
ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

УДК 551.461 (262.1)

**ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ:
УРОКИ ИСТОРИИ И ОРИЕНТИРЫ НА БУДУЩЕЕ (ОБЗОР)**

© 2026 г. С.И. Шапоренко*, Н.И. Коронкевич*, Ю.А. Спирин*, **, А.М. Абдурашидов***

**Институт географии РАН*

Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29

E-mail: ser-shaporenko@yandex.ru, shaporenko@igras.ru

***Российский университет дружбы народов*

Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

****Адвокатская палата Республики Дагестан*

Россия, 367000, г. Махачкала, ул. Батырая, д. 11а

Поступила в редакцию 27.03.2026. После доработки 15.06.2026. Принята к публикации 25.06.2026.

Многолетнее колебание среднегодового уровня Каспийского моря вызывает значительные геоэкологические проблемы в его прибрежной зоне, решение которых, как правило, связывают с надежными долгосрочными прогнозами его водного баланса. Падение среднего уровня до минимального значения в 2025 году за весь период инструментальных наблюдений (-29.02 м н.у.м. БС по гидрометрическому посту в Махачкале) исследования процессов, определяющих водный режим моря, делает еще более актуальными.

В данной статье на основе ретроспективного критического обзора публикаций, касающихся прогностического направления в исследовании закономерностей колебания уровня Каспийского моря, выявляются основные причины плохой оправдываемости долгосрочных прогнозов по сравнению с краткосрочными.

Рассмотрены основные типы долгосрочных прогнозов, использующие эмпирические связи уровня моря с гелиофизическими процессами, закономерности периодических и циклических смен фаз подъема и спада уровня в связи со сменами характера атмосферной циркуляции, другие возможные факторы колебания составляющих его водного баланса. Установлено, что помимо природных сложностей, связанных с прогнозом климатических факторов, на ошибочность долгосрочных прогнозов влияет неопределенность планов использования водных ресурсов каспийского бассейна в хозяйственных целях. Такие трудности не характерны для краткосрочных прогнозов сезонных и непериодических колебаний уровня.

При отсутствии возможности долгосрочного прогнозирования с использованием четких предикторов, все прогнозы (как детерминированные, так и вероятностные) строятся на экстраполировании выявленных закономерностей предшествующих периодов с допущением сохранения их основных определяющих параметров и в будущем. Такой подход в плановой экономике СССР в прогнозировании на сроки более трех лет считался недопустимым из-за больших погрешностей даже при сохранении направленности тренда. В условиях водосбора Каспия смена его направленности и обуславливала максимальные ошибки прогнозов, что делает невозможным рекомендовать указанный подход в решении хозяйственных планов.

Необходима смена стратегии, в основу которой будет положена не ориентация на прогноз уровня, а механизм адаптации хозяйства к диапазону его изменчивости в экологически обусловленных современным климатом пределах. На конкретные количественные показатели колебания уровня выводит анализ палеогеографических и исторических данных хода уровня, которые хорошо соответствуют геоморфологическим особенностям чаши водоема. Указанный диапазон Г.И. Рычагов назвал «зоной риска» и определил его в интервале от -30 до -25 м н.у.м. БС с ориентацией на естественный сток р. Волги или с верхней границей в -26 м н.у.м. БС с учетом безвозвратного водозабора на хозяйственные нужды.

Стратегия адаптации может предусматривать и элементы регулирования уровня, которые

рассматривались при разработке в XX столетии проекта «Большая Волга» и включать в себя краткосрочное прогнозирование элементов водного баланса в качестве важного вспомогательного элемента.

Ключевые слова: элементы водного баланса; климатические и антропогенные факторы формирования; история, авторы и методы прогнозирования; стратегия природопользования.

DOI: 10.24412/2542-2006-2026-2-5-40

EDN: XHFCJW

Большинством исследователей водного режима Каспийского моря прогноз его уровня считается чрезвычайно важным для целого ряда отраслей хозяйства, в первую очередь рыбного, сельского, для судоходства, газонефтяной отрасли. В связи с этим уже более века разрабатываются прогнозы с использованием разных методик и исходных баз данных, а количество публикаций, затрагивающих эту тему, несколько сотен.

По генетическим причинам, вызывающим изменчивость уровня, и, соответственно, заблаговременности прогнозов, различают краткосрочные до 1-1.5 лет (сезонные и непериодические колебания), долгосрочные на несколько лет и сверхдолгосрочные до десятков лет вперед, обусловленные длительной однонаправленной изменчивостью водного баланса моря. Краткосрочные прогнозы, разрабатываемые в организациях Росгидромета, в целом по своему качеству удовлетворяют потребителей, что характерно и для Казахстана с Азербайджаном, у которых методические подходы близки к российским (Абузьяров и др., 2010; Ивкина, 2013; Кан, 1948; Каракаш, 1939; Мещерская, Александрова, 1993; Шереметевская, 1964, 1985; Нестеров, 2019). Основные проблемы в прогнозировании связаны с прогнозами большой заблаговременности, у которых на протяжении многих лет отмечается неудовлетворительная оправдываемость, особенно на отдаленные сроки (Абузьяров, 2003; Болгов, 2025; Болгов и др., 2007; Водный ..., 2016; Крицкий и др., 1975; Малинин, 1994; 2009; Мещерская, Голод, 2003; Нестеров, 2003; Смирнова, 1972; Соловьева, 2004; Фролов, 2003; Шикломанов, 1976).

Наиболее актуальными долгосрочные прогнозы уровня Каспийского моря (УКМ) считались при подъеме уровня в 1990-е годы до экстремальной отметки -26.49 м н.у.м. БС и при снижении до «критической» отметки -29.01 м в 1977 году и -29.02 м в 2025 году. В декабре 2025 году уровень опускался до -29.72 м (значения даны по уровенному посту в г. Махачкале). По факту такие колебания составляющих водного баланса и уровня приводят к целому ряду крупных негативных последствий. Стратегия их предотвращения строится на том, что надежный прогноз хода уровня должен стать основой для принятия превентивных мер для адаптации хозяйства к новому положению уреза воды. Очередная смена тренда хода уровня и, соответственно, прогноз должны менять текущие задачи «по адаптации морехозяйственной системы к деструктивному фактору среды – морской трансгрессии» и регрессии. Эту наиболее распространенную точку зрения среди хозяйствующих субъектов в прибрежной зоне Каспия и научных сотрудников, разрабатывающих прогнозы его хода на перспективу, наиболее четко сформулировал Э.М. Эльдаров (1996, с. 44). В это время морские волны стали разрушать постройки, сооруженные в середине XX века при низком стоянии уровня. На самом деле, как будет показано в статье, мы считаем вслед за Г.И. Рычаговым (2013), что морскую среду деструктивным фактором сделал человек своим неразумным освоением подверженных затоплению территорий.

К настоящему времени разработаны и применяются в прогнозировании несколько основных методологических подходов, имеющих свои преимущества и недостатки. Как правило, авторы прогнозов постоянно придерживались выбранного по своему предпочтению одного типа прогнозов, не проводя анализа причин проявления значительных

погрешностей в оправдываемости при наступлении прогнозной даты. Последнее замечание частично оправдывается в связи со спецификой долгосрочного прогнозирования и, как правило, отсутствием какой-либо авторской ответственности за результат.

Авторы данной статьи пытаются на основе обзора наиболее знаковых работ провести критический анализ основных методологических подходов и показать, в чем заключаются слабые моменты, не позволяющие получать долгосрочные прогнозы удовлетворительной оправдываемости, и заставляет думать о смене стратегии в решении проблем Каспия.

Таким образом, цель данной статьи – выявить наиболее проблемные вопросы прогнозирования УКМ, причины неудовлетворительной оправдываемости прогнозов водного баланса и уровня при разных подходах и используемых методах прогнозирования, показать их историческую обусловленность и наметить возможные пути к решению проблем, связанных с длительными периодами падения и роста уровня моря. Надеемся, что полученные результаты позволят в дальнейшем откорректировать подходы в организации рационального природопользования в бассейне Каспия, в котором прогноз уровня должен занять вспомогательную роль в стратегии управления народным хозяйством в прибрежной зоне, уступив приоритет стратегии его адаптации к колебанию уровня в пределах экологически обусловленного интервала, примерно соответствующего названной Г.И. Рычаговым (2011) «зоной риска» между -25 и -30 м н.у.м. БС, уточнение которой является важной дополнительной задачей геоморфологических и палеогеографических исследований.

Материалы и методы

В основу статьи положен сравнительный анализ методов и результатов прогнозирования элементов водного баланса и уровня Каспийского моря, содержащихся в наиболее значимых работах по рассматриваемой тематике.

Результаты и обсуждение

Исторические аспекты развития прогнозирования как особого направления исследования Каспия

История прогнозирования уровня моря начинается с экспедиционных работ П.С. Палласа в 1769-1774 гг., после которых получилось доказать более высокое положение уровня в прежние века и указать на климатические факторы формирования водности р. Волги как причину его понижения. Отчет об экспедициях оформлен в 3 частях, в 5 книгах с атласом (Паллас, 1773-1788).

Первые прогнозы УКМ на качественном уровне были у Э.Х. Ленца (1836), К.М. Бэра (Соловьев, 1941), Н.В. Ханыкова (1853), несколько позже – у Л.С. Берга (1934), Б.Д. Зайкова (1940) и И.А. Бенашвили (1948), сделанные в период длительного снижения уровня с начала XIX до середины XX вв. Эту длительную стадию хорошо отражали графики исследователей, в т.ч. Л.С. Берга (рис. 1). Опираясь на вполне доказанную тогда на основе архивных письменных источников и археологических данных закономерность цикличности его хода, все они ожидали существенного подъема, который начался с задержкой – с 1978 г.

Первой методологической базой для долгосрочного прогноза уровня Каспийского моря с попытками количественных оценок послужила работа немецкого географа Эдуарда Брикнера в конце 1880-х гг., в которой было показано существование климатических циклов со средней периодичностью 35 ± 7 лет (примерно утроенному 11-летнему циклу солнечных пятен), о которых впервые было высказано Фрэнсисом Бэконом в 1625 г. (Сидоренков, Сумерова, 2012). Периодическую смену холодного и влажного климата планеты теплым и сухим Э. Брикнер связал также с колебаниями уровня Каспийского моря (Brückner, 1890).

Работа пробудила в мире научный интерес в поисках эмпирических связей природных и гелиофизических процессов. Колебание солнечной активности стало возможным рассматривать в качестве фактора изменчивости метеорологических процессов над водосборными бассейнами и, как следствие, с колебанием уровня моря. Существование периодичности в колебании солнечной активности, которую можно было количественно оценить по наличию темных пятен на поверхности Солнца, предполагало проявление такой же периодичности в колебательном характере атмосферных процессов. Наблюдая изменение активности, можно рассчитывать на адекватное изменение в водном режиме водоема. Так появился первый методологический подход, дававший надежду прогнозировать ход УКМ с заблаговременностью в несколько десятков лет, ориентируясь на периодичность или цикличность его изменчивости. Данное методологическое направление в прогнозировании первоначально часто относили к гелиофизическому. Оно послужило родоначальником еще нескольких подходов, в частности, группы физико-статистических, наиболее развивающихся в последнее время, которым будет уделено отдельное внимание в данной статье.

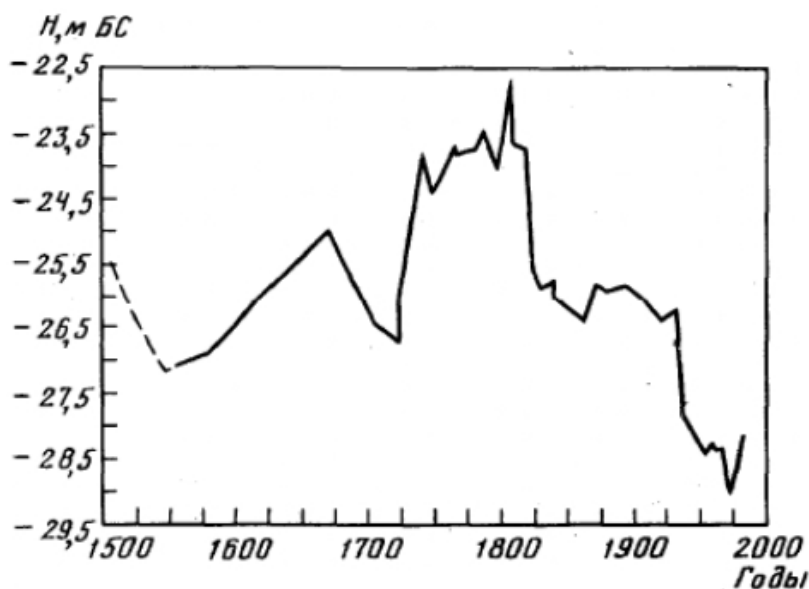


Рис. 1. Вековые изменения уровня Каспийского моря за 1500-1900 годы по данным Л.С. Берга и дополненные данными Государственного океанографического института за 1901-1983 годы (Водный ..., 2016). **Fig. 1.** Secular changes in the Caspian Sea level in 1500-1900 according to L.S. Berg, supplemented by the data from the State Oceanography Institute for 1901-1983 (Water balance ..., 2016).

Существование цикличности в колебаниях уровня и первостепенная роль климата в его изменчивости к началу XX века стали непреложным научным фактом. Постепенно было установлено, что если над бассейном р. Волги господствует антициклон, то происходит уменьшение речного стока, а если циклоническая деятельность – то увеличение; выявлены связь стока реки и уровня Каспия с западной, восточной и меридиональной формами атмосферной циркуляции и вообще с влиянием Северной Атлантики и ее центров действия атмосферы (Азорского, Исландского), с интенсивностью процесса Эль-Ниньо, с влиянием Тихого океана. Указанные закономерности на современном уровне рассмотрены в некоторых работах (Гидрометеорологические аспекты ..., 2003; Водные ресурсы ..., 2008; Водный ..., 2016; Костяной и др., 2025). Появилась уверенность в успешности прогноза уровня при условии надежного прогноза климатических изменений, которая сохраняется до сих пор при разработке прогнозов, предлагаемыми различными методологическими вариациями (Эйгенсон, 1957: 1963; Шевнин, 1994; Соловьева, 2004). Несмотря на существенный недостаток для практического использования, если дополнительно не учитывать антропогенное изъятие речного притока, оно продолжает использоваться не только для обоснования климатических воднобалансовых изменений, но и в качестве причин геоморфологических процессов деформации чаши водоема. У тектонических процессов

стали отмечаться 11 и 22-летние циклы, приводящие к изменениям объема вод в ней и, как следствие, положениям уровня (Ковалев и др., 2011; Ковалев, Парада, 2013). Возможно, «посредником» в этой связи служит геомагнитная активность Земли, у которой выявляется сходство цикличности с таковой солнечной активности (Безродных и др., 2019). Процесс подземного водообмена некоторыми геологами считается основным в поддержании многовековой халистатичности Каспия (Шахрай и др., 2003), что, однако, пока не находит подтверждения гидрохимическими экспериментальными данными.

Существенное ослабление интереса к долгосрочным прогнозам произошло в связи с проектом «Большая Волга», что показала ноябрьская сессия АН СССР в 1933 г. На ней рассматривался единственный механизм ослабления экологической нагрузки на водный баланс Каспия в связи с планируемым изъятием до 40-90 км³ годового стока из бассейна р. Волги на хозяйственные нужды – это подача дополнительного питания из р. Дона и европейских северных рек (Проблемы ..., 1934). При этом акцентировалось внимание на важности исследования водного баланса Каспийского и смежных речных бассейнов, для которых могли наступить существенные негативные последствия для судоходства, рыболовства и энергетики. С критикой недостаточной изученности гидросистем, вовлекаемых в реконструкцию регионов, выступил Б.А. Аполлов; на неверность водно-балансовых расчетов, другие погрешности и недоработки указывали А.В. Вознесенский, Б.К. Александров, К.Т. Романовский, Н.В. Разин и В.М. Родевич, Г.К. Ризенкамппф, Ф.С. Воеводский и другие участники совещания. По сути, оглядываясь назад на ситуацию с проблемой колебания УКМ в то время, регулирование уровня Каспия можно рассматривать в некоторой степени в качестве альтернативы долгосрочным прогнозам, которые в обоих случаях должны способствовать решению одной проблемы. Но следует отметить, что оба подхода требовали дальнейшего более глубокого изучения составляющих водного баланса Каспия, что стало реализовываться в послевоенное время (Зайков, 1946).

Краткий анализ истории прогнозирования хода уровня разной заблаговременности показывает неоднозначность получаемых результатов. Развитие методик прогнозирования УКМ вполне можно считать отдельной областью географических знаний, выполняющей запрос со стороны хозяйствующих субъектов и одновременно вносящих весомый вклад в фундаментальные науки о Земле. При этом методологическая проблема прогнозирования уровня водоема в бессточной котловине, реагирующего на изменчивость увлажненности в заданных рельефом бассейна диапазоне, в настоящее время оказывается чрезмерно сложной для обширного водосбора Каспия, находящегося в нескольких климатических зонах под влиянием многочисленных природных и антропогенных факторов. Краткий обзор работ по современному состоянию научных знаний роли отдельных составляющих водного баланса с конкретными обоснованиями их механизмов формирования динамики уровня Каспия дан в работе Е.С. Нестерова и А.В. Павловой (2024). Существующие проблемы и планы исследований на ближайшие 3 года по программе госзадания сформулированы на состоявшемся заседании ОНЗ АН России 24 февраля 2026 года в выступлении В.И. Данилова-Данильяна, в докладах М.В. Болгова, А.В. Панина, П.О. Завьялова, И.А. Идрисова, Д.С. Шипилова и других ведущих ученых из основных научных организаций, занимающихся решением водно-экологических проблем.

Исторически можно выделить несколько этапов в подходах к прогнозированию УКМ. Каждый последующий этап не означал окончательного решения задач предыдущего, а был направлен только на создание задела для своего развития, что в итоге привело к одновременному существованию нескольких методологических подходов в разработках прогноза уровня моря. Возможно, в будущем некоторый гипотетический синтез из них и позволит решить задачу надежности долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования.

Некоторые современные технические проблемы прогнозирования

К настоящему времени собрана огромная библиотека долгосрочных прогнозов, выполненных различными организациями и отдельными авторами. Но, если краткосрочные прогнозы УКМ довольно успешны, то ситуация с долгосрочными и особенно сверхдолгосрочными, несмотря на отдельные достижения, остается в общем неблагоприятной. Это объясняется не только методологическими сложностями прогнозирования, которым в данной работе уделяется основное внимание, но и целым рядом технических причин на разных стадиях разработки прогнозов. Среди них: неточности в определении параметров УКМ, элементов водного баланса Каспия, природных и антропогенных факторов, влияющих, порой отдаленно, на водный баланс и уровень моря, неопределенность будущей климатогидрологической и хозяйственной обстановки, наконец, недостаточное знание закономерностей формирования и функционирования уровня Каспия, представляющего собой, как нами отмечалось, весьма сложную систему. Е.С. Нестеров указывает (2019) на недостатки, характерные для всех морей, в работе наблюдательной сети, на необходимость повышения пространственной дискретности данных. Особую неопределенность и ошибки в прогнозы внесло вмешательство в естественный режим стока в залив Кара-Богаз-Гол в 1980-1992 гг. Как показало сопоставление кривых расхода стока от уровня моря до и после этих событий, наибольшее изменение произошло в диапазоне от -26 до -27 м н.у.м. БС с увеличением расходов примерно в 4-5 км³/год (рис. 2). Отсюда и объективно обусловленные дополнительные источники несовершенства разных прогнозов УКМ, конструктивная критика которых приводилась неоднократно в научной литературе (Шикломанов, 1976; Малинин, 1994; Фролов, 2003; Болгов и др., 2007; Водный ..., 2016) и которую мы использовали для повышения объективности собственных оценок.

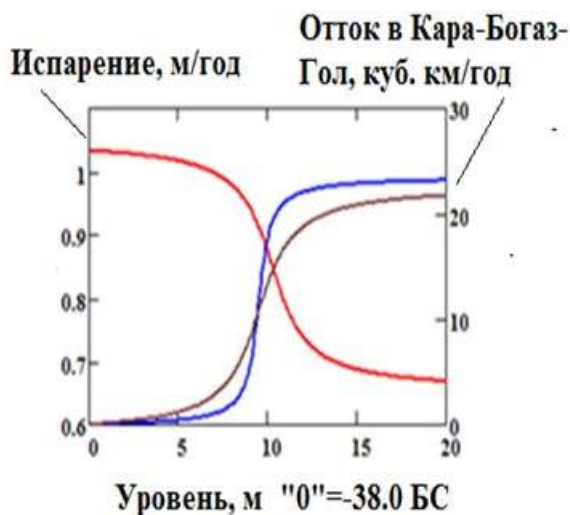


Рис. 2. Зависимости слоя испарения с акватории Каспия от уровня моря (красная линия), объема оттока морской воды в залив Кара-Богаз-Гол от уровня Каспия до 1980 года (синяя линия) и после разрушения дамбы в 1992 году (коричневая линия); уровень отсчитывается от -38.0 м н.у.м. БС (Фролов, 2025), аналитические выражения зависимостей приведены в работе А.В. Фролова (2019). **Fig. 2.** Dependency of the Caspian Sea evaporation layer from sea level (red line), the volume of seawater outflow into the Kara-Bogaz-Gol Bay from the Caspian level before 1980 (blue line) and after the destruction of the dam in 1992 (brown line); the level starts at -38.0 m above sea level (Frolov, 2025), and analytical expressions of these dependencies are given in A.V. Frolov (2019).

Закономерно появление критического разбора математической несостоятельности современных прогнозных линейных моделей, как и прежних, служивших в XX веке для разработки схемы, позволявшей перебросить часть стока северных рек при отсутствии теоретической модели с нелинейными природными процессами (Мищенко и др., 2019, 2020). По мнению авторов цитируемых работ, именно математикам (в экологическую комиссию под руководством А.Л. Яншина входил М.И. Зеликин) удалось доказать несостоятельность прогнозов дальнейшего снижения уровня моря во второй половине XX века и отказаться

от проекта переброски. Соответственно закономерно появление и развитие в последние десятилетия моделей с нелинейными уравнениями расчета испарения в связи с термодинамическими процессами в приложении к водобалансовым расчетам по Каспию (Хубларян, Найденов, 1991; Найденов, 1992; 2004; Швейкина, 2011; Фролов, 2021), для практического использования которых удобны нейросети. Как показали последние уточнения А.В. Фролова в докладе (2025), представленном на сайте Института водных проблем РАН, зависимость испарения от глубины проявляется только на мелководьях, корреляция между усредненным по всей акватории Каспия слоем испарения и уровнем моря незначительна за счет присутствия случайных компонентов. Дисперсия колебаний уровня по модели с учетом механизмов внутренних обратных связей (отрицательные – зависимости площади моря и оттока в залив Кара-Богаз-Гол, положительная – испарения с акватории моря от уровня) оказывается существенно большей без их учета. Недоучет обратных связей приводит к неверным прогнозным оценкам (Фролов, 2019, 2025).

Не останавливаясь на подробном анализе возможных технических погрешностей в определении всех составляющих водного баланса, которые могут достигать существенных значений в положении уровня в конкретный год (до 10 см от 0 футштока на гидрографических станциях, что эквивалентно 2-4 км³ воды в море), отмечаем вслед за всеми исследователями, что общие закономерности в колебании уровня с XIX века регистрируются везде по акватории однообразно. Именно смена тенденций вызывает основные проблемы в долгосрочном прогнозировании, а положение моментов их смены достаточно четко отражается на графике уровня по данным ГП Махачкала (рис. 3; табл.). На протяжении всего периода инструментальных наблюдений следует в основном чередование интервалов относительной стабильности и падения, и только для одного интервала характерен длительный подъем уровня (1978-1995 гг.), при этом время наиболее активного изъятия волжского стока на заполнение водохранилищ пришлось на конец и начало обоих разнонаправленных интервалов. Следует обратить внимание на то, что за длительный период падения с 1934 по 1977 гг. существовали 9 точек флуктуации, которые можно было принять за начало возможного перелома тренда на рост, но который не состоялся. Возможно, такой точкой на графике может быть 2025 г., когда средний годовой уровень на ГП «Махачкала» опустился до абсолютного минимума в -29.02 м н.у.м. БС, а срочная минимальная отметка – до -29.72 м.

Отмеченные неопределенности при оценках составляющих водного баланса по своим размерам превышают разницу между суммарными значениями прихода и расхода, которая, по последним данным, становится существенной для формирования многолетнего тренда уровня уже при значении в 5 км³ (Малинин, 2022). Все это затрудняет прогнозирование УКМ на базе климатической изменчивости составляющих водного баланса. Но главная сложность при таком типе прогнозов заключается в выявлении предикторов, обеспечивающих необходимую заблаговременность предсказания хода составляющих водного баланса, чему будет уделено дополнительное внимание в статье.

Равнозначны с указанными погрешностями неопределенности при расчетах перспектив потребления воды для промышленного и коммунального водоснабжения, а потребление воды на орошаемое земледелие может их превышать кратно. В планах 1930-х годов развития орошения Заволжья фигурировали показатели изъятия волжского стока в объеме до 90 км³/год (Проблемы ..., 1934). В настоящее время после резкого сокращения орошаемых земель в 1990-е годы происходит рост площадей в Волгоградской области: в 2014 году их площадь составляла 33.7 тыс. га, к 2023 году она возросла до 80.6 тыс. га, а к 2030 году планируется ее довести до 100 тыс. га (Мухина, 2023). На сайтах Волгоградской области при декларации внедрений передовых технологий, перспективные оросительные нормы и водозатраты не приводятся.

Влияние строительства и заполнения водохранилищ сказывается до сих пор, несмотря на то, что для большинства притоков в Каспий безвозвратное изъятие стока заметно снизилось после распада СССР. Согласно «Водным ресурсы России и их использованию» (2008), если в конце 1980-х годов оно составляло 40-50 км³/год, то в начале XXI столетия оно было практически вдвое ниже. По расчетам Н.И. Коронкевича с соавторами (2023), сток р. Волги за 1930-2020 годы относительно базового периода 1879-1929 годов уменьшился суммарно почти на 1 тыс. км³, из которых около 490 км³ пришлось на влияние водохранилищ, а 510 км³ – на безвозвратное водопотребление. Климатические изменения в сторону уменьшения стока р. Волги оценены почти в 1550 км³. По методу восстановления климатического стока и его сопоставления с фактическим суммарные климатические изменения за 1930-2020 годы составили около 1360 км³, а антропогенные – примерно 1190 км³. В итоге по 2 вариантам расчета получены близкие оценки вклада климатических и антропогенных факторов в общее изменение стока за 1930-2020 гг. При этом соотношение антропогенных и климатических факторов по этим вариантам составило, соответственно, 40% и 60%, 47% и 53%, что свидетельствует о недопустимости учета в прогнозировании только климатического или только антропогенного фактора.

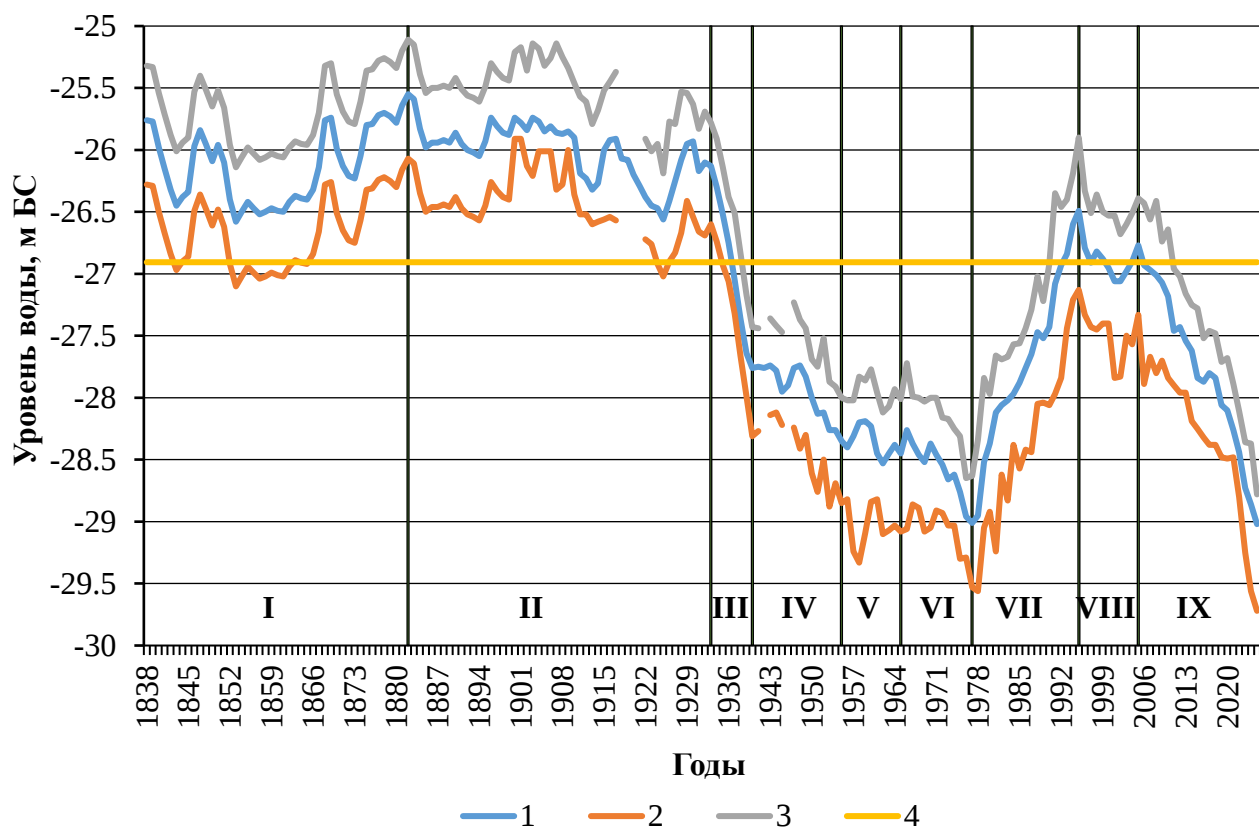


Рис. 3. Динамика уровня Каспия по ГП «Махачкала»; максимальные и минимальные значения до 1900 года рассчитаны по средним многолетним значениям разницы со средним годовым за 1900-2024 гг. Условные обозначения: 1 – средний годовой, 2 – минимальный, 3 – максимальный, 4 – средний многолетний за весь период, I-IX – характерные периоды (Геоэкологические ..., 1997, с дополнением авторов, приведенными в таблице).

Fig. 3. Dynamics of the Caspian Sea level according to the Hydrological Post “Makhachkala”; the max/min values before 1900 were calculated from the long-term average values of the

difference from the annual average for 1900-2024. *Legend:* 1 – average annual, 2 – minimum, 3 – maximum, 4 – average long-term for the entire period, I-IX – characteristic periods (Geoecological ..., 1997, with the addition of the authors provided in Table 1.

Таблица. Периоды и их границы (рис. 3) с отметками высот и градиентами изменчивости.
Table. Periods and their boundaries (Fig. 3) with elevation markers and gradients of variability.

№ периода	Интервал, годы	Продолжительность, лет	Отметки уровня, м н.у.м. БС		Характеристика хода уровня	Градиент, см/год
			начало	конец		
I	1838-1882	50	-25.76	-25.55	стабилизация	±5-17
II	1883-1933	51	-25.59	-26.13	снижение	1.1
III	1934-1940	7	-26.3	-27.76	резкое снижение	20.9
IV	1941-1955	15	-27.75	-28.35	снижение	4.0
V	1956-1965	10	-28.4	-28.45	стабилизация	±10
VI	1966-1977	12	-28.26	-29.01	снижение	6.3
VII	1978-1995	18	-28.95	-26.49	резкий подъем	13.7
VIII	1996-2005	10	-26.79	-26.77	стабилизация	±5-6
IX	2006-2024	19	-26.93	-28.86	снижение	10.2

В последние десятилетия широкое распространение получило определение стока и водного баланса на основе применения ансамбля модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). Однако говорить о том, что влияние всех этих связей на сток р. Волги, других рек и УКМ изучены досконально, не приходится. Показательна формулировка в книге «Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря» (2016, с. 118): «К сожалению, в настоящее время, несмотря на успехи в исследовании климата Земного шара, моделей, способных с достаточной степенью точности описать глобальные, а тем более региональные изменения параметров климатической системы, пока не существует». Она четко «перекликается» с выводами в более поздних работах Е.Ф. Мищенко с соавторами (2019, 2020) и М.В. Болгова (2025). Следует заметить, что получить надежные долгосрочные прогнозы для решения хозяйственных проблем, связанных с колебанием уровня Каспия, пока не получается не только из-за перечисленных сложностей учета всех компонент водного баланса, но и, как мы допускаем, из-за недостаточно обоснованной стратегии решения этой весьма сложной задачи. Этого вопроса мы коснемся ниже.

Заблаговременность прогнозов и их оправдываемость: в чем сложность?

Все прогнозы принято подразделять на краткосрочные (заблаговременностью до 1 года – 1 год), долгосрочные (с заблаговременностью более 1 года) и сверхдолгосрочные (с заблаговременностью более 5 лет). Сложившаяся с начала 1930-х годов в связи с проектом «Большая Волга» основная ориентация на многолетнее регулирование УКМ (а не его прогноз) предопределила приоритет в развитии краткосрочных прогнозов, которые решали и оперативные задачи такого регулирования. Также существовал запрос на предсказание чрезвычайных ситуаций, связанных со сгонно-нагонными явлениями, создававшими трудности для мореплавания, добычи биоресурсов и нефти, других работ в прибрежной зоне.

Первый метод краткосрочного прогнозирования изменений уровня воды в море,

используя связь изменения уровня с изменениями силы ветра и атмосферного давления за предшествующие шесть часов, предложил А.И. Каракаш (1939). Количество удачных прогнозов по шести станциям за сентябрь 1937 года автор оценивает от 75 до 93%. В 1948 году С.И. Кан предложил метод прогнозирования уровня северной части Каспийского моря с 6-часовой заблаговременностью, используя линейную связь градиента поля давления с уровнем. Позже стали прогнозировать, используя поле давления в виде коэффициентов разложения по полиномам Чебышева. Полученные коэффициенты коррелировали с уровнем моря (Шереметьевская, 1964). Еще одним вариантом прогноза стало использование эмпирических связей скорости и продолжительности (полусутки, сутки и более) ветра с уровнем отдельно для нагонов и сгонов (Фомина, 1968). Данная методика использовалась для Махачкалы, Астары, Сумгаита и Энзели. Все перечисленные методы относятся к группе эмпирических и физико-статистических методов, которые использовались гидрометслужбой в оперативных прогнозах. Считается, что основным их недостатком является необходимость периодического уточнения и обновления эмпирических связей уровня с метеорологическими факторами (Водный ..., 2016).

Постепенно методики прогнозов усложнялись, стали использовать метеорологические прогнозы и так называемые гидродинамические методы расчета и прогноза уровня моря, разработанные в Гидрометцентре. В работах (Вербицкая и др., 2002; Зильберштейн и др., 2003) для прогнозов 48-часовой заблаговременности используются прогностические данные давления, поступающие из Гидрометцентра России, на основе которых по специальной методике рассчитываются поля ветра. Вместе с ними используются данные по расходам рек, батиметрии, топографии прибрежной зоны, термохалинной структуре вод, ледовым условиям, среднему уровню моря. Метод реализуется на основе гидродинамической бароклинной модели, которая положена в основу оперативной технологии прогноза уровня и течений по всей акватории Каспийского моря Гидрометцентром России. В модель заложен алгоритм осушения (при сгонах) и затопления (при нагонах) прибрежных территорий. Средняя оправдываемость прогнозов на 3 суток составляет 87%, на 5 – 80% (Водный ..., 2016).

В прогностической модели Казахского НИИ мониторинга окружающей среды и климата, внедренной в 2002 г. (Ивкина, 2013), используется информация из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды и гидрологическая с казахстанских станций и станций межгосударственного обмена. Для расчета уровня применяется штормовая модель на основе гидродинамического модуля модели MIKE 21. Расчеты проводятся в автоматическом режиме с выводом штормовых предупреждений (рис. 4).

Прогноз заблаговременностью до 120 часов имеет оправдываемость более 80%. Таким образом, краткосрочные прогнозы неперiodических изменений уровня используются в практике Росгидромета продолжительное время, увеличивая заблаговременность и при этом не теряя в оправдываемости. Этот тип прогнозов, по аналогии с гидроклиматическим для долгосрочных прогнозов, можно назвать «гидросиноптическим».

Впервые метод прогноза годового хода уровня Каспийского моря с заблаговременностью на 1 год был предложен Г.П. Калинин. С 1938 года прогнозы по этому методу начали выходить в качестве опытных. В оперативном прогнозировании они начали использоваться с 1954 года и находили широкое применение в разных отраслях хозяйства. Оправдываемость среднемесячных значений уровня за период с 1954 по 1964 годы составила 74%, а средних годовых – 79% (Смирнова, 1972). В качестве методической основы в этом варианте использован воднобалансовый подход. По эмпирическому прогностическому уравнению рассчитывается сезонный прирост уровня по его связи с количеством осадков в бассейне Волги (выпавших с сентября по март) и осенне-весенних температур воздуха, отражающих потери осадков на испарение (Белинский, Калинин, 1946). В 1966-1967 годы метод

приспособлен к условиям зарегулированности стока рр. Волги, Куры и Урала. Сток р. Волги стал не прогнозироваться, а приниматься согласно планам сбросов из Волгоградского водохранилища (планы не всегда реализовывались). Для повышения оправдываемости и увеличения заблаговременности метод периодически модифицируется (Калинин и др., 1968; Смирнова, 1972; Шереметьевская, 1985; Нестеров, 2001, 2003). Оправдываемость прогноза за период с 1992 по 2005 годы составила 90% (Водный ..., 2016). Уровень моря определялся ежемесячно по 7 базовым пунктам, а с 2009 года расчеты автоматизированы.

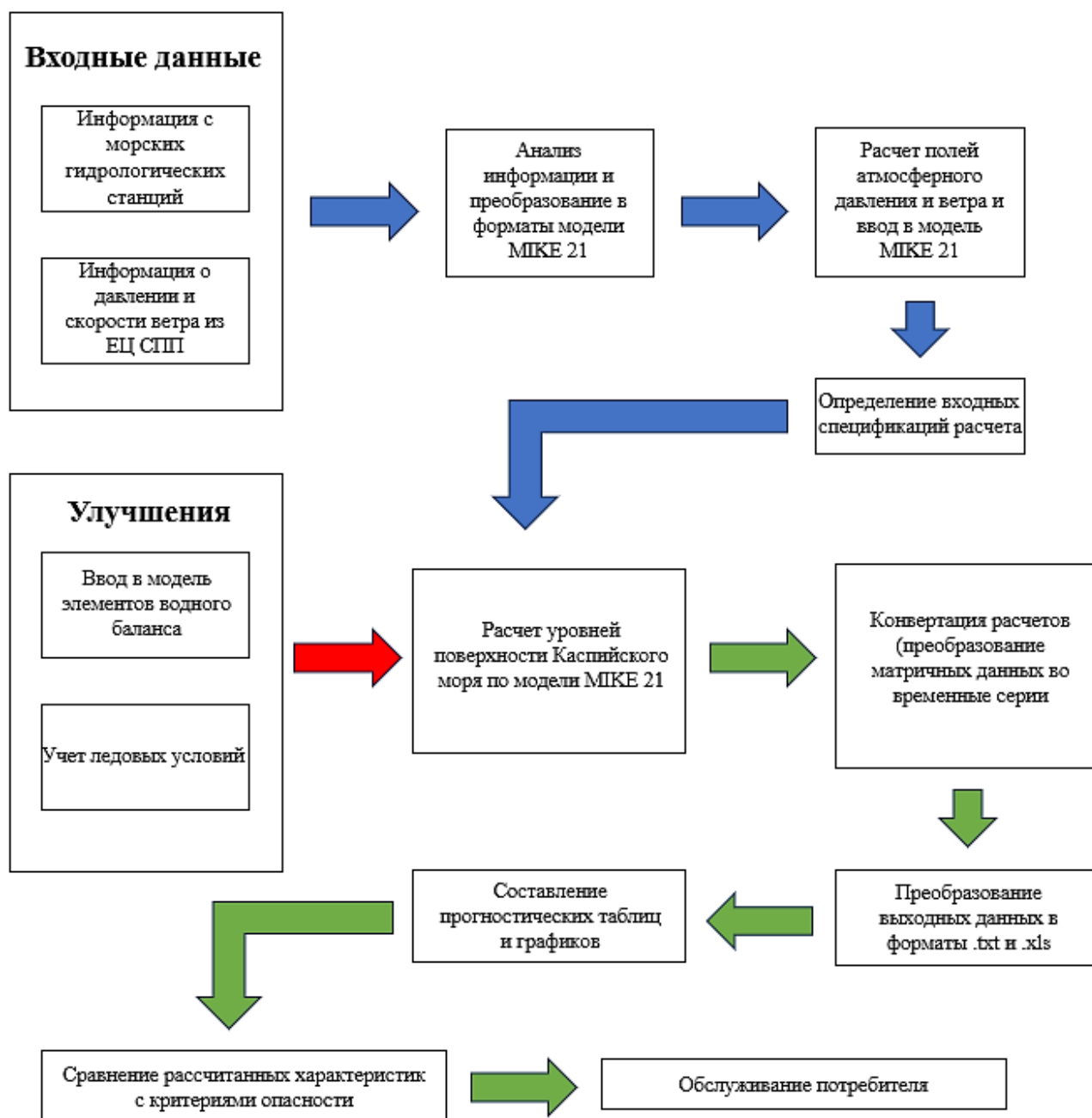


Рис. 4. Блок-схема автоматизированного расчета уровня Каспийского моря по модели MIKE 21 (Водный ..., 2016). **Fig. 4.** Block diagram of automated calculation of the Caspian Sea level using the MIKE 21 model (Water balance ..., 2016).

Статистический метод приращения среднегодового УКМ с заблаговременностью в 12-14 месяцев был разработан в 1993 году в Главной геофизической обсерватории им. Воейкова (Мещерская, Александрова, 1993). Прогнозы на будущий год составляются в октябре текущего года, а предикторами служат суммы осадков, гидротермические коэффициенты и температуры воздуха, осредненные по площади 28 административных областей России в бассейне Каспия. Зависимость между приращениями и метеорологическими предикторами оценивается коэффициентами корреляции, при этом с уровнем наиболее тесно связаны осадки в верховьях Волги, Камы и Урала, влияние которых сказывается в течение 2-3 лет. Оправдываемость прогнозов примерно такая же, как оправдываемость аналогичных прогнозов Гидрометцентра России (Водный ..., 2016). В прогнозировании этим методом возможны разные варианты с вычленением трендовой составляющей, с адаптацией длины временных рядов и других способов получения более достоверных результатов.

Позже статистический метод прогноза был модифицирован для прогнозов заблаговременностью до 15-20 лет (Мещерская, Голод, 2003). Используются несколько предикторов (горизонтальные градиенты температуры, индексы североатлантического колебания, ледовитость Баренцева моря, индексы антициклоничности Вительса, центры действия атмосферы, индексы циркуляции Вангенгейма–Гирса, индексы интенсивности зональной циркуляции, индексы Южного колебания), которые берутся при сдвигах коррелируемых рядов на более длительные сроки по сравнению с предыдущим вариантом прогноза. Выбор оптимального интервала заблаговременности осуществляется по максимальным коэффициентам корреляции. По прогнозу, ожидалось подьемы до -26.5 м в 2015-2017 гг. Авторы сами говорят о слабой стороне предложенного ими метода – экстраполяция рассчитанных статистических зависимостей между предикторами и уровнем в отличающихся климатических условиях.

Концептуальную модель межгодовой изменчивости УКМ предложил В.Н. Малинин (1994, 2009). Из большого числа факторов он выделяет влияние Северной Атлантики, из которой происходит основной перенос влаги на Европейскую территорию России и бассейн р. Волги. Усиления и ослабления циклонической деятельности вызывают межгодовые колебания в объемах водного стока и испарения (рис. 5). Механизм формирования колебания уровня моря и расчетные формулы достаточно подробно описаны в упомянутых работах автора и в книге «Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря» (2016). Помимо прогнозов годовой заблаговременности (оправдываемость прогноза стока Волги заблаговременностью до 1 года была почти 100%) данная схема использована и для разработки долгосрочных прогнозов по физико-статистической модели, показав хорошую сходимость с фактически наблюдавшимися уровнями за 15-летний период (Водный ..., 2016). По нашему мнению, предложенный методологический подход В.Н. Малинина – один из первых и в настоящее время популярных вариантов адаптации «идеологии» краткосрочного прогнозирования к прогнозированию большей заблаговременности, когда используются связи элементов водного баланса с показателями глобальной циркуляции атмосферы. Однако его первоначальную версию нельзя назвать удачной: даже сроком на ближайшие 5 лет (прогноз на 2000 и 2010 годы отметки уровня прогнозировались, соответственно, -26.5 и -25.5 м н.у.м. БС, а фактически составили -26.95 и -27.18 м), т.е. была ошибка даже в тенденции. Следует отметить, что имеется надежда на гораздо более хорошую сходимость у доработанной модели автора (Малинин, 2009; Малинин, Гордеева, 2020).

Если востребованность к краткосрочным и годовым прогнозам очевидна, и она в целом удовлетворяется организациями Росгидромета, то ситуация с разработкой долгосрочных прогнозов, не преувеличивая, можно сказать близка к тупиковой. Во-первых, не видно запросов от хозяйственников по конкретной заблаговременности прогнозов. Во-вторых,

не формулируются требования к точности прогнозов. В-третьих, не ставится вопрос об ответственности за ошибки в прогнозах, которые могут привести к разнообразным материальным и финансовым убыткам. И самое главное, нет механизмов реагирования хозяйственной деятельности к потенциальной изменчивости уровня, помимо продемонстрированной в 1990-е годы авральной защиты наиболее важной инфраструктуры от воздействия морских вод при подъеме уровня (Основные ..., 1992; Водные ..., 1996).

Со стороны государственных органов управления никогда открыто не выражалась заинтересованность в получении долгосрочных прогнозов хода уровня Каспийского моря. Весь советский период ориентация была на регулирование стока Волги, а не на прогнозирование изменчивости ее стока и уровня моря. После распада СССР вопрос регулирования был исключен из повестки дня в связи со многими сомнениями экологического характера, связанными с пополнением волжских ресурсов за счет северных рек и возникшими вопросами, требующими решения на межгосударственных уровнях.



Рис. 5. Генетическая схема формирования межгодовых колебаний уровня Каспийского моря (Малинин, 1994; Водный ..., 2016). **Fig. 5.** Genetic scheme of formation of interannual fluctuations of the Caspian Sea level (Malinin, 1994; Water balance ..., 2016).

Тем не менее, некоторые организации Росгидромета и Российской академии наук продолжали заниматься разработками долгосрочных прогнозов уровня Каспия, поскольку это направление синтезировало в себе решение в практической плоскости большого количества задач, стоящих перед науками о Земле. В первую очередь – в области гидрометеорологии и геофизики. Соответственно, в основе предлагавшихся методов долгосрочных прогнозов использовались связи водобалансовых параметров и непосредственно уровня воды с солнечной активностью, т.е. по самому первоначальному направлению, заданному Э. Брикнером в XIX в. Как мы отмечали, первоначальные прогнозы периода Ленца–Берга (которые охватывают 1830-1934 гг.) можно отнести к качественным (к этому периоду следует отнести и более поздние прогнозы Б.Д. Зайкова (1940)

и И.А. Бенашвили (1948)). Тогда, исходя из научного открытия цикличности хода уровня и считая на тот момент текущую фазу низкого положения, ученые предсказывали его скорое повышение. Как известно, предсказания их не оправдались, и тенденция снижения уровня продолжилась. Тем не менее, интерес использования природных цикличностей в прогнозах остался навсегда.

Наиболее точный долгосрочный (на 40 лет) прогноз с учетом солнечной активности дал М.С. Эйгенсон (1963). Он использовал открытую задолго до него закономерность соответствия максимумов солнечной активности наиболее низкому стоянию УКМ и наоборот, минимуму солнечной активности – высокому стоянию уровня. Он спрогнозировал смену тренда в ходе уровня с отрицательного на положительный, хотя и ранее фактического (рост уровня начался с 1978 года вместо прогнозного 1970 г.). М.С. Эйгенсон точно предсказал средний уровень на 2000 г., который по ГП «Махачкала» составил -26.95 м н.у.м. БС (по прогнозу -26.9 м)

Дальнейшие опыты с предсказаниями на длительные периоды хода уровня, в которых предиктором служила солнечная активность, не были столь успешны. К ним нужно отнести более поздние прогнозы 1990-х гг., предсказывавшие повышение уровня в первые десятилетия XXI века (Гетман, 1997; Дуванин, 1997) или его квазистабильзацию на «верхне-фоновых» отметках в сочетании с активизацией сейсмической активности (Осика и др., 1997).

Н.Н. Соловьева (2004) в качестве предиктора использовала 50-60-летние ряды солнечной активности, которые с таким временным лагом совпадали с ходом уровня моря и стоком р. Волги у г. Волгограда. Сделанный в 1992 году прогноз уровня на 2000 год оправдался с точностью до 1 см. По прогнозу, повышение уровня должно было продолжаться, но этого не случилось (Соловьева, 2004). В комментарии к этим прогнозам следует отметить, что прогноз хода самой солнечной активности не обеспечен научной базой для того, чтобы служить надежным предиктором для прогнозирования развития гидроклиматических процессов. Такая ситуация сохраняется и сейчас.

К методологии прогнозирования с использованием циклов солнечной активности тесно связан метод периодичностей, но имеет свои существенные особенности для выделения в отдельный тип. Авторы этого направления прогнозирования (наверное, самого долгоживущего со времен Ленца) считают возможным и перспективным использование математических приемов для выделения периодичностей разных амплитуд в наблюдаемом ходе уровня и других гидрометеорологических процессов. По убежденности сторонников метода, наложение нескольких гармоник и дает описание реальной изменчивости уровня, что на определенных достаточно длительных временных отрезках вполне очевидно.

Первым реальным количественным прогнозом по этому методу был прогноз Б.А. Шлямина (1962), который объяснял колебание уровня изменчивостью годовых объемов стока Волги, находящихся в зависимости от климатических условий. При этом теорию прогрессирующего изменения климата он считал несостоятельной. Ход уровня он описал теоретической кривой с сочетанием 4 гармоник с периодами 11, 33-35, 100-120 и 480-500 лет в соотношении амплитуд 1:2:4:7, которые взял из докторской диссертации И.В. Максимова (1953). Теоретическую кривую он сопоставил с кривой Л.С. Берга и получил хорошее совпадение. По его прогнозу, естественный уровень до 1975 года должен был находиться в относительно устойчивом положении (75-80 см по бакинской рейке; к сожалению, в статье не указана привязка к БС, но, по нашему расчету, уровень составляет около -28 м н.у.м. БС). С 1975 по 2032 годы он должен повышаться до отметки 250 см (около -26.25 м). К 2082 году следует ожидать спад до отметки 80 см. Автор приводит примерные расчеты того, как на скорости спада скажется забор водного стока рек на хозяйственные нужды. Фактический ход уровня соответствовал предсказанию только на начальной фазе подъема.

К такому типу прогнозов мы относим работы СС. Лаппо с Ю.А. Рева (1997), А.В. Бабкина (2005) и Е.В. Борисова с соавторами (2019). Кратко остановимся на последней работе В.Б. Ермакова (2023). Автор обнаружил, что в интервале 1790-2021 годов характер изменения уровня Каспийского моря определяли тренд и 2 гармоники. Их периоды, соответственно, составили 67 и 98 лет, а амплитуды – 0.4 и 0.9 м. В спектре уровня присутствуют неустойчивые гармоники с периодами 30 и 38 лет с амплитудами менее 0.2 м (по терминологии автора – квазитридцатилетние «брикнеровские частоты»), при добавлении в модель повышающие точность аппроксимации. Экстраполяция кривых в качестве прогноза показывает снижение уровня вплоть до 2045 года примерно до -30 м с последующим плавным увеличением до -29...-29.5 м к 2070 г. Таким образом, и в этом типе прогнозов экстраполируются выявленные за последний прошедший период времени закономерности на будущий ход уровня.

Возвращаясь к гидроклиматическим прогнозам, надо отметить, что довольно успешные результаты использования предложенного Г.П. Калининым воднобалансового метода прогнозирования с годовой заблаговременностью давали надежду на расширение применимости подхода. В середине 1940-х годов его попытались модифицировать для разработки прогнозов с большей заблаговременностью (Белинский, Калинин, 1946; Зайков, 1946). Авторы, отталкиваясь от среднего уровня в 1945 г. (-27.95 м н.у.м. БС), предсказали его повышение в 1946-1948 годы на 10-20 см, а после – снижение на такую же или большую величину. Как мы знаем, прогноз оправдался. Но надо заметить, что наш анализ связи соседних лет УКМ по Махачкале за 1994-2023 годы показал, что почти в 80% случаев разница не превышала 20 см, т.е. она укладывается в величину оправдываемости метода Г.П. Калинина. Учет трендовой составляющей позволяет определиться со знаком предстоящего изменения УКМ и в следующем году. В послевоенные годы долгосрочные прогнозы стали выходить, как правило, в более конкретных количественных показателях, за что получили наименование детерминированных. Такая форма подачи была необходима для их использования в плановой социалистической экономике.

Следует иметь в виду, что долгосрочными прогнозы могут считаться даже с заблаговременностью всего 1-2 года. Задачу таких прогнозов в Главной геофизической обсерватории считают решенной на основе воднобалансовых расчетов (Мещерская, Голод, 2003), а прогнозы с заблаговременностью в 5-20 лет считают сверхдолгосрочными.

Долгосрочные детерминированные прогнозы можно разделить на 2 группы: в одной даются значения УКМ в конкретные периоды, в другой указывается тенденция изменения УКМ. В основном они базируются на зависимостях УКМ от различных показателей атмосферной циркуляции и величин антропогенной нагрузки и их влиянии на водный баланс Каспия, установленных для предпрогнозного периода, и их изменения в будущем. В последнее время чаще всего используется ансамбль моделей МОЦАО или отдельные климатические модели этого ансамбля, т.е. используется принцип актуализма. Реже учитываются закономерности циклических колебаний УКМ в прошлом.

Краткие обзоры различных методов прогноза даны в работах В.Н. Малинина (1994), «Гидрометеорологические аспекты и проблемы Каспийского моря и его бассейна» (2003) и «Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря» (2016). Приведем несколько примеров долгосрочных детерминированных прогнозов. Удачным оказался прогноз М.С. Эйгенсона (1963), упоминавшийся выше как использующий в качестве предиктора солнечную активность; прогнозы А.Н. Афанасьева (1967) и К.И. Смирновой (1972), в котором впервые совместно учтены изменения колебаний уровня Каспия и показатели атмосферной циркуляции. Следует отметить, что в последней работе практически оправдался прогноз УКМ на 1980 год (-28.53 м н.у.м. БС) при фактическом -28.38 м. Однако выявились существенные расхождения в прогнозе на 1990 и 2000 годы:

прогнозировалось -28.99 и -29.57 м при фактическом -27.47 и -26.95 м. В монографии «Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря» (2016) отмечается, что большинство авторов прогнозировали повышение УКМ до 2010 г., однако в 1996-1997 годы УКМ стал снижаться, что, правда, было предсказано М.И. Будыко с соавторами (1988). Вместе с тем в их работе к 2025 году предполагался рост уровня на 0.4 м по отношению к 1986 г., чего, как мы видим, нет. В.Н. Воробьев и В.Н. Малинин (1995) прогнозировали, что к 2000 году УКМ будет около -26.0 м, что недалеко от истины, а к 2020 году достигнет -25.0 м, что не соответствует действительности. Анализ выполненных долгосрочных детерминированных прогнозов показывает, что, как правило, более удачные прогнозы для отдельных периодов не оправдывались для других периодов. Этот вывод правомерен и в отношении прогнозов, выполненных позднее, например, З.К. Абузярова с соавторами (2010), хотя расхождения с фактическими значениями УКМ у них в целом меньше, чем в более ранних прогнозах.

Учитывая несовершенство долгосрочных детерминированных прогнозов, все большее число исследователей склоняется к тому, что наиболее оправдано давать вероятностные прогнозы УКМ, а с учетом высокого уровня неопределенности сведений о будущих климатических, гидрологических и хозяйственных условиях – применять сценарные прогнозы. Сценарные прогнозы трудно считать в истинном смысле прогнозами; скорее, это варианты проигрывания по моделям различных ситуаций, которые будут реализовываться при искусственно заданных наборах факторов или предикторов. Можно задать исходные параметры в вероятностном виде и в таком же виде получить результат, что показано на примере вероятностных прогнозов Государственного гидрологического института (ГГИ) основных составляющих водного баланса и уровня Каспийского моря на основе климатических сценариев (Водный ..., 2016). Для этого использована стохастическая модель, разработка которой начата в 1940-х гг. (Крицкий, Менкель, 1946). В монографии С.Н. Крицкого с соавторами (1975) на основе вероятностного воднобалансового метода дан прогноз на 1980 год со значением -28.80 м н.у.м. БС, что близко к фактическому -28.37 м; но в то же время совершенно не оправдался их прогноз на 2000 год с -29.75 м при фактическом -26.95 м. В другом варианте при таком же подходе, согласно расчетам значений математических ожиданий, правильно спрогнозированное снижение уровня до -27.7...-28.1 м не настолько меньше его фактического падения и, возможно, станет оправдавшимся на 2030 г. (Шикломанов и др., 2003). Такие типы прогнозов можно определить, как комбинированные сценарно-вероятностные.

Сходным образом был разработан прогноз на 2050 г., в котором также задавались сценарии притока Волги по моделям ГГИ, суммарное уменьшение притока за счет хозяйственной деятельности было принято в размере 28 км³/год (Водный ..., 2016). Математическое ожидание уровня Каспийского моря при четырех климатических сценариях и трех сценариях хозяйственной деятельности получилось выше отметки -29.0 м н.у.м. БС. С вероятностью 90% верхняя граница интервала колебания уровня не превысит -26.0 м.

Надо отметить, что несколько иной смысл сценарным прогнозам придает А.В. Фролов, называя данный подход теоретико-вероятностным, когда под сценарием понимает совокупность необходимой для прогноза информации, включая модели процессов многолетних изменений основных компонентов водного баланса и механизма колебаний уровня моря. Сделанный прогноз уровня на 1995-2018 годы с заданным средним водным балансом моря как наиболее реальным, позволил ему оценить повышение уровня моря выше отметки -26.0 м как «чрезвычайно маловероятным», а математическое ожидание уровня близким к наблюдаемым отметкам (Фролов, 2019).

В поисках причин неудач

При выявлении недостатков и преимуществ у тех или иных методов долгосрочного прогнозирования (типов прогнозов, как их часто называют), применявшихся на протяжении длительного периода времени, целесообразно обратиться к мнениям самих разработчиков прогнозов, которые нередко критически относятся к работам своих коллег. Рассмотрим с этих позиций несколько, по нашему представлению, ключевых работ.

И.А. Шикломанов (1976) писал, что уровненный режим Каспийского моря почти целиком определяется притоком поверхностных вод, из которых 80% поступает со стоком р. Волги. Исходя из этого, для прогнозов необходимо изучение происходящих на водосборах рек процессов, которые влияют напрямую и косвенно на водность рек и образуют две основные группы факторов – климатическую и антропогенную. Признавая достаточно хорошую проработанность положений гидроклиматической составляющей, он отмечает неприемлемую противоречивость в оценках сокращения притока речных вод за счет потребления на хозяйственные нужды. Например, по расчетам В.А. Рутковской, общее потребление до 1960 года составило 188 км³, а по С.Н. Боброву – 47 км³. Суммарное потребление до 1970 года по расчетам С.Н. Боброва (1963) и В.И. Попова (1963), соответственно, 460 и 870 км³. Следует отметить, что, признавая указанный недостаток у предшественников, избежать его и ему не удалось, а в последующем прогнозисты стали просто использовать постоянные ежегодные значения, например, 40 км³ (Рычагов, 1993а), 28 км³ (Шикломанов, Георгиевский, 2003) или 25 км³ (Болгов и др., 2007).

Свой прогноз И.А. Шикломанов (1976) составил с использованием нового на тот момент метода оценки антропогенной составляющей, разработанного в ГГИ, когда она рассчитывается одновременно по водохозяйственным балансам и суммарно с учетом колебания стока за счет гидрометеорологических факторов. Составляющие водного баланса количественно уточняются. В качестве прогнозных значений используются среднее значение видимого испарения, величина естественного стока рек на 10% выше нормы и рассчитанные значения хозяйственного потребления водных ресурсов. Те же расчеты сделаны для среднего многолетнего речного стока и хозяйственного потребления на уровне 1973 г. В итоге получилось, что, если бы не планируемый рост водопотребления при увеличении площадей орошаемого земледелия с 2.8 до 7-8 млн. га, уровень Каспия к 2000 году не изменился бы или даже вырос на 20-30 см.

Положительная сторона работы И.А. Шикломанова – это акцент на антропогенной составляющей сокращения речного стока, поскольку до этого ей не уделялось достаточного внимания. Следует отметить, что при оценке источников ошибок с современных позиций ими оказываются неправильные прогнозы безвозвратного водопотребления, связанные с отсутствием достоверных планов развития водохозяйственной отрасли. Этот источник погрешности в прогнозах весьма актуален и сейчас. При прогнозировании применен «сценарно-детерминированный» подход, при котором определяющие климатические процессы экстраполировались на будущее (ранее мы говорили о сценарно-вероятностном подходе – более поздней разработке И.А. Шикломанова с коллегами).

В монографии «Гидрометеорология и гидрохимия морей» (1992) по методу прогнозирования выделены 2 типа. *Климатический или гелиогеофизический* тип основан на связи колебания уровня или отдельных элементов водного баланса с различными внешними факторами, а результат выдается в детерминированном виде. Методом используются геофизические показатели солнечно-земных связей. Чаще всего солнечная активность, выражаемая количеством солнечных пятен, коррелируется с климатическими характеристиками. Выявляются зависимости уровня моря и отдельных элементов водного баланса от характеристик атмосферной циркуляции, часто выражаемых в виде различных индексов. В качестве примеров приводятся работы Б.А. Аполлова с К.И. Алексеевым (1959),

Е.Г. Архиповой (1975) и А.А. Гирса (1957, 1971). Необходимо указать на следующий недостаток характеризуемого подхода: при синхронном сопоставлении хода уровня и показателей солнечной активности за скобками остаются физические механизмы передачи солнечной деятельности на гидрологические процессы (Соловьева, 2004). В описываемый тип прогнозов мы добавляем цитируемую работу, автор которой доказывает накопительный эффект гелиогеофизических факторов для реализации гидроклиматических последствий. Связь хода процессов может проявляться и просто при сдвиге временных рядов солнечной активности относительно уровня и отсутствовать при синхронном сопоставлении.

Очевидно преимущество детерминированного типа прогнозов во всех отраслях народного хозяйства – однозначность получаемых результатов, в чем заинтересованы потребители прогнозов. До 2000 года повышенный уровень был верно предсказан большинством прогнозов указанного типа. Но существуют существенные недостатки, которые стали ярко проявляться в XXI в. Оказалось, что периоды достаточно тесной связи между факторами и уровнем сменяются периодами, когда связь нарушается, меняется знак. В ряде случаев трудно найти факторы, тогда прибегают к искусственному временному смещению коррелируемых рядов и получают интервал заблаговременности прогнозирования (например, прогноз уровня 6-летней заблаговременности). Так же, как и другие детерминированные прогнозы, они содержат ошибки в точках перелома трендов хода уровня.

Вероятностно-статистические методы (Гидрометеорология ..., 1992) относятся ко второму типу прогнозов. В этом типе используется вероятностное описание колебаний уровня, исходя из определяющих его гидроклиматических факторов как стохастических процессов. В его основу положен воднобалансовый метод исследования изменчивости уровня, например в (Аполлов, 1935; Архипова и др., 1972). Моделирование временных рядов составляющих водного баланса позволяет исследовать динамику уровня моря в разных условиях антропогенного влияния, которое остается плохо описываемым фактором. Не совсем обоснованно, по нашему мнению, в монографии в этот тип включен упоминавшийся выше прогноз И.А. Шикломанова (1976).

Обычно использование указанных методов позволяет однозначно определять ход уровня при средних климатических значениях составляющих водного баланса с заданием широкой полосы вероятных отклонений. Расчетным базисом тогда являлся последний реперный период стационарного климата низкого положения уровня, выбор которого определяет и характер процессов на прогнозный период. Безвозвратные изъятия стока брались из расчета не менее 40 км³/год. В связи с этим вероятностно-статистические прогнозы того времени ошибочно указывали на спад уровня к 2000 году ниже -29.0 и даже -34.0 м н.у.м. БС, что противоречило климатическим прогнозам. Результаты этих расчетов, как отмечала Н.Н. Соловьева (2004), были приняты планирующими организациями. На такое решение в большой степени повлияло лоббирование водохозяйственного комплекса во главе с Минмелиоводхозом СССР и его основного производственного объединения Союзгипроводхоза, заинтересованных в осуществлении финансово емкого проекта переброски части стока северных рек (Мищенко и др., 2019, 2020).

Как показывает исторический опыт, звено «прогноз – план» в цепочке организации хозяйства прибрежной зоны Каспия остается в области неопределенности до сегодняшнего дня в связи с отсутствием механизмов принятия решений и ответственности за них. Следует отметить, что к настоящему времени этот тип прогноза значительно усовершенствован и дает в значительной степени достоверные прогнозы, хотя и не сверхдолгосрочной заблаговременности, когда через 10-20 лет их достоверность становится недопустимой. Результаты прогнозов в виде вероятностных кривых остаются трудными для практического использования.

Интересно в контексте обсуждаемой проблемы точности и оправдываемости долгосрочных прогнозов суждение Н.Н. Соловьевой (2004). Она противопоставляет вероятностным прогнозам 1970-х – начала 1980-х годов результаты прогнозов конца 1980-1990-х гг., которые дают сохранение уровня на повышенной отметке -25 м н.у.м БС до 2010 г., а с учетом сохранения объемов безвозвратных изъятий уровень должен составить не более -26.0 м. Смена использованного базисного расчетного периода (низкого стояния и снижения на период резкого повышения) поменяло и результаты прогнозов, что наглядно демонстрирует отмеченную выше слабость данного методологического подхода. Отсутствует в работах и обоснование такого подхода. После этого автор в своей работе предлагает учитывать сбросы сточных вод, хотя они и так учитываются в замыкающих створах при измерении расходов воды в реках.

Следует заметить, что модификация методики прогнозирования Н.Н. Соловьевой (с разложением рядов индексов циркуляции на главные компоненты со смещением рядов чисел Вольфа с 50-60-летней заблаговременности и разложением гидрометеорологических рядов на детерминированную составляющую и случайные от нее отклонения) дала в результате ошибочный прогноз 60-летней продолжительности повышения уровня, начавшегося в 1978 г. При этом, как отмечалось, если прогноз на конец 1990-х годов совпал с фактическим ходом, то после 2010 г., т.е. почти на 30 лет раньше, чем прогнозировалось, он изменил ход на противоположный. Вероятно, опять виновато использование последнего периода в качестве реперного для прогноза, но, возможно, здесь имеет место и начало более глобального сбоя в закономерностях циркуляции атмосферы. В методических подходах предполагается сохранение тенденции в процессах, что, возможно, и является основной причиной слабой оправдываемости сверхдолгосрочных прогнозов при ее (тенденции) изменении.

В монографии сотрудников Института водных проблем РАН (Болгов и др., 2007) методы прогнозов многолетних колебаний уровня подразделяются на вероятностные, климатические и геодинамические, преимущества и недостатки которых авторы достаточно подробно разбирают. Отметим кратко наиболее важные из них.

Климатические методы наиболее многочисленны, основаны на решении водного баланса. Авторы не выделяют из группы климатических прогнозов те, где используется квазипериодичность или цикличность гидрометеорологических процессов. Они указывают на сходство этих ритмических процессов с различными геодинамическими процессами, имеющими периодичность в 3-4, 5-7, 10-15, 25-30, 40, 50-60 и 100-120 лет, которое позволяет предложить тектоно-климатическую концепцию колебания уровня моря (Лилиенберг, 1993; Болгов и др., 2007). Не придавая большое значение терминологической аккуратности (геодинамические и тектонические процессы многие исследователи различают), следует отметить, что указанная концепция близка по физическим процессам, определяющим ход уровня, упоминавшемуся нами взгляду дагестанских геологов (Ковалев, Парада, 2013). Пожалуй, работа М.В. Болгова с соавторами (2007) – единственная, в которой гидрологи обращают внимание на возможные связи климатических и эндогенных геологических процессов.

В ней авторы отметили причину неудачи прогноза до 2000 года в работе Г.П. Калинина с соавторами (1968) в основном из-за неучета в стоковом ряду группировок маловодных и многоводных лет (внутрирядной связности). Разделение ряда среднегодового уровня (или его приращений) на тренд (долгопериодную составляющую) и короткопериодную (прогноз на каждый год) как отклонение от тренда позволит, как они считают, избежать подобных ошибок. Также авторы отмечают отсутствие общепринятых предикторов для прогнозирования долгопериодных колебаний, хотя выделение многоводных и маловодных периодов реально.

По поводу прогнозирования с помощью спектрального анализа колебания уровня авторы цитируемой работы пишут следующее. Если метод основан на выделении гармоник разных частот, а ход уровня аппроксимируется кривой, составленной из суммы колебаний, то не исключено, что начальная и конечная фазы долгопериодного колебания могут меняться случайным образом, в результате чего удовлетворительную аппроксимацию можно построить на непродолжительный срок. Авторы считают, что колебания уровня моря связаны с характеристиками солнечной активности, но рабочая методика их использования для прогнозирования отсутствует.

К характеристикам авторов монографии сторонних методик следует добавить и замечание к самой работе авторов (Болгов и др., 2007). Методика оценки вероятностных характеристик колебаний УКМ, разработанная авторами, требует условия, что приток и испарение являются некоррелированными случайными величинами, а антропогенные изъятия речного стока и сток в залив Кара-Богаз-Гол постоянны. Указанные условия нельзя считать строго выдержанными в реальности, что может закладывать в результаты существенные погрешности, о которых авторы умалчивают.

Разбор существующих подходов в прогнозировании и критического отношения к ним у разных авторов приводит к вполне закономерному выводу, с которым в значительной мере можно согласиться. Возможно, впервые встречаем его у сотрудников ГГИ, которые считают, что в условиях отсутствия прогнозов естественных изменений климатических характеристик в бассейне моря даже на ближайшие годы и неопределенности перспективной динамики водопотребления для оценки возможных изменений уровня в ближайшие десятилетия целесообразно использовать вероятностный подход (Шикломанов и др., 2003). При этом авторы в качестве примера приводят свой вероятностный прогноз в сценарном варианте. Сходное мнение в отношении Каспия неоднократно выражал и М.В. Болгов (2025, с. 50): «Приходится констатировать, что задача долгосрочного прогноза компонент водного баланса сегодня не имеет решения с приемлемой для практики погрешностью. Возможны лишь вероятностные прогнозы, например, в виде среднего положения уровня моря и отклонения от этого положения заданной вероятности». В своих суждениях указанные авторы далеко не одиноки.

Н.Н. Соловьева (2004, с. 16) пишет, что, «... как правило, успешными бывают прогнозы, которые основаны либо на использовании внутренних закономерностей в рядах, позволяющих производить экстраполяцию процессов, либо на зависимостях между взаимно связанными явлениями, причем развитие во времени определяющего процесса должно опережать прогнозируемое явление».

В условиях плановой экономики СССР именно на таких подходах существовала служба прогнозирования уловов рыбы во внутренних водоемах, которая регламентировалась соответствующими документами, но при этом допускалась и «свобода творчества» в разнообразных природных обстановках (Юдович и др., 1980). Для прогноза объема вылова отдельной промысловой популяции использовались предикторы – биологические показатели состояния промысловой популяции (в первую очередь размерно-возрастной состав), перспективы пополнения молодью и некоторые другие, которые изучались научными организациями. Для прогноза общих уловов в крупном водоеме чаще применялся инерционный прогноз путем экстраполяции тенденций изменчивости породного состава уловов, выраженного в относительных величинах, а также технического состояния промысла. Экосистема всего водоема считалась более устойчивой к внешним воздействиям, за счет чего и была возможность применения ограниченной по времени экстраполяции. Если в первом случае заблаговременность прогноза в основном определялась сроками вступления пополнений в промысел, то в инерционном типе заблаговременность составляла, как правило, 2-3 года, то есть на период устойчивости функционирования экосистемы

водоема и промысловой базы (при отсутствии катастрофических событий). При экстраполяции процессов, определяющих положение уровня Каспия на более длительные сроки, мы предполагаем их устойчивость на это время. Обоснован ли такой подход и в этом случае? Как показывают многочисленные примеры прогнозов, должен следовать отрицательный ответ. Искусственные манипуляции с современными моделями для периодической подстройки в ходе мониторинга и получения новых «подправленных» входных данных о функционировании системы, вполне вероятно, могут частично решить проблему долгосрочного прогнозирования. Но оценить это получится еще не скоро. К тому же это по заблаговременности уже будет не истинно долгосрочный прогноз, а комбинация его с периодически разрабатываемыми краткосрочными.

Взгляд на перспективу

Все большее число исследователей склоняется к тому, что наиболее правильно давать вероятностные прогнозы и рассматривать различные сценарии будущего состояния водного баланса и уровня моря. Однако, как мы отмечали, вероятностным, как и всем остальным типам прогнозов, свойственны одинаковые нерешенные проблемы с нахождением предикторов и ограниченностью по заблаговременности для инерционного прогнозирования. Кроме этих проблем не ясно, на какую вероятность положения уровня нужно ориентироваться, проводя подготовительные хозяйственные мероприятия? Вопрос не простой, требует отдельного тщательного рассмотрения.

Ситуация выглядит еще более сложной, если задаться вопросом: нужны ли вообще любые долгосрочные прогнозы, если нет регламентов принятия прогнозов к сведению и отсутствует механизм реагирования по их результатам с осуществлением необходимых мероприятий хозяйствующими субъектами? Как показала история осуществлявшихся защитных мероприятий в Дагестане при подъеме уровня во второй половине XX в., все они планировались и реализовывались в авральных условиях больших неопределенностей дальнейшего его хода (Водные ..., 1996; Основные ..., 1992). Современное падение уровня до критически низкой отметки также вызывает определенные негативные геоэкологические проблемы в известных отраслях хозяйства. Универсальным решением проблем в обоих случаях (роста и падения уровня) может стать только адаптация землепользования прибрежной зоны к колебанию УКМ в определенных экологически обоснованных пределах. Удивляет ситуация, когда хозяйство на верхнем участке дельты Волги адаптировано к колебанию уровня воды в реке с амплитудой 7 м (разница между половодьем и меженью в районе Верхнего Лебяжья). На других участках и реках амплитуды бывают и больше, до зарегулирования Волги водохранилищами она достигала 10 м. Почему в береговой зоне Каспия катастрофами считаются колебания амплитудой 2.5-3 м и не только в ее Российской части?

Отсутствуют и механизмы ответственности исполнителей на всех уровнях. Например, большинство прогнозов 1960-1970-х годов предсказывали продолжение снижения уровня, они были утверждены решением АН СССР (Рычагов, 2019), и начались проектные работы под руководством Минводхоза, заинтересованного в осуществлении переброски стока северных рек для восполнения дефицита водных ресурсов в бассейне Каспия (Мищенко и др., 2019, 2020). При этом оказалось, что более достоверные прогнозы не были учтены.

А что дальше? Какая реакция должна быть, если по прошествии, скажем, десятилетия в следующем прогнозе параметры вероятностей положения уровня изменятся? При очевидной цикличности его хода так и должно быть. Ориентация хозяйства прибрежной зоны должна меняться следом за его трендами? Выглядит весьма несуразно, но логично при условии, если считать, что перспективные прогнозы уровня обеспечивают решение

хозяйственных и геоэкологических проблем в прибрежной зоне Каспия. Мы считаем, что правильным решением должен стать не долгосрочный прогноз хода уровня, а приспособление к наиболее устойчивому диапазону его изменчивости, формирующегося в условиях сложившейся климатической обстановки и уровня безвозвратного потребления водных ресурсов, то есть к состоянию водного баланса, близкого к уровню тяготения на десятилетия. Этот диапазон должен быть максимально близок к экологически благоприятному для поддержания экосистемы Каспия в стабильном состоянии. На конкретные количественные показатели колебания уровня выводит анализ палеогеографических и исторических данных хода уровня, которые хорошо соответствуют геоморфологическим особенностям чаши водоема. Г.И. Рычагов (1993, 2011) назвал указанный диапазон «зоной риска» и определил его в интервале от -30 до -25 м н.у.м. БС с ориентацией на естественный сток р. Волги или с верхней границей в -26 м с учетом безвозвратного водозабора на хозяйственные нужды. Вполне вероятно потребуются осуществление гидротехнических мероприятий для внедрения элементов регулирования водного баланса за счет водного сообщения с северными реками и р. Доном по аналогии с проектом «Большой Волги» XX века. И тогда будут востребованы вероятностные краткосрочные прогнозы для удержания уровня в предусмотренном интервале изменчивости. Обоснование такого подхода требует отдельного подробного рассмотрения.

Это означает, что стратегия решения геоэкологических проблем в прибрежной зоне, связанных с колебанием уровня моря, от прогнозной должна измениться на адаптационную (адаптацию хозяйства к экологически обусловленной амплитуде колебания уровня), в которой прогноз вероятностного типа будет играть важную, но вспомогательную роль.

Выводы

Исторический анализ развития и современного состояния прогнозного направления в решении проблемы колебания уровня Каспийского моря показал, что на фоне успешных краткосрочных прогнозов колебания водного баланса и уровня прогнозирование на большие (более 3 лет) заблаговременности остается неудовлетворительным. Такой результат закономерен, если обратить внимание на два основных существующих и теоретически возможных подхода в прогнозировании развития природных систем, в рамках которых и появились разные многочисленные методики прогнозирования уровня. Первый подход – прогноз разрабатывается с помощью предиктора нужной заблаговременности. Для краткосрочных сезонных и непериодических колебаний он относительно легко находится среди метеорологических процессов. Для долгосрочных прогнозов надежных предикторов найти не удастся. Надежды, что это получится в скором времени, немного. При создании службы долгосрочного прогноза климатической изменчивости для крупных регионов, который представляет собой водосборный бассейн Каспийского моря, будет решена и задача долгосрочных прогнозов колебания уровня конечных бессточных водоемов.

Второй подход (инерционный) использует широко известный в географии метод актуализма. Считается, что выявленные на текущий довольно длительный период (обычно 12-15 лет, а для Каспия – до 20-60 лет) процессы, определяющие изменчивость уровня, не изменятся существенным образом на прогнозный период. В реальности надежная заблаговременность таких прогнозов ограничена 2-3 годами. Пролонгация на более длительную заблаговременность не имеет даже теоретического обоснования.

В заключение отмечаем, что в настоящее время нет методических подходов к долгосрочным прогнозам, которые можно назвать определенно перспективными. Смена ориентации от прогностической на стратегию адаптации прибрежного землепользования позволит решить геоэкологические проблемы, связанные с колебанием

уровня Каспия, а наиболее надежным вспомогательным средством для этого могут быть вероятностные или физико-статистические прогнозы. В этом случае основным критерием качества прогнозов выступает не оправдываемость (которая может быть оценена только по факту в конце прогнозного периода), а применимость в практическом использовании. Возможно, на основе комбинации долгосрочного прогноза с периодически разрабатываемыми краткосрочными (корректирующими тренд) с использованием для расчетов нейросетей будут созданы основы рабочей системы для поддержания устойчивого природопользования в прибрежной зоне Каспийского моря.

Финансирование. Работа выполнена по теме госзадания Института географии РАН FMWS-2026-0003, № 1025030300154-4, «Географо-гидрологическая оценка изменений водных ресурсов в прошлом, настоящем и будущем в различных природных и хозяйственных условиях».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. *Абузаров З.К.* 2003. Технология прогноза тенденций изменения уровня Каспийского моря на перспективу 6 и 18 лет // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеиздат. С. 351-363.
2. *Абузаров З.К., Нестеров Е.С., Краснюк В.С., Лежнева Н.Г.* 2010. Развитие методов и технологий прогноза уровня Каспийского моря в Гидрометцентре России // Материалы международной научной конференции «Изменения климата и водного баланса Каспийского региона». Астрахань. С. 185-192.
3. *Аполлов Б.А.* 1935. Водный баланс Каспийского моря и возможные его изменения // Труды ЦИЭГМ. Вып. 2 (44). С. 11-18.
4. *Аполлов Б.А., Алексеева К.И.* 1959. Прогноз уровня Каспийского моря // Труды Океанографической комиссии АН СССР. Т. 5. С. 63-78.
5. *Архипова Е.Г.* 1975. Современный и перспективный водный и солевой баланс и возможные изменения гидрологического режима Каспийского моря // Труды ВНИРО. Т. 108. С. 18-26.
6. *Архипова Е.Г., Крюков В.В.,*
1. *Abuzyarov ZK.* Technology for forecasting trends in the Caspian Sea level changes for the next 6 and 18 years [*Tekhnologiya prognoza tendentsiy izmeneniya urovnya Kaspiyskogo morya na perspektivu 6 i 18 let*] *Hydrometeorological aspects of the problem of the Caspian Sea and its basin* [*Gidrometeorologicheskiye aspekty problemy Kaspiyskogo morya i yego basseyina*]. Saint-Petersburg: *Gidrometeoizdat*, 2003:351-363.
2. *Abuzyarov ZK, Nesterov ES, Krasnyuk VS, Lezhneva NG.* Development of methods and technologies for forecasting the Caspian Sea level in the Hydrometeorological Center of Russia [*Razvitiye metodov i tekhnologiy prognoza urovnya Kaspiyskogo morya v Gidromettsentre Rossii*] *Proc. of the International Scientific Conference "Climate Change and Water Balance of the Caspian Region"* [*Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Izmeneniya klimata i vodnogo balansa Kaspiyskogo regiona"*]. Astrakhan, 2010:185-192.
3. *Apollov BA.* Water balance of the Caspian Sea and its possible changes [*Vodnyy balans Kaspiyskogo morya i vozmozhnyye yego izmeneniya*]. *Proc. of the Central Institute of Experimental Hydrology and Meteorology* [*Trudy Tsentral'nogo instituta eksperimental'noy gidrologii i meteorologii*]. 1935;2:11-18.
4. *Apollov BA, Alekseeva KI.* Forecast of the Caspian Sea level [*Prognoz urovnya Kaspiyskogo morya*]. *Proc. of the Oceanographic Commission of the USSR Academy of Sciences* [*Trudy Okeanograficheskoy komissii AN SSSR*]. 1959;5:63-78.
5. *Arkhipova EG.* Modern and prospective water and salt balance and possible changes in the

- Молошникова В.Н. 1972. Возможные изменения уровня и других элементов гидрологического режима Каспийского моря // Труды ГОИН. Вып. 115. С. 5-19.
7. Афанасьев А.Н. 1967. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. М.: Наука. 230 с.
 8. Бабкин А.В. 2005. Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря // Метеорология и гидрология. № 11. С. 63-73.
 9. Безродных И.П., Морозова Е.И., Петрукович А.А., Кожухов М.В. 2019. Динамика солнечной и геомагнитной активности. II: Периодические вариации солнечной и геомагнитной активности // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. Т. 171. № 4. С. 24-38.
 10. Белинский Н.А., Калинин Г.П. 1946. О прогнозе колебаний уровня Каспийского моря // Труды Научно-исследовательских учреждений. Серия IV: Гидрология суши. Вып. 37. 22 с.
 11. Бенашвили И.А. 1948. Уровень Каспийского моря: его прошлое настоящее и будущее. Л.: Гидрометеорологическое изд-во. 24 с.
 12. Берг Л.С. 1934. Уровень Каспийского моря за историческое время // Проблемы физической географии. № I. С. 11-64.
 13. Бобров С.Н. 1963. Влияние деятельности человека на сток рек в Каспийское море // Проблемы Каспийского моря. Всесоюзное совещание по проблеме Каспийского моря. Баку: Изд-во АН АЗССР. С. 44-55.
 - hydrological regime of the Caspian Sea [Sovremennyy i perspektivnyy vodnyy i solevoy balans i vozmozhnyye izmeneniya gidrologicheskogo rezhima Kaspiyskogo morya]. Proc. of VNIRO [Trudy VNIRO]. 1975;108:18-26.
 6. Arkhipova EG, Kryukov VV, Moloshnikova VN. Possible changes in the level and other elements of the hydrological regime of the Caspian Sea [Vozmozhnyye izmeneniya urovnya i drugikh elementov gidrologicheskogo rezhima Kaspiyskogo morya]. Proc. of the State Oceanographic Institute [Trudy GOIN]. 1972;115:5-19.
 7. Afanasyev AN. Fluctuations of the hydrometeorological regime on the territory of the USSR [Kolebaniya gidrometeorologicheskogo rezhima na territorii SSSR]. Moscow: Nauka, 1967:230.
 8. Babkin AV. An improved model for assessing the periodicity of changes in the level and elements of the water balance of the Caspian Sea [Usovershenstvovannaya model' otsenki periodichnosti izmeneniy urovnya i elementov vodnogo balansa Kaspiyskogo morya]. Meteorology and Hydrology. 2005;11:63-73.
 9. Bezrodnykh IP, Morozova EI, Petrukovich AA, Kozhukhov MV. Dynamics of solar and geomagnetic activity [Dinamika solnechnoy i geomagnitnoy aktivnosti] II: Periodic variations of solar and geomagnetic activity [II: Periodicheskiye variatsii solnechnoy i geomagnitnoy aktivnosti]. Electromechanical Matters [Voprosy elektromekhaniki] Proc. of the All-Russian Research Institute of Electromechanics [Trudy VNIIEEM]. 2019;171 (4):24-38.
 10. Belinsky NA, Kalinin GP. On the forecast of Caspian Sea level fluctuations [O prognoze kolebaniy urovnya Kaspiyskogo morya]. Proc. of Research Institutions [Trudy Nauchno-issledovatel'skikh uchrezhdeniy] Series IV: Land Hydrology [Seriya IV: Gidrologiya суши]. 1946;37:22.
 11. Benashvili IA. The level of the Caspian Sea: its past, present and future [Uroven' Kaspiyskogo morya: yego proshloye nastoyashcheye i budushcheye]. Leningrad: Gidrometeorologicheskoye izd-vo, 1948:24.
 12. Berg LS. The level of the Caspian Sea in historical time [Uroven' Kaspiyskogo morya za istoricheskoye vremya]. Problems of Physical Geography [Problemy fizicheskoy geografii].

14. Болгов М.В. 2025. Можно ли прогнозировать колебания уровня Каспийского моря? // Наука и жизнь. № 3. С. 42-50.
15. Болгов М.В., Красножон Г.Ф., Любушин А.А. 2007. Каспийское море: экстремальные гидрологические события. М.: Наука. 381 с.
16. Борисов Е.В., Ермаков В.Б., Мельников В.А. 2019. Анализ периодической структуры климатических колебаний уровня Каспийского моря // Процессы в геосредах. № 2. С. 146-152.
17. Бudyko М.И., Ефимова И.А., Лобанов В.В. 1988. Будущий уровень Каспийского моря // Метеорология и гидрология. № 5. С. 86-94.
18. Вербицкая О.А., Зильберштейн О.И., Попов С.К., Лобов А.Л. 2002. Метод краткосрочного гидродинамического прогноза штормовых нагонов в северной части Каспийского моря и результаты его испытаний // Гидрометцентр. Информационный сборник. № 29. С. 76-89.
19. Водные ресурсы Дагестана: состояние и проблемы. 1996 / Ред. И.М. Сайтулаев, Э.М. Эльдаров. Махачкала. 180 с.
20. Водные ресурсы России и их использование. 2008 / Ред. И.А. Шикломанов. СПб.: Государственный гидрологический институт. 600 с.
21. Водный баланс и колебания уровня Каспийского моря. Моделирование и прогноз. 2016 / Ред. Е.С. Нестеров. М.: Триада. 378 с.
22. Воробьев В.Н., Малинин В.Н. 1995. Перспективы долгосрочного прогнозирования 1934;1:11-64.
13. Bobrov SN. The influence of human activity on river flow into the Caspian Sea [Vliyaniye deyatel'nosti cheloveka na stok rek v Kaspiyskoye more] Problems of the Caspian Sea. All-Union Meeting on the Problem of the Caspian Sea [Problemy Kaspiyskogo morya. Vsesoyuznoye soveshchaniye po probleme Kaspiyskogo morya]. Baku: Izd-vo AN AzSSR, 1963:44-55.
14. Bolgov MV. Is it possible to forecast Caspian Sea level fluctuations? [Mozhno li prognozirovat' kolebaniya urovnya Kaspiyskogo morya?]. Science and Life [Nauka i zhizn']. 2025;3:42-50.
15. Bolgov MV, Krasnozhon GF, Lyubushin AA. The Caspian Sea: extreme hydrological events [Kaspiyskoye more: ekstremal'nyye gidrologicheskiye sobytiya]. Moscow: Nauka, 2007:381.
16. Borisov EV, Ermakov VB, Melnikov VA. Analysis of the periodic structure of climatic fluctuations in the Caspian Sea level [Analiz periodicheskoy struktury klimaticheskikh kolebaniy urovnya Kaspiyskogo morya]. Processes in Geomedium [Protsessy v geosredakh]. 2019;2:146-152.
17. Budyko MI, Efimova IA, Lobanov VV. The future level of the Caspian Sea [Budushchiy uroven' Kaspiyskogo morya]. Meteorology and Hydrology. 1988;5:86-94.
18. Verbitskaya OA, Zilbershtein OI, Popov SK, Lobov AL. Method for short-term hydrodynamic forecast of storm surges in the northern part of the Caspian Sea and the results of its tests [Metod kratkosrochnogo gidrodinamicheskogo prognoza shtormovykh nagonov v severnoy chasti Kaspiyskogo morya i rezul'taty yego ispytaniy]. Hydrometeorological Center [Gidromettsentr] Information Collection [Informatsionnyy sbornik]. 2002;29:76-89.
19. Water resources of Dagestan: state and problems [Vodnyye resursy Dagestana: sostoyaniye i problemy] / eds. I.M. Saytulayev, E.M. Eldarov. Makhachkala, 1996:180.
20. Water resources of Russia and their use [Vodnyye resursy Rossii i ikh ispol'zovaniye] / ed. I.A. Shiklomanov. Saint-Petersburg: Gosudarstvennyy gidrologicheskiy institute, 2008:600.
21. Water balance and level fluctuations of the Caspian Sea. Modeling and forecast [Vodnyy balans i kolebaniya urovnya Kaspiyskogo morya. Modelirovaniya i prognoz] / ed. E.S. Nesterov.

- уровня Каспийского моря // Тезисы докладов. Международный симпозиум «Природные и социально-экономические последствия разработки и управления водными ресурсами». М. С. 145.
23. Геоэкологические изменения при колебаниях уровня Каспийского моря. 1997 / Ред. П.А. Каплин, Е.И. Игнатов. М.: Географический факультет МГУ. 208 с.
 24. Гетман И.Ф. 1997. Об ожидаемом уровне Каспийского моря в первой половине XXI века на основе анализа вековых циклов солнечной активности // Метеорология и гидрология. № 12. С. 25-31.
 25. Гидрометеорологические аспекты и проблемы Каспийского моря и его бассейна. 2003. СПб.: Гидрометеиздат. 672 с.
 26. Гидрометеорология и гидрохимия морей. 1992. Т. VI: Каспийское море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат. 360 с.
 27. Гидроэкологические проблемы в бассейне Волги и их последствия для Каспия (спецвыпуск). 2023 // Известия РАН. Серия географическая. Т. 87. № 6. 942 с.
 28. Гирс А.А. 1971. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат. 280 с.
 29. Гирс А.А. 1957. Эпохальные преобразования форм атмосферной циркуляции и связанные с ними колебания уровня Каспийского моря // Известия АН СССР. Серия геолого-географическая. № 1. Moscow: Triada, 2016:378.
 22. Vorobyov VN, Malinin VN. Prospects for long-term forecasting of the Caspian Sea level [*Perspektivy dolgosrochnogo prognozirovaniya urovnya Kaspiyskogo morya*] *International Symposium "Natural and socio-economic consequences of water resources development and management". Abstracts of reports [Mezhdunarodnyy simpozium "Prirodnyye i sotsial'no-ekonomicheskiye posledstviya razrabotki i upravleniya vodnymi resursami"]*. Tezisy dokladov]. Moscow, 1995:145.
 23. Geoecological changes during fluctuations in the Caspian Sea level [*Geoekologicheskiye izmeneniya pri kolebaniyakh urovnya Kaspiyskogo morya*] / eds. P.A. Kaplin, E.I. Ignatov. Moscow: Geograficheskiy fakultet MGU, 1997:208.
 24. Getman IF. On the expected level of the Caspian Sea in the first half of the 21st century based on the analysis of secular cycles of solar activity [*Ob ozhidayemom urovne Kaspiyskogo morya v pervoy polovine XXI veka na osnove analiza vekovykh tsiklov solnechnoy aktivnosti*]. *Meteorology and Hydrology*. 1997;12:25-31.
 25. Hydrometeorological aspects and problems of the Caspian Sea and its basin [*Gidrometeorologicheskiye aspekty i problemy Kaspiyskogo morya i yego basseyna*]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003:672.
 26. Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas [*Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey*] Vol. VI: *The Caspian Sea* [T. VI: *Kaspiyskoye more*]. Iss. 1: *Hydrometeorological conditions* [Vyp. 1: *Gidrometeorologicheskiye usloviya*]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992:360.
 27. Hydroecological problems in the Volga basin and their consequences for the Caspian Sea (special issue) [*Gidroekologicheskiye problemy v basseyne Volgi i ikh posledstviya dlya Kaspiya (spetsvypusk)*]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series* [Izvestiya RAN. *Seriya geograficheskaya*]. 2023;87 (6):942.
 28. Girs AA. Long-term fluctuations of atmospheric circulation and long-term hydrometeorological forecasts [*Mnogoletniye kolebaniya atmosferno y tsirkulyatsii i dolgosrochnyye gidrometeorologicheskiye prognozy*]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971:280.
 29. Girs AA. Epochal transformations of atmospheric circulation forms and associated fluctuations in the

- С. 102-108.
30. Дуванин А.И. 1997. К пониманию природы и возможностей прогноза колебаний уровня Каспийского моря // Вестник МГУ. № 2. С. 13-15.
 31. Ермаков В.Б. 2023. Многолетние изменения уровня Каспийского моря и современные варианты их прогнозирования // Известия РАН. Серия географическая. Т. 87. № 6. С. 930-940.
 32. Зайков Б.Д. 1946. Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня // Труды НИУ ГУГМС. Серия 4. Вып. 38. С. 5-50.
 33. Зайков Б.Д. 1940. Многолетние колебания стока реки Волги и уровня Каспийского моря // Комиссия по комплексному изучению Каспийского моря. Вып. 10. 52 с.
 34. Зильберштейн О.И., Вербицкая О.А., Попов С.К., Лобов А.А. 2003. Метод прогноза штормовых нагонов для Северного Каспия на основе данных региональной модели атмосферы // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеиздат. С. 342-350.
 35. Ивкина Н.И. 2013. Сгонно-нагонные явления в устьевой зоне казахстанского сектора Каспийского моря // Труды ГОИН. Вып. 214. С. 278-290.
 36. Калинин Г.П., Смирнова К.И., Шереметевская О.И. 1968. Воднобалансовые расчеты будущих уровней Каспийского моря // Метеорология и гидрология. № 9. С. 45-52.
 37. Кан С.И. 1948. Метод краткосрочных прогнозов уровня северной части Caspian Sea level [Epokhal'nyye preobrazovaniya form atmosfernooy tsirkulyatsii i svyazannyye s nimi kolebaniya urovnya Kaspiyskogo morya]. *Bulletin of the USSR Academy of Sciences [Izvestiya AN SSSR] Geological and Geographical Series [Seriya geologo-geographicheskaya]*. 1957;1:102-108.
 30. Duvanin AI. Towards understanding the nature and possibilities of forecasting Caspian Sea level fluctuations [K ponimaniyu prirody i vozmozhnostey prognoza kolebaniy urovnya Kaspiyskogo morya]. *Bulletin of Moscow State University [Vestnik MGU]*. 1997;2:13-15.
 31. Ermakov VB. Long-term changes in the Caspian Sea level and modern options for their forecasting [Mnogoletniye izmeneniya urovnya Kaspiyskogo morya i sovremennyye varianty ikh prognozirovaniya]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya RAN] Geographical Series [Seriya geograficheskaya]*. 2023;87 (6):930-940.
 32. Zaikov BD. Water balance of the Caspian Sea in connection with the reasons for its level decline [Vodnyy balans Kaspiyskogo morya v svyazi s prichinami ponizheniya yego urovnya]. *Proc. of Research Institutions of the Main Directorate of the Hydrometeorological Service [Trudy NIU GUGMS] Seriya 4 [Series 4]*. 1946;38:5-50.
 33. Zaikov BD. Long-term fluctuations in the flow of the Volga River and the level of the Caspian Sea [Mnogoletniye kolebaniya stoka reki Volgi i urovnya Kaspiyskogo morya]. Commission for comprehensive study of the Caspian Sea. Proceedings [Komissiya po kompleksnomu izucheniyu Kaspiyskogo morya]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1940;10:52.
 34. Zilbershtein OI, Verbitskaya OA, Popov SK, Lobov AA. Method for forecasting storm surges for the Northern Caspian based on data from a regional atmospheric model [Metod prognoza shtormovykh nagonov dlya Severnogo Kaspiya na osnove dannykh regional'noy modeli atmosfery] *Hydrometeorological aspects of the problem of the Caspian Sea and its basin [Gidrometeorologicheskiye aspekty problemy Kaspiyskogo morya i yego basseyna]*. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003:342-350.
 35. Ivkina NI. Surge phenomena in the estuary zone of the Kazakh sector of the Caspian Sea [Sgonno-nagonnnyye yavleniya v ust'yevoy zone kazakhstanskogo sektora Kaspiyskogo morya].

- Каспийского моря // Труды ЦИП. Вып. 3 (30). С. 3-50.
38. Каракаш А. 1939. Метод предсказаний краткосрочных изменений уровня на внутренних морях СССР (Каспийское, Черное, Азовское) // Метеорология и гидрология. № 3. С. 78-82.
 39. Ковалев В.В., Астахов В.В., Нечипорова Т.П. 2011. Геолого-геоморфологические аспекты изменений уровня Каспийского моря в голоцене // Известия вузов. Серия «Естественные науки». № 5. С. 67-69.
 40. Ковалев В.В., Парада С.Г. 2013. Геологические аспекты современных изменений уровня Каспийского моря // Вестник Южного научного центра. Т. 9. № 2. С. 38-46.
 41. Коронкевич Н.И., Георгиади А.Г., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А., Милукова И.П. 2023. О соотношении климатических и антропогенных факторов в изменении стока Волги // Известия РАН. Серия географическая. Т. 87. № 6. С. 825-834.
 42. Костяной А.Г., Малинин В.Н., Фролов А.В. 2025. Основные причины изменения уровня Каспийского моря // Фундаментальная и прикладная климатология. Т. 11. № 3. С. 338-373.
 43. Крицкий С.Н., Коренистов Д.В., Раткович Д.Я. 1975. Колебания уровня Каспийского моря: Анализ режима и вероятностный прогноз. М.: Наука. 158 с.
 44. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. 1946. Некоторые положения статистической теории колебаний уровня естественных водоемов и их применение к *Proc. of the State Oceanographic Institute [Trudy GOIN]*. 2013;214:278-290.
 36. Kalinin GP, Smirnova KI, Sheremetevskaya OI. Water balance calculations of future Caspian Sea levels [Vodnobilansovyye raschety budushchikh urovney Kaspiyskogo morya]. *Meteorology and Hydrology*. 1968;9:45-52.
 37. Kan SI. Method for short-term forecasts of the level in the northern part of the Caspian Sea [Metod kratkosrochnykh prognozov urovnya severnoy chasti Kaspiyskogo morya]. *Proc. of the Central Institute of Forecasts [Trudy TsIP]*. 1948;3:3-50.
 38. Karakash A. Method for predicting short-term level changes in the inland seas of the USSR (Caspian, Black, Azov) [Metod predskazaniy kratkosrochnykh izmeneniy urovnya na vnutrennikh moryakh SSSR (Kaspiyskoye, Chernoye, Azovskoye)]. *Meteorology and Hydrology*. 1939;3:78-82.
 39. Kovalev VV, Astakhov VV, Nechiporova TP. Geological and geomorphological aspects of Caspian Sea level changes in the Holocene [Geologo-geomorfologicheskiye aspekty izmeneniy urovnya Kaspiyskogo morya v golotsene]. *University News [Izvestiya vuzov] North-Caucasian Region [Severo-Kavkazskiy region] Natural Sciences [Yestestvennyye nauki]*. 2011;5:67-69.
 40. Kovalev VV, Parada SG. Geological aspects of modern Caspian Sea level changes [Geologicheskiye aspekty sovremennykh izmeneniy urovnya Kaspiyskogo morya]. *Bulletin of the Southern Scientific Centre [Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra]*. 2013;9 (2):38-46.
 41. Koronkevich NI, Georgiadi AG, Barabanova EA, Kashutina EA, Milyukova IP. On the relationship between climatic and anthropogenic factors in the change of the Volga runoff [O sootnoshenii klimaticheskikh i antropogennykh faktorov v izmenenii stoka Volgi]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya RAN] Geographical Series [Seriya geograficheskaya]*. 2023;87 (6):825-834.
 42. Kostyanov AG, Malinin VN, Frolov AV. The main reasons for changes in the level of the Caspian Sea [Osnovnye prichiny izmeneniya urovnya Kaspiyskogo morya]. *Fundamental and Applied Climatology [Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya]*. 2025;11 (3):338-373.
 43. Kritsky SN, Korenistov DV, Ratkovich DY. Fluctuations of the Caspian Sea level: Regime

- исследованию режима Каспийского моря // Труды I совещания по регулированию стока. М., Л.: Изд-во АН СССР. С. 76-97.
45. Ланно С.С., Рева Ю.А. 1997. Сравнительный анализ долгопериодной изменчивости уровней Черного и Каспийского морей // Метеорология и гидрология. № 12. С. 63-75.
 46. Ленц Э. 1836. Об изменениях уровня Каспийского моря // Журнал Министерства внутренних дел. Т. 20. № 26. С. 93-100.
 47. Лилиенберг Д.А. 1993. Тенденции современной эндодинамики Каспия и изменения уровня моря // Доклады РАН. Т. 331. № 6. С. 745-750.
 48. Малинин В.Н. 2022. Грозит ли Каспию судьба Арала? // Гидрометеорология и экология. № 69. С. 746-760.
 49. Малинин В.Н. 2009. Долгосрочное прогнозирование уровня Каспийского моря // Известия РАН. Серия географическая. № 6. С. 7-16.
 50. Малинин В.Н. 1994. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. СПб.: РГГМИ. 158 с.
 51. Малинин В.Н., Гордеева С.М. 2020. Уровень Каспийского моря как индикатор крупномасштабного влагообмена в системе «океан–атмосфера–суша» // Труды Карельского научного центра РАН. № 4. С. 5-20.
 52. Мещерская А.В., Александрова Н.А. 1993. Прогноз уровня Каспийского моря по метеорологическим данным // Метеорология и гидрология. № 3. С. 72-82.
 53. Мещерская А.В., Голод М.П. analysis and probabilistic forecast [*Kolebaniya urovnya Kaspiyskogo morya: Analiz rezhima i veroyatnostnyy prognoz*]. Moscow: Nauka, 1975:158.
 44. Kritsky SN, Menkel MF. Some propositions of the statistical theory of level fluctuations in natural water bodies and their application to the study of the Caspian Sea regime [*Nekotoryye polozheniya statisticheskoy teorii kolebaniy urovnya yestestvennykh vodoyemov i ikh primeneniye k issledovaniyu rezhima Kaspiyskogo morya*] *Proc. of the 1st Meeting on Flow Regulation [Trudy I soveshchaniya po regulirovaniyu stoka]*. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1946:76-97.
 45. Lappo SS, Reva YuA. Comparative analysis of long-period variability in the levels of the Black and Caspian Seas [*Sravnitel'nyy analiz dolgoperiodnoy izmenchivosti urovney Chernogo i Kaspiyskogo morey*]. *Meteorology and Hydrology*. 1997;12:63-75.
 46. Lenz E. On changes in the level of the Caspian Sea [*Ob izmeneniyakh urovnya Kaspiyskogo morya*]. *Journal of the Ministry of Internal Affairs [Zhurnal Ministerstva vnutrennikh del]*. 1836;20 (26):93-100.
 47. Lilienberg DA. Trends in modern endodynamics of the Caspian and sea level changes [*Tendentsii sovremennoy endodinamiki Kaspiya i izmeneniya urovnya morya*]. *Reports of the Russian Academy of Sciences [Doklady RAN]*. 1993;331 (6):745-750.
 48. Malinin VN. Does the Caspian face the fate of the Aral? [*Grozit li Kaspiyu sud'ba Arala?*]. *Hydrometeorology and Ecology [Gidrometeorologiya i ekologiya]*. 2022;69:746-760.
 49. Malinin VN. Long-term forecasting of the Caspian Sea level [*Dolgosrochnoye prognozirovaniye urovnya Kaspiyskogo morya*]. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences [Izvestiya RAN] Geographical Series [Seriya geograficheskaya]*. 2009;6:7-16.
 50. Malinin VN. The problem of forecasting the Caspian Sea level [*Problema prognoza urovnya Kaspiyskogo morya*]. Saint-Petersburg: RGGMI, 1994:158.
 51. Malinin VN, Gordeeva SM. The Caspian Sea level as an indicator of large-scale moisture exchange in the “ocean–atmosphere–land” system [*Uroven' Kaspiyskogo morya kak indikator krupnomasshtabnogo vlagobomena v sisteme “ocean–atmosfera–susha”*]. *Proc. of the Karelian Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences [Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN]*. 2020;4:5-20.
 52. Meshcherskaya AV, Aleksandrova NA. Forecast of

2003. О статистических сверхдолгосрочных прогнозах уровня Каспийского моря с использованием крупномасштабных климатических параметров // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеиздат. С. 278-294.
54. Мищенко Е.Ф., Мищенко А.С., Зеликин М.И. 2019. Адекватность математических моделей в теории управления, физике и экологии // Журнал Фонда математического образования и просвещения. № 4 (92). С. 2-16.
 55. Мищенко Е.Ф., Мищенко А.С., Зеликин М.И. 2020. Адекватность математических моделей в теории управления, физике и экологии // Журнал Фонда математического образования и просвещения. № 1 (93). С. 2-14.
 56. Мухина Е. 2023. В Волгоградской области продолжится рост площади орошаемых земель [Электронный ресурс www.riac34.ru (дата обращения 23.12.2025)].
 57. Найденов В.И. 2004. Нелинейная динамика поверхностных вод суши. М.: Наука. 317 с.
 58. Найденов В.И. 1992. Нелинейная модель колебаний уровня Каспийского моря // Математическое моделирование. Т. 4. № 6. С. 50-64.
 59. Нестеров Е.С. 2019. Оперативные прогностические технологии для гидрометеорологического обеспечения деятельности на неарктических морях России // Ученые записки РГТМУ. № 55. С. 108-119.
 - the Caspian Sea level based on meteorological data [Prognoz urovnya Kaspiyskogo morya po meteorologicheskim dannym]. *Meteorology and Hydrology*. 1993;3:72-82.
 53. Meshcherskaya AV, Golod MP. On statistical ultra-long-term forecasts of the Caspian Sea level using large-scale climatic parameters [O statisticheskikh sverkhhdolgosrochnykh prognozach urovnya Kaspiyskogo morya s ispol'zovaniyem krupnomasshtabnykh klimaticheskikh parametrov] *Hydrometeorological aspects of the problem of the Caspian Sea and its basin* [Gidrometeorologicheskiye aspekty problemy Kaspiyskogo morya i yego basseyna]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003:278-294.
 54. Mishchenko EF, Mishchenko AS, Zelikin MI. Adequacy of mathematical models in control theory, physics and ecology [Adekvatnost' matematicheskikh modeley v teorii upravleniya, fizike i ekologii]. *Mathematical Education* [Matematicheskoye obrazovaniye] *Journal of the Foundation for Mathematical Education and Enlightenment* [Zhurnal Fonda matematicheskogo obrazovaniya i prosveshcheniya]. 2019;4:2-16.
 55. Mishchenko EF, Mishchenko AS, Zelikin MI. Adequacy of mathematical models in control theory, physics and ecology [Adekvatnost' matematicheskikh modeley v teorii upravleniya, fizike i ekologii]. *Mathematical Education* [Matematicheskoye obrazovaniye] *Journal of the Foundation for Mathematical Education and Enlightenment* [Zhurnal Fonda matematicheskogo obrazovaniya i prosveshcheniya]. 2020;1:2-14.
 56. Mukhina E. Expansion of irrigated land area to continue in the Volgograd Region [V Volgogradskoy oblasti prodolzhitsya rost ploshchadi oroshayemykh zemel']. 2023, Available at www.riac34.ru (Date of Access 23/12/2025).
 57. Naydenov VI. Nonlinear dynamics of surface land waters [Nelineynaya dinamika poverkhnostnykh vod sushi]. Moscow: Nauka, 2004:317.
 58. Naydenov VI. Nonlinear model of Caspian Sea level fluctuations [Nelineynaya model' kolebaniy urovnya Kaspiyskogo morya]. *Mathematical Modeling* [Matematicheskoye modelirovaniye]. 1992;4 (6):50-64.
 59. Nesterov ES. Operational forecasting technologies for hydrometeorological support of activities in the non-Arctic seas of Russia [Operativnyye prognosticheskiye

60. Нестеров Е.С. 2003. О связи индексов колебания циркуляции атмосферы и уровня Каспийского моря // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеиздат. С. 323-326.
61. Нестеров Е.С. 2001. Низкочастотная изменчивость циркуляции атмосферы и уровень Каспийского моря во второй половине XX века // Метеорология и гидрология. № 11. С. 27-36.
62. Нестеров Е.С., Павлова А.В. 2024. Влияние колебаний циркуляции атмосферы на уровень Каспийского моря // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. № 1 (391). С. 56-70.
63. Осика Д.Г., Магомедова Э.Ф., Бутаев А.М., Зубик С.В., Осика Л.Д. 1997. Уровенный режим Каспия и его прогноз // Геология, минерально-сырьевые и топливо-энергетические ресурсы Дагестана (сборник статей). Вып. 46. С. 135-139.
64. Основные положения технико-экономического доклада. Защита народнохозяйственных объектов и населенных пунктов прибрежной полосы Каспийского моря в пределах Российской Федерации. 1992. М. 48 с.
65. Паллас П.С. 1773-1788. Путешествие по разным провинциям Российского Государства. СПб.: Императорская Академия Наук. Ч. 1. 786 с.; Ч. 2. Кн. 1. 476 с.; Ч. 2. Кн. 2. 575 с.; Ч. 3. Половина первая. 655 с.; Ч. 3. Половина вторая. 481 с.; Атлас. 111 с.
66. Попов В.Н. 1963. Проблема регулирования Каспийского моря // Проблемы Каспийского
- tekhnologii dlya gidrometeorologicheskogo obespecheniya deyatelnosti na nearkticheskikh moryakh Rossii]. *Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University [Uchenyye zapiski RGGMU]*. 2019;55:108-119.
60. Nesterov ES. On the relationship between atmospheric circulation oscillation indices and the Caspian Sea level [O svyazi indeksov kolebaniya tsirkulyatsii atmosfery i urovnya Kaspiyskogo morya] *Hydrometeorological aspects of the problem of the Caspian Sea and its basin [Gidrometeorologicheskiye aspekty problemy Kaspiyskogo morya i yego basseyna]*. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003:323-326.
61. Nesterov ES. Low-frequency variability of atmospheric circulation and the Caspian Sea level in the second half of the 20th century [Nizkochastotnaya izmenchivost' tsirkulyatsii atmosfery i uroven' Kaspiyskogo morya vo vtoroy polovine KhKh veka]. *Meteorology and Hydrology*. 2001;11:27-36.
62. Nesterov ES, Pavlova AV. Influence of atmospheric circulation oscillations on the Caspian Sea level [Vliyaniye kolebaniy tsirkulyatsii atmosfery na uroven' Kaspiyskogo morya]. *Hydrometeorological Research and Forecasts [Gidrometeorologicheskiye issledovaniya i prognozy]*. 2024;1:56-70.
63. Osika DG, Magomedova EF, Butaev AM, Zubik SV, Osika LD. Level regime of the Caspian and its forecast [Urovennyy rezhim Kaspiya i yego prognoz] *Geology, mineral resources and fuel and energy resources of Dagestan (collection of articles) [Geologiya, mineral'no-syr'yevyye i toplivo-energeticheskiye resursy Dagestana (sbornik statey)]*. Makhachkala: Dagestanskiy NTsRAN, Institut geologii, 1997;46:135-139.
64. Main provisions of the feasibility study [Osnovnyye polozheniya tekhniko-ekonomicheskogo doklada] *Protection of national economic facilities and settlements in the coastal strip of the Caspian Sea within the Russian Federation [Zashchita narodnokhozyaystvennykh ob'yektov i naseleennykh punktov pribrezhnoy polosy Kaspiyskogo morya v predelakh Rossiyskoy Federatsii]*. Moscow, 1992:48.
65. Pallas PS. Journey through various provinces of the Russian Empire [Puteshestviye po raznym provintsiyam Rossiyskogo Gosudarstva]. Saint-Petersburg: Imperatorskaya Akademiya Nauk. 1773;1:786. 1786;1 (2):476. 1786;2 (2):575. 1788;3 (1):655. 1788;3 (2):481. 1788:111.

- моря. Всесоюзное совещание по проблеме Каспийского моря. Баку: Изд-во АН АзССР. С. 336-345.
67. Проблемы Волго-Каспия. Труды ноябрьской сессии 1933 года. 1934. Л.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 638 с.; Т. 2. 730 с.
 68. Рычагов Г.И. 2019. К методике геоморфологических исследований (геоморфологические уроки Каспия) // Геоморфология. № 4. С. 27-39.
 69. Рычагов Г.И. 2013. Современные проблемы уровня Каспийского моря и хозяйственная деятельность в береговой зоне // Труды ГОРД. Вып. 41. С. 1-13.
 70. Рычагов Г.И. 2011. Колебания уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз // Вестник МГУ. Серия 5: География. № 2. С. 4-12.
 71. Рычагов Г.И. 1993. Уровенный режим Каспийского моря за последние 10000 лет // Вестник МГУ. Серия 5: География. № 2. С. 38-49.
 72. Сидоренков И.С., Сумерова К.А. 2012. Геодинамические причины декадных изменений климата // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. № 348. С. 195-214.
 73. Смирнова К.И. 1972. Водный баланс и долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 94. 123 с.
 74. Соловьёв М.М. 1941. Бэр на Каспии: Каспийская экспедиция 1853-1856 гг. под руководством акад. К.М. Бэра. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 192 с.
 75. Соловьева Н.Н. 2004. Popov VN. The problem of regulating the Caspian Sea [*Problema regulirovaniya Kaspiyskogo morya*]. Problems of the Caspian Sea [*Problemy Kaspiyskogo morya*] All-Union Meeting on the Problem of the Caspian Sea [*Vsesoyuznoye soveshchaniye po probleme Kaspiyskogo morya*]. Baku: Izd-vo AN AzSSR, 1963:336-345.
 67. Problems of the Volga-Caspian. Proceedings of the November session of 1933 [*Problemy Volgo-Kaspiya. Trudy noyabr'skoy sessii 1933 goda*]. Leningrad: Izd-vo AN SSSR. 1934;1:638. 1934;2:730.
 68. Rychagov GI. On the methodology of geomorphological research (geomorphological lessons of the Caspian) [*K metodike geomorfologicheskikh issledovaniy (geomorfologicheskiye uroki Kaspiya)*]. *Geomorphology*. 2019;4:27-39.
 69. Rychagov GI. Modern problems of the Caspian Sea level and economic activity in the coastal zone [*Sovremennyye problemy urovnya Kaspiyskogo morya i khozyaystvennaya deyatel'nost' v beregovoy zone*]. *Proc. of the Caspian Marine Research Department [Trudy GORD]*. 2013;41:1-13.
 70. Rychagov GI. Fluctuations of the Caspian Sea level: causes, consequences, forecast [*Kolebaniya urovnya Kaspiyskogo morya: prichiny, posledstviya, prognoz*]. *Bulletin of Moscow State University [Vestnik MGU] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]*. 2011;2:4-12.
 71. Rychagov GI. The level regime of the Caspian Sea over the last 10,000 years [*Urovennyy rezhim Kaspiyskogo morya za posledniye 10 000 let*]. *Bulletin of Moscow State University [Vestnik MGU] Series 5: Geography [Seriya 5: Geografiya]*. 1993;2:38-49.
 72. Sidorenkov IS, Sumerova KA. Geodynamic causes of decadal climate changes [*Geodinamicheskiye prichiny dekadnykh izmeneniy klimata*]. *Proc. of the Hydrometeorological Research Centre of the Russian Federation [Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii]*. 2012;348:195-214.
 73. Smirnova KI. Water balance and long-term forecast of the Caspian Sea level [*Vodnyy balans i dolgosrochnyy prognoz urovnya Kaspiyskogo morya*]. *Proc. of the Hydrometeorological Center of the USSR [Trudy Gidromettsentra SSSR]*. 1972;94:123.
 74. Solovyov MM. Baer on the Caspian: The Caspian expedition of 1853-1856 led by the Academician K.M. Ber [*Ber na Kaspii: Kaspiyskaya ekspeditsiya 1853-1856 gg. pod rukovodstvom akad. K.M. Bera*].

- Исследование зависимости колебаний уровня Каспийского моря от солнечной активности. СПб.: Изд-во РГГМУ. 70 с.
76. Фомина Н.Д. 1968. О связи уровня и ветра в районе Среднего и Южного Каспия // Сборник работ Бакинской ГМО. Вып. 4. С. 61-67.
 77. Фролов А.В. 2025. Доклад «Эволюция представлений о механизме формирования многолетних колебаний уровня Каспийского моря» [Электронный ресурс <https://www.iwp.ru/about/news/doklad-evolyutsiya-predstavleniy-o-mekhanizme-formirovaniya-mnogoletnikh-kolebaniy-urovnya-kaspiysko/?ysclid=mlwk1epm329438454> (дата обращения 22.02.2026)].
 78. Фролов А.В. 2021. Динамико-стохастическое моделирование многолетних колебаний уровня Каспия в палеовремени (14-4 тыс. лет до н.э.) // Водные ресурсы. Т. 48. № 6. С. 633-642.
 79. Фролов А.В. 2019. Сценарные прогнозы колебаний уровня Каспия с учетом климатических и техногенных воздействий на водный баланс моря // Океанологические исследования. Т. 47. № 5. С. 130-148.
 80. Фролов А.В. 2003. Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения. М.: ГЕОС. 174 с.
 81. Ханыков Н. 1853. О перемежающихся изменениях уровня Каспийского моря // Записки Западно-Кавказского отделения РГО. Ч. II. С. 66-152.
 82. Хубларян М.Г., Найденов В.И. 1991. О тепловом механизме колебаний уровня водоемов // ДАН СССР. Т. 319. № 6. С. 1438-1444.
 - Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1941:192.
 75. Solovieva NN. Study of the dependence of Caspian Sea level fluctuations on solar activity [*Issledovaniye zavisimosti kolebaniy urovnya Kaspiyskogo morya ot solnechnoy aktivnosti*]. Saint-Petersburg: Izd-vo RGGMU, 2004:70.
 76. Fomina ND. On the relationship between level and wind in the region of the Middle and Southern Caspian [O svyazi urovnya i vetra v rayone Srednego i Yuzhnogo Kaspiya]. *Collection of works of the Baku Hydrometeorological Observatory [Sbornik rabot Bakinskoy GMO]*. 1968;4:61-67.
 77. Frolov AV. Report "Evolution of ideas about the mechanism of formation of long-term fluctuations in the Caspian Sea level" [*Doklad "Evolutsiya predstavleniy o mekhanizme formirovaniya mnogoletnikh kolebaniy urovnya Kaspiyskogo morya"*]. 2025, Available at <https://www.iwp.ru/about/news/doklad-evolyutsiya-predstavleniy-o-mekhanizme-formirovaniya-mnogoletnikh-kolebaniy-urovnya-kaspiysko/?ysclid=mlwk1epm329438454> (Date of Access 22/02/2026).
 78. Frolov AV. Dynamic-stochastic modeling of long-term Caspian Sea level fluctuations in paleo-time (14-4 thousand years BC) [*Dinamiko-stokhasticheskoye modelirovaniye mnogoletnikh kolebaniy urovnya Kaspiya v paleovremeni (14-4 tys. let do n.e.)*]. *Water Resources [Vodnyye resursy]*. 2021;48 (6):633-642.
 79. Frolov AV. Scenario forecasts of Caspian level fluctuations taking into account climatic and anthropogenic impacts on the sea water balance [*Stsenarnyye prognozy kolebaniy urovnya Kaspiya s ucheto klimaticheskikh i tekhnogennykh vozdeystviy na vodnyy balans morya*]. *Journal of Oceanological Research [Okeanologicheskoye issledovaniya]*. 2019;47 (5):130-148.
 80. Frolov AV. Modeling of long-term fluctuations in the Caspian Sea level: theory and applications [*Modelirovaniye mnogoletnikh kolebaniy urovnya Kaspiyskogo morya: teoriya i prilozheniya*]. Moscow: GEOS, 2003:174.
 81. Khanykov N. On intermittent changes in the level of the Caspian Sea [O peremezhayushchikhsya izmeneniyakh urovnya Kaspiyskogo morya]. *Notes of the Caucasian Department of the Russian Geographical Society [Zapiski Zapadno-Kavkazskogo otdeleniya RGO]*. 1853;II:66-152.

83. Шахрай М.М., Мамаев М.А., Кормасов Ф.М. 2003. Уравнение водно-солевого баланса Каспийского моря // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 49. С. 62-69.
84. Швейкина В.И. 2011. Неустойчивая динамика водного баланса бассейнов замкнутых водоемов на примере Каспийского моря // Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования. Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции, г. Калининград, 25-30 июля 2011 г. Калининград: Капрос. С. 448-455.
85. Шевнин А.Д. 1994. Долговременные вариации солнечной и магнитной активности и уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. Т. 21. № 4. С. 405-409.
86. Шереметьевская О.И. 1985. Усовершенствование метода прогноза годового хода уровня Каспийского моря // Метеорология и гидрология. № 4. С. 67-71.
87. Шереметьевская О.И. 1964. Прогнозы неперiodических изменений уровня Каспийского моря // Метеорология и гидрология. № 9. С. 33-36.
88. Шикломанов И.А. 1976. Гидрологические аспекты проблемы Каспийского моря. Л.: Гидрометеиздат. 78 с.
89. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. 2003. Влияние хозяйственной деятельности на водный баланс и изменения уровня Каспийского моря // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.:
82. Khublaryan MG, Naydenov VI. On the thermal mechanism of reservoir level fluctuations [O teplovom mekhanizme kolebaniy urovnya vodoyemov]. *Reports of the USSR Academy of Sciences [DAN SSSR]*. 1991;319 (6):1438-1444.
83. Shakhrai MM, Mamaev MA, Korkmasov FM. Equation of the water-salt balance of the Caspian Sea [Urvneniye vodno-solevogo balansa Kaspiyskogo morya]. *Proc. of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences [Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAN]*. 2003;49:62-69.
84. Shveykina VI. Unstable dynamics of the water balance of closed reservoir basins on the example of the Caspian Sea [Neustoychivaya dinamika vodnogo balansa basseynov zamknutykh vodoyemov na primere Kaspiyskogo morya] *Stability of water bodies, catchment and coastal areas; risks of their use [Ustoychivost' vodnykh ob'yektov, vodosbornykh i pribrezhnykh territoriy; riski ikh ispol'zovaniya]* *Collection of scientific papers of the All-Russian Scientific Conference, Kaliningrad, July 25-30, 2011) [Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii]*. Kaliningrad: Kapros, 2011:448-455.
85. Shevnin AD. Long-term variations of solar and magnetic activity and the Caspian Sea level [Dolgovremennyye variatsii solnechnoy i magnitnoy aktivnosti i urovnya Kaspiyskogo morya]. *Water Resources [Vodnyye resursy]*. 1994;21 (4):405-409.
86. Sheremetyevskaya OI. Improvement of the method for forecasting the annual course of the Caspian Sea level [Usovershenstvovaniye metoda prognoza godovogo khoda urovnya Kaspiyskogo morya]. *Meteorology and Hydrology*. 1985;4:67-71.
87. Sheremetyevskaya OI. Forecasts of non-periodic changes in the Caspian Sea level [Prognozy neperiodicheskikh izmeneniy urovnya Kaspiyskogo morya]. *Meteorology and Hydrology*. 1964;9:33-36.
88. Shiklomanov IA. Hydrological aspects of the problem of the Caspian Sea [Gidrologicheskiye aspekty problemy Kaspiyskogo morya]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1976:78.
89. Shiklomanov IA, Georgievsky VYu. Influence of economic activity on the water balance and changes in the level of the Caspian Sea [Vliyaniye khozyaystvennoy deyatel'nosti na vodnyy balans i izmeneniya urovnya Kaspiyskogo morya] *Hydrometeorological aspects of the problem of the*

- Гидрометеиздат. С. 267-277.
90. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. 2003. Причины повышения уровня Каспийского моря // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеиздат. С. 254-266.
 91. Шлямин Б.А. 1962. Сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря // Известия Всесоюзного географического общества. Т. 94. Вып. 1. С. 26-33.
 92. Эйгенсон М.С. 1963. Будущее Каспийского моря // Проблемы Каспийского моря: Всесоюзное совещание по проблеме Каспийского моря. Баку. С. 24-28.
 93. Эйгенсон М.С. 1957. Колебания уровня Каспийского моря и солнечная активность // Сверхдолгосрочные прогнозы уровня Каспийского моря. М.: Изд-во АН СССР. С. 9-22.
 94. Эльдаров Э.М. 1996. Адаптация населения и хозяйства Дагестана к повышению уровня Каспийского моря // Человек в зеркале современной географии. Материалы докладов конференции, посвященной юбилею Ю.Г. Саушкина. Смоленск: СГУ. С. 44-46.
 95. Юдович Ю.Б., Доценко Б.Н., Антонюк А.В. 1980. Методика прогнозирования вылова рыбы в озерах, реках и водохранилищах. М.: Изд-во ВНИИПРХ. 46 с.
 96. Brückner E. 1890. Klimaschwankungen seit 1700. Vienna, E. Hölzel Publ. 324 p. [Электронный ресурс https://openlibrary.org/books/OL6929844M/Klima-Schwankungen_seit_1700 (дата обращения 25.06.2025)].
 - Caspian Sea and its basin [Gidrometeorologicheskiye aspekty problemy Kaspiyskogo morya i yego basseyna]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003:267-277.
 90. Shiklomanov IA, Georgievsky VYu, Shalygin AL. Causes of the Caspian Sea level rise [Prichiny povysheniya urovnya Kaspiyskogo morya] Hydrometeorological aspects of the problem of the Caspian Sea and its basin [Gidrometeorologicheskiye aspekty problemy Kaspiyskogo morya i yego basseyna]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003:254-266.
 91. Shlyamin BA. Ultra-long-term forecast of the Caspian Sea level [Sverkhdolgosrochnyy prognoz urovnya Kaspiyskogo morya]. Bulletin of the All-Union Geographical Society [Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva]. 1962;94 (1):26-33.
 92. Eigenson MS. The future of the Caspian Sea [Budushcheye Kaspiyskogo morya] Problems of the Caspian Sea [Problemy Kaspiyskogo moray] All-Union Meeting on the Problem of the Caspian Sea [Vsesoyuznoye soveshchaniye po probleme Kaspiyskogo moray]. Baku, 1963:24-28.
 93. Eigenson MS. Fluctuations of the Caspian Sea level and solar activity [Kolebaniya urovnya Kaspiyskogo morya i solnechnaya aktivnost'] Ultra-long-term forecasts of the Caspian Sea level [Sverkhdolgosrochnyye prognozy urovnya Kaspiyskogo morya]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1957:9-22.
 94. Eldarov EM. Adaptation of the population and economy of Dagestan to the rise in the level of the Caspian Sea [Adaptatsiya naseleniya i khozyaystva Dagestana k povysheniyu urovnya Kaspiyskogo morya] Man in the mirror of modern geography [Chelovek v zerkale sovremennoy geografii] Proc. of the conference dedicated to the anniversary of Yu.G. Saushkin [Materialy докладов konferentsii, posvyashchennoy yubileyu Yu.G. Saushkina]. Smolensk: SGU, 1996:44-46.
 95. Yudovich YuB, Dotsenko BN, Antonyuk AV. Methodology for forecasting fish catch in lakes, rivers and reservoirs [Metodika prognozirovaniya vylova ryby v ozerakh, rekakh i vodokhranilishchakh]. Moscow: Izd-vo VNIIPRKh, 1980:46.
 96. Brückner E. Klimaschwankungen seit 1700. Vienna, E. Hölzel Publ. 1890:324, Available at https://openlibrary.org/books/OL6929844M/Klima-Schwankungen_seit_1700 (Date of Access 25/06/2025).

UDC 551.461 (262.1)

**PROBLEMS OF CASPIAN SEA LEVEL FORECASTING:
LESSONS FROM HISTORY AND GUIDELINES FOR THE FUTURE (REVIEW)**

© 2026. S.I. Shaporenko*, N.I. Koronkevich*, Yu.A. Spirin*, ** A.M. Abdurashidov***

**Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences
29, Staromonetnyy Pereulok, Moscow, 119017, Russia
E-mail: ser-shaporenko@yandex.ru, shaporenko@igras.ru*

***Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russia*

****Bar Association of the Republic of Dagestan
11a, Batyraya Str., Makhachkala, 367000, Russia*

Received March 27, 2026. Revised June 15, 2026. Accepted June 25, 2026.

The long-term fluctuation of the average annual Caspian Sea Level (CSL) causes significant geoeological problems in its coastal zone. Solutions to these problems typically come from the reliable long-term forecasts of its water balance. The lowest drop in the mean sea level in the entire period of instrumental observations to a record low in 2025 (-29.02 m relative to the Makhachkala Tide Gauge Station) makes research into the processes that determine the hydrological regime of the sea even more urgent.

In this article we aim to identify the main reasons for the poor accuracy of long-term forecasts compared to short-term ones, based on a retrospective critical review of publications concerning predictive approaches to studying CSL fluctuation patterns. The main types of long-term forecasts are examined, including those using empirical relationships between the CSL and heliophysical processes, patterns of periodic and cyclical changes in phases of level rise and fall associated with changes in atmospheric circulation patterns, and other possible factors influencing the components of its water balance. It is established that, besides the natural complexities associated with forecasting climatic factors, the uncertainty of plans for the economic use of water resources in the Caspian basin also contributes to the inaccuracy of long-term forecasts. Such difficulties are not characteristic of short-term forecasts of seasonal and non-periodic level fluctuations.

In the absence of the possibility for long-term forecasting using clear predictors, all forecasts (both deterministic and probabilistic) are based on extrapolating identified patterns from previous periods, assuming that their main determining parameters will remain constant in the future. In the planned economy of the USSR, such an approach for forecasts exceeding three years was considered unacceptable due to large errors, even if the trend direction persisted. In the conditions of the Caspian catchment area, a change in this trend direction caused the maximum forecast errors, making it impossible to recommend this approach for solving economic planning problems.

A change in strategy is required, one based not on focusing on level forecasts, but on a mechanism for adapting the economy to the range of its variability within ecologically justified limits determined by the modern climate. An analysis of paleogeographic and historical sea-level data, which correspond well with the geomorphological features of the sea basin, provides specific quantitative indicators of level fluctuation. G.I. Rychagov called this range the risk zone and defined it within the interval from -30 m to -25 m, based on the natural flow of the Volga, or with an upper boundary of -26 m, accounting for irretrievable water withdrawal for economic needs.

The adaptation strategy may also include elements of level regulation, which were considered during the implementation of the "Greater Volga" project developed at the beginning of the 20th century, and incorporate short-term forecasting of water balance components as an important auxiliary element.

Keywords: elements of water balance; climatic and anthropogenic factors of formation; history, authors and forecasting methods; strategy of environmental management.

Funding. This work was carried out for the state assignment of the Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences FMWS-2026-0003, No. 1025030300154-4, "Geographical and Hydrological Assessment of Changes in Water Resources in the Past, Present and Future in Various Natural and Economic Conditions".

DOI: 10.24412/2542-2006-2026-2-5-40**EDN: XHFCJW**