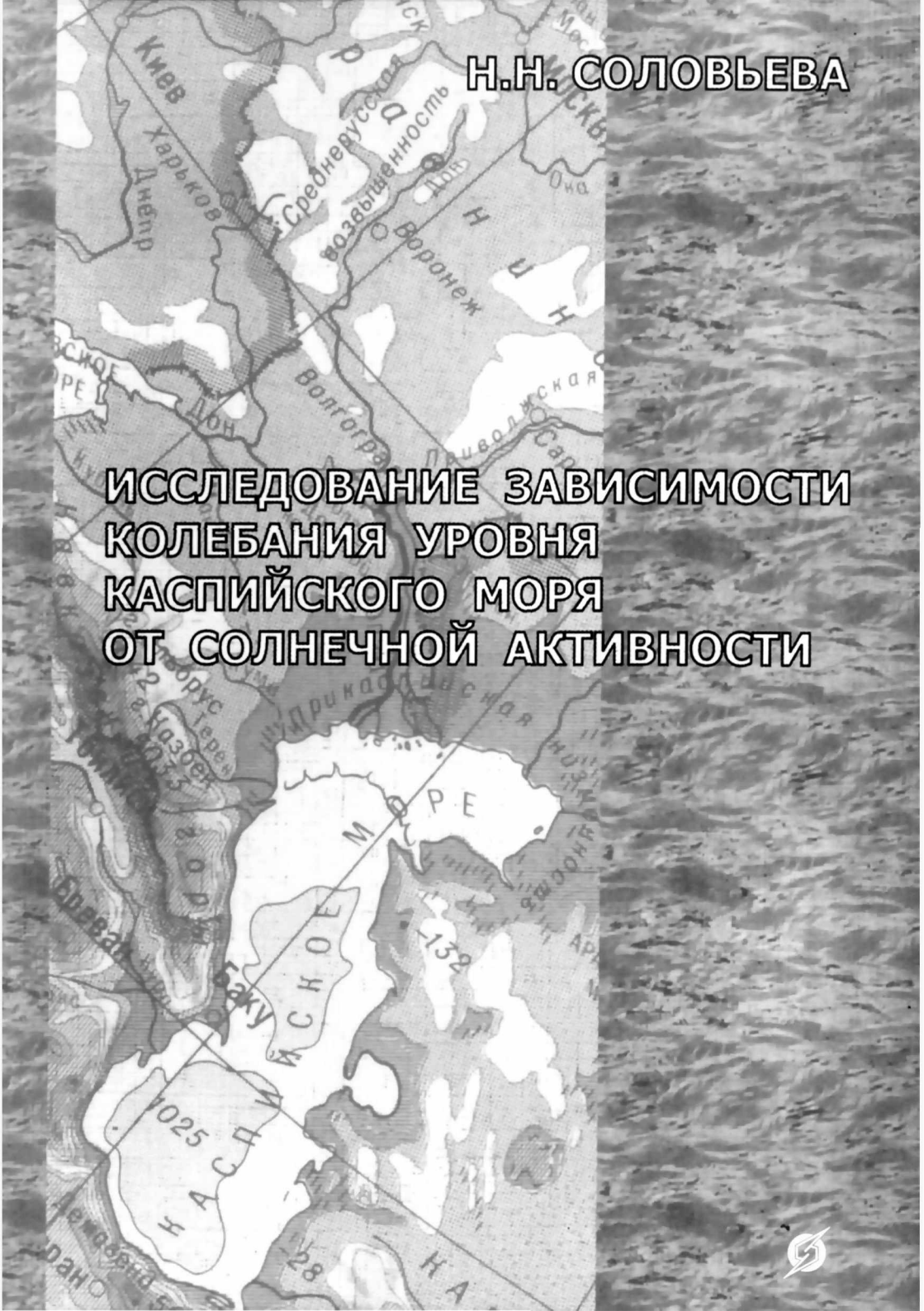




Н.Н. СОЛОВЬЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ
КАСПИЙСКОГО МОРЯ
ОТ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ



Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н.Н. СОЛОВЬЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ОТ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Под редакцией проф. А.М. Владимирова



Санкт-Петербург
2004



УДК [551.461.24:523.98](262.81)

Соловьева Н.Н. Исследование зависимости колебания уровня Каспийского моря от солнечной активности. – СПб., изд. РГГМУ, 2004 – 70 с.

ISBN 5-86813-133-9

Обосновывается гелиогеофизический подход к проблеме прогноза уровня Каспийского моря.

Разработана методология сравнения многолетних рядов солнечной активности и геофизических процессов различных масштабов. Показана зависимость колебаний детерминированных составляющих геофизических процессов, в том числе стока Волги и уровня Каспийского моря от солнечной активности предшествующих периодов. Выполнены прогнозы стока Волги и уровня Каспийского моря до середины XXI в.

Предложена гипотеза о механизмах, определяющих влияние многолетних колебаний солнечной активности на изменения некоторых геофизических процессов, включая климатические, через определенные длительные периоды времени.

Solovyeva, N.N. Investigation of dependence of the Caspian Sea level oscillations on solar activity. St. Petersburg, RSHU Publishers, 2004. – 70 pp.

The book substantiates the helio-geophysical approach to the problem of forecasting the Caspian Sea level.

A methodology has been developed for comparison of long-term series of helio- and geophysical processes occurring on various scales. The oscillations of determinant components of geophysical processes, including the Volga runoff and the Caspian Sea level, are shown to depend on the solar activity over previous periods. Predictions are made for the Volga runoff and Caspian Sea level, covering the period up to the mid-21st century.

A hypothesis has been advanced on the mechanisms governing, after long periods of time, the influence of multiyear solar-activity oscillations on variations in certain geophysical processes, including climatic ones.

ISBN 5-86813-133-9

- © Н.Н. Соловьева, 2004
- © Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая работа является результатом многолетних исследований автора. Инициаторами этого исследования в 1986 г. были д.г.н. Н.П. Смирнов и д.г.н. Ю.В. Суставов. Разработки Н.П. Смирнова по влиянию внешних геофизических факторов на колебания речного стока определили направление.

С 1987 по 1992 гг. автор в качестве ответственного исполнителя работала по хоздоговорам с Каспийским НИИ рыбного хозяйства (КаспНИИРХ) и администрацией г. Астрахани.

Данная работа была закончена в 1997 г. Возможность ее публикации возникла лишь в 2004 г. Это позволило сравнить спрогнозированный автором еще в 1992 г. уровень Каспийского моря на конец века с наблюдаемым. На 1999 г. в [71] был дан прогноз уровня $-27,04$ м. абс, наблюдаемый уровень за этот год составил $-27,03$ м. абс.

Результаты работы обсуждались и получили одобрение на ежегодных ученых советах КаспНИИРХа в 1987–1992 гг., на ученом совете ВНИИ Рыбного хозяйства в Москве в 1990 г., на объединенном научно-практическом семинаре в Российском государственном гидрометеорологическом университете (РГГМУ) в 1993 г. Были сделаны доклады на: Всесоюзных совещаниях «Проблемы Каспийского моря» (3–6 июня 1991 г., Гурьев), «Гидрологические и водохозяйственные аспекты формирования экосистемы Каспийского моря» (20–25 октября 1991 г., Ростов Великий); на международных симпозиумах «Расчеты речного стока» (30 октября – 3 ноября 1995 г., Санкт-Петербург), «Проблемы рационального природопользования и обеспечение экологической безопасности Прикаспийского района» (21–23 ноября 1995 г., Санкт-Петербург).

Автор выражает искреннюю признательность за помощь в работе и постоянную поддержку директору КаспНИИРХа В.П. Иванову и его заместителю по науке Д.Н. Катунину, а также заместителю главы администрации Астрахани А.И. Чернышу.

Над проблемой работал коллектив. Программирование выполняли научные сотрудники А.Д. Зив, И.А. Кротова, Г.С. Мазур. В исследованиях принимали участие инженеры Г.Н. Минаева, Н.В. Соколова, Ю.Л. Черныш и студенты старших курсов РГГМУ. Автор считает своим долгом поблагодарить всех за помощь в расчетах.

Автор выражает благодарность ректору РГГМУ Л.Н. Карлину, проректору В.Н. Воробьеву, профессору А.М. Владимирову, заведующей редакционно-издательского отдела И.Г. Максимовой.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее исследование посвящено анализу многолетних колебаний стока Волги и уровня Каспийского моря с целью их прогноза. Показано, что многолетние изменения стока Волги имеют решающую роль в формировании уровня режима Каспия. На базе многолетних наблюдений за солнечной активностью и некоторыми геофизическими факторами разработана методология долгосрочного прогноза стока Волги и уровня Каспийского моря.

За период от начала инструментальных наблюдений за уровнем Каспийского моря (конец 70-х годов XIX в.) по 1977 г. уровень моря постоянно понижался. С 1978 по 1995 г. наблюдался фактически его непрерывный подъем, который составил 2,4 м над самой низкой отметкой – 29,0 м БС в 1977 г. В 1996 и 1997 гг. произошел спад уровня на 36 см, в 1998 г. наблюдалась его стабилизация.

Подъем уровня моря привел к затоплению и подтоплению поселков, городов, сельскохозяйственных угодий, нефтяных и газовых выработок, очистных сооружений, мест захоронения различного рода отходов. Возникла угроза экологической безопасности региона. Большие изменения наблюдались в дельте Волги. Происходившие негативные изменения часто необратимы. Возникли демографические проблемы. Подробные данные по этим вопросам изложены в [57]. Проблемы защиты Каспийского побережья и рационального использования дельты Волги потребовали определить тенденции развития процессов изменения стока Волги и уровня Каспийского моря на перспективу нескольких десятилетий.

Многолетним колебаниям уровня Каспийского моря посвящено большое количество публикаций, направленных прежде всего на выявление причин, создающих в каждый период данное направление процесса. После интенсивного спада уровня моря, которое произошло в 30-е годы XX в., работами ученых была доказана климатическая природа этого спада [4, 9, 12–15, 23–24, 29, 37, 106]. Дальнейшее сохранение тенденции спада уровня в 40 – 70-е годы объяснялось антропогенным вмешательством в режим стока речного бассейна моря, при этом объем водозаборов из рек определялся как безвозвратные потери [21, 48, 72, 86, 102, 103]. И, наконец, большое число работ посвящено выяснению причин последнего подъема уровня моря.

Все работы условно можно разделить на три группы в зависимости от того, какие ведущие факторы считаются ответственными за этот подъем. В первой группе работ называются геологические процессы: высокая сейсмичность региона, неравномерные вертикальные колебания суши по берегам моря, существование грязевых извержений в море, которые изменяют объем котловины моря, вследствие чего происходит рост уровня моря [2, 51, 94]. Во второй группе подъем уровня связывают с антропогенными факторами. В эту группу входят модели глобального потепления климата за счет увеличения содержания углекислого газа в атмосфере, а также условно работы, объясняющие подъем вследствие изменений, произошедших от производства подземных ядерных взрывов и выработок нефти и газа [16, 26–27]. К третьей группе относятся работы, объясняющие рост уровня моря в последнем периоде естественными колебаниями климата [38, 44, 47, 54, 75–77, 87–91].

В своей работе автор систематизировала опубликованные методы прогнозов и вероятностных расчетов уровня моря, включая разработки 80-х – начала 90-х годов. Здесь показывается, что в 50–70-е годы разрабатывались методы прогноза уровня моря по различным климатическим характеристикам, причем большинство авторов прогнозировали подъем уровня моря к концу столетия [4, 8, 23–24, 37, 104, 106]. Однако эти прогнозы не были учтены при планировании хозяйственной деятельности в регионе. Климатические подходы к прогнозу уровня моря не получили развития. Их сменили вероятностные методы определения уровня моря на перспективу, которые определяли к концу столетия положение уровня на отметках –32...–34 м БС. Эти приемы используются до настоящего времени [33–34, 48, 68–69, 72–74, 85–86, 97–98, 102, 110].

Рабочая гипотеза данного исследования заключается в том, что многолетние колебания водности рек бассейна моря и ход уровня моря определяются современными естественными колебаниями климата, на которые накладываются антропогенные воздействия, связанные в основном с хозяйственной деятельностью в акватории моря.

Для решения поставленных задач использован комплекс данных по гелиогеофизическим и гидрометеорологическим процессам. К анализу привлекались материалы, представляющие собой данные наблюдений за элементами. Значения характеристик тех или иных процессов, полученные расчетами по формулам или обратным путем,

исходя из физической модели явления, не использовались. Все многолетние ряды составлены по данным кадастровых изданий, за годы до начала 90-х, дополненные сведениями соответствующих ведомств. В окончательном анализе для описания солнечной деятельности принят ряд чисел Вольфа [35]. Общеглобальные процессы охарактеризованы скоростью вращения Земли и значениями координат северного географического полюса Земли на начало года [50, 64, 82–83, 96]. Процессы в Атлантико-Евразийском секторе северного полушария охарактеризованы данными по температуре и ледовитости Баренцева моря, причем атмосферные процессы – индексами циркуляции по Вангенгейму-Гирсу и Вительсу [23–24, 18–19]. Из элементов водного баланса Каспийского моря проанализированы следующие: поверхностный приток (по стоку всех рек, впадающих в море), осадки по данным прибрежных и островных станций, сток в залив Кара-Богаз-Гол, уровень моря по сети всех водомерных постов. Многолетние колебания увлажнения в бассейне моря изучены по данным наблюдений за стоком рек бассейна моря от начала 30-х годов независимо от размера бассейна и географического положения. Кроме того, использованы данные по гидрологическим характеристикам в других регионах, в частности в районе озера Байкал. Такой отбор информации позволил исключить возможность причисления результатов к ряду случайных, а также отделить роль общеглобальных факторов от местных, выделить антропогенный фактор.

Основная часть данной монографии посвящена обоснованию и разработке методов моделирования многолетних колебаний стока Волги и уровня Каспийского моря на основе использования гелио- и геофизических связей. Для этой цели создана методология, позволяющая сравнивать развитие во времени процессов, различных по масштабам проявления, выделять в процессах длительные тенденции. Далее выполняется моделирование хода стока Волги и уровня Каспийского моря по данным о солнечной активности, дается их прогноз на 5–6 десятилетий вперед. В заключительной части предложена гипотеза, объясняющая механизмы солнечно-земных климатических связей, и намечены перспективы развития тематики.

В целом в работе реализуется положение, что глобальные колебания климата с учетом их региональных проявлений должны быть основой для анализа и прогностических выводов по многолетним трендам водности Волги и уровня Каспийского моря.

1. ОБЗОР ПРОГНОЗОВ И РАСЧЕТОВ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

В начале XX в. работы по проблеме колебания уровня Каспийского моря были направлены на выяснение природы этого явления, на определение составляющих водного баланса моря. Основные результаты исследований этого периода систематизированы Б.А. Аполловым с соавторами [5].

В 30-е годы XX в. было начато и в дальнейшем продолжено изучение многолетних изменений климата, колебаний уровня Каспийского моря и их связей с вековыми колебаниями солнечной активности и других географических характеристик. Такие исследования выполнены Л.С. Бергом, Н.В. Максимовым, А.А. Гирсом и др. В работах этих авторов уделено внимание и колебаниям уровня Каспийского моря, природа которых определялась ими как климатическое проявление планетарного масштаба [14–15, 23–24, 55].

В 50 – 70-е годы получили развитие исследования по сверхдолгосрочному прогнозу уровня моря. За их основу было принято положение о том, что решающую роль в изменениях уровня моря играют колебания климатических и определяющих их гелио- и геофизических факторов.

В 70-х годах после продолжительного спада уровня моря в литературе развиваются расчетные, или вероятностные «прогнозы», дающие вероятное положение уровня моря на перспективу при условии стационарного климата и заданных объемов водозаборов из моря и в бассейне и перебросок из других бассейнов.

Подъем уровня Каспийского моря в период 1978–1995 гг., составивший около 2,4 м над самой низкой отметкой (–29,04 м БС), обострил проблемы выяснения его природы и прогнозирования колебания уровня моря на перспективу. В ряде работ вновь поднимается климатическая теория.

В развитии проблемы важно учесть имеющийся опыт. Ниже показаны особенности некоторых методов и даны результаты прогнозов и расчетов уровней, выполненных рядом авторов.

1.1. Особенности методов и результаты климатических прогнозов уровня моря, опубликованных до конца 70-х годов

Климатические прогнозы базировались на физических моделях, связывающих колебания уровня Каспия с различными гелиогеофи-

зическими факторами. Условно все климатические методы можно подразделить на три группы:

- прогнозы, основанные на учете солнечной активности,
- прогнозы, основанные на учете характеристик атмосферной циркуляции,
- смешанные методы, учитывающие колебания гелиофизических и некоторых климатических параметров.

Количественные или качественные связи хода уровня моря с солнечной активностью были получены рядом авторов в 50 – 70-х годах [7–9, 92, 106].

Особенностью всех этих исследований явилось установление синхронных связей между числом солнечных пятен и уровнем моря. Поэтому для прогнозов уровня моря на перспективу требовались прогнозы солнечной активности. Эта задача сама по себе представляет до сих пор большую сложность.

Авторами работ было установлено, что ветвям вековых спадов солнечной активности соответствуют периоды высокого стояния уровня моря, и наоборот, при подъеме вековых циклов чисел Вольфа наблюдаются низкие уровни моря.

Прогнозы по вековому ходу чисел Вольфа определяли подъем уровня моря в конце XX в., хотя абсолютные значения спрогнозированных уровней далеко не соответствовали наблюдаемым.

Так, М.И. Соскин [92], пользуясь прогнозом солнечной активности, определил, что перелом в ходе уровня Каспийского моря должен наступить в 60-х годах, когда начнется его подъем, в 1975 г. уровень должен достигнуть отметки 294 см. Как известно, в эти годы продолжался спад уровня, а в 1977 г. отметка уровня была равна – 104 см, т. е. ошибка составила 4 м.

М.С. Эйгенсон [106] в качественном прогнозе уровня по солнечной активности отмечал, что период с 1970 по 2000 г. должен характеризоваться высоким стоянием уровня.

Количественный прогноз уровня Каспийского моря по аналитическим связям его значений с числами Вольфа в 1967 г. был дан М.А. Афанасьевым [9] по спрогнозированным им же числам солнечных пятен. Согласно его прогнозу, вековое падение уровня моря будет продолжаться до середины 70-х годов. По отношению к 1965 г. падение составит 30 см (фактически больше 1 м). Стабилизация

уровня моря продолжится до 1978 г., после чего следует ожидать сравнительно интенсивный вековой рост уровня моря.

М.А. Афанасьев дал абсолютно неверный прогноз 20-го, 21-го и 22-го циклов солнечной активности, которые ожидалось им как очень низкие. В действительности эти циклы были очень высокими, т. е. по неверно спрогнозированным предикторам дан в общем правильный прогноз тенденции хода уровня моря. Таким образом, предложенная Афанасьевым методика прогноза не может быть использована, а сам прогноз не что иное, как случайность.

Е.Г. Архипова с соавторами [7, 8] дала прогноз хода уровня моря до 2000 г. по спрогнозированным значениям чисел Вольфа. По прогнозу в 60 – 80-х годах и до 2000 г. уровень моря будет занимать высокие отметки: –25,6...–26,9 м абс. БС.

В.Ю. Георгиевский [21] также дал прогноз уровня моря по спрогнозированным значениям числа солнечных пятен. Согласно его прогнозу, в период 1976–1986 гг. уровень моря должен был превысить таковой в 1965–1975 гг. на 2 м.

Таким образом, особенностью всех исследований явилось установление синхронных по времени соотношений между числом солнечных пятен и уровнем моря. Следует отметить, что, по мнению автора, синхронность в рассмотрении солнечной активности и уровня моря исключает наличие механизмов влияния солнечной активности на уровень моря.

Рядом авторов разрабатывались прогнозные связи между уровнем моря и характеристиками атмосферной циркуляции [12–13, 85, 101], которые использовались в качестве предикторов для прогнозов уровня моря с заблаговременностью 5–6 и 18 лет.

В целом авторские прогнозы уровня моря по связям с характеристиками атмосферной циркуляции оправдались. Так, Н.А. Белинский и Г.П. Калинин [12] правильно предсказали колебания уровня моря в период 1945–1950 гг. К.И. Смирнова [85] составила прогноз уровня моря на период 1967–1986 гг., который фактически оправдался, правда, в ее прогнозе был неблагоприятный сдвиг по фазе между наблюдаемыми и спрогнозированными уровнями. Разработанная Смирновой методика прогноза уровня с заблаговременностью 5 лет использовалась Гидрометцентром для прогноза уровня до конца 80-х годов. Однако значения предикторов методик, использованных в этих работах, не были опубликованы. В настоящее

время эти характеристики атмосферной циркуляции не определяются, восстановить их значения за прошлый период фактически невозможно. Поэтому оправдавшие себя на практике методы не могут быть применены или усовершенствованы за счет увеличения рядов наблюдений.

Некоторые авторы связывали колебания уровня моря с изменениями солнечной активности и с различными климатическими характеристиками, например атмосферной циркуляцией, температурой воздуха [4–6, 23–24, 37].

Среди этих работ можно выделить те, в которых рассматривались качественные связи солнечной активности с основными направлениями атмосферных переносов и уровнями Каспийского моря. Это работы А.Л. Каца [37] и А.А. Гирса [23, 24]. Согласно их исследованиям, при спаде вековых циклов солнечной активности развиваются процессы западного и меридионального переносов и наблюдается высокое стояние уровня Каспийского моря, при повышении вековых циклов солнечной активности развиваются процессы восточных переносов воздушных масс, и уровень моря занимает низкое положение. По прогнозам к 2000 г. должны были закончиться ветвь спада солнечной активности, произойти развитие форм зональной циркуляции атмосферы и подъем уровня Каспийского моря. Все исследования были выполнены по синхронным промежуткам времени без их взаимного сдвига относительно друг друга.

В работе В.С. Антонова [4] установлены количественные связи между уровнем моря, рядами чисел Вольфа и значениями западной формы циркуляции за синхронные интервалы времени. На перспективу дан качественный прогноз, по которому в конце XX в. должен произойти подъем уровня Каспийского моря, который в разные интервалы времени будет проходить с различной интенсивностью.

Б.А. Аполлов в соавторстве с К.И. Алексеевой [5, 6] разработали несколько количественных соотношений между солнечной активностью и температурой воздуха, солнечной активностью и стоком Волги, атмосферным давлением и уровнем Каспийского моря. Все связи имели высокие коэффициенты корреляции. По связям дан прогноз на период до 1970 г., по которому ожидался спад уровня моря. Вместе с тем авторы утверждали, что хозяйственная деятельность в перспективе будет в три раза интенсивнее сказываться на ход уровня моря, чем климатические влияния.

К климатическим можно условно отнести метод прогноза уровня моря, разработанный Б.А. Шляминым [104]. Метод заключался в разложении наблюденного ряда уровня моря на периодические составляющие, сложение которых на перспективу дало прогнозный ход уровня моря. По прогнозу уровень Каспийского моря до 1975 г. будет находиться на отметках около –50 см (по Баку), далее до 2032 г. будет наблюдаться рост уровня до отметки 120 см, после чего до 2082 г. будет падение уровня до отметки –30 см.

Наилучшие прогнозы были даны К.И. Смирновой [85], Б.А. Шляминым [104]; разработки Б.А. Афанасьева [9] случайно совпадают с наблюденным ходом уровня, так как они даны по неверно им же спрогнозированным 20–22-му циклам солнечной активности.

Следует подчеркнуть, что большинство авторов климатических прогнозов предсказывали в конце столетия рост уровня моря.

Таким образом, особенности методов прогнозов, основанных на учете солнечной активности, заключаются в том, что все они были основаны на синхронном рассмотрении колебаний чисел Вольфа и уровня моря. Авторы прогнозов находили, что уровень моря имеет вид зеркального отражения интегральной кривой чисел Вольфа. Отсюда в литературе установилось мнение, что периоды повышения солнечной активности соответствуют периодам падения уровня моря и наоборот. Были попытки дать не только качественные, но и количественные прогнозы уровня Каспия. Для таких прогнозов выполнялись прогнозы самой солнечной активности, которые, как правило, не удавались. Такая картина получалась, по-видимому, потому, что обработка рядов чисел Вольфа производилась с того же года, что и наблюдения за уровнем моря.

1.2. Результаты вероятностных расчетов уровня моря, опубликованных в 70 – 80-е годы

В вероятностном подходе определения будущих уровней моря решение основывается на предположении о случайности временных рядов приращений уровня моря и всех других составляющих водного баланса моря. При определении будущих уровней в этом подходе осуществляется статистический расчет вероятных значений составляющих водного баланса моря, в том числе и уровня. Этот подход к концу 70-х годов был принят всеми исследователями и организа-

циями. Вероятностные методы в 70-х – 80-х годах давали снижение уровня Каспийского моря на перспективу до 2000 г.

Так, для средних климатических условий к 2000 г. по данным Г.П. Калинина [34] уровень моря должен был понизиться на 2,0 м по сравнению с уровнем 1965 г., по расчетам К.И. Смирновой [85] – на 1,0–2,4 м по сравнению с 1970 г. В расчетах ГОИНа [8,68] снижение уровня к 2000 г. достигнет 0,7–3,9 м. Е.Г. Архипова с соавторами [7] рассчитала, что к 2000 г. по сравнению с 1970 г. уровень Каспийского моря понизится на 3–5 м. С.Н. Крицкий с соавторами [48] показал, что по сравнению с 1971 г. уровень моря при разных вариантах объемов безвозвратных изъятий понизится от 1,2 до 2,6 м. И.А. Шикломанов [102, 103] определил снижение уровня моря при разных условиях антропогенной деятельности над отметкой –28,5 м абс. БС: к 2000 г. уровень моря будет изменяться в пределах от –1,4 до +0,3 м. Д.Я. Раткович, И.С. Жданова, В.Е. Привальский [72] установили, что к 2000 г. снижение уровня по сравнению с отметкой –28,5 м составит от 1,6 до 2,6 м.

Таким образом, авторы вероятностных расчетов уровня моря определяли как, наиболее вероятную, отметку уровня моря на 2000 г. в пределах от –29,0 до –34,0 м абс. БС. Значения спада уровней у авторов существенно различны и зависели от начальных значений составляющих водного баланса моря и величины безвозвратных изъятий воды в бассейне.

В 70-х годах шел спад уровня Каспийского моря, начавшийся фактически еще в 30-е годы. И в это время вероятностные методы и результаты расчетов по ним принимались общественностью. По результатам вероятностных расчетов уровня Каспийского моря осуществлялось планирование развития народного хозяйства.

1.3. Результаты прогнозов и расчетов уровня Каспийского моря, выполненных в 80 – 90-е годы

В 80 – 90-е годы большинство публикаций посвящено объяснению причин последнего подъема уровня моря. В некоторых работах дан расчет и прогноз уровня на перспективу.

Большинство авторов сходятся во мнении, что подъем сохранится до 2010 г. и в ближайшее десятилетие уровень достигнет отметки –25,0 м абс., а с учетом заборов воды в бассейне в объеме 40 км³/год уровень будет держаться на отметке –26,0 м. В дальней-

шем уровень будет испытывать квазициклические вековые и 30-летние колебания.

В основе разработок [16, 40, 52] лежит водно-балансовый расчет. Причем в работах [16, 52] учитывается антропогенный фактор изменения климата, который приведет к повышению температуры воздуха от 1 до 4 °С. В исследовании [40] при водно-балансовых расчетах на перспективу брались значения составляющих водного баланса, которые наблюдались в последние 15 лет, т. е. повышенные против нормы значения поверхностного притока и пониженные значения испарения с поверхности моря. В работах отсутствуют доказательства сохранения в будущем принятых значений составляющих баланса моря.

В [43, 79, 95, 109] выполнены прогнозы уровня моря по ходу солнечной активности. Прогнозы В.Д. Коваленко с соавторами [43] основаны на связях уровня с ходом диссимметрии Солнца, которая рассчитана на перспективу. Прогнозы П.Р. Романчук [79] выполнены по интегральной кривой чисел Вольфа, зеркальное отражение которой в ходе уровня моря наблюдается в предшествующие 20-летние периоды.

Прогнозы в работах [3, 53] даны на основе разложения ряда уровня моря на гармонические составляющие.

Прогнозы, основанные на разложении ряда уровня моря на гармонические составляющие, выполненные М.Г. Алишеевым, М.А. Мамаевым [3], учитывают весь ряд уровня моря, в том числе спад 70-х годов, они дают подъем уровня моря до 2030 г. и до отметки –24,3 м абс.

Таким образом, большинство авторов прогнозов и расчетов уровня моря на перспективу дают интенсивный подъем уровня до отметок –25,0...–26,0 м.

Основные выводы, сделанные в результате анализа прогнозов и расчетов уровня Каспийского моря сводятся к следующему.

Климатические прогнозы, разработанные в 50 – 70-х годах и основанные на связях хода уровня моря с внешними факторами, а именно с характеристиками атмосферной циркуляции или ходом солнечной активности, давали на перспективу конца века подъем уровня Каспийского моря.

Наилучшими были прогнозы, разработанные Н.А. Белинским и Г.П. Калининским [12], а также К.И. Смирновой [85]. Эти прогнозы

основаны на использовании индексов циркуляции Белинского. Однако усовершенствовать методологии в настоящее время невозможно, поскольку индексы Белинского не были опубликованы и не могут быть определены за прошлый период.

Прогнозы хода уровня моря по связям с солнечной активностью были в основном качественными. Учет в связях солнечной активности за синхронные с уровнем моря интервалы времени исключает наличие и действие физических механизмов передачи влияния солнечной деятельности на уровень моря.

Прогнозы, основанные на разложении ряда уровня моря на гармонические составляющие, данные Б.А. Шляминым в 1962 г., не учитывали спад уровня моря, произошедший в 70-е годы.

Однако все эти направления следует признать перспективными для развития и совершенствования методологии прогнозирования уровня Каспийского моря. А результаты прогнозов следует оценить значительно более удачными, чем результаты вероятностных расчетов уровня моря, выполненных в 70 – 80-е годы.

Вероятностные расчеты уровня на перспективу 2000 г., основанные на водно-балансовых расчетах при условии стационарного климата и сохранении так называемых безвозвратных изъятий в бассейне моря в объеме не менее $40 \text{ км}^3/\text{год}$, давали спад уровня моря до отметок $-29,0 \dots -34,0 \text{ м абс.}$ Результаты этих расчетов были приняты планирующими организациями.

Прогнозы и расчеты уровня моря, выполненные в конце 80-х и в 90-х годах, дают подъем уровня. Большинство исследователей сходятся во мнении, что наблюдающийся подъем уровня сохранится по крайней мере до 2010 г. и уровень к тому времени достигнет отметок $-25,0 \text{ м абс.}$, а с учетом сохранения безвозвратных изъятий не превысит $-26,0 \text{ м абс.}$ Прогнозы уровня моря, основанные на связях с характеристиками солнечной деятельности, так же как и в прошлом, учитывают солнечную деятельность за синхронные интервалы времени, т. е. недостатки методологии сохраняются.

Результаты вероятностных определений уровня моря водно-балансовыми расчетами на перспективу дают подъем уровня моря. Все они основаны на использовании значений составляющих водного баланса моря, наблюдающихся в период последнего подъема уровня. Однако какие-либо доказательства причин сохранения в

будущем таких соотношений составляющих водного баланса моря в работах отсутствуют.

В расчетах принимается, что в перспективе сохранятся безвозвратные изъятия в бассейне моря в объеме $40 \text{ км}^3/\text{год}$. С учетом этих объемов уровень моря будет ниже примерно на 1 м, т.е. не превысит отметок $-26,0 \text{ м абс.}$ Что касается прошлого периода, то при отсутствии таких объемов изъятий уровень моря начал бы подниматься еще с 50-х годов и в настоящее время был бы на отметках, намного превышающих фактически наблюдаемые. В связи с этим встает вопрос о способах определения объемов безвозвратных изъятий. Эти объемы определяются как сумма необходимых водозаборов на промышленные, сельскохозяйственные и коммунальные нужды в бассейне моря, но при этом по-видимому не учитываются объемы сбросов в водоемы, а также изменения составляющих водного баланса моря, что неправомерно. По данным [59] в 1991 г. в России из всех водных объектов было забрано $95,4 \text{ км}^3$, а возвращено 70 км^3 , в 1992 г. изъято $90,0 \text{ км}^3$, в 1993 г. забрано $110,7 \text{ км}^3$, т.е. забиралось примерно одинаковое количество воды, следовательно, и возвращалось в тех же размерах. Таким образом, разность между забором и сбросом воды по всей России составила в 1991 г. $25,4 \text{ км}^3$. На этом основании можно полагать, что объем безвозвратных изъятий в бассейне Каспийского моря в $40 \text{ км}^3/\text{год}$ существенно завышен.

В свете сказанного представляются актуальными исследования, направленные на разработку методических основ и новых методов диагноза колебаний уровня Каспийского моря, а также стока Волги. Решению этих задач посвящены следующие главы.

2. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ МНОГОЛЕТНИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РЯДОВ

При разработке долгосрочных гидрологических прогнозов временные ряды представляются в виде хронологического изменения их переменных. 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.

Качество рядов измеренных составляющих водного баланса Каспийского моря, стоковых рядов рек бассейна моря показано в работе [91]. В частности, отмечено, что ряды стока крупных рек, приращений уровня и объема Каспийского моря неслучайны, имеют выраженные внутренние связи, многоцикличны, представляют собой чередование длительных периодов с повышенными и пониженными против норм значениями переменных. Периоды одного качества сменяются на противоположные на реках бассейна Волги в одни и те же сроки. Следовательно, можно считать, что в многолетних рядах гидрологических процессов региона имеется детерминированная составляющая.

В [91] исследованы геофизические процессы, ответственные, вероятнее всего, за создание в гидрологических рядах вариаций определенных периодов. Некоторое соответствие обнаружено в ходе сглаженных рядов стока крупных рек бассейна Волги и чисел Вольфа.

Однако выявленные свойства рядов не позволяют воспользоваться экстраполяцией процессов, а установленные сопряженные связи структуры рядов гелиогеофизических и гидрологических процессов также не открывают аппарата, способного произвести диагноз многолетних колебаний этих процессов.

Очевидно, что для успешного сравнения развития различных явлений во времени необходимо учесть, вернее исключить из рядов масштабы колебаний процессов.

Предлагаемая ниже методика учитывает особенности разных рядов и направлена на отыскание возможностей сравнения развития во времени явлений космических, общепланетарных, континентальных и региональных, т. е. разномасштабных процессов.

2.1. Определение динамических норм процессов

Наряду с детерминированными в гидрометеорологических и геофизических рядах имеются и случайные составляющие. Поэтому встает задача их разделения, точнее однозначного выделения функциональных, детерминированных составляющих, которыми, вероятнее всего, являются нормы, точнее динамические нормы процессов.

В настоящее время разработаны три подхода в представлении зависимых последовательностей. В первом – ряды представляются как сложный цикл, состоящий из системы циклов, переменных по периодам и амплитудам. Во втором – зависимые последовательности представляются как сумма функциональной составляющей и случайных от нее отклонений. В третьем подходе циклические ряды описываются в виде простых или сложных цепей Маркова. Не останавливаясь на математической интерпретации всех концепций (они рассмотрены, например, в [100]), отметим, что в данном исследовании принят второй подход. В этом случае переменные рядов могут рассматриваться как суммы составляющих: детерминированной, которая в каждый момент представляет собой динамическую норму процесса, и случайных от нее отклонений.

Таким образом, общий вид переменных рядов может быть представлен как

$$y_i = \bar{y}_i + a_i, \quad (2.1)$$

где y_i – переменная ряда, $\bar{y}_i$ – динамическая норма ряда, a_i – случайная составляющая, или, точнее, составляющая, колебания которой определяются иными, чем для динамической нормы, факторами.

Определение динамической нормы рядов (в литературе нередко определяемой как тренд ряда) может быть выполнено двумя способами. В первом, аналитическом, к ряду переменной методом наименьших квадратов подбирается уравнение – находится линейный или другого вида тренд. Во втором – применяется скользящее осреднение переменных различными периодами с равными весами членов или с симметричными относительно центрального члена периода осреднения весовыми коэффициентами.

В работе для выделения детерминированных составляющих – динамических норм рядов – использован метод сглаживания с при-

менением биномиального фильтра. Расчетная формула имеет следующий вид:

$$\bar{y}_i = \sum_{K=0}^{T-1} C_K y_{i+K-1}, \quad (2.2)$$

где $C_K = (T-1)! / (2^{T-1} K! (T-K-1)!)$ – весовые коэффициенты, y_i – значения переменных исходного ряда от $i = 2$ до $i = n - 1$, n – число членов ряда, T – интервал осреднения. Применялось многократное сглаживание второй ступенью фильтра. Для этой ступени $T = 3$. Для крайних членов применялось простое осреднение. Особенностью такого сглаживания является сохранение местоположения основных переломных точек во временном изменении признаков.

2.2. Выделение тенденций

Для выявления длительных тенденций динамические составляющие рядов представлены в виде нормированных интегрально-разностных кривых. Расчетные формулы имеют вид:

$$Z_i' = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i' - 1)}{C_v'}, \quad (2.3)$$

$$Z_i' = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y}_i')}{\sigma'}, \quad (2.4)$$

где $K_i' = \frac{y_i}{\bar{y}_i}$, $\bar{y}_i' = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$, C_v' – коэффициент вариации, σ' – сред-

нее квадратическое отклонение сглаженных рядов.

Ординаты интегральных кривых для рядов, составленных из положительных элементов, например сток рек, вычислены по формуле (2.3), для рядов, составленных из элементов, имеющих переменные знаки – приращения уровня, объема моря, по формуле (2.4).

Таким образом, суммарное отклонение каждой переменной ряда динамических норм от среднего по всему ряду, выраженное в отклонениях модульных коэффициентов от единицы или в абсо-

лютом выражении, нормируется на коэффициент вариации или среднее квадратическое отклонение сглаженного ряда, т.е. расчет производится по рядам динамических средних, вычисленных по формуле (2.2).

Как следует из формул (2.3) и (2.4), каждая порядковая ордината интегральной кривой содержит информацию о всех предыдущих значениях ординат исходного ряда и определяет следующие за ней значения. Кроме того, суммированием отклонений от норм и нормированием на коэффициенты вариации или средние квадратические отклонения рядов в каждую ординату включается основная информация по всему ряду. Этим достигается также возможность сравнить ход различных процессов во времени. С учетом этих особенностей нормированных интегрально-разностных кривых представление информации в таком виде всегда полезно.

Длительные тенденции, определенные на основе наблюдаемых последовательностей по рекомендуемым формулам, отражают фактическую картину многолетних изменений, результаты всегда однозначны при задании одних и тех же исходных рядов.

3. НЕКОТОРЫЕ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ СВЯЗИ. ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИМ РЕГИОНАМ

Физические механизмы передачи вариации солнечной деятельности на геофизические, в частности климатические, процессы к настоящему времени определены не полностью. Работа в этом направлении продолжается, и появляются новые теоретические и практические результаты. Так, в [49] показаны четыре возможных механизма воздействия солнечной активности на погоду и климат. Это – гидродинамические силы, передающие возмущения из тропосферы в нижние слои атмосферы, вариация солнечной постоянной за счет изменения орбиты и угла между осью вращения и перпендикуляром к плоскости орбиты Земли, магнитные и электрические силы, действующие на процессы в тропосфере и атмосфере. Здесь же показана связь солнечной активности с повторяемостью западных переносов в Атлантическом регионе.

В работе [91] выявлена периодичность хода солнечной активности, равная 90 годам. Ход уровня Каспийского моря имеет период подобной длительности, причем эта низкочастотная составляющая описывает свыше 90 % дисперсии уровня. Длиннопериодные колебания наблюдаются в рядах индексов атмосферной циркуляции по Вангенгейму, индексов циклоничности и антициклоничности по Вительсу, в рядах стока крупных рек. Поэтому представляется целесообразным изучение связей между ходом длительных тенденций солнечной активности и различного рода геофизических процессов.

Для возможности сравнения разномасштабных процессов ко всем рядам применена единая система обработки, описанная формулами (2.2) – (2.3) или (2.4). Это касается и уровня Каспийского моря, ряд которого построен на основании ряда ежегодных приращений осредненных данных по четырем постам как интегрально-разностная кривая, нормированная на дисперсию ряда приращений уровня.

3.1. Связи между солнечной активностью и геофизическими процессами глобального масштаба

Ход длительных тенденций рассмотрен для различных процессов. В качестве исходного принята солнечная активность. Ее харак-

теристикой послужил ряд чисел Вольфа, который по сравнению с другими показателями солнечной деятельности имеет самый длительный период наблюдений. Расчеты проводились для периода 1700 – 1992 гг. Процессы общеглобального масштаба представлены характеристиками скорости вращения Земли за 1891 – 1987 гг. и значениями координат X северного географического полюса Земли на начало года за 1890–1987 гг.

Скорость вращения Земли представлена относительным отклонением длительности земных суток от эталонных:

$$\gamma = -\frac{T - \Pi}{\Pi} \cdot 10^{10}, \quad (3.1)$$

где T – длительность земных суток в секундах, Π – длительность эталонных суток (86 400).

Координаты X северного географического полюса представлены рядом их значений в сотых долях секунд географических координат.

Процессы в Северной Атлантике представлены данными о среднегодовой температуре поверхностного слоя воды и значениями ледовитости по разрезу Кольского меридиана Барснцева моря за 1900 – 1986 гг.

Ряды динамических норм этих процессов показаны на рис. 3.1 в виде нормированных интегрально-разностных кривых, по которым обнаруживается подобие в развитии процессов.

Прежде всего следует отметить ритмичность в развитии вековых тенденций чисел Вольфа. С начала периода наблюдений на этой интегральной кривой видна крутая ветвь спада за 1700 – 1724 гг.

Период 1725 – 1831 гг. представлен усложненной по форме волной (1725 – 1765), которая сменяется крутым высоким подъемом с максимумом в 1784 г. и глубоким спадом, окончившимся в 1831 г. Таким образом, сформирован ритм, состоящий из двух разных по форме и высоте волн.

С 1832 по 1934 г. сформировалась новая распластанная, усложненная по форме, волна, повторяющая в другом масштабе волну 1725 – 1765 гг. С 1935 г. начался крутой подъем новой высокой волны, повторяющей, также в другом масштабе, характер подъема 1766 – 1793 гг. предыдущей крутой волны. Таким образом, можно считать, что в развитии вековой тенденции солнечной активности формируется следующий двойной ритм, в некотором роде

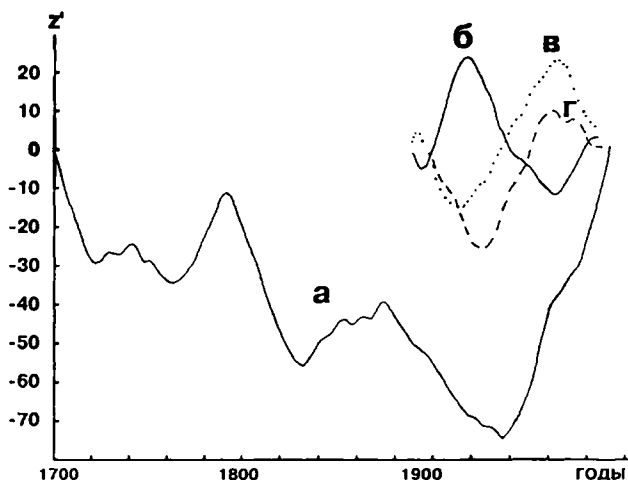


Рис. 3.1. Нормированные интегрально-разностные кривые динамических норм гелиогеофизических процессов.

а – солнечная активность, б – скорость вращения Земли, в – координата X северного географического полюса Земли на начало года, г – среднегодовая температура поверхности воды по Кольскому меридиану в Баренцевом море

повторяющий предыдущий ритм из двух волн, но имеющий другие масштабы развития явления. Здесь, по мнению автора, открывается возможность прогноза векового хода солнечной активности на несколько десятилетий вперед. Эта задача до настоящего времени не решена и имеет самостоятельное научное значение [20].

Совместный анализ хода вековых тенденций чисел Вольфа и скорости вращения Земли показывает их сопряженность: с 1766 г. для чисел Вольфа и с 1893 г. для скорости вращения (см. рис. 3.1). Согласно некоторым представлениям, неравномерность суточного вращения Земли обусловлена процессами, протекающими в атмосфере и гидросфере. Являясь отражением этих процессов, неравномерность вращения Земли содержит ценную информацию об этих процессах в целом для Земли [50, 61, 82 – 83]. Таким образом, процессы на Солнце по времени отделены от колебаний скорости вращения Земли изменениями в гидросфере и атмосфере. Изменения в динамике и термике океана и атмосферы разделяют два крайних процесса – солнечную активность и скорость вращения Земли.

Сопряжены с солнечной активностью, но с обратным знаком по сравнению со скоростью вращения Земли, колебания длительных тенденций координаты X географического полюса Земли на начало года (см. рис. 3.1).

Вековые тенденции хода температуры воды Баренцева моря по Кольскому меридиану сопряжены со следующей распластанной волной чисел Вольфа – 1834 – 1934 гг.

Сопряжение хода длительных тенденций процессов в данном порядке показывает наиболее вероятную последовательность действия физических механизмов передачи влияния солнечной активности на земные процессы. Цепочка эта, по мнению автора, имеет следующий вид: солнечная активность – термические и динамические изменения в океанах – изменения циркуляции атмосферы – (как следствие предыдущих) неравномерность скорости вращения Земли и изменения координат географического полюса Земли.

В зависимости от колебаний солнечной активности, изменение термики океана (на примере Баренцева моря) ощутимо проявляются через 80 – 90 лет, а скорости вращения Земли и координат географического полюса Земли – через 120–130 лет.

3.2. Зависимость атмосферной циркуляции Евразийского региона от солнечной активности

Зависимость характеристик атмосферной циркуляции от солнечной активности исследована для рядов индексов цикличности и антицикличности за 1901–1991 гг. Вительса для восьми районов Евразийского региона. Первый район соответствует расположению исландского минимума давления, второй – включает Северный Ледовитый океан, третий приходится на север и центр Западной Европы, в четвертый включен бассейн Верхней Волги, пятый район соответствует расположению азорского максимума давления, шестой район охватывает юг Западной Европы и Средиземное море, седьмой – Нижнюю Волгу, восьмой район – Казахстан.

В совокупности 16 рядов индексов циркуляции Вительса характеризуют пространственно-временную изменчивость состояния атмосферы. Для анализа такой системы необходимо использовать методы многомерного статистического анализа. Широкое применение для этих целей получил метод компонент. Особенности его

использования в гидрологических расчетах и прогнозах изложены в работе [84].

Разложение рядов индексов циркуляции, предварительно преобразованных по формулам (2.2) – (2.3), на главные компоненты выполнено по корреляционной матрице. В результате оказалось, что существенные вклады в дисперсию процесса вносят первые три коэффициента разложения по естественным ортогональным функциям. При сумме собственных чисел 16 всех коэффициентов собственное число первого коэффициента составляет 8,50, второго – 4,82, третьего – 1,16. Собственные числа остальных коэффициентов незначительны.

Анализ зависимости процесса состояния атмосферы от солнечной активности выполнен в форме взаимных корреляционных функций между временным ходом первых трех коэффициентов разложения и ходом вековой тенденции чисел Вольфа при их опережающем учете до сдвига 200 лет. На рис 3.2 приведены корреляционные функции. Наиболее тесная связь между процессами наблюдается при опережающем учете чисел Вольфа в 25 – 30 лет по первому наиболее значимому коэффициенту разложения. Теснота связи на этом сдвиге характеризуется коэффициентом корреляции, равным $-0,91$. В прошлый период изменения качества связей на противоположное по знаку происходило через каждые три – пять десятилетий. А полный период между максимумами (минимумами) взаимных корреляционных функций составляет 80 – 90 лет.

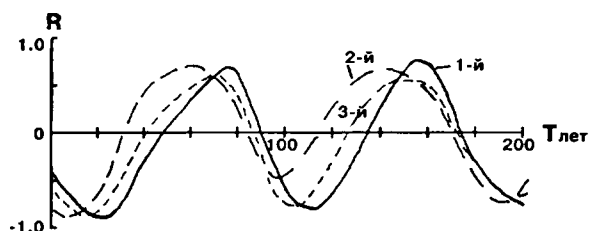


Рис. 3.2. Взаимные корреляционные функции первого-третьего коэффициентов разложения рядов индексов циркуляции по Вителюсу с числами Вольфа.

Таким образом, выявлена связанность и возможность моделирования глобальных геофизических процессов в их вековом ходе (скорость вращения Земли, положение координат географического полюса Земли), процессов по северному полушарию (состояние атмосферы, многолетний ход температуры воды Баренцева моря) с солнечной активностью. Наиболее тесные связи между этими процессами наблюдаются при опережающем учете солнечной активности.

Для каждого процесса наилучшие результаты моделирования их длительных тенденций по данным о тенденциях чисел Вольфа получаются при характерном для этого процесса периоде опережающего учета солнечной активности. Для скорости вращения и координат географического полюса Земли этот период составляет 120 – 130 лет. Период порядка 100 лет разделяет одноименные фазы в колебаниях солнечной активности и термических характеристик Баренцева моря.

В связях солнечной активности с характеристиками атмосферной циркуляции наблюдается изменение знаков наибольших коэффициентов корреляции на противоположные через каждые четыре-пять десятилетий.

В результате можно отметить, что здесь в определенной мере раскрыты вопросы причинности и временной последовательности сопряжения солнечной активности и геофизических процессов планетарного масштаба.

3.3 Зависимость стока Волги и уровня Каспийского моря от атмосферной циркуляции

Связи многолетних колебаний стока Волги и уровня моря с характеристиками атмосферной циркуляции рассчитаны в форме множественной регрессии отдельно с индексами Вангенгейма-Гирса [23 – 24] и индексами циклоничности и антициклоничности по Вительсу [18 – 19]. Использована интегральная форма представления предикторов и предиктантов (см. главу 2).

Теснота связей оценена значениями частных и множественных коэффициентов корреляции между наблюдаемыми и вычисленными по характеристикам циркуляции значениям уровня моря и стока Волги. Расчеты выполнены для случаев синхронного с гидрологическими процессами учета индексов циркуляции, т. е. при $\tau = 0$ и при опережающем учете индексов на n лет. В качестве расчетных приняты периоды сдвигов, соответствующие максимальным значе-

ниям коэффициентов множественной корреляции. Эти максимумы наблюдаются при опережающем учете индексов циркуляции на 5 – 6, 11 – 12, 18 – 19 лет, т. е. на сдвигах, равных выявленным в работе автора [91] периодичностям в исходных рядах.

Расчет уровня Каспийского моря с использованием индексов атмосферной циркуляции Вангенгейма–Гирса [23,24] показал, что на всех сдвигах рассчитанные уровни даже в общем виде не отражают характера многолетних колебаний уровня моря, хотя коэффициенты корреляции между вычисленными и наблюдаемыми уровнями значащие и изменяются в пределах 0,44 – 0,64.

Действительно, уровень моря отражает колебания климата, его влажностных и температурных характеристик в бассейне и на акватории моря. Индексы же Вангенгейма–Гирса отражают только направления переноса воздушных масс и не характеризуют глубину барических образований. Поэтому следует признать, что данная классификация не обладает достаточной информативностью и не может быть использована для моделирования и тем более для обоснования методов прогнозов уровня Каспийского моря.

Большую детализацию атмосферных процессов дают индексы Л.А. Вительса [18, 19]. В ходе интегральных кривых большинства индексов проявляются длительные периоды повышенной и пониженной против нормы интенсивности циркуляции.

Связи многолетних колебаний стока Волги и уровня Каспийского моря с характеристиками данной классификации атмосферных ситуаций рассмотрены с использованием рядов циклоничности и антициклоничности в районах исландского минимума давления ($Jz1$, $Ja1$), Верхней Волги ($Jz4$, $Ja4$) – Нижней Волги ($Jz7$, $Ja7$); антициклоничности в районах азорского максимума давления ($Ja5$) и Казахстана ($Ja8$). В табл. 3.1 приведены оценки тесноты связей при сдвиге 0, 6, 11, 12, 18 лет опережающего учета характеристик атмосферной циркуляции к уровню моря, стоку Волги.

Ниже приведены уравнения множественной регрессии только для сдвигов, равных 0 лет, что соответствует синхронному учету процессов, и 12 годам. Они имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \tau = 0 \quad H_i = & -1.1Z_{1,i} + 10.3Z_{4,i} - 9.1Z_{7,i} - 5.0Z'_{1,i} + 6.5Z'_{4,i} - \\ & -12.0Z'_{7,i} + 17.6Z'_{5,i} - 2.5Z'_{8,i} + 125.3; \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\tau = 12 \quad H_i = -2.3Z_{1,(i-12)} + 5.3Z_{4,(i-12)} - 7.2Z_{7,(i-12)} + 9.9Z'_{1,(i-12)} - 3.8Z'_{4,(i-12)} - 12.9Z'_{7,(i-12)} - 4.4Z'_{5,(i-12)} + 20.8Z'_{8,(i-12)} + 149.3 \quad (3.3)$$

для стока Волги у Волгограда

$$\tau = 0 \quad Z_{B,i} = -0.2Z_{1,i} + 0.1Z_{4,i} + 0.3Z_{7,i} - 0.5Z'_{1,i} + 0.2Z'_{4,i} - 0.3Z'_{7,i} + 0.7Z'_{5,i} - 0.5Z'_{8,i} + 0.9;$$

$$\tau = 12 \quad Z_{B,i} = -0.3Z_{1,(i-12)} + 0.1Z_{4,(i-12)} - 0.3Z_{7,(i-12)} + 1.1Z'_{1,(i-12)} - 0.3Z'_{4,(i-12)} - 0.2Z'_{7,(i-12)} - 0.5Z'_{5,(i-12)} + 1.3Z'_{8,(i-12)} - 1.8 \dots \quad (3.4)$$

где H_i – средний годовой уровень моря i -го года, $Z'_{B,i}$ – ординаты нормированной интегрально-разностной кривой годового стока Волги, τ – период опережающего сдвига, в годах (заблаговременность прогноза).

Ординаты интегрально-разностных кривых циклоничности обозначены через Z , антициклоничности – через Z' (цифры у ординат означают номера районов).

Таблица 3.1

Коэффициенты корреляции связей уровня Каспийского моря и стока Волги с характеристиками индексов циркуляции

Сдвиг т, число лет	Частные по индексам								Мно- жес- твенные
	<i>Jz4</i>	<i>Ja4</i>	<i>Jz7</i>	<i>Ja7</i>	<i>Jz1</i>	<i>Ja1</i>	<i>Ja5</i>	<i>Ja8</i>	
Уровень Каспийского моря									
0	-0,72	0,02	-0,48	-0,32	-0,29	-0,31	0,64	0,36	0,922
6	-0,87	-0,22	-0,73	-0,59	-0,40	-0,15	0,47	0,17	0,973
11	-0,89	-0,45	-0,86	-0,77	-0,37	0,02	0,28	-0,05	0,971
12	-0,89	-0,49	-0,88	-0,80	-0,33	0,03	0,24	-0,09	0,973
18	-0,83	-0,79	-0,93	-0,93	-0,16	-0,10	-0,04	-0,46	0,951
Сток Волги у пгт. Поляна									
0	-0,23	0,36	0,13	0,16	-0,06	-0,10	0,71	0,59	0,805
6	-0,47	0,29	-0,20	-0,02	-0,63	-0,02	0,62	0,52	0,845
11	-0,58	0,09	-0,46	-0,25	-0,62	0,37	0,47	0,33	0,889
12	-0,60	-0,01	-0,52	-0,32	-0,58	0,40	0,42	0,26	0,898
18	-0,66	-0,43	-0,65	-0,60	-0,17	0,08	0,12	-0,17	0,715
Сток Волги у Волгограда									
0	-0,26	0,32	0,10	0,13	-0,17	-0,16	0,69	0,56	0,810
6	-0,47	0,28	-0,24	-0,04	-0,66	0,11	0,59	0,49	0,838
11	-0,59	0,01	-0,50	-0,31	-0,58	0,42	0,41	0,26	0,894
12	-0,61	-0,10	-0,56	-0,39	-0,53	0,42	0,34	0,17	0,899
18	-0,64	-0,45	-0,64	-0,60	-0,08	0,02	0,09	-0,20	0,688

На рис. 3.3 приведены результаты расчетов стока Волги у Волгограда и уровня Каспийского моря для вариантов синхронного учета переменных $\tau = 0$ и при опережающем учете характеристик атмосферной циркуляции на 12 лет. В последнем случае наблюдается совпадение вычисленных хода уровня моря и стока Волги с наблюдаемыми данными на всем периоде, включая спады в 30-е и 70-е годы, подъемы в 80-е годы. Наилучшие результаты расчетов, полученные при опережающем учете индексов атмосферной циркуляции на 12 лет, открывают возможности для прогнозов стока Волги и уровня моря с такой заблаговременностью, поскольку параметры уравнений известны для всего периода прогноза.

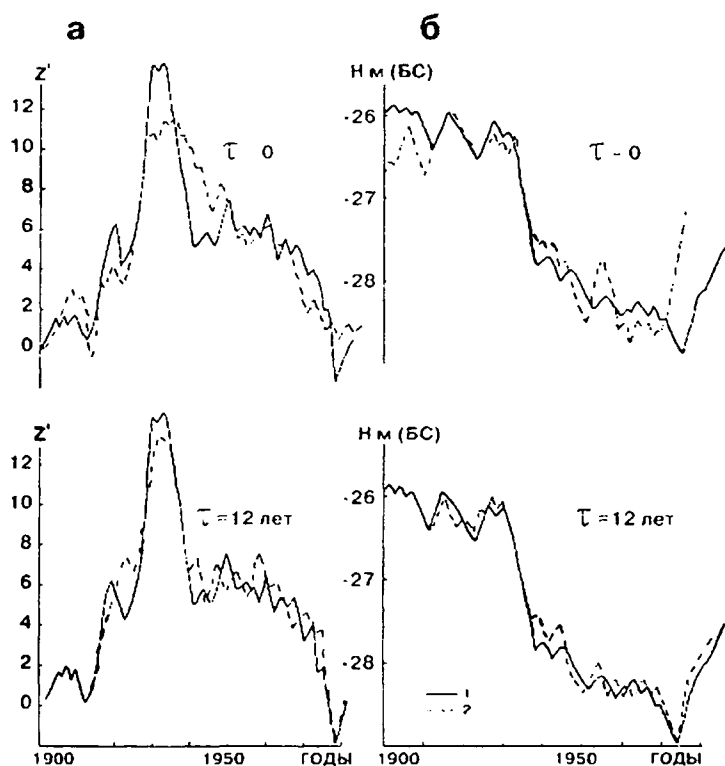


Рис. 3.3. Наблюдаемые (1) и рассчитанные по индексам Вительса (2) сток Волги у Волгограда (а) и уровень Каспийского моря (б) при сдвиге в τ .

Существуют возможности прогнозировать погодичные значения стока Волги и уровня моря по характеристикам атмосферной циркуляции, но их реализация требует дополнительных исследований.

Таким образом, моделирование многолетних колебаний стока Волги и уровня Каспийского моря по внешним к бассейну факторам–характеристикам атмосферной циркуляции дало положительные результаты и перспективно в отношении долгосрочных прогнозов стока Волги и уровня моря.

3.4. Тенденции в колебаниях гидрологических процессов регионов бассейна Каспийского моря

Особенности вековых изменений геофизических характеристик на континенте проанализированы на примере данных о стоке крупных рек и уровня Каспийского моря. Наибольшее внимание уделено Каспийскому бассейну. Здесь использованы данные по всем створам, имеющим длинные и надежные ряды наблюдений за годовым стоком рек. В других районах отбор информации был случайным. Так, на Азиатской территории наряду с годовым стоком рек использованы и такие характеристики, как максимальные в году расходы воды, приток к водохранилищам.

На рис 3.4 приведены наблюдаемые и сглаженные по формуле (2.2) значения составляющих рядов стока рек бассейна Волги, приращений уровня Каспийского моря. На каждый промежуток времени сглаженные значения дают базисные величины признака. Положения переломных точек в наблюдаемых и сглаженных рядах для длительных маловодных и многоводных периодов совпадают, причем максимумы исходных последовательностей отличаются от максимумов динамических норм рядов на величину $+\sigma$, а минимумы – на значения $-\sigma$. Это положение важно учитывать для возможного конструирования наблюдаемых значений переменных по рядам их динамических норм. Короткопериодные колебания наблюдаемых значений переменных осредняются, но их ход находит отражение на сглаженной кривой. Таким образом, ход динамических норм рядов можно рассматривать как изменение базисных составляющих переменных в рассматриваемом периоде времени.

На всех водосборах Волги наблюдается сходный характер колебаний динамических норм стока с незначительными отклонениями во времени и амплитуде наступления характерных фаз. В частности, повсеместно отражается маловодье 30-х и 70-х годов XX в., отражены также фазы максимумов 20-х и 80-х годов. В колебаниях

динамических норм стока рек бассейна Волги наблюдается ярко выраженная синхронность и подобие.

Синхронность в колебаниях стока рек на больших территориях исследовалась рядом авторов различными методами (см. например, [28, 70]). Наличие синхронности в настоящее время можно считать доказанным. Подобие в ходе динамических составляющих стока крупных рек является дополнительным доказательством неслучайности изменения характеристик стока во времени и пространстве.

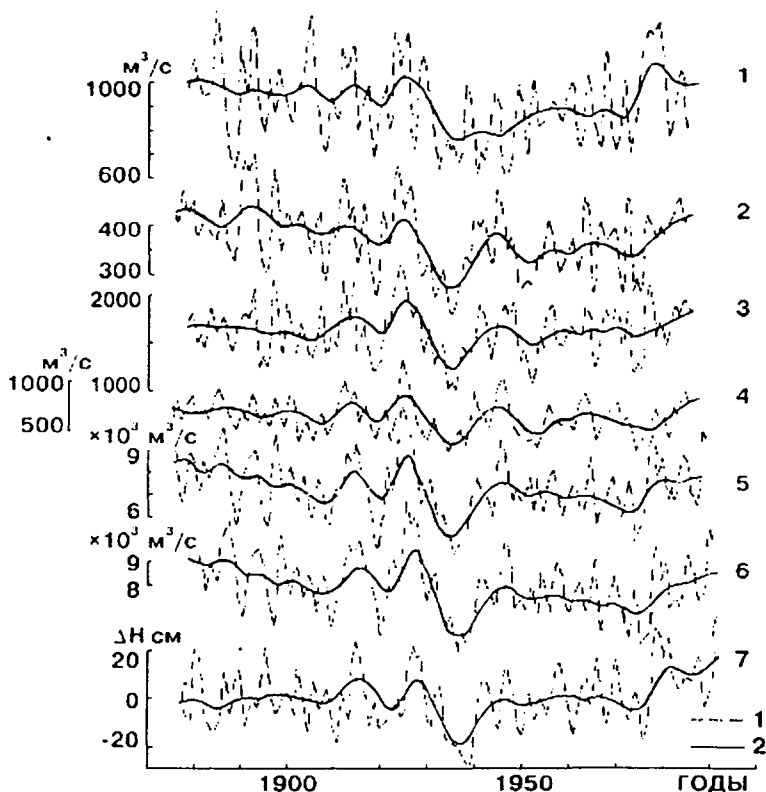


Рис. 3.4. Наблюдаемые (1) и сглаженные биномиальным фильтром (2) ряды годового стока рек и приращений уровня Каспийского моря.

1 – Ока, г. Муром; 2 – Вятка, г. Киров; 3 – Кама, г. Пермь;
4 – Белая, г. Уфа; 5 – Волга, п. Поляны; 6 – Волга, г. Волгоград;
7 – Каспийское море.

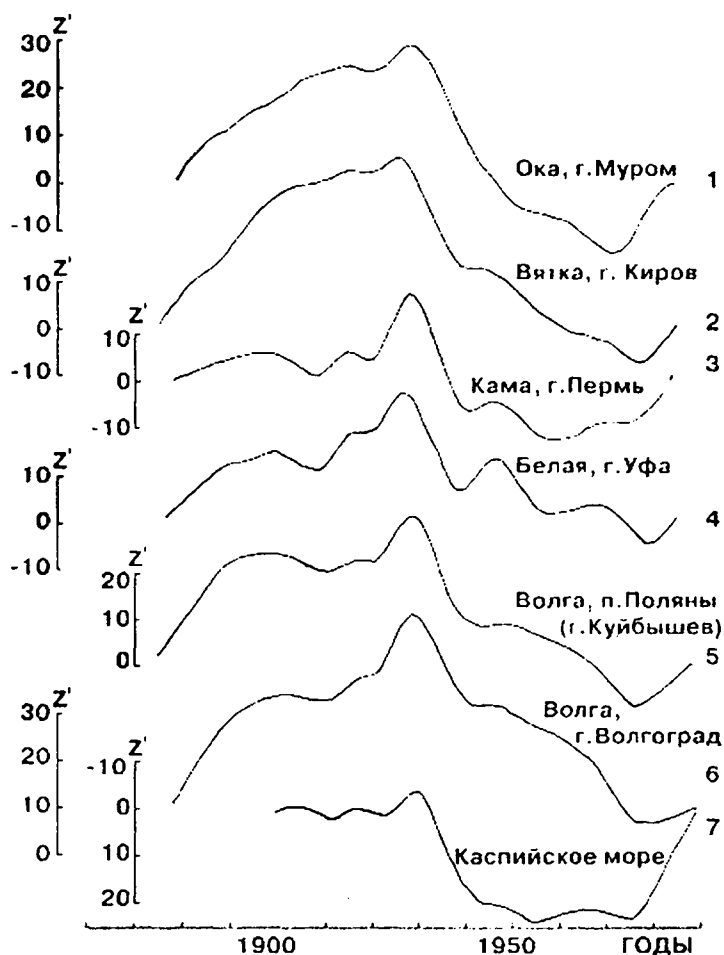


рис. 3.5

Рис. 3.5. Нормированные интегрально-разностные кривые динамических норм годового стока рек (1–6) и приращений уровня Каспийского моря (7)

Сглаженный – динамически осредненный – ряд приращений уровня Каспийского моря отражает все особенности изменения динамических норм стока Волги в нижних створах: посты Поляны и Волгоград, причем если сток Волги был ниже нормы, в это время осреднен-

ные приращения уровня моря были отрицательными и наблюдался период спада уровня; при стоке, превышающем норму, и положительных значениях приращений наблюдался период подъема уровня моря.

Подобие в изменениях динамических норм стока многих рек и приращений уровня Каспийского моря служит доказательством неслучайности колебаний этих составляющих, т.е. детерминированности данных процессов.

Длительные тенденции детерминированных составляющих годовых стока рек Каспийского бассейна и приращений уровня моря прослежены по интегральным кривым (рис 3.5). Ряд приращений уровня моря принят по данным четырех водпостов: Баку, Махачкала, Форт Шевченко, Красноводск.

Для интегральной кривой приращений уровня моря характерна волна, соизмеримая по форме и длительности с ходом уровня моря и длительными тенденциями детерминированных составляющих годового стока нижних створов Волги. Но ход этой кривой несколько отличается от хода интегральных кривых стока рек, особенно в крайних высоких и низких ее положениях. Здесь сказывается влияние дополнительных факторов, не зависящих от колебания притока. Как показано в работе [91], на колебания уровня моря основное влияние оказывают так называемые вариационные составляющие водного баланса моря – сток рек и осадки. Но в крайне высоком и низком положениях уровня моря заметное влияние начинают оказывать стабилизирующие уровень факторы – испарение и сток в Кара-Богаз-Гол. При высоких уровнях вследствие плоского рельефа котловины моря по северному и восточному берегам резко увеличивается не только объем, но и слой испарения за счет сильного прогревания мелководных затопленных участков суши и увеличения длины разгона, а следовательно, и скорости ветра. Увеличивается при высоких уровнях и сток в залив Кара-Богаз-Гол. Не пропорциональное росту уровня увеличение расходных составляющих водного баланса моря дает «эффект падения» уровня даже при повышенном против нормы притоке. При очень низком стоянии уровня моря уменьшение испарения и стока в залив создает «эффект дополнительного подъема» уровня. Такой эффект прослеживается на участке интегральной кривой приращений уровня моря в период после 1977 г. Здесь при сравнительно слабом подъеме характеристик стока в нижних створах Волги наблюдается интенсивный подъем уровня моря.

Таким образом, основной особенностью в колебаниях детерминированных составляющих, как годового стока рек Каспийского бассейна, так и приращений уровня Каспийского моря является наличие длительной вековой продолжительности волны, в первую половину которой сток рек был повышенным, а во вторую половину, от начала 30-х до конца 70-х годов, пониженным по отношению к норме. С конца 70-х годов началось формирование ветви подъема новой волны с повышенным стоком для рек и положительными приращениями уровня моря.

Наличие одинаковой формы длительных тенденций различных климатических элементов в разных районах говорит прежде всего о неслучайности данного явления, поскольку качество проявляется повсеместно. Близкое сходство во временном развитии различных климатических процессов свидетельствует о влиянии общеглобальных факторов наряду с региональными.

Подобные же явления наблюдаются, например, для региона оз. Байкал, который принято считать разделяющим влияние Атлантического и Тихого океанов. По разработанной методике выделены детерминированные составляющие в рядах максимальных в году расходов воды р. Селенги, годового стока р. Ангары в створе Братское водохранилище, притока к Братскому водохранилищу и оз. Байкал. В ходе интегральных кривых динамических норм стока выделяются длиннопериодные участки волн, смещенных по времени и более сложных, чем на волжских реках. Но для всех перечисленных выше характеристик стока сформированы волны одинаковой формы.

Можно отметить, что представленные в работе [41] интегральные кривые некоторых климатических характеристик, например числа естественно-синоптических периодов на европейской территории России, имеют форму, близкую к интегральным кривым стока волжских рек. Для азиатской территории представленные в [41] интегральные кривые ледовитости арктических морей имеют волны, близкие по форме к интегральным кривым динамических норм характеристик стока региона оз. Байкал.

Совпадение самих форм колебаний даже для различных характеристик водности в каждом отдельно взятом районе служит доказательством наличия постоянно действующих вынуждающих причин таких колебаний.

Общие черты в изменениях стока рек, колебаниях уровня бессточных озер обнаружены Р.К. Клиге [39] для всех районов земного шара. В работе [17] показано единство в изменении водности континентов в масштабах палеовремени, т. е. за 45 000 лет.

Если общие черты в изменениях водности охватывают всю планету, то, следовательно, причины таких изменений должны быть общими и, по-видимому, могут иметь внеземное, т.е. космическое происхождение.

В заключение следует подчеркнуть, что предложенная в работе методика обработки многолетних рядов различных геофизических характеристик, в том числе стока рек и приращений уровня озер, позволяет представлять развитие процессов в сопоставимых масштабах, т.е. дает возможность сравнения различных процессов с целью обнаружения наличия (отсутствия) общих закономерностей.

Выполненные по вышеизложенной методике расчеты и сравнение солнечной активности и геофизических процессов глобальных масштабов показали сопряженность таких явлений, как изменения скорости вращения Земли, координат географического полюса Земли, термики и ледовитости Баренцева моря, с солнечной активностью предшествующих периодов. Солнечная активность достаточно тесно связана с развитием атмосферных процессов в Евразийском районе, причем наиболее тесные связи наблюдаются при опережающем учете солнечной активности. Эти связи меняют знаки на противоположные через три – пять десятилетий. Сток Волги и уровень моря моделируются по характеристикам атмосферной циркуляции предшествующих на 11 – 12 лет.

В развитии процессов внутриконтинентальных масштабов, в частности, в изменениях различных характеристик стока рек, приращений уровня Каспийского моря, проявляются единые свойства. В прошлом наблюдались вековой длительности волны, а с конца 70-х годов началось формирование ветви подъема новой, возможно также вековой длительности, волны.

Значимые изменения климатических характеристик в бассейне Волги в центре Русской равнины с конца 70-х годов XX в. отмечены в работах [10, 42], а некоторых показателей динамики вод в различных регионах мирового океана – в [62, 108].

Таким образом, выявлена связь между глобальными геофизическими процессами (изменение скорости вращения Земли и поло-

жения координат географического полюса Земли), процессов по северному полушарию (состояние атмосферы, многолетний ход температуры воды в Баренцевом море) и процессами, характеризующими солнечную активность в предшествующие периоды, а также определена возможность их моделирования. Для каждого процесса наилучшие результаты в случае моделирования по данным о числах Вольфа получаются при определенных для этого процесса периодах сдвига по отношению к периоду солнечной активности. Для скорости вращения Земли и положения координат географического полюса Земли такой период составляет около 100 – 130 лет. Период около 100 лет наблюдается в сдвиге одноименных фаз чисел Вольфа и температуры воды в Баренцевом море.

Наилучшее сопряжение солнечной активности с характеристиками атмосферной циркуляции наблюдается при сдвиге фаз этих процессов на 30 лет, а атмосферной циркуляции с ходом стока Волги и уровня Каспийского моря при опережающем учете характеристик циркуляции на 11 – 12 лет.

Во временном изменении процессов увлажнения объектов внутриконтинентальных масштабов, таких, как многолетние колебания стока рек и уровня озер (на примере Каспийского моря), наблюдается фактическое подобие их развития на всех объектах в каждом физико-географическом районе.

В бассейне Каспийского моря колебания тенденций стока рек бассейна Волги особенно в нижних створах, соответствуют колебаниям уровня Каспийского моря. Для этих объектов в 70-х годах XX в. завершен период полувекового уменьшения – спада стока рек и снижения уровня моря. С конца 70-х годов начался период подъема, который даст начало развития нового, возможно векового цикла изменения водности рек и уровня Каспийского моря.

Для всех континентальных объектов основной вклад в амплитуду многолетних изменений этих характеристик вносят низкочастотные составляющие колебаний увлажнения.

Общность основных качеств может определяться только общей или общими причинами. Их исследование на уровне количественного моделирования за периоды прошлых наблюдений, а затем прогноза тенденций процессов выполнены на примере стока Волги у Волгограда и уровня Каспийского моря.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СТОКА ВОЛГИ У ВОЛГОГРАДА ПО СВЯЗЯМ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

Характеристики атмосферной циркуляции, как показано в 3.2, тесно связаны с солнечной активностью предшествующих на 3–5 десятилетий периодов. Атмосферная циркуляция моделирует многолетние колебания стока Волги в нижних створах и уровень Каспийского моря, причем наилучшим образом при опережающем учете характеристик циркуляции на 11–12 лет (см. п. 3.3). Такое положение явилось основанием для исследования связей между крайними процессами: солнечной активностью, с одной стороны, и стоком Волги и уровнем Каспийского моря – с другой. При этом можно предположить, что наилучшее сопряжение процессов должно происходить при опережающем учете солнечной активности на период, равный примерно пяти десятилетиям.

Для расчетов использованы ряды чисел Вольфа – W за 1700–1992 гг., стока Волги по Волгограду – Q за 1879–1992 гг., приращений уровня – ΔH и уровня H Каспийского моря (по четырем постам) за 1900 – 1991 гг. Все ряды обработаны по методике, изложенной в главе 2.

4.1 Методика моделирования

Совмещенные интегральные кривые рядов динамических норм чисел Вольфа и стока Волги у Волгограда приведены на рис. 4.1.

Совместный анализ развития вековых тенденций солнечной активности и стока Волги показывает, что эти процессы сопряжены и ход тенденций чисел Вольфа моделирует развитие стока Волги.

Возможны два варианта установления связей между процессами. В первом варианте сопряжение длительных тенденций стока Волги может производиться с ближней, подобной по форме, волной солнечной активности, т. е. при опережающем учете чисел Вольфа на 45 – 55 лет. Во втором варианте могут устанавливаться дальние связи с предыдущими распластанной и сосредоточенной волнами на кривой чисел Вольфа. При таком сопряжении изменения чисел Вольфа за 1725–1765 гг. определяют ход стока Волги за 1879–1977 гг.; подъем на некоторый период по кривой Вольфа сформирует повышенный сток в 1978 – 1992 гг. Аналогия в развитии процессов солнечной

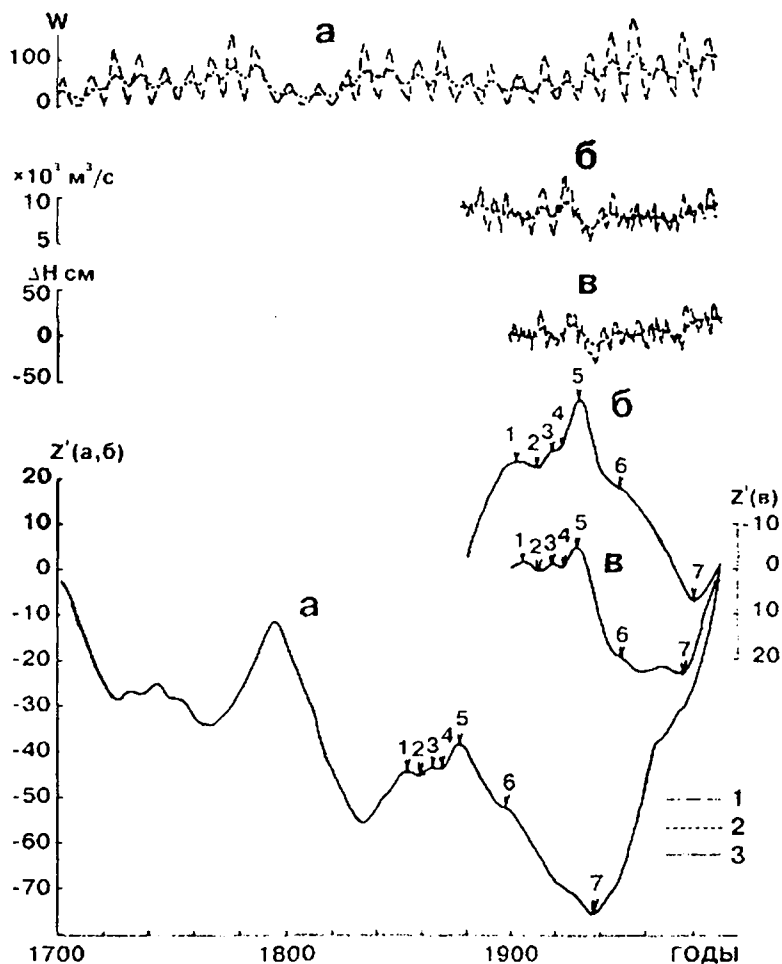


Рис. 4.1. Колебания характеристик чисел Вольфа (а), стока Волги у Волгограда (б), приращений уровня Каспийского моря (в).

1 – годовые значения, 2 – динамические нормы, 3 – интегрально-разностные нормированные кривые динамических норм, $\downarrow$ – соответственные фазы, на всех кривых пронумерованы одинаковыми цифрами.

активности и стока Волги имеется. В случае выражения каждого процесса в относительных единицах по отношению к общей про-

должительности и максимальным ординатам волн могут быть определены количественные соотношения между тенденциями изменения солнечной активности и стока Волги, что позволяет в общем виде построить картину изменения стока Волги почти на 150 лет вперед. Однако эти положения следует развивать только в случае установления закономерностей в перестройке динамики вод Мирового океана (как промежуточного звена между солнечной деятельностью и динамикой атмосферы), а также определения зависимости между динамикой океана, атмосферы и солнечной активностью, причем не только качественно, но и количественно.

На данном этапе принят первый вариант сопряжения процессов, поскольку очевидно соответствие их развития. Ход вековой тенденции чисел Вольфа за 1828–1945 гг. моделирует развитие основных закономерностей в изменениях стока Волги за 1879–1992 гг. Аналогия в характере длительных волн у этих процессов представлена достаточно наглядно. На кривых можно выделить переломные точки – точки соответственных фаз, которые позволяют определить основные закономерности временного сдвига процессов и характера их количественного сопряжения.

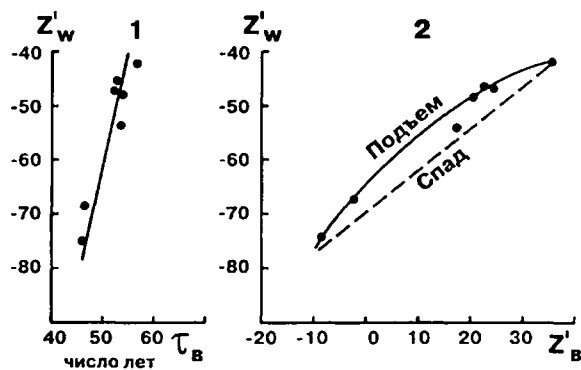


Рис. 4.2. Зависимости времени сдвига τ_B (1) и тенденции стока Волги у Волгограда Z'_B (2) от тенденции солнечной активности Z'_w .

В табл. 4.1 приведены статистические оценки рядов динамических норм стока Волги у Волгограда за принятые периоды. Используя эти оценки, можно пересчитать значения характеристик Z'_i в значения y_i . Для этой цели формула (2.3) разворачивается относи-

тельно y_i , т.е. по известным значениям Z'_i , $\bar{y}_i$, коэффициент вариации, вычисляются величины y_i .

Таблица 4.1

Статистические оценки рядов динамических норм чисел Вольфа и стока Волги у Волгограда

Характеристика	Период, годы	Среднее	Коэффициент вариации
Числа Вольфа	1700–1992	49,85	0,42
Сток, м ³ /с	1879–1992	7987	0,09

На рис. 4.2 представлены сопряженные связи количественных соотношений характеристик стока у Волгограда (Z'_B) и сдвига соответственных фаз τ_B в зависимости от характеристик чисел Вольфа (Z'_W). Качество этих связей можно оценить как удовлетворительное.

Зависимость для времени сдвига соответственных фаз аппроксимируется в первом приближении прямой линией, уравнение имеет вид

$$\tau_B = 0,24 Z'_W + 64. \quad (4.1)$$

Связь между характеристиками Z'_W и Z'_B нелинейная, намечается формирование отдельных ветвей подъема и спада. Ветвь спада освещена данными приближенно. Следовательно, можно ожидать, что при моделировании стока в периоды вековых спадов Z'_W могут быть отклонения вычисленных значений динамических норм расходов от наблюдаемых. Ветвь подъема освещена данными лучше.

Нелинейность связей и тенденция к образованию петли позволяет предположить возможность изменения их качества при переходе от одной волны солнечной активности к другой. Однако наличие параллельности в ходе кривых чисел Вольфа после их минимума в 1934 г. и кривой стока Волги после ее минимума в 1977 г. дает основание полагать, что и далее на некоторый период времени, а возможно и до конца подъема кривой чисел Вольфа, сохранится аналогия в развитии процессов. В совокупности две сопряженные зависимости – самих тенденций Z'_B и времени сдвига между соответственными фазами – можно рассматривать как аппарат, иллюстрирующий возможность произвести моделирование хронологического хода динамических норм стока Волги у Волгограда по данным о числах Вольфа предшествующих периодов.

Поскольку опережение чисел Вольфа наблюдается на 5–6 десятилетий, это позволяет произвести прогноз динамических норм стока Волги по известным значениям чисел Вольфа на 5–6 десятилетий вперед.

4.2 Поверочные прогнозы стока Волги у Волгограда за 1879 – 1992 гг. по данным о числах Вольфа за 1828 – 1945 гг.

Значения характеристик тенденций изменения чисел Вольфа известны за весь период наблюдений, они вычислены по формулам (2.2), (2.3). Поверочные прогнозы динамических норм (детерминированных составляющих) стока Волги у Волгограда заключаются в вычислении года и значений составляющих стока на вычисленный год.

Для перехода к величинам y_i брались приведенные в табл. 4.1 значения коэффициентов вариации и среднего значения стока.

При расчетах числа Вольфа берутся с опережением по времени в интервале 45 – 56 лет, т.е. выполняется поверочный прогноз динамических норм стока Волги у Волгограда по данным о числах Вольфа с отмеченной выше (45 – 56 лет) заблаговременностью.

На рис. 4.3а представлены ход наблюденных средних годовых расходов воды, наблюденных значений динамических норм годового стока, а также показаны пределы колебаний характерных расходов воды в продолжительных 25–30-летних циклах водности и результаты поверочного прогноза динамических норм стока.

В целом ход спрогнозированных значений отражает особенности колебания наблюденных. Достаточно надежно выявлены на этой кривой (кривая 3 на рис 4.3) периоды высокой водности Волги в 10 – 20-х и 80-х годах XX в. Выражены и периоды падения стока, особенно в 30-е годы. За весь период наблюдений смоделированные величины колеблются около наблюденных. Однако период падения стока в 60 – 70-е годы отражен несколько хуже. В эти годы спрогнозированные значения устойчиво превышают наблюденные. Далее в 80-е годы смоделированная кривая занимает равновесное положение по отношению к наблюденной.

Часто результаты поверочных прогнозов оцениваются соотношением обеспеченностей удовлетворительных прогнозов с природной.

Критерий допустимой погрешности поверочных прогнозов для заблаговременности в несколько десятилетий в гидрометсорологии

официально не принят. В работах, дающих сверхдолгосрочные прогнозы, заблаговременностью более года производится качественная оценка прогнозов по совпадению общего хода наблюдаемых и спрогнозированных величин.

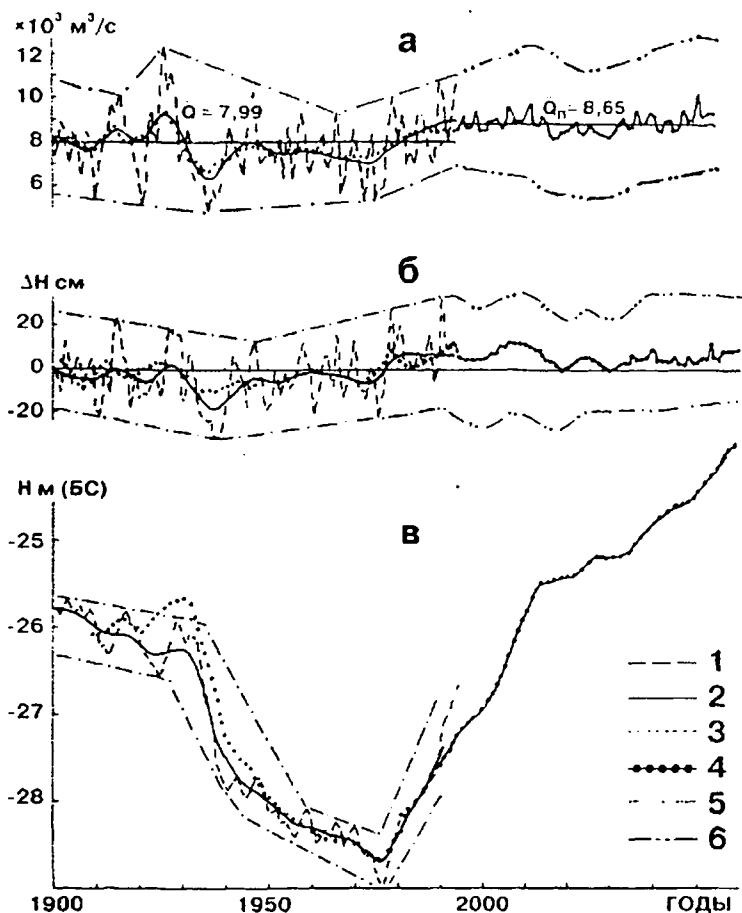


Рис. 4.3. Колебания характеристик годового стока Волги у Волгограда (а), приращений уровня (б) и уровня (в) Каспийского моря.
 1 – наблюдаемые средние годовые значения; 2 – 4 – динамические нормы: 2 – наблюдаемые, 3 – данные моделирования по числам Вольфа с заблаговременностью 4 – 6 десятилетий, 4 – данные прогноза; 5 – 6 пределы колебаний расходов воды, приращений уровня и уровня моря: 5 – наблюдаемые, 6 – данные прогноза.

В данной работе для оценки прогнозов в качестве допустимой погрешности принято среднее квадратическое отклонение ряда динамических норм стока Волги у Волгограда, значение которого за рассмотренный период составляет $719 \text{ м}^3/\text{с}$. Обычно значение допустимой погрешности, равное среднему квадратическому отклонению ряда, используется для оценки прогнозов с заблаговременностью прогноза полгода – год.

Результаты поверочных прогнозов видны из следующих соотношений: обеспеченность удовлетворительных поверочных прогнозов равна 92 %, природная обеспеченность составляет 65 %. Такое соотношение показывает хорошее качество прогноза динамических норм стока Волги по данным о числах Вольфа предшествующих периодов (табл. 4.2).

Таким образом, процесс изменения длительных тенденций ряда чисел Вольфа с высоким качеством количественно моделирует изменения стока Волги у Волгограда по разработанным соотношениям. Заблаговременность такого моделирования составляет 45 – 56 лет.

Таблица 4.2

Средние по десятилетиям расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$) Волги у Волгограда

Десятилетие, годы	Из среднегодовых наблюдавшихся расходов воды	Динамические нормы стока	
		из наблюдаемых расходов воды	данные повероч- ного прогноза
1880–1889	9284	9028	8272
1890–1899	8124	8406	8377
1900–1909	8030	7929	8247
1910–1919	8374	8264	8084
1920–1929	8922	8755	8845
1930–1939	6506	7084	7237
1940–1949	7852	7543	7486
1950–1959	7547	7589	7344
1960–1969	7380	7428	7592
1970–1979	7232	7174	7650
1980–1989	8024	8280	8258
1990–1992	9580	8448	8445

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЧИСЕЛ ВОЛЬФА

Прогнозы уровня моря разработаны на основе учета характера сопряжения колебаний тенденций чисел Вольфа и приращений уровня моря.

5.1. Методика моделирования

Методика моделирования тенденций уровня моря основана на использовании соответствия в ходе интегральных кривых динамических норм рядов чисел Вольфа и приращений уровня моря. Сопряжение процессов произведено с ближней волной чисел Вольфа, т. е. с ее опережением по отношению к уровню моря примерно на 5 десятилетий. Ряд приращений уровня моря в 1980 – 1992 гг. исправлен с учетом влияния перекрытого плотиной стока в залив Кара-Богаз-Гол в соответствии с [89], т. е. использованы естественные значения приращений уровня моря.

Здесь можно отметить, что суммарное повышение уровня моря под влиянием ограничения стока в залив за период 1980 – 1992 гг. составило 42 см. Причем ежегодный прирост уровня Каспийского моря постоянно увеличивался, если в 1980 г. этот прирост составлял 2 см/год, то к окончанию регулирования не менее 4 см/год.

Исправленный ряд приращений уровня моря был преобразован по формулам (2.2), (2.4).

Колебания этого параметра показаны на рис. 4.1а. Для него также сохраняется аналогия с колебаниями векового цикла солнечной активности, но в период спада уровня моря подобие в ходе процессов нарушается. Причины нарушения соответствия в ходе вековых тенденций чисел Вольфа и уровня моря подробно рассмотрены в работе [91]. Очень ярко на кривой «в», (рис 4.1), проявляются эффекты «дополнительного падения уровня» при высоком его стоянии и, наоборот, – «добавочного подъема» при низком уровне. Эффект «падения» виден в невысоком пике с точкой соответственной фазы 5 и очень крутом начальном спаде сразу после этой точки. Добавочный «подъем» уровня при низком его стоянии проявляется в распластанном характере перед точкой соответственной фазы 7, в крутом подъеме после 1977 г. В целом имеется аналогия в развитии

вековых циклов солнечной активности и хода интегральной кривой приращений уровня моря, и можно выделить соответственные фазы в развитии этих процессов.

За период 1900 – 1992 гг. были получены следующие статистические оценки ряда динамических значений приращения уровня моря, вычисленных по данным четырех постов и исправленных с учетом влияния перекрытого плотиной стока в залив Кара-Богаз-Гол: среднее значение $-2,1461$ см, коэффициент вариации $2,6578$, среднее квадратическое отклонение $5,70$ см. Эти оценки использованы при пересчете значений ординат интегральных кривых в динамические нормы. Расчет производится по формуле (2.4), развернув ее относительно $\bar{y}_i$

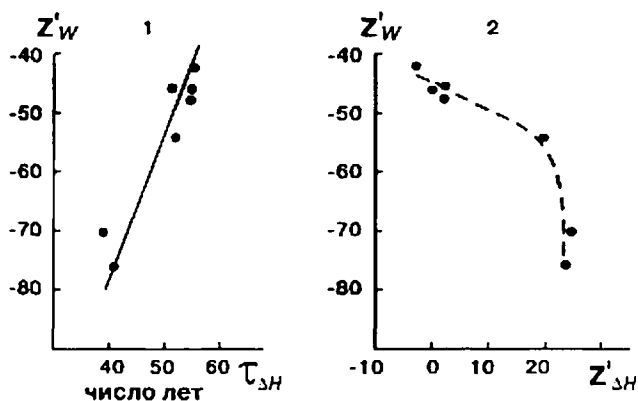


Рис. 5.1. Зависимости времени сдвига $\tau_{\Delta H}$ (1) и тенденции приращений уровня Каспийского моря $Z'_{\Delta H}$ (2) от тенденции солнечной активности Z'_w .

На рис 5.1 показаны сопряженные связи соответственных фаз интегральных кривых приращений уровня моря и времени сдвига соответственных фаз в зависимости от характеристик чисел Вольфа.

Зависимость времени сдвига $\tau_{\Delta H}$ от характеристик чисел Вольфа в первом приближении аппроксимируется прямой линией, ее уравнение имеет вид

$$\tau_{\Delta H} = 0,386Z'_w + 70, \quad (5.1)$$

где $\tau_{\Delta H}$ – время сдвига соответственных фаз, число лет, Z'_w – и $Z'_{\Delta H}$ – соответственно характеристики тенденций базисных составляющих рядов чисел Вольфа и приращений уровня моря.

Зависимость между характеристиками приращений уровня Каспийского моря и чисел Вольфа приближенная, в общих чертах намечает эту связь. В целом зависимости между характеристиками приращений уровня моря и числами Вольфа менее надежны, чем аналогичные для стока Волги.

5.2. Поверочные прогнозы тенденций уровня моря за 1900 – 1991 гг. по данным о числах Вольфа за 1847 – 1947 гг.

Моделирование тенденций приращений уровня моря заключается в определении года и характеристики тенденции приращения на этот год по данным о характеристиках тенденций чисел Вольфа за предшествующие периоды. Зависимости, приведенные на рис. 5.1, иллюстрируют возможность моделирования. Для перехода к самим значениям динамических норм приращений используются значения статистических параметров этого ряда. Моделирование тенденций самого уровня выполняется по смоделированным значениям приращений как сумма приращений. В качестве начального уровня может быть принят фактический уровень года начала отсчета.

На рис. 4.3б, показаны хронологический ход наблюдаемых приращений уровня моря, а также их динамические нормы наблюдаемые и смоделированные по числам Вольфа. В целом картина изменения всех характеристик фактически повторяет изменение характеристик стока Волги у Волгограда (рис. 4.3. а, б).

При моделировании уровня моря учтено влияние перекрытия плотиной стока в залив, т. е. к смоделированным по числам Вольфа уровням последовательно прибавлялась нарастающая сумма от 2 см в 1980 г. до 40 см в 1991 г., а сравнение производилось уже с наблюдаемыми уровнями (рис. 4.3в).

Результаты моделирования приращений уровня моря видны из следующих соотношений обеспеченности поверочного прогноза и природной обеспеченности. При допустимой погрешности 6 см обеспеченность удовлетворительных поверочных прогнозов приращений уровня моря составляет 89,1 % при природной обеспеченности 68 %, эффективность прогнозов равна 21 %.

Результаты поверочного прогноза вековой тенденции уровня моря по ряду чисел Вольфа с опережающим учетом последних пол-

ностью фиксируют и отражают как волну спада уровня моря в 30–70-е годы, так и подъем уровня, начавшийся в 1978 г.

Результаты моделирования уровня моря по числам Вольфа предшествующих периодов, на взгляд автора, снимают сомнения о природе колебаний уровня Каспийского моря. Ход вековых тенденций уровня представляет собой низкочастотную составляющую и описывает свыше 90 % дисперсии наблюдаемых значений колебаний уровня моря. Эта длиннопериодная составляющая с большой эффективностью моделируется развитием солнечной активности предшествующих периодов. Следовательно, основная часть амплитуды колебания уровня Каспийского моря определяется изменчивостью солнечной активности.

На основании всего сказанного в главах 2–5 можно отметить следующее. Предложенная методика обработки многолетних рядов солнечной активности и различных геофизических процессов позволила сравнивать развитие во времени процессов различных масштабов: от космических и общеглобальных до внутриконтинентальных, соизмеримых по площади охвата явлением с географическими зонами.

В результате выявлена достаточно тесная связь общеглобальных геофизических процессов (скорость вращения Земли, положение координат северного географического полюса), процессов в северном полушарии (состояние атмосферы, многолетний ход температуры воды в Баренцевом море), континентальных процессов (на примерах стока бассейна Волги и уровня Каспийского моря) с процессом, характеризующим солнечную активность предшествующих периодов.

Для каждого процесса определены периоды оптимального опережающего сдвига солнечной активности. Для общеглобальных процессов эти периоды составляют порядка ста лет, для континентальных – пять-шесть десятилетий.

6. ПРОГНОЗ ВОДНОСТИ РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ И КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ НА ПЕРИОД КОНЕЦ XX – СЕРЕДИНА XXI ВЕКОВ

При определении будущего состояния водных ресурсов используют два подхода: детерминистический и вероятностный. Автору представляется целесообразным их объединение и развитие детерминистического направления исследований.

6.1. Нестационарность многолетних гидрологических рядов

Выводы о стационарности рядов гидрологических процессов строятся в настоящее время на основе сравнения различного рода критериев, полученных по этим рядам, с соответствующими показателями случайных или имеющих незначительную внутрирядную связность последовательностей при заданном уровне значимости. Как правило, при таком анализе исходный ряд разбивается на равные части, а при наличии искусственных изменений в режиме процессов, например вследствие строительства ГЭС на реках, разделяется на периоды до и после изменения.

Ниже показано, что при формальном делении рядов на равные части результаты могут не отразить особенностей изменения во времени основных оценок – средних и дисперсий. Предлагается методика дополнительного анализа, позволяющая более точно определить характер гидрологических рядов на основе иного принципа деления данных. Этот принцип состоит в делении рядов на части в соответствии с положением экстремумов во временном ходе их нормированных интегрально-разностных кривых и вычислении по полученным частям рядов необходимых критериев.

Анализ стационарности длительных рядов годового стока рек, а также приращений уровня и объема Каспийского моря выполнен для двух вариантов деления рядов. В первом варианте исследуемые ряды были разделены традиционно на равные части. Во втором варианте при вычислении характеристик однородности ряды разделялись в соответствии с положением переломных точек на интегрально-разностных кривых.

В данном исследовании не ставилась задача определить влияние Волжско-Камского каскада ГЭС на характеристики стационарности рядов годового стока рек. Однако можно отметить, что по данным [1]

Таблица 6.1.

Средние (γ) и средние квадратические отклонения (σ) рядов за полныйпериод наблюдений (№1) и для двух вариантов деления на части (№2 – №6), ($\text{м}^3/\text{с}$ для стока рек)

Река – пункт, период наблюдений	№1		№2		№3		№4		№5		№6	
	γ	σ	γ	σ	γ	σ	γ	σ	γ	σ	γ	σ
Волга – Ельцы, 1891 – 1988	75,3	20,2	79,0	20,5	71,6	19,4	81,7	20,3	68,0	19,1	84,3	12,7
Волга – Поляна 1877 – 1993	7710	1440	7970	1500	7450	1340	8100	1510	7040	1160	8460	1170
Волга – Волгоград, 1879 – 1993	7990	1470	8420	1480	7580	1350	8570	1470	7200	1180	8540	1200
Ока – Муром, 1881 – 1993	921	199	952	202	889	191	971	197	843	175	1000	200
Кама – Пермь, 1881 – 1993	1650	313	1650	324	1660	304	1690	315	1560	289	1820	305
Белая – Уфа, 1878 – 1993	755	206	772	213	738	200	799	207	686	199	822	176
Вятка – Киров, 1878 – 1988	376	82,0	397	82,2	353	76,3	406	79,0	335	75,5	410	38,4
Приращение объема моря ($\text{км}^3/\text{год}$), 1901 – 1994	-4,5	51,8	-17,2	53,2	8,1	47,7	-2,8	48,4	-24,5	44,6	48,8	37,9
Приращение уровня моря (см), 1901 – 1994	-1,1	13,4	-4,3	13,4	2,1	12,8	-0,7	12,0	-6,4	11,6	10,5	10,2

суммарный полный объем всех водохранилищ равен 168 км^3 , мертвый объем составляет 88 км^3 . Заполнение водохранилищ каскада происходило в период 1937 – 1981 гг. Безвозвратные изъятия стока рек были равны $1\text{--}2 \text{ км}^3/\text{год}$ и только в 1955–1957 гг., во время заполнения Куйбышевского водохранилища, доходили до $8 \text{ км}^3/\text{год}$. При норме годового стока Волги у Волгограда в $250 \text{ км}^3/\text{год}$ такие объемы сокращения стока не могли дать значимых изменений в оценках рядов.

В табл. 6.1 приведены средние и средние квадратические отклонения рядов за полные периоды наблюдений (№ 1) и для двух вариантов: при делении рядов на равные половины (№ 2, 3), при подразделении рядов в хронологическом порядке в соответствии с положением переломных точек на интегрально-разностных кривых, причем для всех рек приняты единые сроки перехода от одного режима водности к противоположному (№ 4, 5, 6). Данные под № 4 рассчитывались по части рядов от начала наблюдений до 1929 г., который соответствует максимуму большинства интегральных кривых, данные под № 5 – по части рядов за 1930 – 1977 гг., данные под № 6 – от 1978 до 1993 г.

В табл. 6.2 даны критерии однородности (критерии Фишера и Стьюдента), определенные по оценкам сравниваемых частей рядов для 5 %-ного уровня значимости [31].

Таблица 6.2

Критерий Фишера (F) и Стьюдента (t) при сравнении оценок частей рядов в соответствии с данными табл. 6.1

Пункт	Сравниваемые части рядов							
	№2 и №3		№4 и №5		№5 и №6		№4 и №6	
	F	t	F	t	F	t	F	t
Волга-Ельцы	1,12	1,81	1,13	3,20*	2,25	2,65*	2,53	0,40
Волга-Поляна	1,24	1,96	1,69	3,90*	1,02	4,18*	1,66	0,87
Волга-Волгоград	1,20	3,15	1,55	5,02*	1,03	3,83*	1,51	0,08
Ока-Муром	1,12	1,68	1,26	3,34*	1,31	2,95*	1,04	0,51
Кама-Исрмь	1,14	0,18	1,19	1,97	1,11	2,97*	1,07	1,45
Белая-Уфа	1,12	0,88	1,08	2,73*	1,28	2,38*	1,38	0,40
Вятка-Киров	1,16	2,91*	1,10	4,45*	3,87	3,09*	4,24*	0,17
Приращение объема Каспийского моря	1,25	2,40*	1,18	1,97	1,38	5,95*	1,63	3,69*
Приращение уровня Каспийского моря	1,10	2,35*	1,06	2,02*	1,32	5,21*	1,42	3,85*

* Сравниваемые ряды неоднородны по соответствующей оценке.

Характерно, что при делении рядов на равные половины практически по всем рядам следует сделать вывод об их принадлежности к одной генеральной совокупности.

При разделении рядов в соответствии с ходом интегральных кривых, причем с делением на части в единые для всего региона годы, соответствующие переходу от одного режима водности к противоположному, результаты различаются. Сравнение рядов по статистике Фишера показывает однородность в любом варианте сопоставления частей, т. е. дисперсии процессов во времени меняются незначительно. По статистике Стьюдента все ряды неоднородны, средние значения значительно различаются по периодам, т. е. по этой оценке ряды нестационарны. Нормы, определенные по периодам от начала наблюдений до 1929 г. и за 1930–1977 гг. (№4 и №5) значительно различаются для 1%-ной обеспеченности. Такие же различия наблюдаются при сравнении частей рядов № 5 и №6, т. е. за периоды 1930–1977 и 1978–1993 гг. Однако сравнение рядов № 4 и №6 показывает их однородность.

6.2. Рекомендации по определению статистических оценок годового стока рек бассейна Волги и уровня Каспийского моря на перспективу пяти-шести десятилетий

Выше показана нестационарность норм годового стока рек бассейна Волги и приращений уровня Каспийского моря.

По мнению автора, ответственными за нестационарность средних многолетних значений гидрологических характеристик в бассейне Волги являются колебания базисных значений солнечной активности предшествующих периодов. Подъем кривой Вольфа, продолжавшийся с 1935 по 1992 г. (см. рис. 4.1), т.е. почти 60 лет, а также параллельность хода интегральных кривых стока Волги на последнем участке (с 1977 по 1992 г.) участку кривой Вольфа, (с 1935 г.) позволяют принять, что многоводный период в бассейне Волги, начавшийся в 1978 г., будет продолжаться в целом не менее шести десятилетий.

Из анализа характера сопряжения процессов стока рек и хода солнечной активности за последний период следует, что оценки годового стока рек бассейна Волги при проектировании могут быть определены по частям рядов годового стока. Использование полных периодов может существенно занижить оценки, а следовательно, и надежность основанных на них хозяйственных решений.

В разделе 1.3 было отмечено, что выполняемые в настоящее время проработки по вероятному положению уровня Каспийского моря на перспективу основаны на оценках составляющих водного баланса моря, определенных по последнему периоду. Однако в работах отсутствуют какие-либо доказательства о сохранении этих оценок в будущем.

В данном разделе эти доказательства даны, они основаны на учете характера колебаний таких влажностных характеристик климата, как сток рек, уровень Каспийского моря, происходящих под влиянием изменений естественных причин.

Таким образом, при определении будущего состояния водных ресурсов целесообразно объединить выводы детерминистического и вероятностного методов анализа. На примере рек волжского бассейна показано, что оценки годового стока на перспективу конец XX – первая половина XXI в. необходимо определять не по всему периоду многолетних наблюдений, а по частям рядов, соответствующим многоводным периодам.

6.3. Прогнозы стока Волги у Волгограда и тенденции изменения уровня Каспийского моря на период конец XX – середина XXI в.

Методика прогноза стока Волги у Волгограда на перспективу отработана на периоде 1970–1992 гг. В качестве предикторов использованы значения Z_w за период 1922–1945 гг. (табл. 6.3). Время сдвига между колебаниями характеристик чисел Вольфа и стока Волги у Волгограда вычислено по зависимости (4.1). Далее по известным величинам ΔZ_w , используя коэффициент вариации и среднее ряда динамических норм Волгограда (см. табл. 4.1), вычислены значения $\bar{y}_i$, развертывая формулу (2.3) относительно $\bar{y}_i$. За использованный период (1970–1992 гг.) обеспеченность удовлетворительных поверочных прогнозов составила 87 % при природной обеспеченности 57 %, в качестве допустимой погрешности принято значение, равное 719 м³/с.

Эта методика использована для прогноза ряда динамических норм стока у Волгограда до 2056 г. В табл. 6.3 приведены использованные для прогноза предикторы Z_w . Результаты прогноза ряда динамических норм стока Волги у Волгограда представлены на рис. 4.3 а.

Таблица 6.3

Ординаты интегральных кривых динамических норм чисел Вольфа, определенных по периоду 1700–1992 гг.

гис	Годы в десятилетиях									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	-73,414	-73,924	-70,613	-71,171	-71,672	-72,060	-72,328	-72,523	-72,724	-73,008
	-71,932	-71,470	-74,456	-74,892	-75,110	-75,029	-74,641	-74,012	-73,266	-72,539
	-61,518	-60,227	-71,094	-70,676	-70,068	-69,149	-67,887	-66,344	-64,662	-63,009
	-42,421	-40,813	-59,060	-57,851	-56,404	-54,572	-52,319	-49,746	-47,069	-44,550
	-33,793	-32,958	-39,729	-39,053	-38,595	-38,155	-37,578	-36,797	-35,835	-34,790
	-24,224	-22,216	-32,344	-31,927	-31,600	-31,193	-30,546	-29,512	-28,054	-26,238
	-6,365	-3,323	-20,390	-18,840	-17,543	-16,367	-15,113	-13,582	-11,630	-9,208
			0,000							

Средние по десятилетиям значения прогноза стока Волги у Волгограда составят:

Период	м ³ /с	км ³ /год
1990–99	8670*	273
2000–09	8820	278
2010–19	8740	275
2020–29	8460	267
2030–39	8510	268
2040–49	8810	278
2050–56	9140	288

Средний сток Волги у Волгограда за разные периоды равен следующим значениям:

Период	м ³ /с	км ³ /год
1879–1993	7990	252
1879–1977	7910	249
1978–1993	8540	269

Средний сток за 1993–2056 гг. составит 8720 м³/с, или 275 км³/год. Таким образом, значение прогноза стока за весь период – с 1993 г. до 2056 г. – превысит средний сток периода 1879–1993 гг. на 10 %.

Встает вопрос о времени перехода стока Волги на пониженный против нормы (250 км³/год) сток. Это зависит от дальнейшего хода чисел Вольфа. К 1995 г. завершался, но еще не был окончен 22-й цикл солнечной активности. Числа Вольфа за 1993 и 1994 гг. были 58 и 40 соответственно. Далее продолжился спад 22-го цикла, после его завершения начался подъем 23-го цикла активности. Если 23-й цикл будет значительно ниже 22-го, то перелом в ходе стока Волги наступит в 2058 г.

Выше даны значения спрогнозированных динамических норм стока. Интерес представляют возможные отклонения наблюдаемых годовых расходов от спрогнозированных. Суждение об этом может быть получено по характеристикам отклонений исходного от сглаженного рядов расходов, т. е. наблюдаемых расходов от ряда динамических норм. Поскольку дисперсии частей рядов существенно не меняются (см. табл. 6.2) и критерии Фишера показывают однородность этих характеристик, то следует принять и на будущий период те же значения отклонений, которые наблюдались за период 1879–1992 гг. Среднее значение ряда отклонений наблюдаемых расходов

* Фактическое значение по данным ГГИ 8845 м³/с.

от сглаженных значений составляет $\pm 1160 \text{ м}^3/\text{с}$, в пределах этой величины находится 64 % всех случаев. Следовательно, наблюдаемые значения средних годовых расходов могут отклоняться от спрогнозированных динамических норм на эту величину, причем к максимальным значениям по ряду эта величина суммируется со знаком (+), к минимальным – со знаком (–). Это вытекает из методики определения динамических норм стока. Максимальные отклонения наблюдаемых расходов от динамических норм составляют $\pm 3000 \text{ м}^3/\text{с}$, следовательно, такие отклонения реальных средних годовых расходов от спрогнозированных динамических норм возможны и в период 1993–2056 гг. На рис. 4.3а показаны пределы возможных колебаний средних годовых расходов воды Волги у Волгограда на период прогноза.

Прогноз приращений уровня Каспийского моря выполнен аналогично прогнозу стока Волги.

Время сдвига характеристик чисел Вольфа и приращений уровня Каспийского моря вычислено с использованием уравнения (5.1). По значениям приращений интегральной кривой чисел Вольфа определены приращения уровня, развертывая формулу (2.4) относительно $\bar{y}_i$ с использованием оценок ряда приращений уровня – среднего ряда $-2,146 \text{ см}$ и коэффициента вариации $2,658$, среднего квадратического отклонения $5,7 \text{ см}$.

На рис. 4.3б приведен ход приращений уровня до 2061 г. Наблюдаемые средние годовые приращения уровня будут отклоняться от значений динамических норм в пределах $\pm 25 \text{ см}$. В периоды стабилизации уровня в конце 90-х годов XX в., в 20-х и начале 40-х годов XXI века наиболее вероятны отрицательные приращения уровня до 25 см . в отдельные годы.

Синхронность в колебаниях стока Волги и приращений уровня Каспийского моря на период прогноза сохраняется.

Наиболее высокие сток Волги и приращения уровня моря следует ожидать в первые два десятилетия XXI в. (до 2015 г.) В период 1996–2000 гг. и после 2015 г. в течение примерно двадцати лет сток Волги в отдельные годы не будет превышать $200 \text{ км}^3/\text{год}$, или превысит это значение на 10–15 %. В эти периоды уровень моря будет близок к стабилизации, в отдельные годы возможно его падение до 25 см .

Устойчивый спад уровня начнется с 60-х годов третьего тысячелетия. Это произойдет при условии, что 23-й и последующие одиннадцатилетние циклы солнечной активности будут ниже 21-го и 22-го циклов. В противном случае, т.е. при дальнейшем повышении 23-го и последующих циклов активности, тенденция подъема уровня может сохраниться.

На рис. 4.3в приведен ход тенденции уровня Каспийского моря, полученный как последовательная сумма спрогнозированных значений динамических норм приращений уровня. К 2061 г. уровень моря может достичь отметки $-24,0$ м.абс.

Ошибки прогнозов стока Волги у Волгограда и уровня Каспийского моря произойдут, если фактическая аппроксимация зависимостей $\tau = f(Z_w)$ времени сдвига соответственных фаз характеристик солнечной активности, стока Волги и приращений уровня моря будут в значительной степени отличаться от принятых прямых линий. В действительности эти связи по-видимому нелинейны. При настоящем объеме исходной информации уточнить эти зависимости не представляется возможным. Вероятна аппроксимация зависимостей в виде парабол, но возможны и гиперболы.

Спрогнозированные значения стока Волги у Волгограда в таком случае изменятся. При аппроксимации по параболе при сохранении общего объема стока за весь период (1993–2056 гг.) порядка $20\,000\text{ км}^3$, период увеличения стока ограничится более ранним годом, порядка 2048, и уменьшение стока начнется с 2050 г. В таком случае расходы по десятилетиям будут превышать спрогнозированные значения. В случае аппроксимации зависимости по гиперболе период увеличения стока увеличивается примерно на 10 лет и при том же объеме стока средние по десятилетиям расходы будут ниже, перелом в ходе стока Волги наступит позднее, в 2060–2065 гг.

Устойчивое снижение стока наступит с 2056 г. с доверительным интервалом в 10 лет в обе стороны, т. е. допустимые пределы года перелома в ходе стока ожидаются в периоде 2050–2065 гг. Подчеркиваем, что перелом в ходе стока Волги наступит при условии снижения максимумов 23-го и последующих одиннадцатилетних солнечных циклов по сравнению с 21-го и 22-м циклами.

Прогноз тенденции уровня моря имеет меньшую, чем для стока Волги, надежность. Если зависимость времени сдвига соответственных фаз будет значительно отличаться от принятой, то это ска-

жется на результатах прогноза. При аппроксимации по параболе рост уровня моря будет интенсивнее спрогнозированного, в случае гиперболической связи уровень моря будет возрастать медленнее. Соответственно перелом в ходе уровня наступит ранее спрогнозированного – около 2050 г. в первом случае и позднее 2070 г. – во втором. Но кроме этой причины на результаты прогноза может оказать влияние неучет морфологии котловины моря при разных уровнях. После 2015 г., когда сток Волги будет незначительно отличаться от современной нормы, а уровень к этому времени может находиться на отметках около –25,0 м абс., возможно, что незначительное превышение стока современной нормы не обеспечит дальнейшего роста уровня моря, и в результате в конце второго – начале третьего десятилетия после 2000 г. будет наблюдаться не стабилизация, а спад уровня моря. Пределы возможных отрицательных приращений уровня ограничены нижней огибающей кривой (см. рис. 4.36).

В свете отмеченных причин автор обращает внимание на то, что до 2015–2020 гг. подъем уровня моря может продолжаться с интенсивностью в среднем 6 см в год и уровень к 2020 г. достигнет отметки –25,0 м. абс.

Однако выполненные прогнозы стока Волги и уровня моря даны для вариантов наиболее осторожных решений. Варианты предельно возможных превышений стока Волги и уровня не просчитаны из-за отсутствия материальных возможностей.

Перспективы развития тематики в отношении прогнозов стока Волги у Волгограда и уровня Каспийского моря заключаются прежде всего в просчетах вариантов возможных предельно высоких значений стока Волги и подъема уровня Каспийского моря на перспективу середины XXI в. Кроме того необходимы разработки, направленные на определение ежегодных фактических значений стока Волги и уровня Каспийского моря. Методические возможности для этого имеются. Для заблаговременности 10–12 лет – это установление устойчивых связей между колебаниями стока Волги, уровня моря и индексами атмосферной циркуляции. Для больших заблаговременностей, т.е. прогнозов до середины XXI в., необходимо изучение связей между отклонениями фактических значений этих характеристик от их динамических норм с определяющими факторами. Возможны и другие методические подходы. На настоящем этапе ряды отклонений погодичных значений характеристик стока Волги у Волгограда и приращений уровня Каспийского моря следует принимать случайными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних колебаний солнечной активности и различных геофизических процессов, установление связей между гелио- и геофизическими процессами различных масштабов, в том числе со стоком крупных рек в бассейне Волги и с уровнем Каспийского моря, позволили спрогнозировать длительные тенденции изменения стока Волги у Волгограда и уровня Каспийского моря до середины XXI в.

В отличие от всех имевших место разработок связей уровня Каспийского моря с ходом солнечной активности в настоящем исследовании использован принцип сходства в развитии вековых тенденций чисел Вольфа и уровня Каспийского моря, а также стока Волги. Такое сходство наблюдается при сравнении интегральных кривых стока Волги и приращений уровня Каспийского моря с участками интегральной кривой чисел Вольфа за предшествующие каждому процессу 50–60-летние периоды.

Использование принципа сходства в развитии длительных тенденций стока Волги у Волгограда и уровня Каспийского моря ходу участков интегральной кривой чисел Вольфа предшествующих периодов позволило выполнить поверочные прогнозы. Их результаты следующие.

По значениям характеристик чисел Вольфа за 1828–1945 гг. спрогнозирован ход стока Волги у Волгограда за 1879–1992 гг. Обеспеченность удовлетворительных поверочных прогнозов составила 92 %, при природной обеспеченности 65 % и допустимой погрешности $\pm 719 \text{ м}^3/\text{с}$. По характеристикам чисел Вольфа за 1847–1947 гг. дан поверочный прогноз тенденций уровня Каспийского моря за 1900–1991 гг. Обеспеченность удовлетворительных поверочных прогнозов составила 89 % при природной обеспеченности 68 % и допустимой погрешности $\pm 6 \text{ см}$.

Оперативные прогнозы стока Волги у Волгограда и уровня Каспийского моря, выполненные автором вначале 90-х годов XX в. оправдались. На 1990 – 1999 гг. среднее значение прогноза стока Волги у Волгограда было дано равным $8670 \text{ м}^3/\text{с}$., фактическое значение составило по данным ГГИ $8845 \text{ м}^3/\text{с}$. Прогноз уровня Каспийского моря также оправдался, на 2000-й год значение прогноза было дано $-27,05 \text{ м.абс.}$., фактический уровень на этот год равен $-27,06 \text{ м.абс.}$ [110].

Использование принципа схождения в развитии различных процессов и установление на этом основании эмпирических связей между ними вполне правомерно. Его применение во всех областях науки является следующим этапом после накопления достаточных данных наблюдений за явлениями. Обычно нахождение схождения в развитии различных связанных процессов предшествует теоретическому обоснованию связей.

Связи солнечной активности с гидрометеорологическими процессами до настоящего времени теоретически слабо обоснованы. Нет единого мнения относительно физических механизмов передачи влияния солнечной активности на гидрологические процессы и даже относительно последовательности этого воздействия. Обобщение результатов исследований по проблеме воздействия солнечной активности на климат выполнено в работах [45, 46]. Проанализированы две гипотезы, позволяющие обосновать возможные механизмы влияния солнечной активности на климат: конденсационная и озонная. Характерной чертой всех исследований солнечно-земных связей, включая ранние (периода 60 – 70-х годов) и современные, является разработка механизмов прямого действия солнечной активности на земные процессы через ионосферу, стратосферу к приземному слою. Связи полностью не прослеживаются.

Полученные в данной работе результаты показывают, что колебания солнечной активности воздействуют на базисные составляющие процессов различных масштабов – от общеглобальных до внутриконтинентальных, а установленные периоды сдвигов наилучшего временного сопряжения геофизических процессов с солнечной активностью предшествующих периодов позволяют наметить определенную последовательность формирования и передачи влияния солнечной деятельности на колебания увлажнения континентов. Изменения базисных значений характеристик солнечной активности приводит к колебаниям динамических и термических свойств Мирового океана в различных регионах, это определяет изменения характера атмосферной циркуляции, а следовательно, многолетние колебания осадков, облачности, ветра. Следствие – изменения увлажнения бассейнов, проявляющиеся в колебаниях водности рек и положении уровней озер, в частности стока Волги и уровня Каспийского моря. При такой системе передачи влияния солнечной активности на колебания характеристик увлажнения

континентов между изменениями этих процессов должны быть значительные временные сдвиги и не могут работать связи, установленные по синхронным моментам времени.

В данной работе предлагается гипотеза, согласно которой можно считать, что основными механизмами передачи влияния солнечной деятельности на гидрометеорологические процессы являются последствия взаимодействия магнитных полей Солнца и Земли. Из исследований по физике солнечных пятен [60] следует, что пятна представляют собой области, где наиболее сильные магнитные поля вырываются из внутренних областей Солнца на поверхность. В таком случае колебания солнечных пятен характеризуют колебания магнитного излучения Солнца. По данным [107], электромагнитные поля Мирового океана имеют внутренние и внешние источники. Внешние источники порождаются электромагнитными процессами в глубинных недрах Земли, магнитосфере, ионосфере и атмосфере. Магнитное взаимодействие Солнца и Земли сказывается на состоянии Мирового океана. Воды Мирового океана – это тот материальный объект, который способен преобразовать колебания магнитного поля в динамические процессы, которые приводят к термическим изменениям. Действие Солнца сказывается на изменении глубинных структур Земли, включая Мировой океан, произошедшие изменения влияют на океанические течения, которые в свою очередь определяют характер атмосферной циркуляции. Между изменениями основных процессов (деятельность Солнца, с одной стороны, и колебания увлажнения на Земле – с другой) должны быть значительные временные сдвиги.

На данном этапе исследования временной сдвиг между колебаниями солнечной активности и характеристиками увлажнения в бассейне Волги, а также уровнем Каспийского моря принят равным пяти-шести десятилетиям ввиду очевидности сходства в развитии базисных составляющих этих процессов. Однако возможно сопряжение при временном сдвиге около 150 лет. Окончательное решение этого вопроса может быть дано после соответствующих исследований изменений динамики Мирового океана.

Полученные результаты, показывающие связь колебаний характеристик увлажнения континентов с солнечной активностью предшествующих периодов, подтверждаются данными многолетних наблюдений за стоком крупных рек в бассейне Волги, уровнем Каспийского моря и за различными характеристиками стока в регионе

озера Байкал. В этих процессах многоводные периоды длительно-стью в пять-шесть десятилетий сменяются на маловодные такой же длительности.

В бассейне Волги смена таких периодов произошла в одни и те же сроки. От начала наблюдений (конец 70-х годов XIX в.) до 1929 г. сток рек бассейна Волги был многоводным, уровень Каспийского моря занимал высокие отметки, примерно $-25,5$ м БС; с 1930 по 1977 г. на реках наблюдался низкий сток, уровень Каспийского моря снизился до отметки $-29,0$ м; с 1978 г. повышенный сток рек совпадает с подъемом уровня моря. Соответствующие колебания в ходе вековой тенденции солнечной активности предшествующего периода и рост ветви этой кривой, начавшийся в 1935 г. и продолжающийся почти шесть десятилетий, параллельность хода интегральных кривых стока Волги и приращений уровня моря дают основания принять, что повышенный сток в бассейне Волги и рост уровня Каспийского моря, начавшиеся в 1978 г., сохраняются в целом на шесть десятилетий.

В регионе озера Байкал также наблюдается смена длительных периодов водности на противоположные, но в иные, чем на Волге, сроки. Это объясняется тем, что солнечная деятельность действует на процессы увлажнения континентов опосредованно, в каждом регионе проявляются свои закономерности смены периодов, кроме того, действуют региональные факторы. Поэтому в перспективе развития проблемы прогнозов колебаний характеристик увлажнения континентов необходим анализ водности рек и уровней озер в различных географических зонах с применением разработанного методического аппарата.

Изучение сопряжения общеглобальных процессов, таких, как скорость вращения и изменения координат северного географического полюса Земли, с солнечной активностью показало, что связи между этими процессами наблюдаются при опережающем учете активности более чем на 100 лет.

Таким образом, колебания базисных составляющих солнечной активности моделируют длительные тенденции различных по масштабам процессов, каждого со своим временным сдвигом. Наличие большего сдвига (более 100 лет) для глобальной характеристики – скорости вращения Земли – по сравнению со сдвигом (пять-шесть десятилетий) для гидрологических характеристик крупномасштабных объектов не противоречит взглядам на то, что изменения скорости вращения Земли обусловлены процессами в атмосфере и гидро-

сфере, однако указывает, что первопричиной таких изменений является наличие длительной и устойчивой тенденции в изменениях солнечной активности предшествующих периодов.

Сравнение развития процессов различных масштабов оказалось возможным благодаря разработанной методологии. Ее особенность заключается в выделении в процессах базисных составляющих и представлении их в относительных к нормам и дисперсиям величинах в интегральном виде. Таким образом, предусмотрен единый подход к анализу временных закономерностей в процессах.

Перспективы развития темы заключаются в расширении географии изучения сопряжения гидрологических процессов с солнечной активностью. Сравнение колебаний длительных тенденций стока рек и уровня озер в других районах и континентах с солнечной деятельностью предшествующих периодов возможно даст определенный ключ для прогноза естественных колебаний влажностных характеристик климата в разных регионах земного шара.

Перспективы и в отношении прогнозов стока Волги и уровня Каспийского моря заключаются прежде всего в просчетах вариантов возможных предельно высоких стока Волги и подъема уровня Каспийского моря на перспективу до середины XXI в. Кроме того, необходимы разработки, направленные на определение ежегодных фактических значений стока Волги и уровня Каспийского моря. Методические возможности здесь имеются.

Развитие тематики требует материальных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авакян А.Б., Поддубный А.Г.* Водохранилища Волжско-Камского каскада ГЭС и пути улучшения их экологического состояния // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1994. – С. 38 – 48.
2. *Азарова Р.Ф.* О геологических процессах, влияющих на подъем Каспийского моря // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 3. – С. 34 – 35.
3. *Алишеев М.Г., Мамаев М.А.* Аппроксимация динамики уровня Каспийского моря гармоническим рядом // Мелиорация и водное хозяйство. – 1994. – №1. – С. 17.
4. *Антонов В.С.* Проблемы уровня Каспийского моря и сток северных рек // Труды ААНИИ. – 1963. – Т. 253. – С. 232 – 248.
5. *Аполлов Б.А., Федоров Е.И., Алексеева К.И.* Колебания уровня Каспийского моря // Труды института океанологии. – 1956. – Т. XV. – 290 с.
6. *Аполлов Б.А., Алексеева К.И.* Прогноз уровня Каспийского моря // Труды океанографической комиссии АН СССР. – 1959. – Т. 5. – С. 63 – 78.
7. *Архипова Е.Г., Крюков В.В., Молошикова В.Н.* Возможные изменения уровня и других элементов гидрологического режима Каспийского моря // Труды ГОИН. – 1972. – Вып. 115. – С. 5 – 17.
8. *Архипова Е.Г., Крюков В.В.* Возможные изменения уровня Каспийского моря в связи с изменениями климатических условий // Труды ГОИН. – 1975. – Вып. 125. – С. 75 – 85.
9. *Афанасьев М.А.* Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. – М.: Наука. – 1967. – 230 с.
10. *Бабкин В.И.* Сток Волги в периоды ослабления и усиления циклонической деятельности // Метеорология и гидрология. 1995. – №1. – С. 94 – 100.
11. *Байдал М.Х., Ханжина Д.Г.* Многолетняя изменчивость макроциркуляционных факторов климата. – М.: Гидрометеониздат. – 1986. – 104 с.
12. *Белинский И.А., Калинин Г.П.* О прогнозе колебаний уровня Каспийского моря // Труды НИУ ГУГМС. – 1946. – Сер. IV. – Вып. 37. – 22 с.
13. *Белинский И.А.* Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов. – М.: Гидрометеониздат. – 1957. – 202 с.
14. *Берг Л.С.* Уровень Каспийского моря и условия плавания в Арктике. – В кн.: Климат и жизнь. – Гос. изд-во геогр. лит. – 1947. – С. 90 – 95.
15. *Берг Л.С.* Уровень Каспийского моря за историческое время. – В кн.: Очерки по физической географии. – М. – Л.: Изд-во АН СССР. – 1949. – С. 205 – 279.
16. *Будыко М.И., Ефимова Н.А., Лобанов В.В.* Будущий уровень Каспийского моря // Метеорология и гидрология. – 1988. – № 5. – С. 86 – 94.
17. *Варущенко С.И., Варущенко А.И., Клизе Р.К.* Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. – М.: Наука. – 1987. – 240 с.
18. *Вительс Л.А.* Характеристики барико-циркуляционного режима. – Л.: Гидрометеониздат. – 1965. – 128 с.
19. *Вительс Л.А., Косоголева С.В.* Месячные, сезонные и годовые характеристики барико-циркуляционного режима Европейского естественного синоптического района в 1965 – 1970 гг. // Труды ГГО. – 1974. – Вып. 316. – С. 79 – 198.

20. *Витинский Ю.И.* Цикличность и прогнозы солнечной активности. – Л.: Наука. – 1973. – 257 с.
21. *Георгиевский В.Ю.* Расчеты и прогнозы изменения уровня Каспийского моря под влиянием естественных климатических факторов и хозяйственной деятельности // Труды ГГИ. – 1978. – Вып. 255. – С. 94 – 112.
22. *Герман Дж.Г., Гольберг Р.А.* Солнце, погода и климат. – Л.: Гидрометеоздат. – 1981. – 320 с.
23. *Гирс А.А.* Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоздат. – 1971. – 280 с.
24. *Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных гидрометеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоздат. – 1974. – 488 с.
25. *Голицин Г.Н., Панин Г.Н.* О водном балансе и современных изменениях уровня Каспия // Метеорология и гидрология. – 1989. – № 1. – С. 57 – 64.
26. *Голубев Б.Н.* Аномальный подъем уровня Каспийского моря и техногенная стабилизация недр // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1994. – № 1. – С. 59 – 74.
27. *Голубев Б.Н.* Особенности современной геодинамической активности Арало-Каспийского района // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1994. – № 6. – С. 96 – 100.
28. *Дружинин И.П., Коваленко З.П., Кукушкина В.П., Хамьянова Н.В.* Речной сток и геофизические процессы. – М.: Наука. – 1966. – 295 с.
29. *Зайков Б.Д.* Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня // Труды НИУ ГУГМС. – 1946. – Сер. IV. – Вып. 38. – 50 с.
30. *Задвернюк В.М., Михневич В.В., Смирнов Р.В.* Солнечная активность и погода, климат на Земле. – М.: Гидрометеоздат. – 1987. – 12 с.
31. *Закс Л.* Статистическое оценивание. – М.: Статистика. – 1976. – 599 с.
32. *Казанский А.Б.* Возможный подход к прогнозу возрастания уровня Каспийского моря // ДАН. – 1994. – Т. 338. – № 4. – С. 531 – 533.
33. *Калинин Г.П., Смирнова К.И., Шереметьевская О.И.* Воднобалансовые расчеты будущих уровней Каспийского моря // Метеорология и гидрология. – 1968. – № 9. – С. 45 – 52.
34. *Калинин Г.П.* Проблемы глобальной гидрологии. – Л.: Гидрометеоздат. – 1968. – 348 с.
35. Каталог индексов солнечной и геомагнитной активности. – Обнинск: ВНИГМИ МЦД. – 1979. – 202 с.
36. Каталог уровенных наблюдений гидрометеорологических станций и постов, расположенных на Каспийском море. – М.: Гидрометеоздат. – 1964. – 164 с.
37. *Кац А.Л.* Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. – Л.: Гидрометеоздат. – 1960. – 270 с.
38. *Ким И.С., Никулина С.П.* Изменения уровня Каспийского моря и атмосферная циркуляция // Метеорология и гидрология. – 1994. – № 7. – С. 76 – 81.
39. *Клиге Р.К.* Изменения глобального водообмена. – М.: Наука. – 1985. – 248 с.
40. *Клиге Р.К.* Прогнозные оценки изменения уровня Каспийского моря // Мелиорация и водное хозяйство. – 1994. – № 1. – С. 10 – 11.
41. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI веков. – Л.: Гидрометеоздат. – 1991. – 199 с.
42. *Клименко Л.В.* Об изменении климата в центре Русской равнины // Вестник МУ. Сер. 5. – 1995. – № 6. – С. 75 – 78.

43. Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М. Влияние изменчивости гравитационного поля Солнечной системы на климат Земли // Изв. ВГО. – 1991. – Т. 123. – Вып. 4. – С. 328 – 338.
44. Кондратович К.В. Антропогенные, геофизические и космические факторы изменения циркуляционных эпох и уровня Каспия // Водные ресурсы. – 1994. – Т. 21. – № 6. – С. 623 – 630.
45. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А. Солнечная активность и климат. 1. Конденсационная и озонная гипотезы // Исследования Земли из космоса. – 1995. – № 5. – С. 3 – 17.
46. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А. Солнечная активность и климат. 2. Прямое воздействие изменений внеатмосферного спектрального распределения солнечной радиации // Исследование Земли из космоса. – 1995. – № 6. – С. 3 – 17.
47. Косарев А.И., Макарова Р.Е. Об изменениях уровня Каспийского моря и возможностях их прогнозирования // Вестник МГУ. Сер. 5. – 1988. – № 1. – С. 21 – 26.
48. Крицкий С.Н., Коренистов Д.В., Раткович Д.Я. Колебания уровня Каспийского моря. – М.: Наука. – 1975. – 160 с.
49. Кудиярова С.Г., Кривоулицкий А.А., Тарасенко Д.А., Фомина Н.Н. Термодинамический режим средней атмосферы и его связь с геофизическими процессами. – М.: Гидрометеиздат. – 1988. – 13 с.
50. Куликов К.А. Вращение Земли. – М.: Наука. – 1960. – 160 с.
51. Лиценберг Д.А. Новые подходы к оценке эндодинамики Каспийского региона и вопросы ее мониторинга // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1994. – № 2. – С. 16 – 36.
52. Лобанов В.В. Влияние изменения испарения с поверхности Каспийского моря на его будущий уровень // Метеорология и гидрология. – 1990. – № 3. – С. 72 – 78.
53. Магомедов К.М. Научные основы прогноза уровня Каспия // Мелиорация и водное хозяйство. – 1994. – № 1. – С. 13.
54. Маев Е.Г. Колебания уровня Каспийского моря: роль геологических факторов // Вестник МГУ. Сер. 5. – 1993. – № 4. – С. 49 – 56.
55. Максимов И.В., Саруханян Э.И., Смирнов Н.П. Океан и космос. – Л.: Гидрометеиздат. – 1970. – 215 с.
56. Малинин В.Н. Влагообмен в системе океан – атмосфера. – СПб.: Гидрометеиздат. – 1994. – 160 с.
57. Мелиорация и водное хозяйство. – 1994. – № 1. – С. 3 – 41.
58. Мещерская А.В., Александрова И.А., Голод М.П. Температурно-влажностный режим на водосборах Волги и Урала и оценка его влияния на изменение уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1994. – № 4. – С. 463 – 470.
59. Михеев Н.Н. Проблемы водного хозяйства России и пути их решения // Мелиорация и водное хозяйство. – 1994. – № 3. – С. 8 – 10.
60. Молоденский М.М., Филиппов Б.П. Магнитные поля активных областей Солнца. – М.: Наука. – 1992. – 150 с.
61. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие // Бюллетень 1986, 1987. – М.: Обнинск. – 1988. – 85 с.
62. Нелезин А.Д. Изменчивость положения фронта Куроиси в 1965 – 1991 гг. // Океанология. – 1993. – Т. 33. – № 4. – С. 495 – 500.
63. Пуждина М.А. Колебания уровня Каспийского моря в квазидвухлетнем и 11-летнем циклах солнечной активности // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – С. 496 – 500.

64. Орлов А.Я. Избранные труды. Т. II. – Киев: Изд. АН УССР. – 1961. – 320 с.
65. Панин Г.Н. Испарение и теплообмен Каспийского моря. – М.: Наука. – 1987. – 87 с.
66. Панин Г.Н., Дзюба А.В., Осипов А.Г. О возможных причинах изменения испарения за последние десятилетия в районе Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1991. – № 3. – С. 5 – 17.
67. Понько В.А. Геокосмические связи как основа для долгосрочного прогнозирования // Научно-техн. бюлл. / Сиб. НИИ земледелия и химизации с. х. – 1991. – № 5. – С. 19 – 32.
68. Потайчук М.С. Многолетние изменения гидрометеорологического режима Каспийского моря // Труды ГОИН. – 1975. – Вып. 125. – С. 95 – 125.
69. Привальский В.Е. Оптимальная модель экстраполяции колебаний уровня замкнутых водоемов // Водные ресурсы. – 1973. – № 5. – С. 17 – 28.
70. Пространственно-временные колебания стока рек СССР. Ред. А.В. Рождественский. – Л.: Гидрометеиздат. – 1988. – 376 с.
71. Разработка модели многолетних колебаний гидрометеорологических процессов в бассейне Каспийского моря и уровня моря для совершенствования рыбопромысловых прогнозов. – РГГМИ. Научно-техн. отчет заключ. Ч. II. № ГР 0187. 0072248. 1992. – 70 с. Отв. исполнитель Н.Н. Соловьева
72. Раткович Д.Я., Жданова И.С., Привальский В.Е. К проблеме уровня режима Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1973. – № 3. – С. 45 – 69.
73. Раткович Д.Я. О предсказуемости уровня бессточных водоемов применительно к проблеме Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1986. – № 5. – С. 3 – 237.
74. Ремизова С.С., Мягков М.С. О проблеме долгосрочного прогнозирования уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1995. – Т. 22. – № 3. – С. 336 – 342.
75. Родионов С.Н. Современные изменения климата Каспийского моря. – М.: Гидрометеиздат. – 1989. – 124 с.
76. Родионов С.Н. Климатический анализ необычайного подъема Каспийского моря в последние годы // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1989. – № 2. – С. 73 – 81.
77. Родионов С.Н. Долговременные тенденции в изменении уровня Каспийского моря // Рыбное х-во (Москва). – 1989. – № 6. – С. 35 – 39.
78. Рождественский А.В., Сахарнюк А.В. Обобщение критериев однородности во времени Стюдента и Фишера на случай коррелированных во времени и пространстве гидрологических характеристик // Труды ГГИ. – 1981. – Вып. 282. – С. 72 – 77.
79. Романчук П.Р. Солнечная активность и уровень Каспийского моря // Вестник Киевского ун-та. Астрономия. – 1985. – № 27. – С. 23 – 26.
80. Рычагов Г.Г., Лукьянова С.А., Варущенко А.Н., Никифоров Л.Г. Прогноз уровня Каспийского моря на основе палеогеографических реконструкций // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. – 1994. – № 3. – С. 71 – 75.
81. Сарахунян Э.И., Смирнов Н.П. Многолетние колебания стока Волги. – Л.: Гидрометеиздат. – 1971. – 287 с.
82. Сидоренков Н.С. Неравномерность вращения Земли и процессы в атмосфере // Труды ГМЦ СССР. – 1978. – Вып. 205. – С. 48 – 66.

83. Сидоренков Н.С., Свиренко Н.И., Шаповалова Н.С. Некоторые результаты использования данных о неравномерности вращения Земли для изучения атмосферных процессов // Труды ГМЦ СССР. – 1984. – Вып. 230. – С. 87 – 97.
84. Смирнов Н.П., Складенко В.Л. Методы многомерного статистического анализа в гидрологических исследованиях. – Л.: Изд. ЛГУ. – 1986. – 192 с.
85. Смирнова К.И. Водный баланс и долгосрочные прогнозы уровня Каспийского моря // Труды ГМЦ СССР. – 1972. – Вып. 94. – 123 с.
86. Современный и перспективный водный и солевой баланс южных морей // Труды ГМЦ СССР. – 1972. – Вып. 108. – С. 78 – 166.
87. Соловьева Н.Н. Многолетние колебания стока Волги и уровня Каспийского моря и их прогнозирование // Материалы Всесоюзного совещания по проблеме Каспийского моря, 3 – 5 июня 1991 г. в г. Гурьеве. – Управление охраны Казгидромета. – 1991. – С. 49 – 50.
88. Соловьева Н.Н. Сверхсрочные прогнозы стока Волги и уровня Каспийского моря // Межведомственный сборник. – СПб. – 1994. – Вып. 116. – С. 154 – 163.
89. Соловьева Н.Н., Минаева Г.Н. Влияние перекрытия плотиной стока в залив Кара-Богаз-Гол на уровни Каспийского моря. Деп. ИЦВНИ ГМИ-МЦД № 1180 – гм 95. – Обнинск. – 1995. – 14 с.
90. Соловьева Н.Н., Зив А.Д., Кротова И.А. К анализу стационарности рядов годового стока рек // Тезисы докладов на международном симпозиуме «Расчеты речного стока», 30 X-3 XI 1995 г. – СПб. – 1995. – С. 72 – 73.
91. Соловьева Н.Н. Прогнозы многолетних колебаний стока Волги и уровня Каспийского моря. – Деп. в ВИНТИ 29.04.1997. – № 1456-B97. – 270 с.
92. Соскин М.И. Многолетние колебания гидрологических характеристик Балтийского, Баренцева и Каспийского морей // Труды оксаногр. комиссии. – Изд. АН СССР. – 1960. – Т. VII. – С. 3 – 32.
93. Строительные нормы и правила. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНИП 2.01.14–83. – М.: Госстрой СССР. – 1985. – 36 с.
94. Суетнов В.В., Каспаров С.А., Сутоев А.С. Уровенный режим Каспийского моря как показатель геодинамической активности Каспийской морфоструктуры // Симпозиум КАПГ по изучению современного движения земной коры. Дог. 5 – 11 декабря 1988. Тезисы докладов. – Воронеж. – 1988. – С. 234 – 235.
95. ТЭД «Каспий». Основные положения. Роскомвод. М.: Минэкология РФ. – 1992. – 52 с.
96. Федоров Е.П. и др. Движение полюса Земли с 1890 по 1969. – Киев: Наукова Думка. – 1972. – 264 с.
97. Фролов А.В. Влияние автокоррелированности речного притока и видимого испарения на уровенный режим озера // Метеорология и гидрология. – 1989. – № 4. – С. 94 – 101.
98. Фролов А.В. Инженерные аспекты проблемы уровенного режима Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1994. – № 4. – С. 425.
99. Шевнин А.Д. Долговременные вариации солнечной и магнитной активности и уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1994. – № 4. – С. 405 – 409.
100. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоздат. 1991. – 238 с.

101. *Шереметьевская О.И., Лунякова Л.Г.* Опыт обеспечения народного хозяйства долгосрочными прогнозами уровня Каспийского моря // Труды ГМЦ СССР. – 1985. – Вып. 270. – С. 37 – 42.
102. *Шикломанов И.А.* Гидрологические аспекты проблемы Каспийского моря. – Л.: Гидрометеониздат. – 1976. – 80 с.
103. *Шикломанов И.А.* Антропогенные изменения водности рек. – Л.: Гидрометеониздат. – 1979. – 302 с.
104. *Шлямин Б.А.* Сверхдолгосрочный прогноз уровня Каспийского моря // Изв. ВГО. – 1962. – Вып. 1. – С. 26 – 32.
105. *Эйгенсон М.С.* Солнце, погода и климат. – Л.: Гидрометеониздат. – 1963. – 275 с.
106. *Эйгенсон М.С.* Будущее Каспийского моря // Проблемы Каспийского моря. Всесоюзное совещание по проблеме Каспийского моря. – Баку. – 1963. – С. 24 – 28.
107. Электромагнитные поля и волны в геосфере // Сб. научных трудов. – Владивосток: Изд. ДВГУ. – 1994. – 121 с.
108. *Янес А.В.* Межгодовая изменчивость термохалинного состояния вод Фареро-Шетландского пролива и водообмен через него // В кн.: Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне. – Л.: Гидрометеониздат. – 1989. – С. 100 – 107.
109. *Гетман И.Ф.* Об ожидаемом уровне Каспийского моря в первой половине XXI века на основе анализа вековых циклов солнечной активности // Метеорология и гидрология. – 1997. – №12. – С.101–106.
110. *Фролов А.В.* Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: Теория и приложения. – М.: ГЕОС. – 2003. – 173 с.

Научное издание

Нина Николаевна Соловьева

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ
ОТ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Монография

Редакторы: Максимова И.Г.
Ковель Л.В.

ЛР № 020309 от 30.12.96.

Подписано в печать 08.06.04. Формат 60х90 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ.л. 4,7. Уч.-изд.л. 5,3. Тираж 200 экз. Заказ № 22
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «Лека», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 68.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.	3
Введение.	4
1. Обзор прогнозов и расчетов уровня Каспийского моря.	7
1.1. Особенности методов и результаты климатических прогнозов уровня моря, опубликованных до конца 70-х годов.	7
1.2. Результаты вероятностных расчетов уровня моря, опубликованных в 70 – 80-е годы.	11
1.3. Результаты прогнозов и расчетов уровня Каспийского моря, выполненных в 80 – 90-е годы.	12
2. Методика обработки многолетних геофизических рядов.	16
2.1. Определение динамических норм процессов.	17
2.2. Выделение тенденций.	18
3. Некоторые гелиогеофизические связи. Особенности многолетних колебаний гидрологических процессов по физико-географическим регионам. . .	20
3.1. Связи между солнечной активностью и геофизическими процессами глобального масштаба.	20
3.2. Зависимость атмосферной циркуляции Евразийского региона от солнечной активности.	23
3.3. Зависимость стока Волги и уровня Каспийского моря от атмосферной циркуляции.	25
3.4. Тенденции в колебаниях гидрологических процессов регионов бассейна Каспийского моря.	29
4. Моделирование многолетних колебаний стока Волги у Волгограда по связям с характеристиками чисел Вольфа.	36
4.1. Методика моделирования.	36
4.2. Поверочные прогнозы стока Волги у Волгограда за 1879 – 1992 гг. по данным о числах Вольфа за 1828 – 1945 гг.	40
5. Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря по характеристикам чисел Вольфа.	43
5.1. Методика моделирования.	43
5.2. Поверочные прогнозы тенденций уровня моря за 1900 – 1991 гг. по данным о числах Вольфа за 1847 – 1947 гг.	45
6. Прогноз водности рек бассейна Волги и колебаний уровня Каспийского моря на период конец XX – середина XXI веков.	47
6.1. Нестационарность многолетних гидрологических рядов.	47
6.2. Рекомендации по определению статистических оценок годового стока рек бассейна Волги и уровня Каспийского моря на перспективу пяти-шести десятилетий.	50
6.3. Прогнозы стока Волги у Волгограда и тенденции изменения уровня Каспийского моря на период конец XX – середина XXI в.	51
Заключение.	57
Литература.	62

CONTENTS

Foreword	3
Introduction	4
1. An overview of forecasts and calculations of the Caspian Sea level	7
1.1. Features of the methods and results of the climatic forecasts for the sea level published before the 70s.	7
1.2. Results of the probability sea-level calculations published in the 70s-80s ..	11
1.3. Results of the forecasts and Caspian Sea sea-level calculations performed in the 80s-90s	12
2. The methodology of processing long-term geophysical series	16
2.1. Determination of the dynamic standards for the processes	17
2.2. Identification of trends	18
3. Certain helio-geophysical relations. Features of multiyear oscillations of hydrological processes in physico-geographical regions.	20
3.1. Relationships between helio- and geophysical processes on the global scale	20
3.2. Dependence of the atmospheric circulation over the Eurasian Region on solar activity	23
3.3. Dependence of the Volga runoff and the Caspian Sea level on atmospheric circulation	25
3.4. Trends in the oscillations in hydrological processes in the regions of the Caspian Sea basin	29
4. Modelling of the multiyear Volga-runoff oscillations at Volgograd as related to the characteristics of the Wolf numbers.	36
4.1. Methods of modelling.	36
4.2. Verification forecasts for the Volga runoff at Volgograd over 1872-1992 based on the data on the Wolf numbers over 1828- 1945	40
5. Modelling of the multiyear Caspian Sea level oscillations based on the characteristics of the Wolf numbers.	43
5.1. Methods of modelling.	43
5.2. Verification forecasts for the sea-level trends over 1900-1991 based on the data on the Wolf numbers over 1847-1947.	45
6. Forecast for water discharge of the Volga-basin rivers for the period of the late 20 th - mid-21 st centuries.	47
6.1. The non-stationary feature of long-term hydrological series.	47
6.2. Recommendations on statistical estimations of annual runoff of the Volga-basin rivers and the Caspian Sea level for a 5-6 decade perspective ..	50
6.3. Forecasts for the Volga runoff at Volgograd and trends in changing Caspian Sea level for the period of the late 20 th – mid-21 st centuries	51
Conclusions.	57
References.	62*