

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, можно сказать, что в настоящей монографии представлены результаты комплексного исследования взаимодействия Каспийского моря с атмосферой. Основное внимание в ней уделено анализу пространственной и временной изменчивости испарения и теплообмена моря с атмосферой и параметров, определяющих этот обмен при разных гидрометеорологических условиях.

Важное место в работе занимает описание метода расчета характеристик локального тепло- и массообмена системы водоем–атмосфера по гидрометеорологической информации. Большим преимуществом предложенного метода является его универсальность, состоящая в том, что с его помощью могут быть рассчитаны характеристики взаимодействия не только при умеренных гидрометеорологических, но и в штилевых и штормовых условиях, при стратификации воздуха заметно отличающейся отнейтральной. Показано, что разработанная схема расчета характеристик взаимодействия может быть рекомендована для практического использования при определении испарения и теплообмена конкретных водоемов с атмосферой.

Разработанная схема использована для расчета характеристик локального и интегрального тепломассообмена Каспийского моря, описания пространственной и временной их изменчивости. При этом впервые расчет осуществлен по первичной (не осредненной) гидрометеорологической информации, накопленной на магнитных лентах Центра гидрометеорологических данных ВНИИГМИ-МЦД, начиная с 1904 г. (всего было использовано около 150 тыс. первичных данных), что позволило получить следующие важные результаты.

Впервые для Каспийского моря сделаны оценки влияния климатических корреляций между метеорологическими параметрами на результат расчета характеристик интегрального тепло- и массообмена. Выявлены особенности пространственной и временной изменчивости указанных корреляций, приведены карты коэффициентов, характеризующих их изменчивость. Рекомендовано использование полученных карт для коррекции результатов расчета испарения и теплообмена Каспийского моря по осредненной гидрометеорологической информации.

С учетом климатических корреляций между метеорологическими параметрами проведено системное исследование тепло- и массообмена моря с атмосферой. В результате анализа карт пространственного изменения характеристик взаимодействия выявлено три типа взаимодействия моря с атмосферой (весенне-летний, зимний и переходный – осенний), сделан детальный анализ их по разным параметрам.

Это, в частности, позволило выявить и область интенсивного обмена вдоль восточного побережья моря зимой, локализующуюся в прибрежной зоне Среднего Каспия в конце зимы. Важно заметить, что аномально высокий обмен теплом и влагой зимой практически компенсирует аномально низкий обмен в этом же районе летом.

Исследование временной изменчивости характеристик интегрального взаимодействия всего моря и отдельных его частей дало дополнительную

информацию о вкладе климатических корреляций и штормовых ситуаций в результирующий тепло- и массообмен.

Анализ межгодовой изменчивости интегрального значения испарения всего моря и трех его частей (северной, средней и южной) выявил определяющую роль взаимодействия Северного Каспия с атмосферой для формирования водного и теплового баланса всего Каспийского моря.

Для решения проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов бассейна Каспийского моря, разработки долговременной стратегии развития его водного хозяйства представляется необходимым сделать соответствующие оценки изменения характеристик взаимодействия моря с атмосферой (в первую очередь испарения) на отдаленную перспективу. Задача эта неразрывно связана с прогнозом климата нашей планеты и может решаться, по-видимому, только на базе определенных сценариев климатических изменений. Такой сценарий должен позволять получать оценки изменения температуры воздуха и подстилающей поверхности, влажности воздуха, скорости приземного ветра. В настоящее время мы, к сожалению, не располагаем требуемым сценарием¹ климатических изменений, а существующие (например, модель М.И. Будыко) позволяют получить лишь представление о тенденции в изменении температуры воздуха. Подобной информации явно недостаточно для формулирования какой-либо определенной точки зрения об изменениях во взаимодействии моря с атмосферой. Поэтому здесь сделана попытка ответить на этот вопрос, опираясь на статистику гидрометеорологических данных для Каспийского моря. Основная задача при этом состояла в установлении по большому (около 150 тыс.) массиву данных зависимости температуры водной поверхности и влажности воздуха от температуры воздуха (здесь мы по-прежнему полагаем, что единственной информацией является температура воздуха, вернее, ее изменение). Располагая подобными зависимостями, можно будет определить тенденцию в изменении перепада влажностей $\Delta e = e_s - e_a$, а соответственно и испарения.

Результаты статистической обработки для получения зависимости температуры водной поверхности и влажности воздуха от температуры воздуха по всему массиву данных для Каспийского моря представлены на рис. 39, 40. Полагая пропорциональным изменение температуры водной поверхности и воздуха (см. рис. 39) представление о тенденциях в изменении перепада влажностей Δe можно получить из сопоставления зависимостей упругости (e_a) и максимальной упругости водяного пара (e_s) от температуры воздуха (см. рис. 40). Из рис. 40 явно следует, что при относительно низких температурах воздуха (холодный период года) кривые зависимостей $e_a = f(T_a)$ и $e_s = f(T_a)$ идут параллельно, т.е. $\Delta e \approx 0$. При более высоких температурах воздуха (теплое время года) кривые зависимостей $e_a = f(T_a)$ и $e_s = f(T_a)$ начинают расходиться, что позволяет определенно выявить тенденцию в увеличении $\Delta e = e_s - e_a$ с ростом температуры воздуха. На основании этого можно заключить, что в холодное время года изменение в температуре воздуха не вызывает практически никакого изменения в испарении. В теплое время года изменения в температуре воздуха T_a влекут за собой соответствующие изменения

¹ Автор понимает сложность этой проблемы.

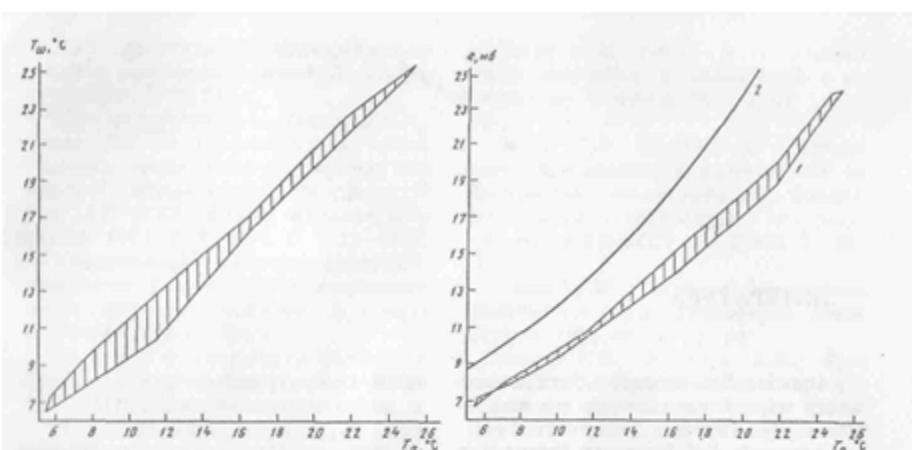


Рис. 39. Зависимость между температурами воздуха и водной поверхности Каспийского моря по всему массиву (около 150 тыс.) гидрометеорологических данных

Рис. 40. Зависимость упругости (1) и максимальной упругости водяного пара (2) соответственно от температуры воздуха

в перепаде влажностей Δe , причем из рис. 40 очевидно, что потепление воздуха ведет к увеличению перепада Δe , а соответственно и испарения.

Согласно современным представлениям, температура воздуха на Земле имеет тенденцию к повышению. Оценим возможные изменения испарения моря при повышении температуры воздуха, например, на 1–2 °С. Судя по рис. 40, повышение температуры воздуха на 1–2 °С в теплое время года повлечет увеличение перепада влажности на 0,5–1,0 мб и величины испарения соответственно на 10–20%. Учитывая, что в холодную половину года изменений Δe , а соответственно и испарения, по-видимому, не произойдет, то в целом за год можно ожидать незначительного увеличения испарения (не превышающего 5–10%). Эти оценки, естественно, следует рассматривать как самые предварительные (скорее всего, пока здесь можно говорить о знаке тенденции).

Итак, заканчивая, отметим, что, несмотря на вековую историю исследования взаимодействия Каспийского моря с атмосферой, ряд вопросов тепломассообмена остается по-прежнему открытым. Основная неопределенность здесь, по-видимому, связана с решением проблемы описания взаимодействия отдельных акваторий по локальным его характеристикам. Очевидно, для дальнейшего исследования этого вопроса проблемы взаимодействия Каспийского моря с атмосферой следует предусмотреть проведение специальных комплексных контактных и дистанционных гидрофизических измерений на специальных полигонах. Такой комплекс работ представляется довольно трудоемким, и для выполнения его необходимы усилия большой группы разных специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

- Аполлов Б.А.* Водный баланс Каспийского моря и возможность его изменения // Тр. ЦИЭГМ. 1935. Вып. 2 (44).
- Архипова Е.Г.* Тепловой баланс Каспийского моря // Тр. ГОИН. 1957. Вып. 35. С. 3–102.
- Архипова Е.Г., Потайчук М.С., Скрипинов Н.А.* Современный баланс Каспийского моря // Тр. ГОИН. 1970. Вып. 101. С. 34–73.
- Бортковский Р.С.* Тепло- и влагообмен атмосферы и океана при шторме. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 159 с.
- Бортковский Р.С., Бютнер Э.К., Малевский-Малевич С.П., Преображенский Л.Ю.* Процессы переноса вблизи поверхности раздела океан–атмосфера. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 238 с.
- Будыко М.И.* Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеоиздат, 1956. 255 с.
- Воейков А.И.* Климаты земного шара, в особенности России. СПб., 1884. 640 с.
- Волков Ю.А., Елагина Е.Г., Конров Б.М.* Спектральные характеристики турбулентного обмена между океаном и атмосферой в тропической зоне Атлантики // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1974. Т. 10, № 6. С. 619–627.
- Гаврилин Б.Л., Монин А.С.* О расчете климатических корреляций по численным моделям атмосферы // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1970. Т. 6, № 7. С. 659–665.
- Гарбалевский Ч., Панин Г.Н., Странска Н.* Характеристики влагообмена, обусловленные эмиссией водяных капель и их роль во взаимодействии моря с атмосферой // Взаимодействие атмосферы, гидросферы и литосферы в прибрежной зоне моря. София: Изд-во БАН, 1983. С. 110–129.
- Гидрофизика океана. М.: Наука, 1978. Т. 1. 455 с. (Океанология)
- Голицын Г.С., Грачев А.А.* Скорос-
- ти и тепломассообмен при конвекции в двухкомпонентной среде // ДАН СССР. 1980. Т. 255, № 3. С. 548–552.
- Гонтарев Н.П., Панин Г.Н.* Влияние температурной стратификации приводного слоя атмосферы на скорость испарения // Тр. ГОИН. 1970. Вып. 98. С. 148–155.
- Грачев А.А., Панин Г.Н.* Параметризация явного и скрытого потоков тепла над водной поверхностью в штормовую погоду в естественных условиях // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1984. Т. 2, № 5. С. 364–371.
- Давыдов В.К.* О коэффициенте рефракции для плавающих испарителей // Тр. ГГИ. 1938. Вып. 7.
- Джалурия И.* Естественная конвекция: тепло- и массообмен. М.: Мир, 1983. 288 с.
- Доронин Ю.П.* Взаимодействие атмосферы и океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 288 с.
- Ессеева Л.С.* Некоторые вопросы влагооборота Каспийского моря // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1964. № 5. С. 40–48.
- Ефимов В.В.* Динамика волновых процессов в пограничных слоях атмосферы и океана. Киев: Наук. думка, 1981. 256 с.
- Зайков В.Д.* Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня // Тр. НИУГМС СССР. 1946. Сер. 4. Вып. 38. 50 с.
- Зилитинкевич С.С.* Динамика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 291 с.
- Кадер Б.А., Перепелкин В.Г.* Универсальные зависимости теории подобия для профилей скорости ветра и температуры в неустойчиво стратифицированном приземном слое // Международный эксперимент по сравнению приборов – "МЭСП-81". Берлин, 1984. С. 67–74.

- Китайгородский С.А.* Физика взаимодействия атмосферы и океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 283 с.
- Китайгородский С.А., Кузнецов О.А., Панин Г.Н.* О коэффициентах сопротивления, теплообмена и испарения над морской поверхностью атмосферы // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1973. Т. 9. № 11. С. 1135–1141.
- Комплексный гидрометеорологический атлас Каспийского и Аральского морей / Ред. В.С. Самойленко. Л.: Гидрометеоиздат, 1963. 179 с.
- Косарев А.Н.* Гидрология Каспийского и Аральского морей. М.: Изд-во МГУ, 1975. 272 с.
- Ламли Дж.Л., Пановский Г.А.* Структура атмосферной турбулентности. М.: Мир, 1966. 257 с.
- Ларин Д.А.* О возможности расчетов потоков тепла и влаги по осредненным значениям метеоэлементов // Тр. ВНИИГМИ–МЦД. 1984. Вып. 119. С. 98–104.
- Ларин Д.А., Панин Г.Н.* Влияние корреляции между метеорологическими параметрами на результаты расчета интегрального испарения и теплообмена Каспийского моря // Вод. ресурсы, 1985. № 5. С. 68–75.
- Лыков А.В.* Тепломассообмен: (Справочник). М.: Энергия, 1971. 21 с.
- Макаров С.С., Копрова Л.И.* Исследование термической структуры южной и центральной частей Каспийского моря с использованием спутниковой информации // Метеорология и гидрология. 1983. № 10. С. 80–85.
- Мартыненко О.Г., Соковишин Ю.А.* Свободный конвективный теплообмен: (Справочник). Минск: Наука и техника, 1982. 399 с.
- Монин А.С.* О климатологии теплового баланса // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1963. № 5. С. 98–110.
- Монин А.С., Яглом А.М.* Статистическая гидромеханика. М.: Наука, 1965. Ч. 1. 640 с.
- Монин А.С., Красицкий В.П.* Явления на поверхности океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 375 с.
- Овсиенко С.Н., Эфроимсон В.О.* К теории дрейфа тающего льда // ДАН СССР. 1979. Т. 246. № 5. С. 1066–1070.
- Океанографические таблицы. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 477 с.
- Панин Г.Н.* Методика расчета локального тепло- и влагообмена в системе водоем–атмосфера // Вод. ресурсы, 1983. № 3. С. 3–12.
- Панин Г.Н.* Тепло- и массообмен между водоемом и атмосферой в естественных условиях. М.: Наука, 1985а. 206 с.
- Панин Г.Н.* Особенности пространственной и временной изменчивости характеристик взаимодействия Каспийского моря с атмосферой: Тез. докл. VIII съезда ГО СССР. Л., 1985б. С. 40–41.
- Панин Г.Н.* Тепло- и массообмен Каспийского моря с атмосферой // Вод. ресурсы. 1986. № 3. С. 55–64.
- Панин Г.Н., Мурадов Б.Б., Фролов А.В.* Пространственная и временная изменчивость характеристик воздуха и воды и их роль при определении испарения с акватории Каспийского моря // Гидрофизика Северного Каспия. М.: Наука, 1985. С. 101–108.
- Пармузина Т.А.* Некоторые особенности пространственно-временной изменчивости температуры поверхности Каспийского моря // Тр. НИИАК. 1971. Вып. 76. С. 74–80.
- Расчет турбулентных потоков тепла, влаги и количества движения над морем: Методические указания ГГО. Л.: ГГО, 1981. 56 с.
- Решетова О.В.* Изучение взаимодействия атмосферы и океана на основании теории подобия: Автореф. дис. канд. ... физ.-мат. наук. МГУ, 1971. 19 с.
- Ремизова С.С.* Новый метод определения величины испарения с поверхности Каспийского моря // Материалы Всесоюзного совещания по проблеме Каспийского моря. Баку; 1963. С. 75–78.
- Роль Г.У.* Физика атмосферных процессов над морем. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 398 с.
- Самойленко В.С.* Современная теория океанического испарения и ее практическое применение // Тр. ГОИН, 1952. Вып. 21 (33). С. 3–32.
- Смирнова А.И., Булаева В.М.* О методах расчета турбулентных потоков тепла и влаги над океаном для различных интервалов осреднения // Тр. ГОИН. 1974. Вып. 120. С. 161–170.
- Смирнова К.И., Шереметевская О.И.* Расчет водного баланса Каспийского моря для прогноза годового хода уровня моря // Тр. ГМЦ. 1967. Вып. 3.
- Современный и перспективный водный и солевой баланс южных морей СССР. М.: Гидрометеоиздат, 1972. 236 с. (Тр. ГОИН; Вып. 108).

- Уланов Х.К.* Об аномалии температуры воды и подземного питания восточной части Среднего Каспия // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1962. Т. 94. № 5. С. 431–434.
- Хинце И.О.* Турбулентность. М.: Физматгиз, 1963. 680 с.
- Хргиан А.Х.* Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. Т. I. С. 247; т. II. С. 319.
- Штокман В.Б.* О циркуляции, возбуждаемой ветром в глубоководных частях Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 1947. № 2. С. 42–50.
- Brutsaert W.H.* Evaporation into the atmosphere: Theory, history and applications 1982. 299 p.
- Dyer A.J.* The turbulent transport of heat and water vapour in an unstable atmosphere // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 1967. Vol. 93, N 398. P 501–508.
- Frihe C.A., Schmitt K.F.* Parametrisation of air-sea interface fluxes of sensible heat and moisture by the bulk aerodynamic formulas // J. Phys. Oceanography. 1976. Vol. 6. P. 801–809.
- Garstang M.* Distribution and mechanism of energy exchange between the tropical oceans and atmosphere. Florida: Dept. Meteorol. Rep. to U.S. Army Electronics Research and Development Lab. Grant, 1965. N DA-AMC-28-043-64-G5.
- Jacobs W.C.* On the energy exchange between sea and atmosphere // J. Marine Res. 1942. Vol. 5, N 1. P. 37–66.
- Jacobs W.C.* Large-scale aspects of energy transformation over the oceans // Compendium of Meteorology. Boston: Amer. Meteorol. Soc. 1951. P. 1057–1070.
- Kondo J.Y.* Air-sea bulk transfer coefficients in diabatic conditions // Boundary-Layer Meteorol. 1975. Vol. 9. P. 91–112.
- Krügermeyer L.* Vertikale Transporte von Impuls, sensibler und latenter Wärme aus Profilmessungen über dem tropischen Atlantik während APEX // Ber. Inst. Radiometeorol. und Mar. Meteorol. Univ. Hamburg, 1975. Bd. 29. 102 S.
- Lang A.B.G., McNaughton K.G., Chen F.* et al. An experimental appraisal of the terms in the heat and moisture flux equations for local advection. Boundary-Layer Meteorol., 1983. Vol. 25. P. 89–102.
- Motha R.P., Verma S.B., Rosenberg N.I.* Exchange coefficients under sensible heat advection determined by eddy correlation // Agr. Meteorol., 1979. Vol. 20. P. 273–280.
- Pond S., Phelps G.T., Poquin I.E.* et al. Measurements of the turbulent fluxes of momentum, moisture and sensible heat over the ocean // J. Atmos. Sci. 1971. Vol. 28, N 6. P. 901–911.
- Swinbank W.C., Dyer A.J.* An experimental study in micrometeorology // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 1967. Vol. 93, N 398. P. 494–500.
- Verme S.B., Rosenberg N.I., Blad B.L.* Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapour under advective conditions // J. Appl. Meteorol. 1978. Vol. 17. P. 330–338.
- Wucknitz J.* Bestimmung der turbulenten Flüsse von Impuls und sensibler Wärme aus Fluktuationsmessungen und Struktur des Windfeldes über den Wellen über dem tropischen Atlantik während ATEX // Ber. Inst. Radiometeorol. und Mar. Meteorol. Univ. Hamburg, 1974. Bd. 25.