

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ И СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ И УРОВНЯ ВОДЫ В РЕКЕ ВОЛГА ПО ДАННЫМ АЛЬТИМЕТРИИ СПУТНИКОВ TOPEX/POSEIDON И JASON-1

С.А. Лебедев^{1,2}

¹Геофизический центр РАН,
ГСП-1, 119991, Москва, ул. Молодежная, 3;
E-mails: lebedev@wdcb.ru;

²Государственный океанографический институт,
119034, Москва, Кропоткинский пер., 6.

Для исследования изменчивость уровня Каспийского моря проводился анализ вариаций высоты водной поверхности в точках пересечения восходящих и нисходящих треков для акватории моря, рассчитанные по данным альтиметрических измерений спутников TOPEX/Poseidon (Т/Р) и Jason-1 за интервал с октября 1992 г. по июнь 2004 г. Результаты показали, что с октября 1992 г. по март 1995 г. уровень Каспийского моря рос со скоростью 20.4 см/год. После августа 1995 г. уровень стал падать (с ноября 1995 г. по сентябрь 1996 г. -23.1 см/год, с октября 1997 г. по июнь 1998 г. - 5.3 см/год, а с декабря 1998 г. по апрель 2001 г. - 9.1 см/год. В период с декабря 2002 г. по сентябрь 2003 г. уровень моря оставался стабильным. Начиная с декабря 2002 г. и по настоящее время, уровень моря повышается со средней скоростью 13.7 см/год. Сравнение с данными уровнемерных постов за этот же временной интервал показал хорошее совпадение результатов полученных по спутниковым данным и данных натурных измерений (коэффициент корреляции в среднем составил более 0.9). Изменчивость уровня воды в реке Волга оценивался по изменениям высоты водной поверхности в точке пересечения 235-го восходящего трека и русла реки. Полученные результаты сравнивались с данными близлежащих гидропостов и расходом воды в створе Волгоградской ГЭС (коэффициент корреляции для среднемесячных величин составил 0.71 и 0.83 для среднегодовых значений).

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется комплексному изучению Каспийского моря. И связано это не только с интенсивным развитием добычи нефти, но и с продолжающимися значительными межгодовыми колебаниями уровня Каспия [1-2]. Самый низкий уровень наблюдался в 1977 году и составил -29 м в Балтийской системе высот относительно нуля Кронштадтского футштока. Затем к 1995 году уровень вырос почти на 2.5 м до отметки -26.62 м. Начиная с 1996 года, уровень моря стал медленно снижаться [3-8].

Однако за последние 15 лет значительно уменьшился объем регулярных гидрологических работ в море, а также объем информации с метеостанций и постов Гидрометслужбы [9]. Сеть станций и уровнемерных постов на Каспии стремительно сокращается (1960 г. – 79 постов, 1972 г. – 51, 1992 г. – 36), а после распада СССР затруднен и обмен данными между государствами Каспийского региона. В настоящее время на российском побережье Каспия работают только три уровнемерных поста, а всего на Каспии их 7-8 [3, 9]. Кроме того, уровнемерные посты производят измерения вблизи береговой линии, с разной точностью, временным разрешением и в отсутствии единой высотной привязки. В большинстве случаев существенное влияние на данные измерений оказывают особенности рельефа суши, так и очертания берега. Согласно последним GPS (Глобальная система позиционирования) измерениям, многие уровнемерные посты (не исключение и Каспийское море) имеют вертикальное смещение. Так, например, скорость вертикального перемещения нулей водомерных реек для некоторых уровнемерных постов составила: -0.14 см/год для Махачкалы, -0.09 см/год – Форт-Шевченко, -1.10 см/год – Баку и -0.01 см/год – Туркменбаши (Красноводск) [6]. Это, в первую очередь, связано с движением земной коры и вносит значительную ошибку в межгодовую изменчивость уровня моря.

В сложившейся ситуации организация спутникового мониторинга уровня Каспийского моря становится все более актуальной задачей [7-8, 10]. Использование спутниковой альтиметрии способно не только восполнить потерю традиционной информации, но и исследовать изменчивость уровня Каспийского моря на всей его акватории [3-5, 7-8]. Данный метод измерения высоты морской поверхности относительно центра масс Земли позволяет исключить вертикальное движение земной коры из межгодового хода изменения уровня. Пространственно-временные масштабы данных спутниковой альтиметрии позволяют исследовать сезонную и многолетнюю изменчивость уровня как Мирового океана [11], так и отдельных морей [3-5, 12-16] и озер [16-22].

Как показал опыт исследований последних лет, данные спутниковой альтиметрии оказались полезными при мониторинге изменений уровня крупных рек Южной Америки, Африки и Сибири [8, 23-29] в

труднодоступных районах исследований, малочисленности или отсутствия гидропостов, или запаздывания передачи данных в центр обработки. Более того, гидрологическая информация, полученная по данным дистанционного зондирования с борта спутников, позволяет провести независимые экспертные оценки.

Учитывая важную роль реки Волга (около 80% от суммарного речного стока [1-2]) в водном балансе Каспийского моря, а, следовательно, и в изменении его уровня, были проведены исследования изменчивости уровня реки по данным спутниковой альтиметрии.

Полученные результаты расчетов изменчивости уровня Каспийского моря и реки Волга показали не только репрезентативность использования спутниковой альтиметрии в решении этих задачи, но и ее перспективность.

Используемые данные

В настоящее время регулярные альтиметрические измерения выполняются спутниками Т/Р, GFO, Jason-1 и ENVISAT [8]. Для анализа межгодовой и сезонной изменчивости уровня Каспия реки Волга наиболее репрезентативными являются данные спутников Т/Р и Jason-1. Точность измерения высоты спутника над морской поверхностью для этих программы составляет 1.7 см [30], а расчет самой высоты моря относительно отсчетного эллипсоида – 4.2 см и является наилучшей по сравнению с другими программами альтиметрических измерений [31]. Расположение четырех восходящих и четырех нисходящих треков (внутри каждого 10-суточного изомаршрутного цикла) по акватории Каспийского моря наиболее оптимально (рис. 1), что позволяет анализировать изменчивость уровня вдоль треков с пространственным осреднением 5-6 км. Временной масштаб повторения измерений вдоль трека 9.916 суток (т.е. примерно 3 раза в месяц или 6 раз в месяц в точках пересечения треков) наиболее приемлем для исследования синоптической и сезонной изменчивости уровня Каспийского моря и реки Волга. Данные Т/Р представляют собой непрерывный и наиболее длинный по времени ряд измерений (с сентября 1992 г. по август 2002 г.) с возможностью его продления данными спутника Jason-1 (с января 2002 г. по настоящее время), расположение треков которого полностью совпадает с расположением треков спутника Т/Р до совершения последним маневра коррекции орбиты 19 августа 2002 г.

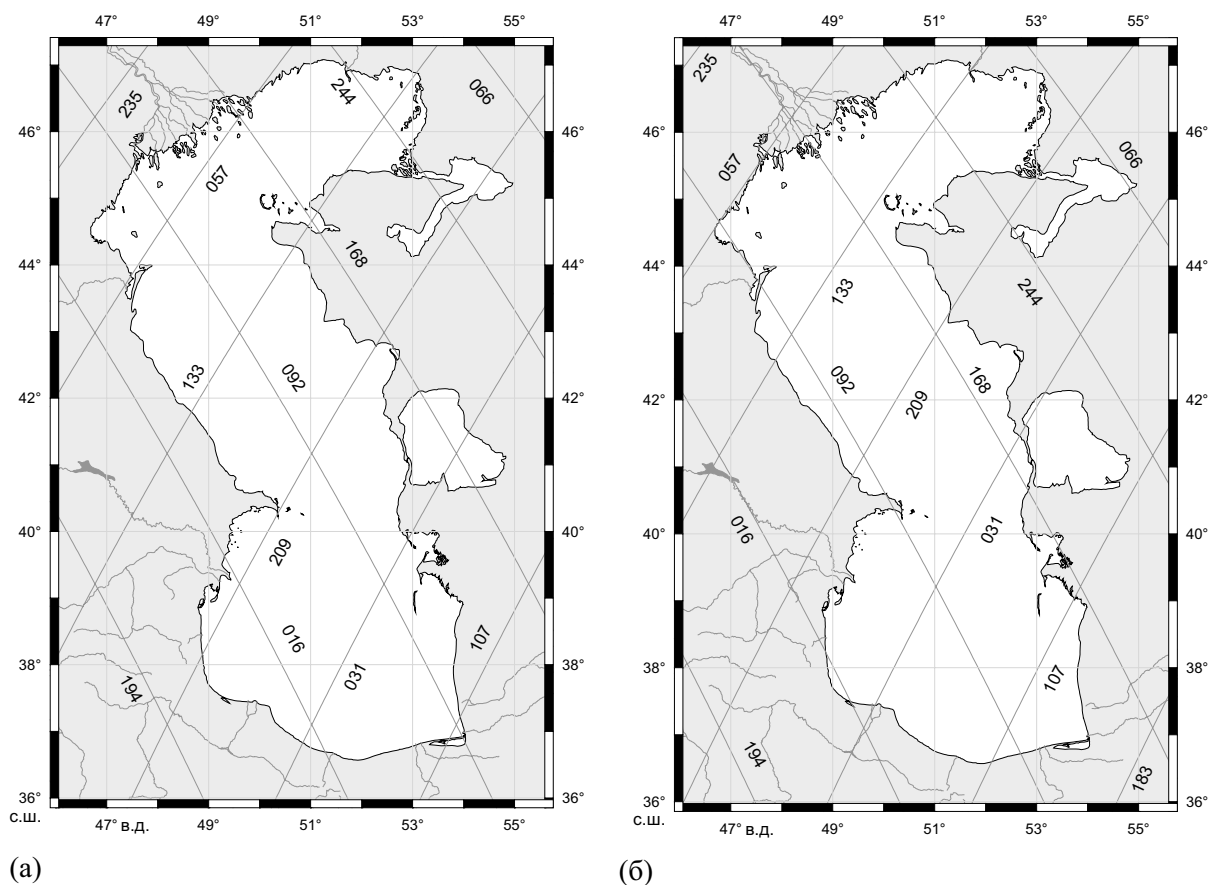


Рис. 1. Положение треков спутника Т/Р и Jason -1 на акватории Каспийского моря до (а) и спутника Т/Р после (б) маневра коррекции орбиты 19 августа 2002 г. Восходящий трек соответствует нечетному номеру, нисходящий трек – четному. Береговая линия соответствует 1934 году.

Таким образом, для работы были использованы два ряда временных измерений: объединенные данные спутников Т/Р и Jason-1 (сентябрь 1992 г. – июнь 2004 г.) и данные спутника Т/Р (сентябрь 2002 г. –

июнь 2004 г.). Данные спутников T/P и Jason-1 получены из Интегрированной базы данных спутниковой альтиметрии (ИБДСА) Геофизического центра РАН [8, 32-33], которые формировались на основе исходных данных PODAAC JPL NASA (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center, Jet Propulsion Laboratory, National Aeronautics and Space Administration, USA) [34-35] и AVISO (Archivage, Validation et Interpretation des données des Satellites Océanographiques, France) [35-36].

Для сравнения полученных результатов использовались данные натуральных измерений на 8-ми уронемерных постах на Каспийском море и на 3-х гидропостах на реке Волга, предоставленные Государственным океанографическим институтом (ГОИН).

Методика анализа

Существует несколько методик анализу изменений уровня морей и озер по данным спутниковой альтиметрии. Первая из них была реализована в работах [3-4]. Согласно ей, анализ изменений уровня Каспийского моря основывался на исследовании изменчивости аномалий уровня, рассчитанных по данным спутниковой альтиметрии и осредненных вдоль одного трека или за полный изомаршрутный цикл. Как показано в работе [8], данный этот метод содержит ряд ошибок.

Во-первых, для Каспийского моря учет поправки на высоты морских приливов не требуется, так как море можно считать не приливным, потому что высота прилива не превышает 12 см на побережье и 2 см в открытом море [1-2]. Более того, используемая в работе [3-5], приливная поправка рассчитывалась по глобальной модели приливов Техасского университета (США) [37]. Как было показано в работах [7-8, 13], глобальные модели приливов в окраинных и внутренних морях дают существенную ошибку по сравнению с региональными моделями. А в случае для Каспийского моря не существует ни глобальной, ни региональной модели приливов.

Во-вторых, для внутренних морей поле средних высот морской поверхности (СВМП) [38] сильно зависит от использованных при построении данных, т.е. от временного интервала осреднения [8]. Особенно это актуально для Каспийского моря, амплитуда межгодовых изменений которого с 1985 года (начало первой полномасштабной программы альтиметрических измерений с запуском спутника GEOSAT) по настоящее время составила около 2 м.

Использование в работе [4] собственной СВМП, рассчитанной за период с января 1993 г. по декабрь 1995 г., все равно привносит в расчеты ошибку. Несмотря на то, что уровень Каспийского моря в этот временной интервал рос, сам выбор интервала неудачен, так как сезонный минимум уровня чаще всего наблюдается в декабре–феврале, а максимум июне–июле [1-2].

По данным основных уронемерных постов в Махачкале, Баку, Форт-Шевченко и Туркменбаши (Красноводск) гидрологический режим Каспийского моря в 1994-1995 годах несколько отличался от средноклиматического [8]. Так в 1994 году в районе поста Махачкала традиционного зимнего минимума не наблюдалось, а наоборот, был максимум, а минимум в уровне на посту Баку наблюдался на месяц позднее, чем на постах Форт-Шевченко и Туркменбаши. В 1995 году на посту Махачкала помимо летнего максимума наблюдалось еще два локальных подъема в марте и декабре. Это подтверждает вывод о том, что пространственно-временные сезонные изменения уровня для различных акваторий Каспия сильно различаются друг от друга.

Средние величины уровня для каждого поста за период с января 1993 по декабрь 1995 года соответственно составили: Махачкала – -26.67 м, Баку – -26.74 м, Форт-Шевченко – -26.82 м, Туркменбаши – -26.84 м, а для моря в целом он составил -26.76 м [8]. Таким образом, поле СВМП, рассчитанное в работе [4], содержит ошибку, величина которой может составлять от 2 до 9 см.

Другим источником ошибок, как уже отмечалось в работе [7-8], в расчете поля СВМП является наличие зимой льда в северной части Каспийского моря. При условии значительных сезонных колебаний (для Каспийского моря в среднем они составляют около 30 см [1-2]) фактор льда оказывается существенным [7-8].

Особо следует отметить, что данные спутниковой альтиметрии [34-35], используемые в работах [3-5], содержат ошибку в расчете «сухой» тропосферной поправки и, соответственно, поправки обратного барометра. По сравнению с поправкой на «сухую» тропосферу из базы данных [34-35], пересчитанная по данным проекта NCEP/NCAR «Reanalysis» [39-40] поправка отличается в среднем на 0.7 см, хотя в конце 1992 года эта разница составила около 1.3 см [7-8].

В данной работе предлагается новый метод, согласно которому исследование изменчивости уровня проводится на основании временной изменчивости высоты морской поверхности в точках пересечения восходящего и нисходящего треков (рис. 1) (нумерация точек пересечения соответствует восходящий трек – нисходящий трек) со сглаживанием полученного временного ряда методом медиан с «окном» 15 суток. Такой подход позволяет избежать ошибок, получающихся при расчетах СВМП, а также исследовать различия в гидрологическом и гидродинамическом режимах различных частей акватории Каспийского моря.

Как и в задаче исследования временной изменчивости уровня самого Каспийского моря изменчивость уровня реки Волга проводилось по данным о высоте водной поверхности в точке пересечения 235-го трека (рис. 1а) и русла реки. Методика анализа временной изменчивости высоты водной поверхности оставалась прежней. Учитывались все необходимые поправки за исключением поправки обратного барометра, применение которой в задаче устойчивого градиентного течения неприемлемо. Единственным отличием от предыдущей задачи было то, что в данном случае расчеты проводились по альтиметрическим данным с периодом осреднения зондирующего импульса 0.1 с [8]. Это позволило более точно учесть пространственное расположение измерений со спутника и сократить площадь осреднения альтиметрической информации с 5-6 до 1 км [8], что сопоставимо с шириной русла реки Волга в районе гидропоста Сероглазовка, расположенного в 1-2 км от точки пересечения трека и русла.

Результаты и их обсуждение

Первые исследования изменчивости уровня Каспийского моря с использованием данных альтиметрических измерений спутника Т/Р за период с сентября 1992 года (с момента запуска спутника) по август 1996 года [3-4] показали устойчивый рост уровня до июля 1995 года со средней скоростью 19 см/год, а затем – начавшееся снижение уровня примерно с такой же скоростью – 20-25 см/год. Васильев и др. [5] проследили этот тренд до июня 2000 года

Согласно расчетам, проведенным по предлагаемой методике, тенденция роста уровня Каспийского моря, установившаяся с конца 1970-х годов, сохранилась до середины 1995 года. В этот период скорость подъема уровня для моря в целом составляла 20.4 см/год. Различие в величинах скорости для каждой части моря составило около 1.7 см/год. В дальнейшем уровень моря стал падать до зимы 2001-2002 гг. Скорость падения в различные интервалы времени составила: -23.1 см/год с июля 1995 г. по сентябрь 1996 г., -5.3 см/год с апреля 1997 г. по май 1999 г., -9.91 см/год с сентября 1999 г. по июнь 2001 г. Затем наступил непродолжительный период стабилизации с июня по ноябрь 2001 г. Начиная с декабря 2001 г., после достижения сезонного минимума в межгодовой изменчивости, и до настоящего времени уровень Каспийского моря растет со скоростью около 13.7 см/год. Тенденция подъема уровня зафиксирована по всем точкам пересечения треков, включая точки пересечения спутника Т/Р после совершения маневра.

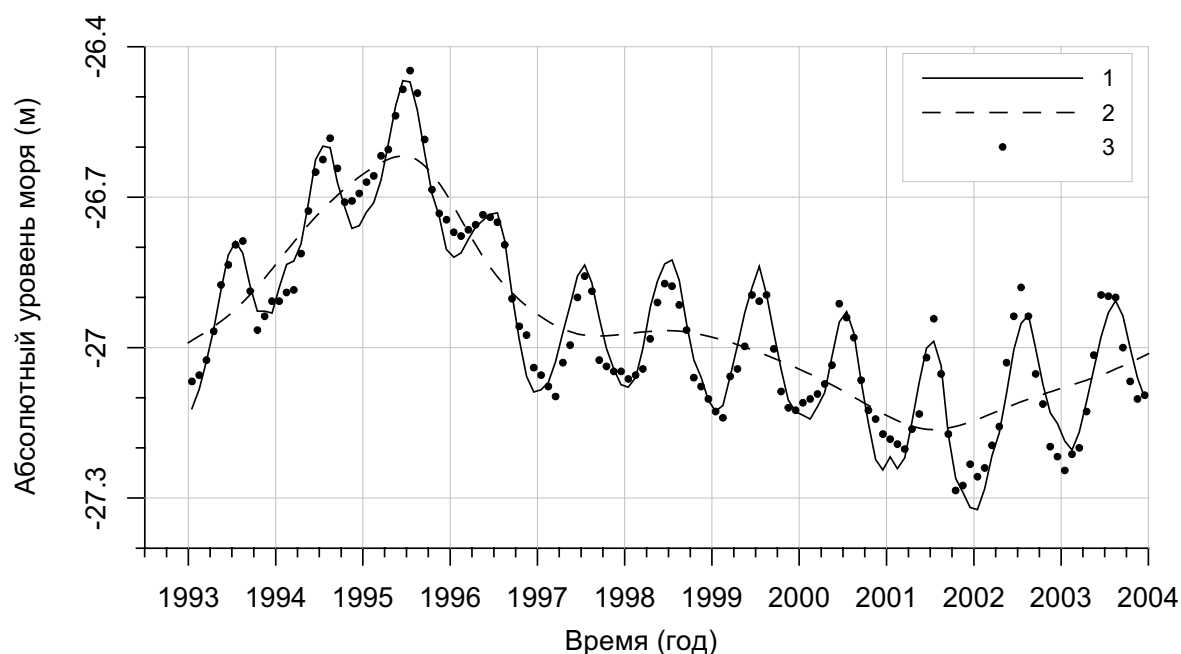


Рис. 2. Изменчивость абсолютного уровня Каспийского моря (м) за период с января 1993 г. по декабрь 2003 г. по данным альтиметрических измерений спутников Т/Р и Jason-1 и данным уровнемерных постов: (1) – сезонная и (2) – межгодовая изменчивость по данным спутниковой альтиметрии. Маркерами (3) отмечены среднемесячные значения уровня моря по данным постов.

Таблица 1. Скорость изменения уровня (см/год) в разных частях Каспийского моря с сентября 1992 г. по июнь 2004 г. по данным спутников Т/Р и Jason-1.

Временной интервал	Скорость изменения уровня (см/год)		
	Северный Каспий	Средний Каспий	Южный Каспий
октябрь 1992 г. – март 1995 г.	18.8±1.8	22.2±1.7	20.4±2.4
ноябрь 1995 г. – сентябрь 1996 г.	-24.2±2.0	-17.4±2.4	-26.1±2.1
октябрь 1997 г. – июнь 1998 г.	-2.5±1.0	-6.9±2.0	-6.3±2.1
декабрь 1998 г. – апрель 2001 г.	-7.9±1.3	-6.7±1.6	-12.5±1.8
декабрь 2002 г. – июнь 2004 г.	11.9±2.4	11.8±1.7	17.5±2.9

Этот факт подтверждают и данные уровнемерных постов (рис. 2). Величины скорости изменения уровня в различных частях моря представлены в таблице 1.

В работе [5] приведены результаты сравнения среднемесячных уровней моря, вычисленных по четырем уровнемерным постам в Баку, Махачкале, Форт-Шевченко и Куули-маяк, и по альтиметрическим измерениям, проводимым вблизи данных постов за период 1995-1996 гг.. Важно отметить, что коэффициенты корреляции оказались достаточно высокими – 0,81-0,95, несмотря на столь короткий временной интервал по сравнению с временным рядом альтиметрических измерений спутника Т/Р.

Так как в данной работе временной интервал исследований значительно шире (сентябрь 1992 г. – июнь 2004 г.) и расчеты по данным спутниковой альтиметрии проводились в точках пересечения, которые значительно удалены от основных уровнемерных постов (рис. 1), то была поставлена задача – проанализировать, насколько расчеты по альтиметрическим данным соответствуют данным уровнемерных постов. Для этого было выбрано 8 уровнемерных постов и 7 точек пересечения треков. Результаты расчетов представлены в таблице 2. и на рис. 2.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции среднемесячных данных уровнемерных постов и среднемесячной изменчивости высоты морской поверхности в точках пересечения треков по альтиметрическим данным спутников Т/Р и Jason-1.

Уровнемерные посты	Точки пересечения треков							Море (по альт.)
	Северный Каспий		Средний Каспий		Южный Каспий			
	057-092	133-244	133-092	209-092	209-016	031-092	031-016	
Форт Шевченко	0.876	0.859	0.923	0.931	0.918	0.931	0.892	0.938
Махачкала	0.899	0.739	0.862	0.853	0.901	0.883	0.874	0.906
О. Жилой	0.876	0.863	0.948	0.942	0.932	0.931	0.901	0.950
Нефтяные Камни	0.876	0.876	0.943	0.942	0.941	0.948	0.901	0.953
Баку	0.841	0.889	0.951	0.960	0.913	0.919	0.892	0.941
Куули-Маяк	0.859	0.874	0.952	0.953	0.925	0.954	0.937	0.958
Туркменбаши (Красноводск)	0.861	0.850	0.918	0.933	0.914	0.948	0.908	0.940
Кара-Богаз-Гол	0.880	0.831	0.925	0.932	0.922	0.942	0.912	0.946
Море (по постам)	0.909	0.876	0.963	0.964	0.956	0.966	0.936	0.978

Наименьшее значение 0.739 составляет коэффициент корреляции между среднемесячными данными по посту Махачкала (Средний Каспий) и данными расчетов по альтиметрическим измерениям в точке пересечения 133-244, которая находится в Северном Каспии. Максимальное значение 0.960 достигается в сравнении данных поста Баку и точки пересечения 209-092. Однако для временной изменчивости уровня моря в целом, которая традиционно рассчитывается по данным четырех уровнемерных постов (Махачкала, Баку, Форт-Шевченко и Красноводск), коэффициент корреляции для всех точек пересечения, кроме вышеупомянутой точки 133-244, превышает 0.9. Сравнение изменчивости уровня Каспийского моря в целом, рассчитанное по данным постов и спутниковой альтиметрии (в расчетах были использованы данные во всех точках пересечения, представленных в таблице 2) дало значение коэффициента корреляции 0.978. Это подтверждает, что данные спутниковой альтиметрии по сравнению с данными уровнемерных постов имеют высокую репрезентативность и могут быть использованы не только для научных исследований, но и для инженерных расчетов.

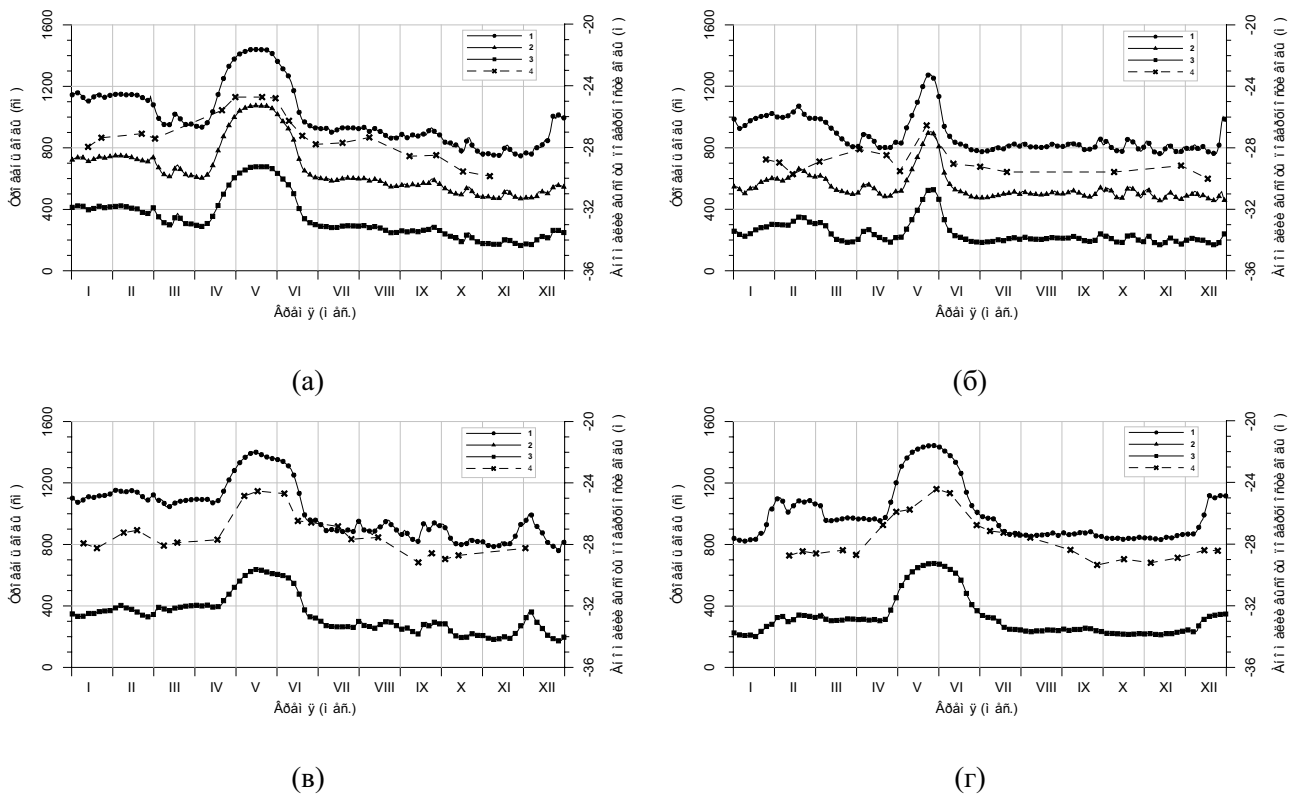


Рис. 3. Временной ход среднесуточных изменений уровня воды на гидропостах Енотаевка (1), Сероглазовка (2), Верхнее Лебяжье (3) и аномалии высоты поверхности воды (4), рассчитанной по данным спутниковой альтиметрии, за период: (а) – 1995 год, (б) – 1996 год, (в) – 1999 год, (г) – 2001 год. Для удобства анализа отметка нуля поста Енотаевка была приподнята на 7 м, поста Сероглазовка на 3 м и поста Верхнее Лебяжье понижена на 1 м. К высоты геоида (-7.05 м), относительно которой рассчитывались данные аномалий высот прибавлен 1 м.

Качественное сравнение полученных результатов расчетов уровня воды в реке Волга со среднесуточными данными об уровне на гидропостах Енотаевка, Сероглазовка и Верхнее Лебяжье за период с 1993 г. по 2002 г. (для каждого года в отдельности), показало хорошее соответствие данных дистанционного зондирования и натурных измерений. Так максимумы половодья 1995 и 2001 годов (рис. 3а, 3г) и минимум 1996 года (рис. 3б) хорошо прослеживается в результатах обработки данных спутниковой альтиметрии. В 1999 году (рис. 3в) хорошо видна полка максимальных расходов, которая в этом сезоне по данным гидропостов составила почти 30 дней, тогда как оценка этой величины по данным спутниковой альтиметрии не превышает 20 дней.

Это также подтверждает, что данные спутниковой альтиметрии в полном объеме описывают все особенности гидрологического режима реки Волга в районе поста Сероглазовка. Очень жаль, что с марта 1998 года данные об уровне с этого поста отсутствуют, однако, спутниковая информация могла бы с успехом ее дополнить.

Результатов расчета средней за год высоты водной поверхности реки Волга по данным спутниковой альтиметрии в точке пересечения 235-го трека и русла реки представлены на рис. 4. Они сравнивались с данными близлежащих гидропостов и расходом воды в створе Волгоградской ГЭС (коэффициент корреляции для среднемесячных величин составил 0.71 и 0.83 для среднегодовых значений). Понижение высоты водной поверхности в 1994–1996 годах соответствует снижению стока реки Волга, что подтверждается данными измерений. Небольшой рост высоты водной поверхности с 1996 по 1998 год и дальнейшее стабилизация до 2001 года подтверждаются данными среднегодового расхода воды в створе Волгоградской ГЭС и данными об уровне на гидропостах. Единственное отличие спутниковой информации от данных натурных измерений – отсутствие минимума в 2000 году. Это связано с тем, что в этом году по сравнению с другими самое минимальное число альтиметрических измерений в период весенний и летне-осенней межени.

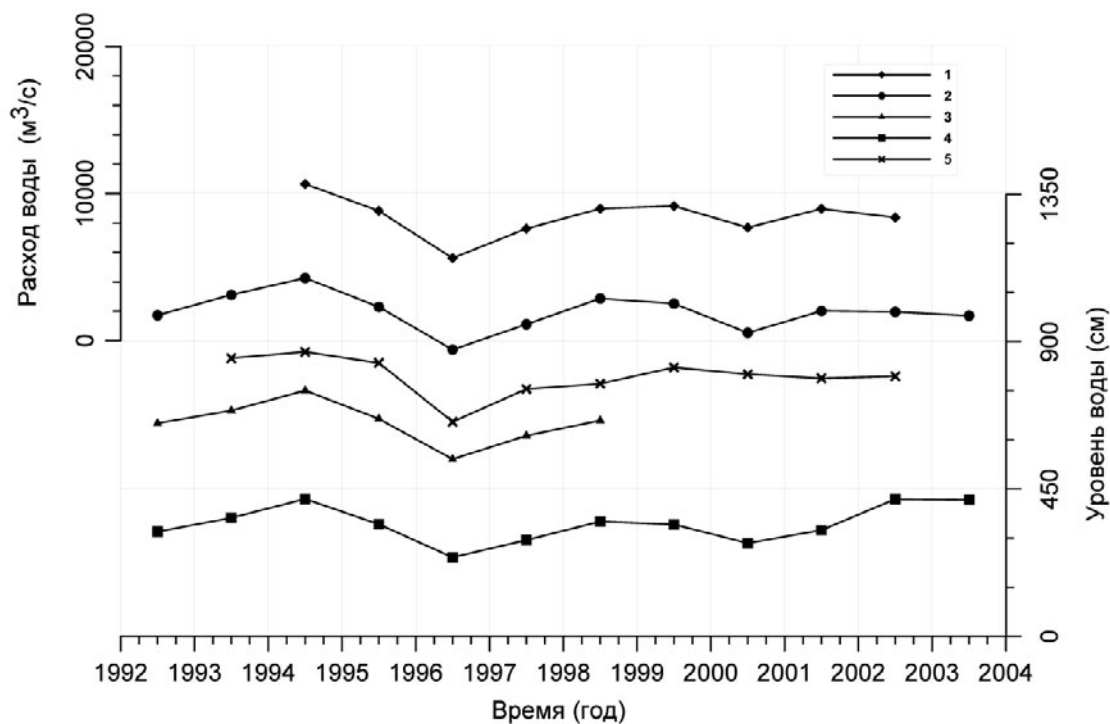


Рис. 4. Межгодовой ход среднегодового расхода воды в створе Волгоградской ГЭС (1), уровня воды на гидропостах Енотаевка (2), Сероглазовка (3) Верхнее Лебяжье (4) и высоты волной поверхности (5), рассчитанной по данным спутниковой альтиметрии, за период январь 1992 г. – декабрь 2003 г.. Для удобства анализа отметка нуля поста Енотаевка была приподнята на 7 м, поста Сероглазовка на 3 м и поста Верхнее Лебяжье понижена на 1 м. Данные спутниковой альтиметрии пересчитывались относительно высоты -28.95 м.

Заключение

Проведенный корреляционный анализ подтверждает, что предлагаемая методика обработки данных спутниковой альтиметрии для анализа изменчивости уровня Каспийского моря и в реке Волга является наиболее оптимальной. Полученные результаты по своей точности не уступают традиционным на основе данных уровнемерных и гидро- постов.

Высокая эффективность метода спутниковой альтиметрии для мониторинга уровня и динамики вод замкнутых морей, озер и рек, в частности, Каспийского моря и реки Волга, с высоким пространственным и временным разрешением подтверждена результатами отечественных и зарубежных исследований. Дальнейший непрерывный мониторинг уровня Каспийского моря и реки Волги в квазиреальном времени в различных точках акватории по данным спутниковой альтиметрии позволит выявить роль стока рек, осадков, испарения, а также термического режима моря в изменчивости уровня и водного баланса и, тем самым, ограничить эффекты естественного изменения климата и антропогенного воздействия. Он позволит проследить, насколько тенденция к новому повышению уровня является устойчивой, что чрезвычайно важно для проектирования, строительства и эксплуатации промышленных гидротехнических объектов на акватории и берегах Каспийского моря, и обеспечения экологической безопасности хозяйственной деятельности на Каспии.

Работа выполнена при поддержке ФЦНТП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» Минобрнауки РФ, а также грантов РФФИ № 03-05-96630 и № 03-07-90174. Автор выражает благодарность [С.В. Победоносцеву] (ГОИН) за предоставленные данные по уровнемерным постам В.Ф. Полонскому и Л.П. Остроумовой (ГОИН) за предоставленные данные по гидропостам.

Литература

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Проект «Моря». Том VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. / Под ред. Ф.С. Терзиева, А.Н. Косарева и А.А. Керимова. // С.-Пб.: Гидрометеоздат. 1992. 359 с.
2. Kosarev A.N., Yablonskaya E.A. The Caspian Sea. Academic Publishing. // The Hague. 1994. 259 pp.

3. *Tatevyan S.K.* Космические технологии для контроля изменений уровня Каспийского моря. // Вестник Каспия. 1997. № 3. С.21–23.
4. *Cazenave A., Bonnefond P., Dominh K., Schaeffer P.* Caspian sea level from Topex/Poseidon altimetry: Level now falling. // *Geophys. Res. Letters*. 1997. V. 24. № 8. P. 881–884.
5. *Васильев А.С., Лапушин В.Б., Луначев Ю.В., Медведев П.П., Победоносцев С.В.* Исследование уровня Каспийского моря по спутниковым альтиметрическим измерениям. // Труды ГОИН. 2002. Вып. 208. С. 277–292.
6. *Фролов А.В.* Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения. // М.: ГЕОС. 2003. 174 с.
7. *Лебедев С.А., Костяной А.Г.* Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. // Вестник Каспия. 2004. № 3. С. 82–101.
8. *Лебедев С.А., Костяной А.Г.* Спутниковая альтиметрия Каспийского моря. // М.: Издательский центр Международного института океана. 2005. 352 с. (в печати)
9. *Бедрицкий А.И., Ходкин С.С., Максимов А.А.* Основные принципы обеспечения хозяйственной и природоохранной деятельности в Каспийском регионе данными и информацией о погодно-климатических и гидрометеорологических условиях и загрязнении природной среды Каспийского моря // Вестник Каспия. 2001. № 5. С. 96–115.
10. *Костяной А.Г., Лобковский Л.И.* Спутниковый мониторинг Каспийского моря. // Вестник Каспия. 2003. № 6. С.56–65.
11. *Nerem R.S., Mitchum G.T.* Sea Level Change. // In: *Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications* (Eds. L.L. Fu and A. Cazenave). Academic Press. San Diego. 2001. P. 329–350.
12. *Larnicol G., Le Traon P.-Y., Ayoub N., De Mey P.* Mean sea level and surface circulation variability of the Mediterranean Sea from 2 years of TOPEX/Poseidon altimetry. // *J. Geophys. Res.* 1995. V. 100. №C12. P. 25163–25177.
13. *Lebedev S.A., Zilberstein O.I., Popov S.K., Tikhonova O.V.* Analysis of temporal sea level variation in the Barents and the White Seas from altimetry, tide gauges and hydrodynamic simulation. // In: *International Workshop on Satellite Altimetry* (Eds. C. Hwang, C.K. Shum, J.C. Li). IAG Symposia. V. 126. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. 2003. P. 243–250.
14. *Лебедев С.А., Тихонова О.В.* Применение спутниковой альтиметрии при исследовании уровня юго-восточной части Баренцева моря. // VI Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований». Москва, 15–17 ноября 2000 г. Материалы конференции. М.: ИО РАН. 2000. Часть 2. С. 58–64.
15. *Fenoglio-Marc L.* Analysis and representation of regional sea-level variability from altimetry and atmospheric-oceanic data. // *Geophys. J. Int.* 2001. V. 145. № 1. P. 1–18.
16. *Kostianoy A.G., Zavialov P.O., Lebedev S.A.* What do we know about dead, dying and endangered lakes and seas? // In: *Dying and Dead Seas Climatic Versus Anthropic Causes* (Eds. J.C.J. Nihoul, P.O. Zavialov, P.P. Micklin). NATO Science Series. Series IV: Earth and Environmental Science. V. 36. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht. 2004. P. 1–48.
17. *Morris G.S., Gill S.K.* Variation of Great Lakes water levels derived from GEOSAT altimetry. // *Water Resources Res.* 1994a. V. 30. № 4. P. 1009–1017.
18. *Morris G.S., Gill S.K.* Evaluation of the TOPEX/Poseidon altimeter system over the Great Lakes. // *J. Geophys. Res.* 1994b. V. 99. № C12. P. 24527–24540.
19. *Birkett C.M.* The contribution of TOPEX/Poseidon to the global monitoring of climatically sensitive lakes. // *J. Geophys. Res.* 1995. V.100. № C12. P. 25179–25204.
20. *Birkett C.M., Murtugudde R., Allan T.* Indian Ocean climate event brings floods to East Africa's lakes and the Sudd Marsh. // *Geophys. Res. Letters*. 1999. № 26. P. 1031–1034.
21. *Birkett C.M.* Synergistic remote sensing of Lake Chad: variability of basin inundation. // *Remote Sens. Environ.* 2000. V. 72, № 2. P. 218–236.
22. *Mercier F., Cazenave A., Maheu C.* Interannual lake level fluctuations (1993–1999) in Africa from TOPEX/Poseidon: connections with ocean-atmosphere interactions over the Indian Ocean. // *Global and Planetary Changes*. 2002. № 32. P. 141–163.
23. *Koblinsky C.J., Clarke R.T., Brenner A.C., Frey H.* Measurement of river level variations with satellite altimetry. // *Water Resources Research*. 1993. V. 29. № 6. P. 1839–1848.
24. *Birkett C.M.* Contribution of the Topex NASA radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands. // *Water Resour. Res.* 1998. V. 34. № 5. P. 1223–1239.
25. *Benveniste J., Berry P.* Monitoring River and Lake Levels from Space. // *ESA Bulletin*. 2004. № 117. P. 36–42.
26. *Campos I.O., Mercier F., Maheu C., Cochenneau G., Kosuth P., Blitzkow D., Cazenave A.* Temporal variations of river basin waters from Topex/Poseidon satellite altimetry. Application to the Amazon basin. // *Earth and Planetary Sciences*, 2001, V. 333. № 10. P. 633–643.
27. *Birkett C.M., Mertes L.A.K., Dunne T., Costa M.H., Jasinski M.J.* Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry. // *J. Geophys. Res.* 2002. V. 107. № D20. 8059, doi:10.1029/2001JD000609.
28. *Kouraev A.V., Zakharova E.A., Samain O., Mognard N.M., Cazenave A.* Ob' river discharge from TOPEX/Poseidon satellite altimetry (1992–2002). // *Remote Sensing of Environment*. 2004c. Vol. 93. P. 238–245.
29. *Maheu C., Cazenave A., Mechoso C.R.* Water level fluctuations in the Plata Basin (South America) from Topex/Poseidon Satellite Altimetry. // *Geophys. Res. Letters*. 2003. V. 30. № 3. P. 1143–1146.
30. *Fu L.-L., Pihos G.* Determining the response of sea level to atmospheric pressure forcing using TOPEX/Poseidon data. // *J. Geophys. Res.* 1994. V. 99. № C12. P. 24633–24642.
31. *Chelton D.B., Ries J.C., Haines B.J., Fu L.-L., Callahan P.S.* Satellite Altimetry. // In: *Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications*. (Eds. L.-L. Fu and A. Cazenave). Academic Press. 2001. P. 1–131.
32. *Лебедев С.А., Медведев П.П.* Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии. // VI Международная научно-техническая конференция «Современные методы и средства океанологических исследований», 15–17 ноября 2000, Москва. Материалы конференции. М.: ИО РАН. 2000. Часть 2. С. 52–57.

33. *Лебедев С.А., Медведев П.П.* Интегрированная база данных спутниковой альтиметрии как инструмент океанографических исследований. // Научная конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах – участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии, 23 – 26 апреля 2002, Санкт-Петербург. Тезисы докладов. Секция 2. Гидрологические и океанографические наблюдения, оценка и прогноз гидрологических и океанографических условий. СПб.: Гидрометеоздат. 2000. С. 184-186.
34. *Benada J.R.* PODAAC Merged GDR (TOPEX/POSEIDON) Generation B User's Handbook. Version 2.0. JPL D-11007. 1997. 131 pp.
35. *Picot N., Case K., Desai S., Vincent P.* AVISO and PODAAC User Handbook. IGDR and GDR Jason Products. SMM-MU-M5-OP-13184-CN (AVISO). JPL D-21352 (PODAAC). 2003. Edition 2.0. 107 pp.
36. *AVISO/Altimetry.* User Handbook. Merged TOPEX/POSEIDON Products. AVISO. Toulouse. AVI-NT-02-101-CN. Edition 3.0. 1996. 201 pp.
37. *Eanes R.J., Bettadpur S.V.* The CSR 3.0 Global Ocean Tide Model. Center for Space Research. Technical Memorandum CSR-TM-95-06. Austin: Univ. of Texas. 1995.
38. *Tapley B.D., Kim M.-C.* Applications to Geodesy. // In: Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications (Eds. L.L. Fu and A. Cazenave). Academic Press. San Diego. 2001. P. 371-406.
39. *Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D.* The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. // Bulletin of the American Meteorological Society. 1996. V.77. № 3. P. 437-471.
40. *Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., Fiorino M.* The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. // Bulletin of the American Meteorological Society. 2001. V.82. № 2. P. 247-267.