понижению (со средней скоростью около 4 см/год). Ожидается, что к 2016 году уровень моря может понизиться в среднем на

50 см, достигнув абсолютной отметки $-27,5$ м. График фактического хода УКМ с 1958 по 2004 г. и прогностического хода до 2016 г., составленный в Гидрометцентре России, показан на рис. 3.

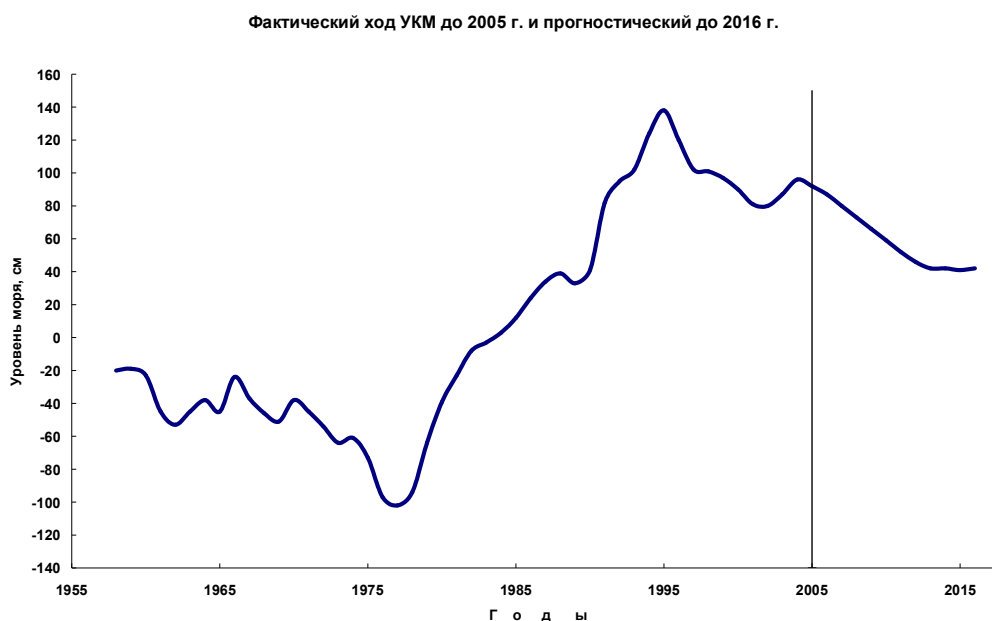


Рис. 3. Кривая многолетнего хода фактических значений уровня моря до 2005 г. и прогностического до 2015 г.

Приведенная прогностическая оценка будущих изменений УКМ в целом согласуется с прогнозами, независимо разработанными в ГГО и ГГИ примерно на эти же сроки.

Приведенные здесь прогностические оценки характеризуют только фон. В отдельные годы уровни могут существенно отклоняться от указанных выше средних отметок. Реальные величины уровня на конкретный момент времени при таком подходе прогнозирования получить принципиально невозможно.

Результаты исследований в ГУ «ГГО»

В ГУ «ГГО» разработан статистический метод прогноза среднего годового уровня Каспийского моря с годовой заблаговременностью [8, 22]. В качестве предикторов использовались осадки на водосборе Волги и Урала за 21–22 месяца, предшествующие моменту составления прогноза (октябрь предыдущего года), и температура теплого периода предыдущего года. При составлении прогноза учитывается сток в залив Кара-Богаз-Гол. Предварительный официальный прогноз выпускается примерно за полгода до выпуска гидрометеорологического бюллетеня ГУ «Гидрометцентр России» с прогнозом уровня на

год Прогноз ГГО каждый год регулярно передается в Гидрометцентр России для использования.

Кроме того, в ГУ «ГГО» выполнены исследования по разработке сверхдолгосрочного прогноза УКМ на десятки лет. Разработаны два таких метода.

Первый метод [15] использует в качестве предикторов характеристики общей циркуляции атмосферы: давление в центре Сибирского максимума, широта Азорского максимума, число дней с третьим типом циркуляции в американском секторе (по Гирсу). По данным прогноза Мещерской и др. ожидается, что уровень моря в 2015–2020 гг. может достигнуть отметки –26, 0 м БСВ.

Второй метод прогноза УКМ разработан на срок 25 лет. Автором метода показано, что время реакции циркуляции атмосферы на изменение солнечной активности происходит с запаздыванием от 20 до 30 лет. Это указывает на принципиальную возможность сверхдолгосрочного прогнозирования на указанные сроки. В основу метода положена установленная асинхронная корреляционная связь (со сдвигом 25 лет) между индексами атмосферной циркуляции и солнечной активностью.

Согласно расчетам по этой зависимости, в первой половине 21 века периоды подъема уровня (2002–2006 гг., 2012–2018 гг.) будут сменяться периодами спада (2006–2010 гг., 2018–2020 гг.).

В ГГО также выполнена важная работа по оценке повторяемости выхода южных циклонов на водосбор Каспия и их влияния на уровенный режим моря. Показано, что повторяемость выхода южных циклонов на водосбор Волги и Каспийское море лучше коррелируется с составляющими водного баланса, чем с индексами атмосферной циркуляции. Было также показано, что повторяемость выхода южных циклонов может служить достаточно информативным предиктором при разработке метода прогноза УКМ с заблаговременностью до трех лет.

В ГГО также разработана и прошла всесторонние испытания региональная модель климата, с помощью которой выполнялись численные оценки изменений климатического режима Каспийского региона при ожидаемом потеплении глобального климата [5].

Выполненные численные эксперименты по воспроизведению составляющих водного баланса Каспийского моря с помощью модели общей циркуляции атмосферы (ОЦА) показали, что модель ГГО достаточно хорошо воспроизводит долгопериодную изменчивость основных климатических переменных на водосборе Волги и их влияние на динамику речного стока в Каспийское море.

По результатам численных экспериментов сделан вывод о том, что положительные аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в тропической части Тихого океана хорошо коррелируются с изменениями УКМ.

Выполненный анализ влияния климатических изменений на сток Волги и колебания УКМ показал, что несмотря на значительное антропогенное воздействие на сток Волги, существует достаточно тесная и устойчивая корреляция между осадками на водосборе и стоком Волги ($R=0,85$), что дает возможность делать прогностические оценки относительно будущих изменений уровня моря. Показано также, что на сток Волги влияют осадки не текущего года, а за три предшествующие года. При этом было отмечено, что на сток Волги в большей степени оказывают осадки теплого периода года, чем холодного. Этот вывод противоречит выводам других исследователей [6], которые считают, что на сток Волги, а следовательно, и на УКМ, оказывают основное влияние зимние осадки, так как летние осадки в основном испаряются, а осадки в виде снега сохраняются всю зиму и обуславливают весенний паводок.

Также оценено влияние температурного режима на водосборе Волги на УКМ, которое проявляется только в теплый период года и существенно слабее, чем влияние осадков.

Результаты исследований в ГУ «ГГИ»

В 2001 году в ГУ «ГГИ» был разработан вероятностный прогноз УКМ на перспективу до 2020 года.

Для оценки положения УКМ использовался подход, заключающийся в его вероятностном моделировании. При этом в качестве модели колебания уровня использовалось уравнение водного баланса. Основные результаты этих исследований изложены в [8, 22].

За исходный был принят фактический УКМ на 1.01.2001 г., равный $-27,18$ м БСВ. Исходный сток принимался равным 299 км^3 . Нормы испарения с поверхности Каспия и осадков на его акватории составили 959 и 238 мм соответственно. Суммарное уменьшение притока рек в Каспий под влиянием хозяйственной деятельности на 2000 год было принято равным $28 \text{ км}^3/\text{год}$.

Было использовано три возможных сценария изменений климатических условий на водосборном бассейне Каспия: 1) рассчитанный по модели общей циркуляции атмосферы; 2) основанный на предположении, что климат в ближайшие 20 лет будет неизменным; 3) наблюдавшийся в предшествующий многолетний период.

Проведенный анализ результатов моделирования возможных изменений УКМ на ближайшие 30 лет показал, что в перспективе наиболее вероятно понижение УКМ. К 2015 г. уровень понизится до отметок $-27,6$ м – $-28,0$ м БСВ. А к 2030 г. наиболее вероятное положение уровня будет находиться в пределах отметок $-28,4$ м – $-28,9$ м БСВ. Приведенные величины характеризуют наиболее вероятное среднее положение уровня. В отдельные годы или периоды уровень может существенно отклоняться от прогнозируемых величин.

Заключение

1. Приведенные в статье прогностические оценки будущих изменений УКМ, разработанные независимо друг от друга в институтах Росгидромета, в основном согласуются между собой. Прогноз ГГО указывает на то, что в ближайшей перспективе уровень моря будет меняться незначительно, с некоторой тенденцией к понижению, не выходя за пределы абсолютной отметки $-27,80$ м БСВ. По прогнозу ГГИ в ближайшей перспективе также ожидается понижение уровня моря. К 2015 г. наиболее вероятное положение уровня моря будет находиться около абсолютной отметки $-27,6$ м БСВ. Эти оценки должны рассматриваться как ориентировочные.

2. Результаты прогнозов УКМ на долгосрочную перспективу (5–18 лет) должны время от времени пересматриваться с учетом фактического состояния, тенденций изменения УКМ и показателей атмосферной циркуляции. Прогноз УКМ при этом приобретает адаптивный характер, учитывающий происходящие и уточняющие перспективные изменения факторов, формирующих уровеньный режим Каспийского моря.

Для реализации адаптивной системы прогнозирования УКМ необходимо создание системы мониторинга, которая позволяла бы получать комплекс прогнозов уровня на 1 год, 5, 12 и 18 лет, уточняющих друг друга.

3. Учитывая сильную зависимость экономики стран Каспийского региона от изменений уровня Каспийского моря, должно быть уделено большее внимание развитию научных исследований в области причин колебаний УКМ и методов их прогнозирования. Для этого необходимо:

- продолжить работы по исследованию причин и социально-экономических и экологических последствий разномасштабных колебаний УКМ;
- принять дополнительные меры для укрепления сети гидрометеорологических наблюдений на Каспийском море, в особенности уровнемерной сети, и улучшению системы обмена данными наблюдений между странами Каспийского региона;

– расширить сотрудничество между прикаспийскими странами в области исследований изменений климата и водного баланса Каспийского моря и прогнозирования уровня моря на различные сроки.

Список использованных источников

1. *Абузяров З.К.* и др. Автоматизированный прогноз годового хода уровня Каспийского моря // Труды ГОИНа. – 2009. – Вып. 212. Исследования океанов и морей. – С. 146–155.
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 уровня Каспийского моря на перспективу 6 и 18 лет / В сб.: «Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна». – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – С. 351–363.
4. *Абузяров З.К.* Усовершенствованный метод прогноза годового хода уровня Каспийского моря // Труды Гидрометцентра России. – 2009. – Вып. 343. – С. 48–66.
5. *Арне К., Спорышев П.В., Семенов В.А., Бентссон Л., Голицын Г.С., Елисеев А.В., Мелешко В.П., Мещерская А.В., Мохов И.И.* Исследование причин колебаний уровня Каспийского моря с помощью моделей общей циркуляции атмосферы / В сб.: Изменения климата и их последствия. – СПб: Наука, 2002. – С. 165–179.
6. *Белинский Н.А.* Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1957.
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. *Георгиевский В.Ю.* Расчеты и прогнозы изменений уровня Каспийского моря под влиянием естественных климатических факторов и хозяйственной деятельности // Труды ГГИ. – 1978. – Т. 255. – С. 94–112.
9. *Гетман И.Ф.* Сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря с использованием гелиогеофизических факторов // В кн.: Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). – М.: Научный мир, 2000. – С. 237–254.
10. *Гетман И.Ф.* Об ожидаемом уровне Каспийского моря в первой половине XXI века на основе анализа вековых циклов солнечной активности // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 12. – С. 101.
11. *Дуванин А.И.* К пониманию природы и возможностей прогноза колебаний уровня Каспийского моря // Вестник МГУ. – 1997. – № 2. – С. 36–40.
12. *Калинин Г.П.* Прогноз уровня Каспийского моря // Труды НИУ ГУГМС. – Сер. VIII. – Вып. 1. – 1941. – С. 72.
13. *Калинин Г.П.* и др. Водобалансовые расчеты будущих уровней Каспийского моря // Метеорология и гидрология. – 1968. – № 9. – С. 45–52.

14. *Косарев А.Н., Макарова Р.Е.* Об изменениях уровня Каспийского моря и возможности их прогнозирования // Вестник МГУ. – Серия 5. География. – 1988. – № 1. – С. 21–26.
15. *Мещерская А.В., Голод М.П.* О статистических сверхдолгосрочных прогнозах уровня Каспийского моря с использованием крупномасштабных климатических параметров / В сб.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – С. 277–293.
16. *Нестеров Е.С.* О связи индексов колебаний циркуляции атмосферы и уровня Каспийского моря / В сб.: Гидрологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – С. 323–326.
17. *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. – Вып. 4. – С. 410–414.
18. Отчет о научно-исследовательской работе по разделу темы 1.7.2.3 за 1999–2000 гг. «Разработать технологию прогноза тенденций изменения уровня Каспийского моря на перспективу от 5 до 20 лет». – СПб., 2000.
19. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. – СПб.: Гидрометеиздат, 1994. – С. 525.
20. *Смирнова К.И.* Водный баланс и долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря // Труды Гидрометцентра СССР. – 1972. – Вып. 94. – С. 122.
21. *Смирнова К.И., Шереметевская О.И.* Расчет водного баланса Каспийского моря для прогноза годового хода уровня // Труды ГМЦ СССР. – 1967. – Вып. 3. – С. 49–74.
22. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю., Ежов А.В.* Вероятностный прогноз уровня Каспийского моря / В сб.: Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. – СПб.: Гидрометеиздат, 2003. – С. 327–341.

Поступила в редакцию 15.04.2011