

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОСТОЯНИЕ, УСТОЙЧИВОСТЬ И АССИМИЛЯЦИОННУЮ ЕМКОСТЬ БОЛЬШОЙ ЧЕРНОМОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

УДК 551.577

Ю.П.Ильин, В.Г.Симов, Л.Н.Репетин

*Морское отделение Украинского научно-исследовательского
гидрометеорологического института, г.Севастополь*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОНИТОРИНГА ВОДНОГО БАЛАНСА ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

Рассматривается современное состояние воднобалансовых исследований и обсуждаются пути их продолжения с учетом реальных возможностей. Продолжение и уточнение расчетов компонент водного баланса по фактическим данным наблюдений на береговых станциях и в устьях рек возможно только в рамках расширения международного сотрудничества и привлечения данных станций по всему контуру моря. Использование данных только с побережья Украины путем применения различных эмпирических методик лишь частично решает проблему. Мониторинг отдельных компонент водного баланса может быть также продолжен посредством привлечения данных спутниковых радиометрических, альтиметрических и скаттерометрических измерений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *водный баланс, натурные данные, речной сток, осадки, испарение, Черное и Азовское моря.*

Водный баланс (ВБ) является важнейшим комплексным режимообразующим фактором Азовского и Черного морей. Наряду с гео-климатическими условиями он определяет основные особенности гидрологического и гидрохимического режимов морей. Наиболее полно многолетние исследования водного баланса Черного моря и отдельных его составляющих были выполнены Севастопольским отделением ГОИН (с 1992 г. – МО УкрНИГМИ) [1 – 3]. В монографиях [1, 2] представлены результаты расчетов годовых и месячных величин составляющих водного баланса за 1923 – 1985 гг. Позднее эти ряды были продолжены по 1998 г. включительно [4].

В качестве основы для расчетов использовались данные многолетних береговых наблюдений, а также специально разработанные физически обоснованные схемы косвенных оценок составляющих баланса, регулярные наблюдения над которыми не производились: атмосферных осадков и испарения в открытом море, потоков через проливы Босфор и Керченский. Данные наблюдений ежегодно поступают в СО ГОИН (УкрНИГМИ), где проводятся расчеты составляющих баланса, однако с 1999 г. регулярный обмен этой информацией с Россией и Грузией прекратился. В рамках программ

международного сотрудничества по исследованию Азовского и Черного морей удалось произвести обмен данными и результатами расчетов с заинтересованными российскими организациями и продолжить ряды до 2007 г., однако такой путь не позволяет осуществлять полноценный регулярный мониторинг ВБ. Поэтому в настоящей работе рассматривается современное состояние воднобалансовых исследований и обсуждаются пути их продолжения с учетом реальных возможностей.

Уравнения водного баланса. Согласно [1 – 3], уравнения водного баланса записываются в следующем виде.

Для Черного моря:

$$(Q_p + Q_o + Q_{нб} + Q_{ам}) - (Q_{и} + Q_{вб} + Q_{чм}) = \pm \Delta B, \quad (1)$$

где Q_p – суммарный речной сток в море, Q_o – атмосферные осадки на поверхность моря; $Q_{нб}$ – приток мраморноморских вод через пролив Босфор с Нижнебосфорским течением; $Q_{ам}$ – приток азовских вод через Керченский пролив; $Q_{и}$ – испарение с поверхности моря; $Q_{вб}$ – сток вод через пролив Босфор с Верхнебосфорским течением; $Q_{чм}$ – отток вод в Азовское море через Керченский пролив; ΔB – изменение объема моря.

Для Азовского моря:

$$(Q_p + Q_o + Q_{чм} + Q_c) - (Q_{и} + Q_{чм} + Q_A) = \pm \Delta B, \quad (2)$$

где Q_c – приток вод залива Сиваш через пролив Тонкий; Q_A – отток Азовских вод в Сиваш через пролив Тонкий.

Важнейшими компонентами уравнений (1), (2) являются речной сток, осадки и испарение, в сумме составляющие пресноводный баланс (ПВБ) морей, который во многом определяет водообмен с соседними морями, а также гидрологическую структуру и динамику вод. Расчет компонент ПВБ производится по фактическим данным наблюдений на береговых станциях и в устьевых областях рек, впадающих в моря.

Речной сток. В Чёрное море непосредственно или через лиманы впадает 211 рек длиной более 10 км, имеющих постоянный сток в течение всего года. Годовой объем стока воды двадцати из них более 3 км³ и длина более 125 км (кроме р.Кодори, годовой сток которой больше 3 км³, а длина 84 км). Преобладающая часть впадающих в море малых рек имеет длину 20-60 км. Лишь некоторые из них (Чатырлык в Крыму, Мелет-Ирмак, Деврекияны и Бююк-Мелен в Турции, Велеса и Камчия в Болгарии) при очень малом объеме стока воды протянулись до 125 км. Гидрографическая сеть имеет наибольшую густоту на Анатолийском (Турецком) побережье (от г.Батуми до м.Калиакра). Бесприточные участки побережья расположены от м.Ильи до г.Анапа и от м.Калиакра до м.Сфынтул-Георге.

По естественно-природному районированию побережье Черного моря разделено на северо-западный район, побережье Крымского полуострова, Кавказское побережье, Анатолийское побережье и Болгаро-Румынское побережье. Сток в северо-западный район моря складывается из стока рек Дунай, Днестра, Днепра и Южного Буга. С Крымского побережья по различным источникам за год в море поступает всего около 0,3 км³ или 0,1 % от суммарного стока. С Кавказского побережья 80 % годового стока выносят семь рек:

Мзымта, Бзыбь, Кодори, Ингури, Риони, Супса и Чорох. Сток малых рек Кавказа недостаточно изучен. Наиболее крупные реки Анатолийского побережья: Ешил-Ирмак, Кызыл-Ирмак, Енидже-Ирмак, Бююк-Мелен, Сакарья. Основные реки, текущие с территории Болгарии в море, – Резовска, Велека, Камчия, Провадийска. С Румынского побережья сток в море осуществляется в основном Сулинским и Георгиевским рукавами дельты Дуная.

Методика расчета стока разработана в СОГОИН (МО УкрНИГМИ). Результаты за 1923 – 1985 гг., полученные по данным измерений на большинстве крупных рек, опубликованы в монографии [1]. После этого расчеты по той же методике выполнены до 1998 г. Позже (до 2007 г.), в связи с прекращением поступления сведений о стоке из Российской Федерации и Грузии (по рекам Кавказского побережья), Молдовы (по р. Днестр), для большинства расчетов использовали средние многолетние годовые величины речного стока этих рек.

Наиболее достоверно речной сток определялся по северо-западному району моря (речной сток в этот район составляет 79 % суммарного стока в море, а сток р. Дунай 61 %). Вместе с тем, учет стока в море и для этого района имеет ряд недостатков:

- не учитывается изменение объема стока р. Дунай от расчетного створа, расположенного в 136 км от моря, до устья;
- результирующий приток в море Днестровских вод через Цареградское гирло приравнивается к стоку р. Днестр у г. Бендеры (214 км от устья);
- результирующий вынос в море речных вод через Кинбурнский пролив оценивается как сумма стока рек Днепр у Каховской ГЭС (93 км от устья и 156 км от пролива) и Южный Буг у с. Александровка (132 км от устья и 182 км от пролива).

Сток рек Черноморского побережья Кавказа был принят равным $43,2 \text{ км}^3$. По более поздним данным [5] он составляет $52,5 \text{ км}^3$. Повидимому, значительно занижен сток малых рек юго-восточного района Кавказа (от р. Мзымта до границы с Турцией), т.к. используемая зависимость суммарного стока малых рек района от стока р. Риони построена по данным только 4-х рек района, хотя их количество здесь более 25.

Суммарный сток с Турецкого побережья был принят равным 26 км^3 , а по более поздним данным о стоке рек с территории Турции его суммарная среднегодовая величина оказалась равной $45,6 \text{ км}^3$ [5]. Кроме того, допущение о пропорциональном изменении внутригодового распределения стока на реках этого района и суммарного стока Северо-Западного и Кавказского районов, является необоснованным.

Анализ способов расчета суммарного стока в море показывает, что среднегодовые величины определены с ошибкой не менее $\pm 10 \%$ ($30 - 35 \text{ км}^3$), а относительная ошибка для среднемесячных величин может быть в 2 – 3 раза больше.

Существенно увеличить достоверность оценок поступления речных вод можно только на основе гидрометрических измерений на основных реках бассейна. Эти сведения могут быть получены путем межгосударственного обмена данными между причерноморскими странами (Россией, Грузией, Турцией и Болгарией).

Исходя из реалий настоящего времени, когда регулярный межгосударственный обмен информацией практически отсутствует, рассмотрена возможность определения суммарного стока в море только по данным о стоке рек с территории Украины, откуда в Черное море поступает сток рек Дуная, Днестра, Днепра, Южного Буга и рек Крыма. Сток р. Днестр в пределах Украины не определяется, а данные по створу у г. Бендеры (Молдова) отсутствуют. Сток р. Южный Буг по годам изменяется в пределах $2 - 3 \text{ км}^3$, а сток рек Крыма составляет всего около $0,3 \text{ км}^3$. Очевидно, что данные по этим рекам существенно на суммарный сток в море не влияют.

Поэтому была предпринята попытка расчета суммарного стока в море по данным о стоке только р. Дунай (створ 54-я миля) и суммы стока Дуная и Днепра (створ Каховская ГЭС). Были построены корреляционные зависимости годовых (Q_p) и месячных (Q_p^i) величин суммарного стока рек в море от стока Дуная (Vd) и суммы стока Дуная и Днепра (Vdd) за 1923 – 1985 гг. Достоверность аппроксимации корреляционных зависимостей определялась по величине коэффициента детерминации R^2 .

Результаты показали, что приток речных вод в море достаточно надежно может быть рассчитан по его зависимости от суммы стока двух рек – Дуная и Днепра. Коэффициенты R^2 очень высоки, для годовых и месячных величин они изменяются от 0,93 до 0,99. Наилучшая зависимость получена для годового стока ($R^2 = 0,99$), а наихудшая – для стока октября ($R^2 = 0,93$).

Таким образом, годовой суммарный приток речных вод в Черное море за каждый год может быть рассчитан по формуле:

$$Q_p = 1,18 Vdd + 37,8. \quad (3)$$

Учитывая, что между месячными величинами Q_p^i и Vdd^i установлены надежные корреляционные зависимости, для упрощения расчетов месячные величины стока в море можно определять путем умножения годовой величины, полученной по формуле (3), на месячную долю от годовой суммы стока рек Дуная и Днепра для расчетного года. При этом необходимо учесть уточненную поправку на сток с Турецкой территории, годовая величина которой равна $45,6 - 26 = 19,6 \text{ км}^3$. Величину месячной поправки на сток турецких рек можно было бы определять так же, как и для суммарного стока рек Дуная и Днепра. Однако внутригодовое распределение стока Дуная и Днепра и стока рек Турции существенно отличается. Поэтому величина этой поправки определяется путем умножения годовой величины (19,6) на процент месячного стока от годового, принятого по имеющимся данным для рек Турецкого побережья. Поправки прибавляются к соответствующим величинам, полученным по сумме стока Дуная и Днепра. Невязка между годовой величиной стока и суммой месячных значений разбрасывается по месяцам пропорционально их стоку.

Основной объем стока в Азовское море поставляют реки Дон и Кубань, на долю которых приходится около 85 % всей водосборной площади моря. Остальные реки Приазовья представляют собой небольшие маловодные потоки. Суммарная доля стока малых рек в общем объеме поверхностного притока к морю составляет в среднем 5 % [2, 3].

Уточнить определение суммарного стока рек как важнейшей составляющей баланса Черного и Азовского морей можно только при наличии достовер-

ных гидрометрических данных по основным стокам в море рек каждой страны:

Украина – Дунай, Днепр, Южный Буг, Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная, Обиточная, Берда, Кальмиус;

Россия – Миус, Дон, Ея, Бейсуг, Кубань, Шахе, Мзымта;

Грузия – Псоу, Бзыбь, Гумиста, Кодори, Галидзга, канал Эрисцкали, Ингури, Хоби, Риони, Супса, Чорохи;

Турция – Харшит, Ешил-Ирмак, Кызыл-Ирмак, Енидже, Сакаръя;

Болгария – Резовска, Велека, Камчия;

Молдова – Днестр.

Атмосферные осадки являются одним из важных факторов, влияющих на изменения гидрологического и гидрохимического режимов Азовского и Черного морей. Эта компонента ВБ Черного моря соизмерима с суммарным стоком всех впадающих в него рек и составляет более 30 % приходной части баланса. В рамках методики оценки ВБ [1], в основу расчетов количества осадков, выпадающих на поверхность Черного моря, положена гипотеза о пропорциональности хода осредненных модульных коэффициентов a_i (отношение суммы осадков данного года P_i к среднему многолетнему значению P) на опорных береговых станциях (Одесса, Севастополь, Феодосия, Новороссийск, Поти) и в открытом море:

$$a_i = (P_i/P)_{\text{ЧМ}} = [(P_i/P)_{\text{Одес.}} + (P_i/P)_{\text{Севас.}} + (P_i/P)_{\text{Феод.}} + (P_i/P)_{\text{Новор.}} + (P_i/P)_{\text{Поти}}]/5;$$
$$(P_i)_{\text{ЧМ}} = a_i (P)_{\text{ЧМ}}. \quad (4)$$

По данным многолетних береговых наблюдений и весьма редких судовых измерений были построены средние месячные и годовые карты сумм осадков. По этим картам были определены площади каждой зоны изогий (планиметрированием) и вычислены средние многолетние месячные и годовые величины сумм атмосферных осадков, выпавших на поверхность Черного моря [1, 6].

В настоящее время мы не располагаем полными рядами данных об осадках на западном, восточном и южном побережьях Черного моря. Однако существует возможность использовать достаточно длинные, продолжающиеся и в настоящее время, ряды наблюдений станций северного побережья. С этой целью была предпринята попытка нахождения уравнений связи между суммами осадков, приходящих на поверхность Черного моря, рассчитанными по полным исходным данным (Q_o) и неполным данным (Q_o^y), без учета информации России и Грузии. Расчеты произведены за наиболее обеспеченный информацией период с 1969 по 1984 гг. Расчет составляющих водного баланса Черного моря по полным данным за указанный период был выполнен ранее [1]. Коэффициенты корреляции были рассчитаны для 180 пар значений результатов расчетов по полным и неполным исходным данным. С учетом полученных связей, по неполным исходным данным были выполнены расчеты водного баланса Черного моря по формуле (4) по данным только украинских опорных станций (Одесса, Севастополь, Феодосия) за период 1994 – 1998 гг. и статистический анализ невязок расчетов. Получено следующее уравнение:

$$Q_o = 0,79Q_o^y + 3,91. \quad (5)$$

Коэффициент корреляции между рядами сумм атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Черного моря, рассчитанными по полным исходным данным и только по данным Украины составляет 0,93 ($R^2 = 0,87$). Аналогичный коэффициент корреляции между объемами атмосферных осадков на поверхность Черного моря, рассчитанными по полным исходным данным и по результатам тестовых расчетов за 1994 – 1998 гг. составил также 0,93.

В принципе, для оценочных расчетов можно пользоваться полученной корреляционной связью, однако 13 % дисперсии, не описываемые зависимостью (5), связаны с учетом восточной области моря, где осадки максимальны, что может привести к большим ошибкам при вычислении месячных и годовых сумм осадков для конкретного года по неполным данным. Поэтому была исследована возможность мониторинга осадков с помощью оперативных диагностических и прогностических полей количества осадков непосредственно над акваторией и всеми берегами Черного моря, полученных с помощью апробированных численных моделей. Эта информация регулярно помещается на открытых Интернет-сайтах.

В период с 2003 по 2008 гг. силами МО УкрНИГМИ был проведен экспериментальный мониторинг атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Черного моря [7]. Оценки пространственного распределения количества осадков, выпадающих непосредственно на поверхность Черного моря, их временной изменчивости на масштабах суток, месяца, сезона и года, выполнялись посредством метода, основанного на результатах оперативных расчетов по модели *Global Forecast System (GFS) NCEP* (США), данных инструментальных измерений на береговых станциях, а также на детальном синоптическом анализе каждого сильного дождя.

По результатам мониторинга на основании более 7400 карт были рассчитаны суточные (1415), месячные (62), сезонные (20) и годовые (5) массивы количества осадков, их статистические характеристики, построены суточные, месячные, сезонные, годовые и средние многолетние карты пространственного распределения количества атмосферных осадков, выпадавших на поверхность Черного моря с 2004 по 2008 гг.

Один из основных результатов работы - выявление близости среднемесячных и годовых величин осадков, вычисленных с помощью метода [7] и по данным равномерно расположенных по берегам Черного моря 10 станций. Поэтому целесообразно использовать известные многолетние месячные и годовые нормы осадков этих береговых станций для расчета многолетних норм осадков, выпадающих на поверхность Черного моря.

Годовая норма 933 мм (395 км^3) и месячные нормы, рассчитанные по данным 10 береговых станций, представляются более достоверными, чем ранее опубликованные величины осадков, рассчитанные по модульным коэффициентам 5 станций. Таким образом, реальная доля атмосферных осадков в водном балансе Черного моря в среднем может быть на 157 км^3 больше, чем считалось ранее. Если это так, то необходимо по-новому оценить степень влияния такого объема осадков на компоненты водообмена Черного моря и его гидрологическую структуру. Для коррекции сводок ВБ потребуется пересчет величин осадков, выпадающих на поверхность моря, а также пересмотр методик расчетов испарения и потоков через проливы Босфор и Керченский.

При наличии многолетних рядов среднемесячных величин количества осадков по станциям Поти (Грузия), Ризе, Самсун, Зонгулдак (Турция), Варна (Болгария) и Констанца (Румыния) возможен пересчет годовых величин осадков за весь период воднобалансовых исследований (с 1923 г.)

Что касается Азовского моря, то вследствие его малых размеров сумма осадков на его поверхность может быть достаточно надежно аппроксимирована по данным только украинских береговых станций, однако использование российских данных юго-восточного побережья позволяет точнее оценить потоки осадков.

Испарение. Как и для остальных компонент ПВБ, проблема расчета испарения с поверхности моря заключается не столько в способе математической параметризации этого процесса, сколько в наличии необходимых данных измерений скорости ветра, температуры и солёности морской воды на поверхности, температуры и влажности воздуха над морем. Основой расчета испарения по методике [1] служит известная формула:

$$E = C_z V_z (e_0 - e_z), \quad (6)$$

где E – количество испаряющейся влаги, мм; e_0 – парциальное давление водяного пара при температуре поверхностного слоя воды с учетом ее солёности, гПа; e_z – парциальное давления водяного пара на высоте z , гПа (абсолютная влажность воздуха над морем); V_z – скорость ветра на высоте z , м/с; $C_z = 3,5$ – переходной коэффициент для месячных значений испарения, учитывающий высоту измерения влажности воздуха и скорости ветра над морем.

Расчет месячных и годовых величин испарения, как и в случае атмосферных осадков, основан на допущении пропорциональности изменения годовых модульных коэффициентов испарения в прибрежных районах и в открытом море. Для северо-западного района средний модульный коэффициент и сумма испарения вычисляются аналогично формуле (4) по данным МГ Одесса, Хорлы, Севастополь. Для Западного района – по данным МГ Севастополь и Варна. Для Восточного района – по данным МГ Ялта, Феодосия, Анапа, Новороссийск, Туапсе, Пицунда, Батуми. Средние многолетние значения испарения получены в [1] по данным измерений на береговых станциях и многолетних судовых наблюдений, осредненных вначале по 95 стандартным квадратам, а затем для каждого района. Испарение по морю в целом вычисляется суммированием с учетом соотношения площадей районов.

Аналогично рассчитывается испарение для Азовского моря по данным станций Украины и России [2]. Из-за небольших размеров моря и при существующем расположении береговых станций, здесь испарение с достаточной точностью может быть оценено только по станциям Украины (Керчь, Мысовое, Геничеськ, Бердянск, Мариуполь).

В современных условиях развитие методов мониторинга испарения Черного моря идет по 3 направлениям.

Во-первых - это продолжение использования и усовершенствование существующей методики. Для этого необходимо наладить регулярное поступление данных наблюдений от всех прибрежных государств, а в расчетные формулы для Черного моря ввести ранее не использованные данные береговых станций Турции (тех же, что и для расчета осадков).

Во-вторых – это попытка в рамках метода модульных коэффициентов модифицировать алгоритм расчета испарения только по данным береговых станций Украины, как и для стока рек и осадков. Так же, как и формула (5), было получено уравнение связи между величинами испарения, рассчитанными по полным данным (Q_u) и только по данным опорных станций Украины (Q_u^y) – Одесса, Хорлы, Севастополь, Ялта, Феодосия:

$$Q_u = 1,95Q_u^y + 1,22. \quad (7)$$

Коэффициент корреляции зависимости (7), полученный при ее тестировании на независимых данных 1994 – 1998 гг., составил 0,88 ($R^2 = 0,77$), что тоже объясняется недоучетом пространственной неоднородности испарения (основные различия в годовом ходе испарения могут наблюдаться между северо-западным и юго-восточным регионами). Таким образом, ошибка оценки испарения с поверхности Черного моря по формуле (7) в среднем составляет 23 %, поэтому применение данного подхода в дальнейшем нежелательно.

В-третьих, в настоящее время исследуется возможность использования в формуле (6), наряду с данными береговых станций, данных о ветре, температуре поверхности моря и влажности воздуха над морем, полученными на основе спутниковых скаттерометрических и ИК-радиометрических измерений. Интернет-адреса наборов данных приведены в работе [8], посвященной использованию различных данных измерений и ре-анализа для моделирования динамических процессов в Черном море. Обнадеживающие результаты по применению спутниковых данных для расчета испарения Каспийского моря получены в работе [9].

Потоки через проливы. Связь Азовского моря с заливом Сиваш осуществляется через пролив Тонкий, потоки через который рассчитываются по данным об уровне моря на станциях Геничеськ и Чонгарский мост, а также по данным регулярных измерений течений в проливе [3]. Водообмен с Черным морем происходит через Керченский пролив, в северной узости которого также производятся регулярные измерения течений. Кроме того, методика расчета потоков через Керченский пролив основана на измерениях разности уровня Азовского и Черного морей и скорости ветра вдоль оси пролива на ближайших станциях (Мысовое, Керчь, Тамань). В принципе, дальнейшее применение апробированной методики [1] здесь не представляет серьезных проблем, особенно при наличии обмена соответствующими данными между украинской и российской гидрометслужбами.

Основной водообмен Черного моря осуществляется через пролив Босфор – отток распресненных вод с Верхнебосфорским течением и поступление соленых вод с Нижнебосфорским течением. В рамках методики [1] расчет потоков производится по формулам:

$$Q_B = Q_{нб} - Q_{вб} = \Delta h + Q_K - F; \quad (8)$$

$$Q_{вб} = f_1(Q_B); \quad Q_{нб} = f_2(Q_B), \quad (9)$$

где Δh – изменение среднего уровня моря по данным уровенных постов; $Q_K = (Q_{ам} - Q_{чм})$ – результирующий поток через Керченский пролив; $F = (Q_p + Q_o - Q_u)$ – пресноводный бюджет (все величины в км³ за месяц или за год). Эмпирические зависимости (9) получены Богдановой и уточнены Альтма-

ном по данным гидрологических наблюдений в Прибосфорском районе Черного моря [1]. Проблема заключается в том, что этот метод не описывает влияние на потоки гидравлических свойств пролива, перепада уровня моря на его концах, ветровых эффектов и т.п. Поэтому средние величины потоков, по-видимому, занижаются [4].

Усовершенствование методики (4), (5) может быть выполнено в двух направлениях. Во-первых, в формуле (4) вместо данных об изменении среднего уровня, получаемых на берегах моря, можно использовать данные спутниковых альтиметрических измерений [10, 11]. Во-вторых, вместо эмпирических зависимостей (5) можно использовать аналогичные зависимости, построенные по результатам численного моделирования в рамках гидравлических и гидродинамических моделей пролива Босфор, которые лучше согласуются с данными прямых измерений течений в проливе, например [12, 13].

Результаты мониторинга водного баланса. В монографии [3] приведены результаты оценки средних значений компонент ВБ Азовского моря и их линейных трендов за различные интервалы лет (до начала XX в.), связанные с различными режимами зарегулирования стока основных рек. В целом за период 1952 – 2000 гг. объем материкового стока имеет значимый отрицательный тренд, несмотря на то, что в последние 30 лет происходило увеличение стока рек, особенно Кубани, обусловленное изменениями климата. Это объясняется безвозвратным изъятием стока, прежде всего р. Дон, которое постоянно возрастало до начала 90-х гг. XX в. В среднем объем стока сократился на $7,2 \text{ км}^3$ по сравнению с условно-естественным периодом 1923 – 1951 гг.

Анализ изменений годовых сумм осадков за многолетний период свидетельствует об увеличении их количества по всем пунктам побережья Азовского моря. Коэффициенты линейных трендов составляют $1,0 - 1,8 \text{ мм/год}$, что в пересчете на суммарные величины составляет $60 - 190 \text{ мм}$, в зависимости от периода наблюдений на каждой станции. Наиболее существенное увеличение количества осадков отмечается в период 1978 – 2007 гг., для которого линейный тренд оценивается в пределах от $1,2 - 4,1 \text{ мм/год}$. Последнее тридцатилетие характеризуется также уменьшением междугодовой изменчивости количества выпавших осадков и повышенными значениями как годовых сумм осадков (на $30 - 70 \text{ мм}$), так и годовых максимумов и минимумов, по сравнению с предшествующим периодом.

За период 1923 – 2000 гг. в величине испарения с поверхности моря отмечается тенденция к уменьшению. Размах линейного тренда за этот период составил $2,26 \text{ км}^3$ и объясняется региональными особенностями климатических изменений в последние 30 лет, которые связаны с уменьшением средней скорости ветра над акваторией Азовского моря и с увеличением облачности в летний сезон.

После зарегулирования стока рек в море (1952 – 2000 гг.), отток азовских вод через Керченский пролив в среднем уменьшился на $6,1 \text{ км}^3$ по сравнению с периодом до 1952 г., а приток черноморских вод возрос на $0,7 \text{ км}^3$. Значимых линейных трендов в потоках через Керченский пролив за период 1952 – 2000 гг. не выявлено. За 1923 – 2000 гг. в оттоке азовских вод выявлена значимая тенденция к уменьшению с величиной $8,6 \text{ км}^3$, а в притоке черноморских вод – незначимый положительный тренд ($1,6 \text{ км}^3$).

Т а б л и ц а 1. Средние многолетние составляющие годового водного баланса Черного моря и их линейные тренды за 1945-2005 гг. (выделены величины трендов, значимые на уровне не ниже 95 %).

составляющая	среднее, км ³	тренд, км ³ /год
осадки	252,6	<u>1,34</u>
речной сток	330,1	0,25
испарение	366,9	<u>– 2,49</u>
ПВБ	215,7	<u>4,08</u>
приток через Керченский пролив	48,1	– 0,05
отток через Керченский пролив	33,8	– 0,03
результатирующий поток через Керченский пролив	14,3	– 0,03
приток через пролив Босфор	167,7	<u>– 1,25</u>
отток через пролив Босфор	395,8	<u>2,83</u>
результатирующий поток через пролив Босфор	228,0	<u>4,07</u>
изменение объема моря:		
– по водному балансу		<u>2,0</u>
– по измерениям уровня		<u>2,1</u>

В [14] приведены оценки средних значений и линейных трендов составляющих водного баланса Черного моря за вторую половину XX – начало XXI вв. (табл.1).

Как видно из таблицы, значимый рост осадков и, особенно, уменьшение испарения во второй половине XX в. определили рост ПВБ даже при отсутствии климатического тренда стока рек. При стабильном, относительно слабом результирующем притоке воды из Азовского моря увеличение ПВБ Черного моря определяет рост оттока и ослабление притока воды через Босфор. Поступление пресных вод в море не компенсируется полностью их оттоком с испарением и через проливы, что в итоге привело к росту среднего уровня моря и его объема в среднем на 2 км³/год. Эти оценки получены на основе расчетов месячных и годовых величин по традиционной методике СО ГОИН – МО УкрНИГМИ [1] и могут в дальнейшем служить для сравнения результатов применения усовершенствованных методов после их разработки и внедрения в практику мониторинга.

Закключение. В результате анализа состояния и перспектив мониторинга водного баланса Азовского и Черного морей можно сделать следующие общие выводы.

Необходимо продолжить работы по уточнению и дальнейшему развитию методик оценки компонент водного баланса по данным стандартных наблюдений, а также с привлечением современных возможностей спутниковой океанологии (альтиметрии, скаттерометрии, ИК-радиометрии) и, возможно, данных буев-дрифтеров.

Для мониторинга водного баланса необходимо организовать межгосударственный обмен данными наблюдений на береговых станциях по всему контуру морей, т.е. среднемесячными величинами стока рек, температуры и

влажности воздуха, скорости ветра, температуры и солености морской воды, уровня моря. В этом случае, как исходные данные, так и результаты расчетов водного баланса могут быть доступными для всех стран посредством их публикации на Интернет-сайтах международных проектов или организаций, например Комиссии по защите Черного моря от загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия.*– С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1991.– 430 с.
2. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.V. Азовское море.*– С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1991.– 236 с.
3. *Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н., Горбач С.Б.* Гидрометеорологические условия морей Украины. Т.1. Азовское море.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– 402 с.
4. *Ильин Ю.П.* Долгопериодные изменения водообмена между Черным и Эгейским морями в рамках крупномасштабной бокс-модели // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.*– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.8.– С.144-151.
5. *Джаошвили Ш.* Реки Чёрного моря.– Тбилиси, 2003.– 186 с.
6. *Горячкин Ю.Н., Липченко М.М.* О количестве атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Черного моря // *Тр. УкрНИГМИ.*– 2000.– вып.248.– С.221-227.
7. *Репетин Л.Н., Ильин Ю.П., Долотов В.В., Липченко М.М.* Современные оценки атмосферных осадков, их вклада в водный баланс Черного моря // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.*– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.18.– С.193-204.
8. *Kara A.B., Hurlburt H.E., Wallcraft A.J.* Black Sea mixed layer sensitivity to various wind and thermal forcing products on climatological time scales // *J. Climate.*– 2005.– v.18.– P.5266-5293.
9. *Лебедев С.А., Сирота А.М., Остроумова Л.П., Костяной А.Г.* Расчет испарения с акватории Каспийского моря по данным дистанционного зондирования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов.*– М.: Азбука-2000, 2008.– вып.5, т.П.– С.141-148.
10. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Лемешко Е.М., Липченко М.М.* Использование альтиметрических данных для расчета водного баланса Черного моря // *Морской гидрофизический журнал.*– 2003.– № 6.– С.46-55.
11. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– 211 с.
12. *Maderich V., Konstantinov S.* Seasonal dynamics of the system sea-strait: Black Sea-Bosphorus case study // *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences.*– 2002.– v.55.– P.183-196.
13. *Maderich V.S., Ilyin Y.P.* Seasonal and interannual variability of the Black Sea – Bosphorus – Marmara Sea – Dardanelles system // *Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea. Similarities and differences of two interconnected basins.*– Ankara, Turkey, 2002.– P.233-235.
14. *Ilyin Y.P.* Observed long-term changes in the Black Sea physical system and their possible environmental impacts // *Climate forcing and its impact on the Black Sea marine biota. № 39 in CIESM Workshop Monographs.*– Monaco: CIESM, 2010.– P.35-44.

Материал поступил в редакцию 1.11.2010 г.