

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ГИДРОЛОГИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ДИСТАНЦИОННЫМ И КОНТАКТНЫМ МЕТОДАМИ

Р.М.Мамедов, Р.Г.Гардашов

*Институт Географии им. акад. Г.А.Алиева НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 31
ramiz.mamedov@geo.ab.az*

В статье приводится критический анализ измерений гидрологических характеристик Каспийского моря традиционными контактными методами, указываются их преимущества и недостатки. Для исследования течений и циркуляции вод Каспийского моря впервые применены дрейферы. С целью изучения колебаний уровня моря использованы спутники, оснащенные альтиметрами. Проведены также GPS-измерения на треках спутников. Установлена согласуемость полученных данных. Для измерения давления, температуры и электропроводности была установлена стационарная станция на дне моря. Вышеуказанные параметры были обработаны с помощью статистического и спектрального анализов и позволяют следить за изменением уровня моря.

Введение и постановка задачи

Краткая история исследований. С уверенностью можно сказать, что в прошлые времена исследование и изучение гидрологии Каспийского моря не оставались без внимания ученых океанологов. Первые профессиональные исследования гидрологических особенностей Каспийского моря, можно сказать, начались в начале XX века с экспедиций Книповича (Книпович, 1921), получившего первые такие данные и даже составившего первую схему течений Каспийского моря. В советский период исследование Каспия проводилось почти всеми прибрежными советскими республиками, особенно Азербайджанской и РСФСР. Большой вклад в это дело внесла гидрометеорологическая служба прибрежных государств, особенно Азербайджанский Гидрометеорологический комитет, который в советский период был ответственным за общий мониторинг Каспийского моря, в том числе гидрометеорологический и экологический.

Эти исследования проводились на научно-исследовательских судах Академии наук, морских платформах, заякоренных буях, прибрежных гидрометеорологических станциях, расположенных по периметру Каспийского моря, и островах моря. В Каспийском море на так называемых «вековых разрезах» по всей акватории моря проводились регулярные измерения почти всех гидрометеорологических

параметров с помощью судов гидрометеорологии и АН Азербайджана. В открытой части Каспийского моря на морской платформе впервые в мире была создана морская обсерватория, где в основном занимались гидрофизикой Каспийского моря и проблемой взаимодействия атмосферы с морем.

В результате всех этих измерений и исследований были установлены закономерности формирования гидрометеорологических полей, особенности их изменчивости, построены карты этих полей, определены масштабы их изменчивости как по времени, так и по пространству. Таким образом, публикаций, посвященных гидрологии и экологии Каспийского моря и опубликованных в разных научных журналах и монографиях, насчитывается несколько тысяч (Гюль и др., 1971; Мамедов, 2007).

Однако, не умаляя достоинств этих исследований, можно сказать, что они не были лишены и недостатков. Карты гидрологических полей строились с помощью экстраполяции или интерполяции полученных значений параметра из одной точки в другую, что не всегда соответствовало действительности. То же самое можно сказать и о временных характеристиках моря.

После распада Советского Союза практически прекратились исследования Каспия. Это было связано прежде всего с экономическими трудностями прибрежных государств, а также другими причинами. Надо отметить,

однако, что все прибрежные государства крайне заинтересованы в углеводородных и биологических ресурсах Каспийского моря. В постсоветский период к проблемам, особенно экологическим, первыми стали проявлять интерес международные организации, и они же создали Каспийскую Экологическую Программу (КЭП). Однако развитие научно-исследовательских технологий продолжалось, и другие моря и океаны исследовались именно с помощью новых технологий.

Одним из основных гидрологических параметров является скорость течения моря, подробное изучение которой позволяет изучить циркуляцию вод моря. Тем самым появляются предпосылки для прогнозирования различных состояний экосистемы в целом. Выполнено много работ, посвященных этой характеристике моря, построены различные схемы циркуляции. Нами еще несколько лет тому назад было сказано (Мамедов, 2007), что все эти схемы течений носят фиктивный характер, они не всегда отражают действительность. Это Эйлеровский подход к изучению течений моря, когда измеряется скорость потока в данной фиксированной точке и потом она экстраполируется на другие участки.

Одним из современных и перспективных методов изучения морских течений и морской циркуляции является применение дрейфтеров, т.е. поплавков нейтральной плавучести. Основу этого метода составляет Лагранжский подход, при котором отслеживается положение поплавка (дрейфтера), связанного с определенным водным объемом на поверхности или на некоторой глубине. Средняя скорость за определенный период определяется как отношение расстояния между двумя положениями дрейфтера в начальный и конечный моменты периода к его величине. Уже более тридцати лет изучается циркуляция вод мирового океана и других морей этим методом. Каспийское море же таким образом еще не исследовалось.

Исследование циркуляции вод Каспийского моря дрейфтерами

Нами в 2007 и 2008 годах в рамках международного проекта «Междисциплинарный анализ экосистемы Каспийского моря» про-

граммы SfP НАТО в Каспийском море для изучения циркуляции вод в периоды зимнего и летнего сезонов были выпущены три дрейфтера. Для осенне-зимнего периода два из них были выпущены в центральной, а третий – в южной частях Каспийского моря. Идентификационные номера буев: 34265, 34266, 34267; номера WMO: 61685, 61686, 61770. Основной целью этих экспериментов, кроме циркуляции моря, было также изучение временно-пространственной изменчивости поверхностной температуры и давления над морем. На рисунке 1а показано движение дрейфтеров, полученных с помощью космической системы ARGOS, за осенне-зимний период.

Как видно из рисунка два дрейфтера в центральной части двигаются в циклоническом направлении. Отметим, что в схемах течений, составленных Н.М. Книповичем (1921) и А.И. Михайлевским (1931), а также нами (2007), тоже получен большой внешний циклонический круговорот вод Среднего Каспия.

Дрейфтер, выпущенный в южной части моря, в своей первой фазе движения также двигается в циклоническом направлении, но это движение происходит вихрями. Однако во второй части своего движения этот дрейфтер меняет свое направление на антициклоническое и далее двигается вдоль южного берега моря.

Два дрейфтера, выпущенных в летний период, строго двигаются в южном направлении и говорить что-то конкретное о циркуляции крайне трудно. К сожалению, один из дрейфтеров, который двигался в северо-западном направлении, за короткий срок достиг берега и прекратил свое движение.

Рисунок 2 демонстрирует изменения в движениях одного из дрейфтеров (№34265), т.е. в скорости течения. Из рисунка видно, что диапазон изменения скорости течения достаточно большой: от 14,5 до 78 см/сек.

На энергетических (рис. 3) спектрах компонента скорости наблюдается пик с периодом 19 часов, что близко к теоретически определенному значению. Максимумы, наблюдаемые на компоненте V_y , в периоды 7-14 дней на компоненте V_x не наблюдаются. Поверхностная температура моря за период 06.10.2006-08.02.2007 падает с 22,4°C до 11,2°C (рис.3).

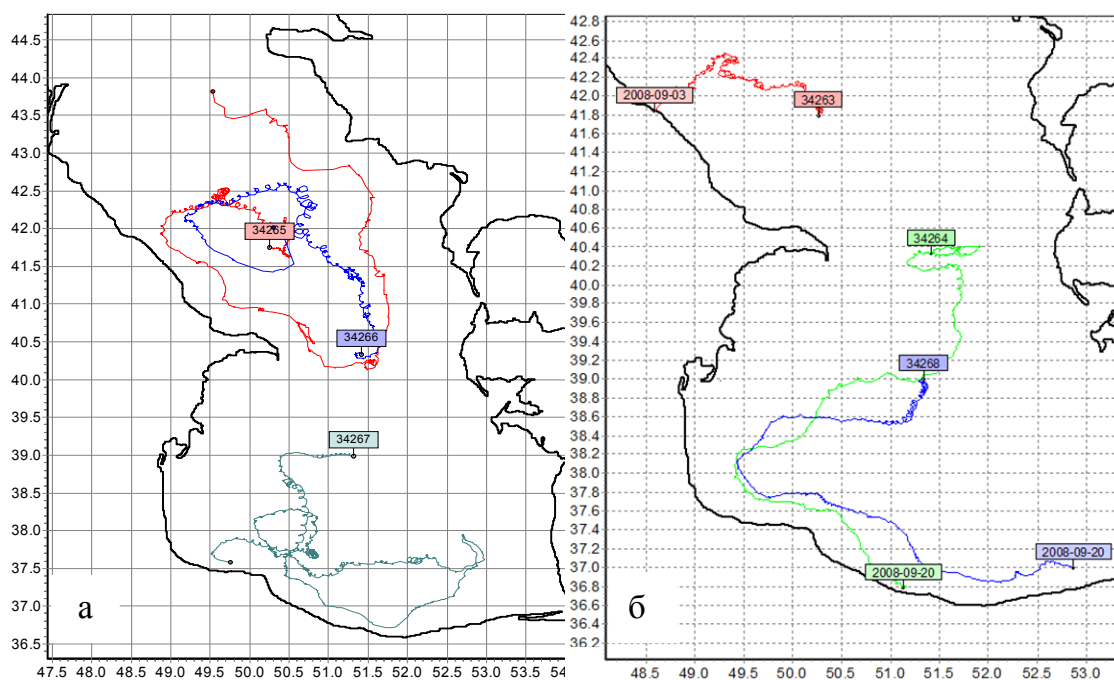


Рис. 1. Движения дрейфтеров на Каспийском море: а) осенне-зимний период, б) летний период. На рисунке также даны идентификационные номера буюв.

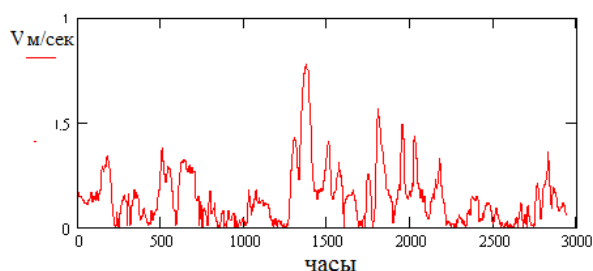


Рис. 2. Изменение скорости течения по времени дрейфтера 34269

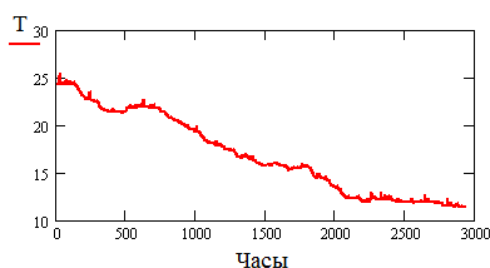


Рис. 3. Температура поверхностного слоя Каспийского моря

Измерение уровня моря дистанционным методом и сравнение с данными in-situ

Все Каспийское море (площадь в настоящее время около 375000 км^2) хорошо охватывается спутниковыми исследованиями. Данные пяти спутников могут быть использованы для изучения колебания уровня Каспийского моря. Спутник TOPEX/Poseidon был запущен 10 августа 1992 года и до сих пор находится на орбите. На спутнике имеются два альтиметра, работающих с эмиттером на двух частотах (13.6 ГГц и 5.3 ГГц) и микроволновым радиометром, работающим на трех частотах (18 ГГц, 21 Гц, и 37 ГГц),

что позволяет измерять температуру поверхности моря. Другая установленная аппаратура применяется для точного определения орбиты спутника. Высота орбиты спутника TOPEX/Poseidon составляет 1336 км, а период вращения – 10 дней с расстоянием от экватора 315 км и наклоном 66° . Данные альтиметра и другая геофизическая информация, а также инструментальные поправки бесплатно распространяются для научного сообщества через два центра данных (AVISO and PO.DAAC).

Спутник Jason был запущен 7 декабря 2001 года с целью продолжения миссии TOPEX/Poseidon. Первые девять месяцев (фа-

зы калибровки) оба спутника с интервалом в две минуты были на одной орбите. С августа 2002 года с целью повышения плотности охвата TOPEX/Poseidon был перемещен на промежуточную орбиту (рис. 4). Орбиты спутников определяются с трех систем позиционирования DORIS, GPS и Спутникового Лазерного Ранжирования (SLR) (Fu and Cazenave, 2001).

Спутник Envisat был запущен 1-го марта 2002 года для мониторинга земной поверхности, ледовой обстановки и океанов, нацелен на изучение окружающей среды и изменение климата. На этом спутнике множество оптических и радарных приборов. Он производит 18 видов измерений в секунду. Период орбиты составляет 35 дней с наклоном 98,5 градусов.

Спутник Geosat Follow-On (GFO) был запущен 10-го февраля 1998 года для непрерывного наблюдения за океаном. Частота его орбиты больше и составляет 17 дней с высотой 800 км и наклоном 108 градусов. Данные этого спутника можно получить через NOAA. Таким образом, Каспийское море полностью покрыто исследованиями вышесказанных спутников, и имеется доступ к их данным (рис. 4).

Для расчета колебаний уровня Каспийского моря должен быть применен мульти-спутниковый метод, т.е. должны использоваться данные разных источников. Однако для определения уровня моря с помощью сети мультиданных первым шагом должна стать оценка отклонений данных, полученных со спутников. Качество и удобство наблюдений, полученных с помощью альтиметров, зависят от качества калибровки датчиков спутника с *in situ* наблюдениями. Известно, что Каспийское море по своему периметру имеет достаточно хорошую сеть наблюдений за уровнем моря (Гидрология и геохимия морей, 1992).

Тем не менее, для точной калибровки данных спутника и пунктов наблюдений за уровнем моря в 2005-2008 годах нами были проведены GPS-измерения геоида на траках спутников в Каспийском море в районе Абшеронского архипелага. Один из маршрутов измерений в море представлен на рисунке 5. Для сравнения спутниковых альтиметрических измерений нами были использованы

данные футштока, который находится на острове Чилов, от которого достаточно близко расположены маршруты измерения.

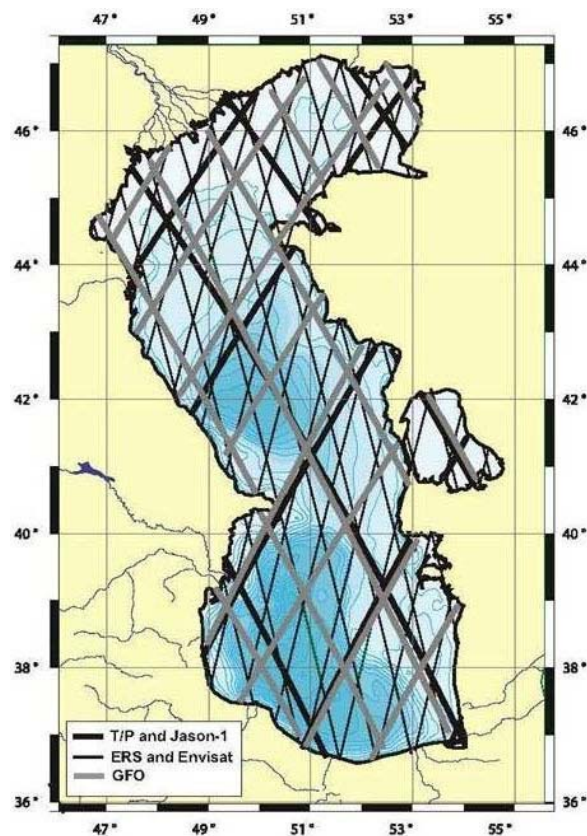


Рис. 4. Покрытие Каспийского моря спутниками: Jason, Topex / Poseidon, GFO и Envisat, ERS

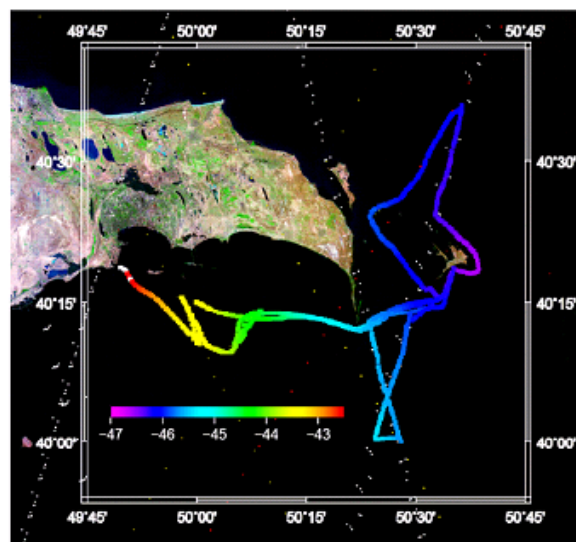


Рис. 5. Один из маршрутов измерения на траках спутников в Каспийском море

Надо отметить, что первые наблюдения уровня Каспийского моря были проведены в 1837 году в г.Баку. Средний уровень моря, осредненный по четырем измерительным пунктам (Баку, Махачкала, порт Шевченко и Красноводск), представлен на рисунке 6.

Средний многолетний уровень моря за 1830-1930 гг. составлял $-25,83$ м БС, или 340 см над нулем Бакинского футштока в высотном положении 1928 г. Значение тренда за этот период составило $-0,34$ м. Средний уровень моря в 1830-1880 гг. и в 1881-1930 гг. практически одинаков; второе пятидесятилетие характеризуется некоторой тенденцией к снижению уровня.

Состояние относительно равновесного положения уровня моря сменилось периодом резкого его падения на 1,9 м в 1930-1941 гг. Падение уровня, хотя и не столь резкое, возобновилось в конце 40-х годов; в 1956 г. он уже составлял на 2,5 м ниже уровня 1929 г. В 60-ые годы отмечалась некоторая стабилизация на отметках около $-28,4$ м, сменившаяся в 1970 г. резким падением, которое в 1977 г. достигло значения -29 м. Общее понижение за весь период систематических наблюдений составило 3,8 м, а за двадцатое столетие – 3,2 м. Снижение уровня происходило с интенсивностью в среднем около 4 см/год, а в 1930-1941 и 1970-1977 гг. интенсивность снижения возросла соответственно до 16 и 14 см/год.

С 1978 г. уровень моря стал резко повышаться и в 1995 г. его среднегодовая отметка поднялась до значения $-26,52$ м. Интенсивность подъема уровня за этот период составила в среднем около 14 см/год, а в отдельные годы достигала и 30 см. За весь период инструментальных наблюдений этот подъем был самым интенсивным и продолжительным. В настоящее время наблюдается относительно стабильный период уровня моря около отметки $-27,0$ (Мамедов 2007).

Начиная с 1993 года, с помощью радарной альтиметрии можно определить средний уровень моря, а также его изменения. Это выгодно в силу некоторых причин. Во-первых, в последнее время футштоковые измерения в периметре Каспийского моря проводятся нерегулярно, а некоторые футштоки перестали действовать. Во-вторых, их качество оставля-

ет желать лучшего, имеются субъективные факторы, которые приводят к систематическим и периодическим погрешностям. Также есть проблема по обмену информацией по данным этих измерений. Поэтому на рисунке 7 мы представляем уровень Каспийского моря до 2010 года, полученный по данным радарной альтиметрии.

Уровень моря представлен по осредненным данным спутников Topex/Poseidon, Jason-1, Envisat и GFO, запущенных ESA, NASA и CNES. Диапазон измерений альтиметров, применяемых для установления уровня моря, начинается от 1гц. Уровень моря был приведен в соответствие с Балтийской Системой. Рисунок 7 показывает, что наблюдаются сезонные и межгодовые изменения уровня моря.

На рисунке 8 сравниваются данные уровня Каспийского моря, полученные с помощью TOPEX/Poseidon альтиметра (серые точки) и in-situ измерений (черные точки). Из рисунка видно, что они хорошо согласуются, в основном один повторяет другой, что говорит о возможности применения альтиметра для изучения колебаний уровня Каспийского моря. Максимум отклонений между этими источниками данных приходится на 1995 год и достигает 7 см. Нам кажется, что причиной этого могут быть погрешности в контактных измерениях, плюс к тому же на этот год приходится максимальный подъем уровня моря. Средняя ошибка альтиметрических измерений составляет 1,5 см/год.

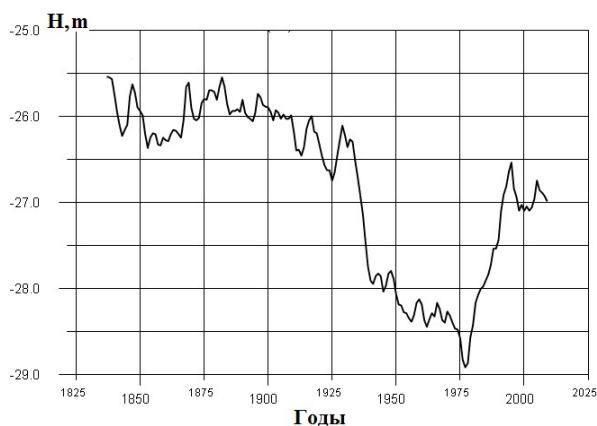


Рис. 6. Колебания среднегодового уровня Каспийского моря в Бакинской бухте

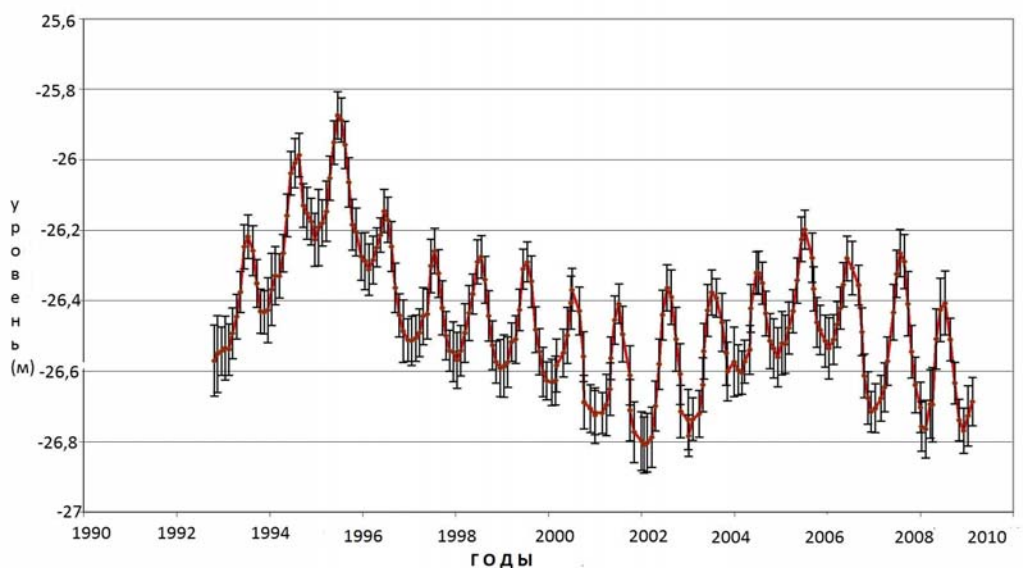


Рис. 7. Уровень Каспийского моря по данным радарной альтиметрии

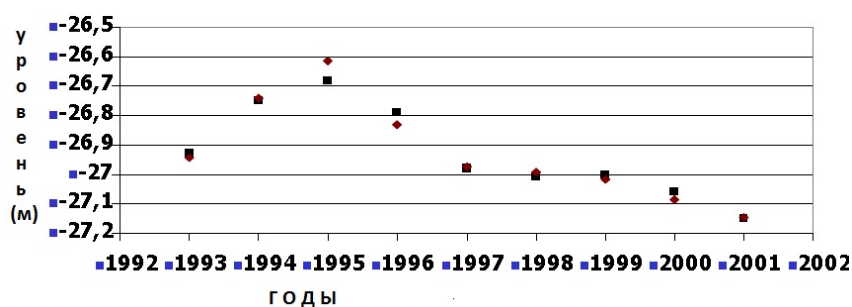


Рис. 8. Сравнение данных уровня Каспийского моря, полученных с помощью альтиметра (серые точки) и *in-situ* измерений (черные точки)

Опытно-экспериментальная станция для измерения уровня моря в Абшеронском порту

Для изучения колебаний уровня моря, а также дальнейшей калибровки данных спутниковой альтиметрии с контактными измерениями нами в рамках проекта ALTCORE INTAS (2007) в июне 2008 года в Абшеронском порту Каспия на дне моря был установлен измеритель уровня моря, состоящий из датчика давления придонного слоя. На станции также проводятся измерения температуры и электропроводности морской воды с интервалом 5 мин. Работа станции автономная, питание осуществляется аккумулятором, установленным внутри датчика на дне моря. Начиная с вышеуказанной даты, до сих пор через давление определяется уровень моря в данной точке. Данные измерений можно ско-

пировать на компьютер в любое время через разъем, выставленный на поверхности.

Станция контактных измерений находится на расстоянии 80 м от береговой линии, датчики электропроводности, температуры и давления установлены на дне моря на глубине (относительно невзволнованной поверхности) 8 м (рис. 9). Район измерения характеризуется умеренным течением и турбулентным перемешиванием, заметным загрязнением нефтепродуктами (в основном в результате операций перекачки нефти с судов) и почти всегда существующим волнением различной силы. Время осреднения измеряемых величин – 40 сек., а временная дискретизация (временной интервал между двумя последовательными отчетами) – 5 мин. Было снято $N=131285$ отчетов по каждому из измеряемых величин: электропроводности, температуре и давлению.

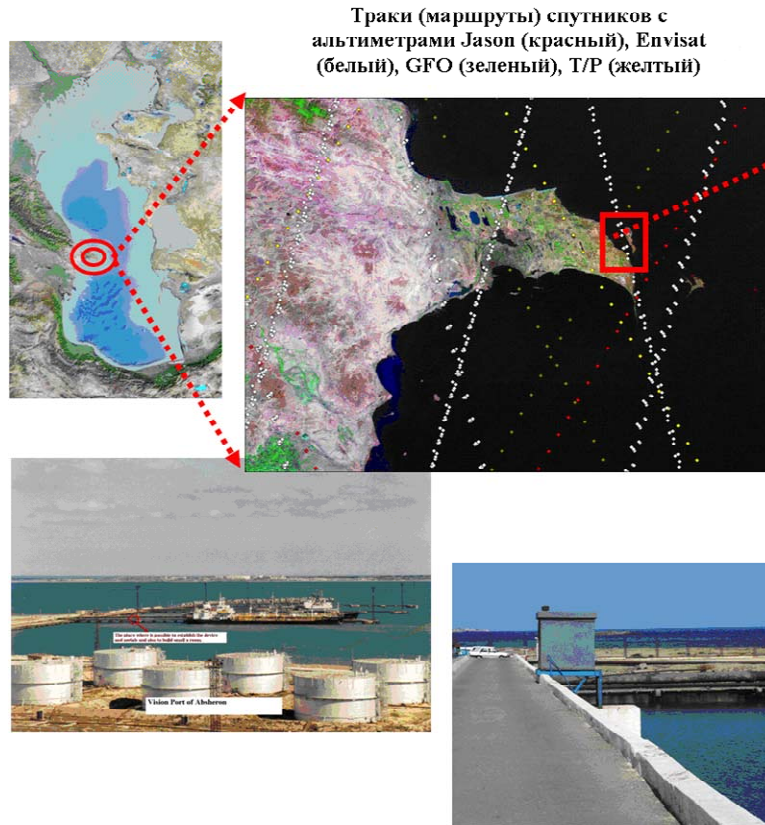


Рис. 9. Опытно-измерительная станция уровня моря, установленная в Абшеронском порту Каспийского моря

Особо отметим, что на месте проведения измерений осуществлялась GPS-нивелировка, а также проводились GPS-измерения с судна в данном районе моря.

Данные измерений и их анализ

Один из примеров регистрации параметров, т.е. зависимости температуры $T = T(t)$ и давления $P = P(t)$ от времени t ,

приведен на рисунке 10. Как видно из этих графиков, прослеживается определенная сезонная изменчивость измеряемых величин, особенно температуры.

Кривая временного ряда атмосферного давления, построенная по измерениям, проведенным за период 17.07.2008-03.03.2009 на острове Пираллахи, расположенном поблизости от установленной станции, представлена на рис. 11.

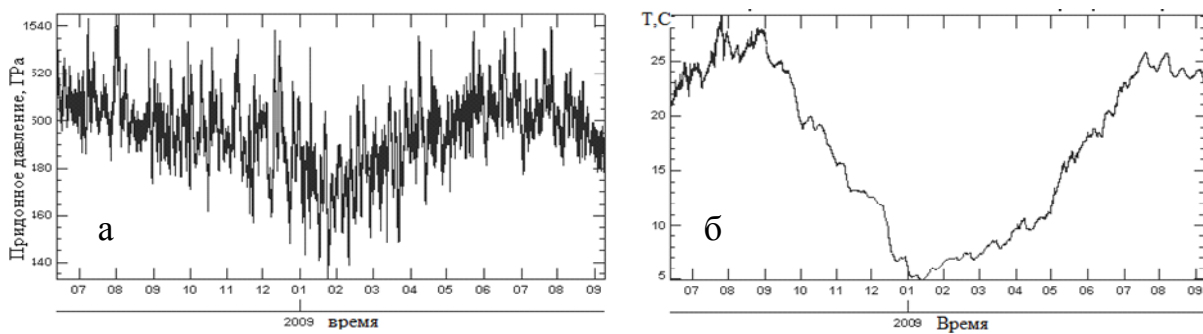


Рис. 10. Изменение придонного давления (а) $P = P(t)$ и температуры (б) $T = T(t)$ от времени t на станции измерения

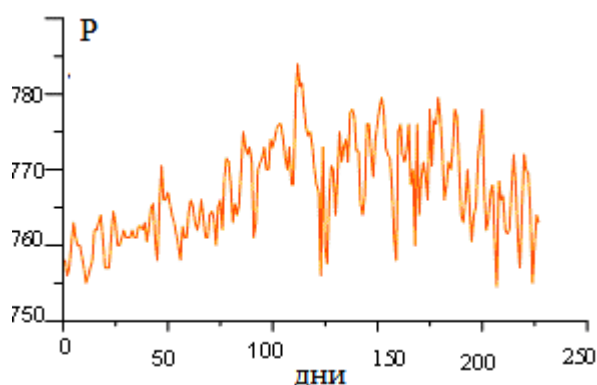


Рис. 11. Атмосферное давление в районе станции

Далее временные ряды электропроводности, температуры и давления с длиной 455 дней и с интервалом дискретизации 5 мин. подвергались спектральному анализу. Отметим, что среднее значение и дисперсия некоторого заданного временного ряда $X_i = X(t_i)$, вычисляются по формулам (Бендат, 1983):

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \text{ и } \sigma_X^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \quad (1)$$

Дисперсия может быть вычислена и через спектр $S_X(\tau)$ этого временного ряда (<http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb/>):

$$\sigma_{X,sp}^2 = \int_0^{\infty} S_X(\tau) d\tau \quad (2)$$

Для временного ряда электропроводности $C_i = C(t_i)$ среднее значение и дисперсия, рассчитанные по формулам (1) и (2), составляют $\bar{C} = 10.79$ (mS/cm), $\sigma_C^2 = 4.06$ (mS/cm)²

и $\sigma_{C,sp}^2 = \int_0^{\infty} S_C(\tau) d\tau = 4.05$ (mS/cm)². Близость

значений σ_C^2 и $\sigma_{C,sp}^2$ указывает на большую точность расчетов спектра электропроводности $S_C(\tau)$. Линейный тренд временного ряда электропроводности за весь период измерений (455 дней) небольшой.

Для временного ряда температуры $T_i = T(t_i)$ среднее значение и дисперсия, рас-

считанные по формулам (1) и (2), составляют $\bar{T} = 16.97$ (C⁰), $\sigma_T^2 = 53.50$ (C⁰)² и

$$\sigma_{T,sp}^2 = \int_0^{\infty} S_T(\tau) d\tau = 53.51 \text{ (C}^0\text{)}^2.$$

Линейный тренд временного ряда температуры тоже мал и выражается уравнением:

$$\hat{T} = 18.862 - 0.0082848 \cdot t \quad (3)$$

В спектре давления наблюдаются заметный максимум при $\tau \approx 38$ min, резкий пик – при $\tau \approx 12$ ч. и слабый – при $\tau \approx 24$ ч. Кроме этого, отмечаются заметные максимумы при $\tau \approx 12-14$ и $\tau \approx 16-18$ суток. Для временного ряда давления $P_i = P(t_i)$ среднее значение и дисперсия, рассчитанные по формулам (1) и (2), составляют $\bar{P} = 14.95$ (dBar), $\sigma_P^2 = 0.02411$

$$\text{(dBar)}^2 \text{ и } \sigma_{P,sp}^2 = \int_0^{\infty} S_P(\tau) d\tau = 0.02410 \text{ (dBar)}^2.$$

Линейный тренд временного ряда давления пренебрежимо мал и выражается уравнением:

$$\hat{P} = 14.961 - 0.000030528 \cdot t \quad (4)$$

Для выявления влияния изменения атмосферного давления P_a на давление в воде P и тем самым на уровень моря L были рассчитаны коэффициенты корреляции: $R_{P_a P}$, $R_{P_a L}$ и R_{PL} соответственно между временными рядами $[P_a(t), P(t)]$; $[P_a(t), L(t)]$; $[P(t), L(t)]$; с суточным и месячным осреднениями. Найденные при этом значения коэффициентов корреляции приведены в таблице.

Осреднение	$R_{P_a P}$	$R_{P_a L}$	R_{PL}
Суточное	-0.029	-0.447	0.568
Месячное	-0.489	-0.883	0.756

Как видно из этой таблицы, суточные колебания атмосферного давления $P_a(t)$ и давления на дне моря $P(t)$ очень слабо скоррелированы ($R_{P_a P} = -0.029$), в то время как между месячными колебаниями имеется заметная корреляция ($R_{P_a P} = -0.489$). По-видимому, это

связано с тем, что такое инерционное тело, как море, не успевает реагировать на короткопериодные (дневные) колебания атмосферного давления; однако оно дает отклик на длиннопериодные (месячные, сезонные) его изменения. Отрицательный знак корреляции указывает на то, что при понижении атмосферного давления P_a , уровень моря, и, соответственно, давление P повышаются, и наоборот. Это можно заметить и на рис. 12 а и 11.

Так как уровень моря $L(t)$ и давление $P(t)$ на дне моря являются пропорциональными величинами, то коэффициент корреляции между ними должен быть очень высокий. Однако по суточным средним значениям величин $L(t)$ и $P(t)$ (рис. 12а и 12б) он оказался равным $R_{PL} = 0.568$. Такое не очень высокое значение R_{PL} можно объяснить двумя причинами. Во-первых, измерения величин $L(t)$ и $P(t)$ проводились в разных точках моря, где локальные морфометрические характеристики и гидрологический режим были разными. Во-вторых, данные об уровне моря $L(t)$, взятые с футштока при почти постоянно существующем волнении, содержат заметные ошибки. По месячным средним значениям величин $L(t)$ и $P(t)$ корреляция оказалась: $R_{PL} = 0.756$. По-видимому, увеличение R_{PL} связано с тем, что при сглаживании уменьшается вклад короткопериодных флуктуаций величин $L(t)$ и $P(t)$, которые содержат некоррелированные ошибки.

В спектре $S_{P_a}(\tau)$ атмосферного давления P_a (рис. 12б) имеются очевидные максимумы при $\tau \approx 12$, $\tau \approx 16$ и $\tau \approx 32$ суток. Сравнивая этот спектр со спектром давления $S_P(\tau)$ (рис. 12), можем утверждать, что колебания во временном ряду $P(t)$ с периодами $\tau \approx 12$, $\tau \approx 16$ суток вызваны синоптической изменчивостью атмосферы.

Отметим, что период инерционных колебаний τ_{in} определяется по формуле

$$\tau_{in} = \frac{\pi}{\omega_E \cdot \sin \varphi}, \quad (6)$$

где, $\omega_E = \frac{2\pi}{\tau_E}$ — угловая скорость вращения Земли ($\tau_E = 24 \text{ hour}$); φ — географическая широта места наблюдения.

Вычисленный по (5) для широты $\varphi = 40^\circ$ период инерционных колебаний составляет $\tau_{in} = 18.6 \text{ hour}$.

В спектре давления $S_P(\tau)$ (рис. 12), в часовом интервале выделяются узкие, сильно и слабо выраженные пики, соответствующие соответственно колебаниям полусуточного $\tau \approx 12.4 \text{ ч.}$ и суточного $\tau \approx 24 \text{ ч.}$ периодам. Как известно, эти колебания сейшевые (Бендат, Пирсол, 1983). Амплитуда полусуточного колебания имеет значение порядка 2 см, а суточного находится на уровне шумов 3 мм.

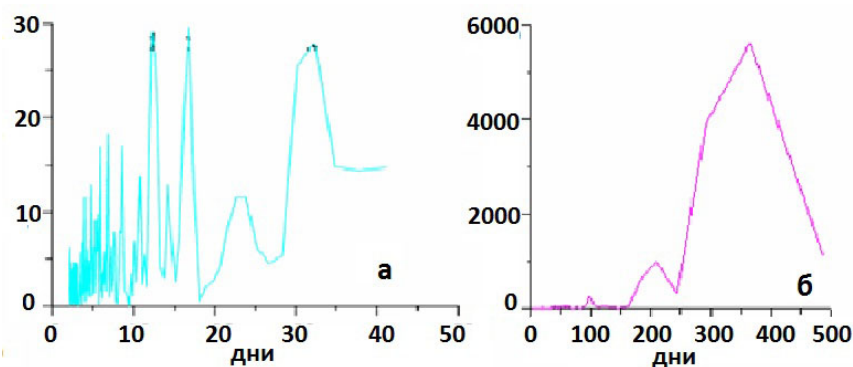


Рис. 12. Спектр а) атмосферного давления $S_{P_a}(\tau)$ ($(\text{mmHg})^2 / \text{day}$) и б) флуктуаций уровня моря $S_L(\tau)$ ($(\text{cm})^2 / \text{day}$)

В спектрах $S_p(\tau)$ и $S_{p_a}(\tau)$ в суточном интервале выделяются пики, соответствующие гармоникам с периодами, близкими к периодам инерционных колебаний $\tau_{in} = 18.6 \text{ hour}$.

В спектре уровня $S_L(\tau)$ имеются явно выраженные гармоники с годовым ($\tau \approx 365$ суток), около полугодовым ($\tau \approx 200$ суток) и сезонным ($\tau \approx 100$ суток) периодами, по-видимому, обусловленными климатическими факторами: годовой изменчивостью притока (в основном с Волги), внутригодовой и сезонной изменчивостью испарения и осадков.

ЛИТЕРАТУРА

- БЕНДАТ, Дж., ПИРСОЛ, А. 1983. Применение корреляционного и спектрального анализа. Мир. Москва. 312.
- ГИДРОЛОГИЯ И ГИДРОХИМИЯ морей. Том IV. Каспийское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. 1992. Санкт-Петербург. Гидрометеоздат. 360.
- ГЮЛЬ, Г.К. 1971. Каспийское море. Реферативный сборник. Гидрометеоздат. Ленинград. 152.
- КАСПИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ Программа (КЭП), www.caspianenvironment.org
- КНИПОВИЧ, Н.М. 1921. Тр. Каспийской экспедиции, 1914-1915 гг. Москва. 943.
- КОСТИАН, А., МАМЕДОВ Р.М., ГИНЗБУРГ, А., ВИГНУДЕЛИ, С., ЛЕБЕДЕВ, С. 2007. ALTICORE – консорциум, обеспечивающий данными по прибрежной альтиметрии Каспийского моря. *Вестник Каспия*, 4, Москва, 65-80.
- МАМЕДОВ, Р.М. 2000. Изменчивость гидрофизических полей и распространение загрязнителей в Каспийском море Эм. Баку. 185.
- МАМЕДОВ, Р.М. 2007. Гидрометеорологическая изменчивость и экогеографические проблемы Каспийского моря. Эм. Баку. 433.
- FU, L.L. and CAZENAVE, A. 2001. Satellite altimetry and Earth science, a hand book of techniques and applications. *International Geophysics Series*, 69, Academic press.
- <http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb/>