

УДК 551.(501.8 + 577.54)

**ДИНАМИКА ОБЛАЧНОСТИ И ОСАДКОВ У ВОСТОЧНОГО
ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАТОРА**

Канд. геогр. наук А.В. Чередниченко

Построены карты-схемы пространственного распределения повторяемости осадков и облачности для срединных месяцев сезонов в зоне наблюдений метеорологического радиолокатора (МРЛ) Шевченко. Показано, что облачность региона чутко реагирует не только на орографию, но и на перепады глубин наблюдаемой акватории. Оценено влияние моря на облачность и осадки восточного побережья. Основой для оценки влияния были взяты отношения повторяемости облачности, осадков и радиолокационной отражаемости над сушей и над морем. Получены количественные характеристики такого влияния. На этой основе было рассчитано несколькими способами предполагаемое количество осадков над морем, которое в целом за год оказалось больше, чем над сушей.

Оценка влияния морей и крупных водохранилищ на прилегающую территорию все еще исследована слабо. Одной из причин является, как правило, отсутствие регулярных метеорологических наблюдений над акваториями. В результате, несмотря на то, что метеорологические данные для суши имеются в достатке, их не с чем сравнить.

Исключительно ценными в этом аспекте являются данные наблюдений метеорологических радиолокаторов (МРЛ), установленных на побережье. Такие МРЛ обеспечивают одновременные наблюдения за облачностью и осадками как над морем, так и над сушей на расстоянии до 300 км. Однако данные достаточной полноты обычно в зависимости от сезона года удается собрать до расстояния 180...240 км [9]. При этом возможности радара по обнаружению облачности после 100 км постепенно уменьшаются, что сильно затрудняет статистическую обработку данных [2, 5, 6, 9, 10]. Снижение этих возможностей происходит одинаково как в направлении моря, так и в направлении суши, что существенно облегчает задачу сравнения результатов, получаемых над акваторией и над сушей.

Метеорологический радар станции Шевченко (ныне Актау) был установлен на восточном берегу Каспийского моря практически у уреза воды на территории одноименного морского порта. В течение нескольких лет в конце восьмидесятых годов он успешно эксплуатировался и был накоплен материал наблюдений за этот период. Позже его работа была остановлена в связи экономическими проблемами, а затем он был демонтирован. Представляет большой интерес обобщить накопленные данные, чтобы расширить наши знания о распределении облачности и осадков в бурно развивающемся регионе и, в частности, попытаться оценить влияние моря на процессы облако- и осадкообразования. Из литературы известно, что именно у восточных побережий морей влияние последних наиболее заметно [3, 4 и др.].

Рассмотрим пространственное распределение осадков и облачности всех типов в зоне наблюдения МРЛ. Отметим некоторые особенности региона наблюдений, которые прямо или косвенно могут влиять на пространственно-временную динамику осадков и облачности.

На рисунке 1 представлена карта-схема региона в масштабе – сторона квадрата равна 30 км. В виде окружностей с центром в точке установки МРЛ нанесены линии равных удалений. МРЛ дает пространственное распределение облачности и осадков именно в таком масштабе, представляя данные по квадратам 30×30 км [9]. Как можно видеть на рисунке 1, мало изрезанная береговая линия в районе Актау проходит примерно с юго-востока на северо-запад. В 120...130 км к северо-востоку она огибает полуостров Тюб-Караган (район Форт-Шевченко) и поворачивает к северо-востоку. На этом участке береговая линия изрезана сильно, имеются мелкие глубокие заливы, а в море – острова. К юго-востоку от Актау, тоже на расстоянии 120...130 км, расположен Казахский залив и береговая линия поворачивает здесь сначала к востоку-юго-востоку, а затем – к югу.

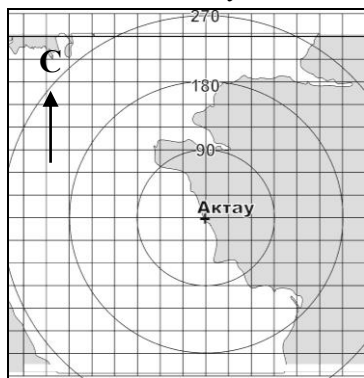


Рис. 1. Схема побережья Каспийского моря у Актау и зона наблюдения МРЛ.

По особенностям морфологии и распределения глубин Каспийское море делят на три части: Северную, мелководную, где глубины не превышают 10 м, Центральную или Среднекаспийскую глубокую, где в районе Дербентской впадины глубины достигают 780 м, и Южнокаспийскую, еще более глубокую до 1025 м [1]. Граница между Северной и Центральной частями проходит примерно на широте Форта Шевченко. Северная часть моря замерзает на несколько месяцев и линия кромки льда тоже проходит по широте Форта Шевченко или несколько севернее.

МРЛ Шевченко расположен у восточного побережья Среднекаспийского бассейна. Дербентская впадина расположена к юго-западу от Актау, однако во всей этой части моря глубины большие и начинаются они практически от берега. Сам берег моря обрывистый, высокий, до 40...50 м над урезом воды. Примыкающая к морю суша представляет собою практически не всхолмленную равнину. Только на расстоянии 80...120 км к востоку расположена возвышенность с высотами около 200 м, ориентированная параллельно берегу моря. В 100 км к северо-востоку расположены горы Мангыстау с высотами до 650 м, которые ориентированы одинаково с полуостровом Тюб-Караган. Описанные выше особенности орографии и моря должны как-то влиять на облако- и осадкообразование, и проявляться в динамике и пространственном распределении изучаемых явлений.

Механизм влияния водоема на осадки в умеренных широтах заключается в следующем. В начале теплого периода суша прибрежной территории прогревается быстро, а вода в прилегающем водоеме – медленно. В результате длительное время температура поверхности воды остается ниже, чем температура поверхности суши. Поэтому водные поверхности отрицательно влияют на развитие процессов осадкообразования, повышая устойчивость проходящих над ними воздушных масс, стимулируют развитие в них нисходящих движений, т.е. процессы диссипации облачности. Определенное отрицательное влияние на образование осадков оказывает и слабое по сравнению с сушей развитие турбулентности над водой, обусловленное малой шероховатостью водной поверхности [3, 4, 7 и др.].

Во вторую часть теплого периода и в первую холодную часть года более теплая поверхность водоема активизирует восходящие движения и облакообразование. Испарение при этом, особенно к концу лета, заметно увеличивается по сравнению с началом теплого периода, что тоже должно способствовать осадкообразованию.

Некоторые авторы [3, 4] указывают еще на один эффект – значительно меньшее испарение с поверхности воды, чем с поверхности суши по двум причинам: из-за относительно низкой температуры поверхности воды и из-за того, что относительная влажность над водой заметно выше, чем над сушей.

Рассмотрим, как вышеперечисленные закономерности проявляются в нашем регионе в разные сезоны года. Для анализа динамики и пространственного распределения облачности и осадков были использованы данные наблюдений МРЛ Шевченко за срединные месяцы сезонов 1978...1980 гг. за все восемь сроков наблюдений. Выбранный период наблюдений является наиболее качественным и полным, а также последним, после чего МРЛ демонтирован.

При статистической обработке вычислялись суммарные, а затем средние повторяемости осадков и облачности для каждого из сроков и квадратов наблюдений 30×30 км. Аналогично рассчитывалась средняя повторяемость облачности с разной высотой верхней границы.

Поскольку чувствительность МРЛ не зависит от направления, а только от расстояния [9], то среднюю повторяемость и облачности, и осадков, в квадратах, расположенных на одинаковом расстоянии от МРЛ, можно сравнивать, выделяя области экстремумов. Сама форма зоны с данными, т.е. степень ее эллиптичности и положения большей оси, тоже являются информативными характеристиками. Информативным является так же фактический радиус обнаружения облачности и осадков.

В то же время, из-за снижения возможностей МРЛ с расстоянием, особенно после 100...120 км, сравнение повторяемостей вдоль радиуса от МРЛ не корректно. Существуют методы выравнивания (восстановления) повторяемостей на основе изучения закона распределения облачности в ближней зоне [10]. Однако здесь существует все еще ряд неопределенностей, что вынудило нас воспользоваться исключительно первичными характеристиками. Необходимые данные для выравнивания, если бы это потребовалось, в работе содержатся.

Поскольку главной нашей задачей было именно получение первичных надежных данных, мы воздержались на данном этапе от их анализа с применением серьезного математического аппарата как это сделано в работах [5, 6 и др.]. Средние величины повторяемостей были представлены в виде карт-схем и таблиц, чтобы сделать данные доступными и облегчить процесс анализа.

Пространственное распределение облачности

Рассмотрим сначала в общих чертах, как по отношению к МРЛ распределяется облачность в срединные месяцы сезонов.

Январь. Основное количество зафиксированной облачности расположено в радиусе 90...120 км от МРЛ. К северу облачность наблюдалась на расстоянии до 90 км, а в других направлениях до 120 км и более (рисунок 2). Территория, занятая облачностью всех типов, несколько вытянута с северо-запада на юго-восток, причем воображаемая большая ось этого эллипса не параллельна генеральному положению береговой линии, а сдвинута по отношению к ней ближе к положению запад – северо-запад – восток – юго-восток. Имеется, кроме того, ряд частных особенностей. Так, на расстоянии 45...75 км к западу-юго-западу, в море, где располагается ориентированная к северу узкая ложбина Дербентской впадины, очерченная изобатой 200 м, отмечается область повышенной повторяемости облачности (квадраты со значениями повторяемости 25 и 15 случаев). Повышенная повторяемость отмечается также в направлении к юго-востоку в 50 км от МРЛ у побережья (квадраты с повторяемостью 18), и к юго-востоку (квадраты с повторяемостью 6), а также к северо-северо-востоку в 45 км (квадраты с повторяемостью 7). Можно уловить ряд других второстепенных особенностей в распределении повторяемости облачности, на которых мы не останавливаемся. Главные же особенности: преимущественное расположение облачности южнее широты МРЛ и наличие области высокой повторяемости над морем южнее широты МРЛ имеют объяснение.

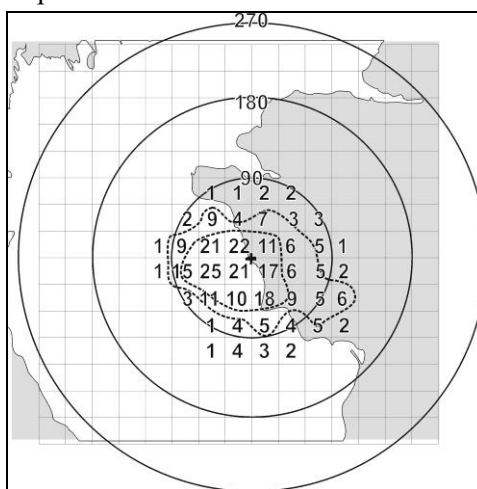


Рис. 2. Пространственное распределение средней повторяемости облачности в январе по квадратам 30×30 км.

облачности над сушей, особенно в районах гор и возвышенностей, вдоль побережья к юго-востоку от МРЛ.

Появление конвективной облачности в апреле способствовало тому, что зона обнаружения облаков существенно расширилась по сравнению с январем во всех направлениях. Только над Северной частью моря условий для формирования облачности, особенно кучево-дождевой, еще не наблюдается.

Июль. Площадь, занимаемая радиоэхо облачности в этом месяце, самая обширная. Она простирается к западу и востоку от МРЛ на 180 км, к югу – на 210 км и к северу на 240 км (рисунок 4).

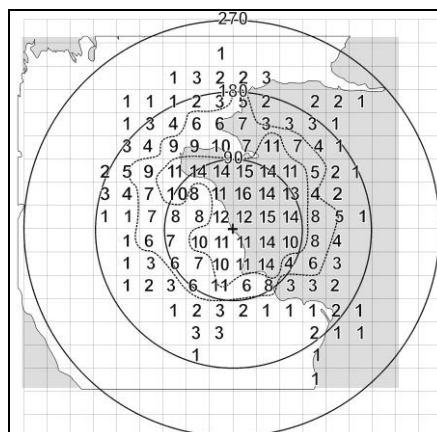


Рис. 4. Пространственное распределение средней повторяемости облачности в июле по квадратам 30×30 км.

Область повышенных значений её повторяемости над морем сдвинулась к северу (она на северо-западе от МРЛ) в сторону воды с наиболее высокой температурой. В июле температура воды в северной части моря самая высокая или близка к ней. Это происходит потому, что, площадь этой части моря велика, а объем воды небольшой из-за малых глубин.

Это способствует интенсивной конвекции и испарению, что мы и наблюдаем по самому большому числу повторяемости облачности именно над мелководной частью моря у побережья полуострова Тюб-Караган. К югу от МРЛ повторяемость облачности тоже высокая, но она мало отличается от ее повторяемости в апреле.

Отношение повторяемости облачности севернее широты МРЛ к облачности южнее МРЛ в этом сезоне составляет 1,9, т.е. севернее МРЛ радиоэхо облачности наблюдалось в 2 раза больше, чем южнее его. То, что большое число случаев облачности наблюдается за пределами 100 км, ука-

зывает на то, что облачность конвективного происхождения (кучево-дождевая) в этом сезоне является преобладающей.

Октябрь. Зона, занятая облачностью в этом месяце, также обширна, как и в июле (рисунок 5). В октябре суша прогревается уже меньше, а ночью температуры могут опускаться ниже 0 °С. В то же время море, особенно глубокие его части, сохраняет тепло, накопленное в течение лета. Естественно, что в этом месяце условия для формирования облаков и осадков более благоприятны над морем, чем над сушей, хотя и над сушей они тоже все еще удовлетворительные.

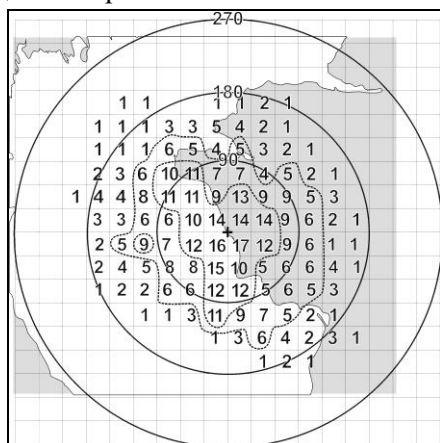


Рис. 5. Пространственное распределение средней повторяемости облачности в октябре по квадратам 30×30 км.

Облачность наблюдается в радиусе до 180 км, однако в сторону моря к западу и северо-западу она зафиксирована на расстоянии 210 км. Область её повышенной повторяемости, как и в предыдущем сезоне, отмечается над морем в 120 км от берега над северной оконечностью ложбины Дербентской впадины. В октябре этот максимум несравненно выразительнее, чем в январе, чему, очевидно, способствует большой контраст температур поверхности воды над глубоким участком моря и над мелководьем. Поле облачности, таким образом, реагирует не только на тип подстилающей поверхности суши или моря, но и на распределение глубин в море, так как толщина водной массы влияет на распределение температуры поверхности моря. Область повышенной повторяемости, как и в другие месяцы, отмечаются и над сушей в районе Мангыстау и возвышенностей в 100 км восточнее МРЛ. Обращает на себя внимание форма зоны повторяемости. Она близка к эллипсу с большой осью, почти совпадающей с береговой линией.

Сравнительный анализ

Выполним теперь сравнительный анализ распределения повторяемости осадков и облачности для срединных месяцев сезонов и попытаемся оценить некоторые характеристики количественно.

Север – юг. В таблице 1 представлено распределение осадков и облачности по принципу севернее или южнее широты МРЛ. Это распределение дано в виде отношения числа квадратов, занятых осадками (или облачностью) севернее и южнее МРЛ к общему числу квадратов. Это отношение в виде коэффициента является объективной характеристикой повторяемости осадков и облачности на исследуемых территориях. В таблице 1 имеются также данные об общем (среднем суммарном) числе квадратов, занятых осадками или облачностью, для срединных месяцев сезонов.

Таблица 1

Отношение повторяемости облачности и осадков в северной и южной частях зоны наблюдения МРЛ

Осадки			Облачность			Отношение осадки /облачность
общее число случаев	отношение север – юг	коэффициент отношения север – юг	общее число случаев	отношение север – юг	коэффициент отношения север – юг	
138	59/79	0,697	январь 301	116/185	0,627	0,458
160	102/58	1,757	апрель 572	331/241	1,375	0,280
50	31/19	1,630	июль 638	421/217	1,940	0,078
124	59/65	0,909	октябрь 589	292/297	0,982	0,211

Можно видеть, что в динамике распределения и осадков, и облачности имеются определенные закономерности. Величина отношения квадратов с осадками «север – юг» существенно меняется в течение года.

В январе отношение составляет только 0,697, т.е. каждым семи квадратам с осадками севернее МРЛ соответствует десять квадратов с осадками южнее МРЛ. Это наименьшая величина отношения для осадков для срединных месяцев. Среднее число квадратов, в которых наблюдаются осадки в этом месяце, составляет 138.

В апреле количество квадратов с осадками севернее МРЛ оказывается уже больше, чем южнее. Отношение «север – юг» равно 1,757 и является

ся наибольшим для срединных месяцев. Количество квадратов, занятых облачностью тоже возрастает в апреле по сравнению с январем и составляет 160. Это самая большая величина в годовом ходе.

При качественном анализе карты-схемы пространственного распределения облачности в апреле (рисунок 3) мы отмечали, что над северной частью моря облачность не наблюдается. Однако в полосе от МРЛ до широты Форт Шевченко, в районе Мангыстау ее отмечается очень много, особенно над сушей, которая быстро прогрелась. Этому способствовало и высокое влагосодержание воздушных масс весеннего сезона [6] при все еще высоких влагозапасах и высоком испарении с поверхности почвы.

В июле отношение «север – юг» для осадков несколько уменьшается и составляет 1,630. Однако само число квадратов, в которых отмечаются осадки, составляет только 50. Оно практически в три раза меньше, чем в любом другом сезоне. Это несмотря на то, что территория, на которой наблюдалась облачность, наибольшая по сравнению с другими сезонами и превышает радиус в 210...240 км. Число случаев такой облачности тоже велико (638 квадратов). Объяснение такому несоответствию между осадками и облачностью следующее. Радиус устойчивого обнаружения осадков для МРЛ 90...100 км, летом – максимум до 120 км, в то время как кучево-дождевая облачность обнаруживается на расстоянии 210...300 км. Следовательно, осадки, выпадающие над Северной частью моря, не обнаруживаются вовсе, как и осадки, выпадающие в других местах на расстоянии более 100 км. Сказанное выше относится и к другим сезонам года.

В октябре отношение «север – юг» для осадков снижается до 0,909, т.е. повторяемость осадков севернее МРЛ близка к повторяемости южнее него, но все же южнее повторяемость несколько выше. Число квадратов, занятых осадками, в октябре в 2,5 раза выше, чем в июле и составляет 124.

В годовом ходе, наибольшее среднее число квадратов, занятых осадками, имеет место в апреле (160), а наименьшее в июле (50). Число квадратов, занятых осадками в январе, равно 128, а в октябре – 124, т.е. эти повторяемости близки. Отношение повторяемости облачности «север – юг» хорошо коррелирует с соответствующими отношениями для осадков (таблица 1). В январе и апреле отношение «север – юг» для облачности несколько меньше, чем для осадков, а в июле и октябре – больше. В июле и октябре, судя по большому радиусу обнаружения, преобладающей формой облачности, дающей осадки, является кучево-дождевая. В то же время, радиус обнаружения осадков в эти месяцы остается прежним, около

100 км. Отсюда существенное увеличение отношения «север – юг» для облаков по сравнению с осадками.

Рассмотрим теперь отношение числа квадратов, занятых осадками и облаками, по сезонам. В январе, когда конвективной облачности практически не наблюдается, отношение числа квадратов с осадками к числу квадратов с облаками несколько меньше 0,5. К апрелю это отношение уменьшается до 0,28, а в июне оно меньше 0,1. Осадки в июле – редкость даже при наличии облачности, а часть их выпадает за пределами обнаружения, в основном, над морем. В октябре это отношение увеличивается до 0,2. Причина такого годового хода отношения «осадки/облачность» объяснена выше.

Море – суша. Рассмотрим теперь сравнительное распределение осадков над морем и над сушей и их суточный ход. При подсчетах, если береговая линия делила квадрат 30×30 км практически пополам, то повторяемость осадков в этом квадрате делилась поровну между «морем» и «сушей». Во всех остальных случаях, т.е. при неравном делении квадрата, все случаи относились к большей доле, или к морю или к суше. Результаты подсчета повторяемости осадков над морем и над сушей по срокам наблюдений по Гринвичскому времени (которое на 4 часа отстает от местного) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Суточный ход отношения количества осадков над морем и над сушей («море – суша») в срединные месяцы сезонов. Время по Гринвичу

Срок								Суммарное отношение «море – суша» за сутки	Суммарная повторяемость осадков «море + суша»	Коэффициент отношения море – суша
00	03	06	09	12	15	18	21			
январь										
4/1	14/6	26/15	16/11	12/1	12/2	7/3	9/2	100/41	141	2,44
апрель										
6/7	6/11	8/9	13/15	17/18	7/6	8/6	8/11	73/83	156	0,879
июль										
3/1	2/4	0/4	1/9	0/0	0/0	10/13	3/11	19/43	62	0,445
октябрь										
9/8	7/3	3/3	5/5	6/11	8/9	10/17	18/17	66/62	128	1,064

В январе, когда поверхность моря западнее МРЛ открыта и теплая по сравнению с сушей, отношение осадков «море – суша» составляет 2,44, т.е. осадки под морем отмечаются в 2,5 раза чаще чем над сушей.

В апреле суша уже достаточно прогрета, в то время как море все еще остается холодным. Соответственно, отношение осадков «море – суша» равно 0,88, т.е. над сушей осадки.

В июле число квадратов, где отмечаются осадки, резко уменьшается, но все-таки над сушей их в два раза больше, чем над морем, отношение равно 0,04. Это, несмотря на то, что море к этому времени хорошо прогревается, а испарение с поверхности суши почти отсутствует.

В октябре, когда море еще теплое, а суша уже заметно остыла, отношение «море – суша» становится снова в пользу моря – 1,064.

Значительный интерес представляет сравнительный анализ суточного хода осадков над морем и над сушей. Максимум повторяемости осадков над морем и над сушей во все сезоны отмечается одновременно. В январе это срок 6 ч (время по Гринвичу), в апреле – 9, 12 ч, в октябре – 21 ч. Максимум наступает тогда, когда разность температур «море – суша» наибольшая. Действительно в январе суточный ход температуры поверхности воды почти отсутствует, а минимум отрицательной температуры поверхности суши имеет место в утренние часы.

В апреле при незначительном суточном ходе температуры воды время наибольшей разности температур «море – суша» определяется временем наступления максимума температуры поверхности суши. Обычно это наблюдается около 15 ч местного времени (что соответствует времени между сроками 9, 12 ч по Гринвичу) [3, 6]. В октябре море теплее суши, а самые низкие температуры поверхности суши отмечаются в ночное время ближе к утру. Однако, к утру остывает и атмосфера, устойчивость ее заметно повышается. Максимум повторяемости осадков, которые чаще имеют конвективное происхождение, отмечается в 21 ч по Гринвичу, когда разность температур «море – суша» максимальная, но условия для конвекции над водой еще благоприятны.

Несколько выделяется июль. В этом месяце максимумы повторяемости облачности над морем и над сушей по времени тоже совпадают, срок 18 ч по Гринвичу или 22 ч по местному времени. Наибольшая разность температур «море – суша» имеет место ближе к утру. Однако в июле температура подстилающей поверхности и воздуха очень высокие и воздух далек от состояния насыщения влагой. Л.Т. Матвеев отмечает, что в сходных усло-

виях в развитии конвективной облачности (а значит и осадков) в суточном ходе отмечается два максимума в предобеденный период и в предвечерние часы [5]. Это подтверждается нашими исследованиями, когда максимум осадков над морем и над сушей мы наблюдаем в позднее вечернее время. Отсутствие предобеденного максимума объясняется большей сухостью воздуха над морем и сушей и бризом, дующим утром с суши на море, что не способствует облакообразованию, особенно формированию осадков.

Выполним теперь сравнительный анализ облачности над морем и над сушей и рассмотрим ее суточный ход. Данные представлены в таблице 3. Знак отношения «море – суша» для облачности такой же как и для осадков. В январе и октябре повторяемость облачности над морем больше, чем над сушей. Величины отношения 1,19 и 1,34 соответственно. Однако отношение для облачности в январе в два раза меньше, чем для осадков, т.е. доля облачности над сушей больше, чем доля осадков. Облачность, выходя на холодную поверхность суши, теряет способность к осадкам. В октябре наблюдается сходная ситуация, но величина отношения «море – суша» увеличивается по сравнению с его величиной для осадков, т.е. в этом месяце существенно уменьшается и облачность над сушей при ее перемещении с моря.

Таблица 3

Суточный ход отношения количества облачности над морем и над сушей (отношение «море – суша») в срединные месяцы сезонов. Время по Гринвичу

Срок								Суммарное отношение облачности «море – суша» за сутки	Суммарная повторяемость облачности «море – суша»	Коэффициент отношения
00	03	06	09	12	15	18	21			
январь										
6/2	26/14	47/44	35/21	26/13	19/11	15/15	10/3	163/136	299	1,194
апрель										
13/24	29/31	29/57	37/77	40/71	31/35	41/24	22/31	248/311	559	0,797
июль										
32/37	32/19	32/52	37/46	24/32	16/37	41/44	33/71	276/352	628	0,783
октябрь										
44/46	35/30	29/23	31/36	44/52	47/57	57/24	70/42	333/248	581	1,342

В апреле и июле число облаков, как и осадков над сушей больше чем над морем. И это несмотря на то, что, по крайней мере, в июле испарение с поверхности суши практически отсутствует, а относительная влажность (средняя за месяц) ниже 40 %, что вообще не способствует облако- и осадкообразованию [3, 6].

Отношение облачности «море – суша» для апреля составляет 0,80 (для осадков оно равно 0,88), а для июля – всего 0,78, т.е. оно в два раза больше, чем для осадков. Совпадение времени наступления максимума осадков над морем и над сушей в их суточном ходе практически во все сезоны года указывает на взаимосвязанность и взаимообусловленность этих процессов.

В суточном ходе повторяемости облачности для отношения «море – суша» отмечаются те же основные закономерности, которые свойственны для осадков, но некоторые экстремумы растянуты или немного смещены по времени (таблицы 3 и 2).

В январе максимум повторяемости облачности и над морем и над сушей имеет место в 06 ч., а минимум в 00 ч. по Гринвичу. В апреле максимум повторяемости облачности, над морем выражен не четко. Он имеет место в 12...18 ч. Над сушей в 9...12 ч, хотя величины от срока к сроку различаются незначительно (таблица 3). В июле максимум повторяемости облачности и над сушей, и над морем отмечается в 18...21 ч по Гринвичу. В эти же сроки отмечается и максимум осадков (таблица 2). В то же время минимум повторяемости облачности над морем имеет место в 15 ч, а над сушей – на 3 ч ранее. Осадки в эти сроки вообще не наблюдались (таблица 2 и 3).

В октябре выраженный максимум повторяемости облачности над морем отмечается в 21 ч, а над сушей слабо выраженный, – в 12 ч. Минимум повторяемости над морем имеет место в утренние часы, а над сушей он отмечается дважды в утренние и послеобеденные часы (таблица 3). Сравнивая суточный ход повторяемости осадков и облачности, можно сказать, что суточный ход осадков проявляется более четко во все сезоны, хотя в целом они повторяют друг друга.

Распределение высот верхней границы облачности

Эта характеристика, доступная для измерения МРЛ, может служить важным средством для оценки влияния моря на высоту облачности. Результаты подсчета высот по квадратам 30×30 приведены в таблице 4. Все высоты даются с дискретностью 1 км. Промежуточные значения высот типа 1,5, 2,5 и т.д. отнесены к целому большему значению высоты, т.е. к 2, 3 км и т.д.

Повторяемость высоты верхней границы облачности над морем и над сушей (отношение «море – суша») в срединные месяцы сезонов

Высоты, км										
1	2	3	4	5	6	> 6	7	8	9	10
январь										
116/31	43/26	79/88	20/26	2/5						
апрель										
3/1	6/8	74/67	120/112	64/91	65/88	10/16	5/7	3/3	2/6	0
июль										
0	4/14	3/8	7/38	50/65	124/132	100/68	55/43	35/18	6/4	4/3
октябрь										
4/2	12/2	54/54	70/58	95/108	50/15	28/15	21/10	5/3	1/0	1/2

В январе основной диапазон высот составляет 1...4 км, облачность с верхней границей более 5 км отсутствует. Следовательно, облачности конвективного характера, как и предполагалось выше, в январе не наблюдается. Осадки выпадают из слоисто-дождевых облаков, а иногда из высоко-слоистых и слоистых. Наибольшую повторяемость (147 случаев) имеет облачность с верхней границей 1 км, которую мы идентифицируем как слоистую. Ее повторяемость над морем в четыре раза выше, чем над сушей. Повторяемость высоты верхней границы 2 км значительно меньше (49 случаев), а отношение, «море – суша» уменьшается до 1,8.

Повторяемость высоты 3 км составляет 167 случаев, однако над морем такой облачности уже меньше, чем над сушей (79/88). Аналогично с высотой верхней границы 4 км (23/26). Таким образом, в январе море оказывает заметное воздействие на формирование над ним тумана и низкой облачности. Испарение с поверхности моря в нижние слои атмосферы, имеющей отрицательные температуры, зимой, как правило, приводит к формированию тумана и низкой облачности. Оказавшись над сушей, такая облачность быстро разрушается, так как подстилающая поверхность имеет низкую температуру. С высотой, однако, такое влияние уменьшается и облачность среднего яруса и слоисто-дождевая, формируясь при соответствующих аэросиноптических условиях, (обычно при прохождении атмосферных фронтов), уже такого влияния не испытывает. Эта облачность, имеющая западную составляющую, смещается на сушу, где за счет орографии активизируется. Вот почему облачность этого типа в отличие от облачности нижнего яруса (слоистой), имеет большую повторяемость над сушей, чем над морем.

В апреле облачность с высотой верхней границы ниже 3 км практически не наблюдается. Облака достигают высоты 3...9 км. Облачность с

высотами верхней границы 3...4 км чаще наблюдается над морем, чем над сушей, хотя разница невелика, 74/67 и 120/112 соответственно. Облачность с высотой верхней границы 4 км, т.е. слоисто-дождевая и высоко-слоистая, имеет в этом месяце наибольшую повторяемость.

Облачность с высотами верхней границы 5 км и более уже встречается чаще над сушей, чем над морем (64/91). Отношения для высот 5...6 и 6...9 км составляют, 65/88 и 10/16 соответственно. Следовательно, облачность с высотами верхней границы более 5 км в апреле чаще встречается над сушей. Эту облачность следует идентифицировать как преимущественно конвективную и кучево-дождевую. Как следует из таблицы 3, в апреле максимум повторяемости облаков над сушей наблюдается в первой половине и в середине дня, когда суша хорошо прогревается. Для облачности над морем суточный ход выражен слабее. Но, как уже отмечалось, сами максимумы повторяемости и над сушей и над морем совпадают по времени или находятся в пределах смежных сроков. В апреле, следовательно, термическая конвекция над сушей является важным фактором, способствующим повышению здесь повторяемости конвективной облачности в дневное время.

В июле диапазон наблюдаемых высот верхней границы наиболее широк, от 2 до 10 км. Облачность с высотами верхней границы до 6 км включительно чаще встречается над сушей, чем над морем. При этом повторяемость облачности с высотой верхней границы 6 км наибольшая, 124/132. Облачность с высотами до 2 км встречается редко. Видимо, это облачность местного происхождения, формирующаяся над морем в короткое время в условиях приподнятой инверсии.

Облачность с высотами 7...10 км чаще встречается уже над морем, чем над сушей. Особенно часто встречается облачность с высотами 7 и 8 км, 55/43 и 35/18 случаев соответственно. В июле, когда отмечается низкая относительная влажность у земли, высокие температуры воздуха и полное отсутствие испарения, условия формирования конвективных облаков над морем, которое в этом месяце имеет повсеместно высокую температуру воды, более благоприятны. Относительно высокая повторяемость конвективных облаков и над сушей объясняется тем что, выходя на сушу, они еще какое-то время продолжают существовать и в это время регистрируются МРЛ. Как отмечено выше, облачность и осадки формируются при определенных синоптических условиях, проявляющихся в регионе в результате общей циркуляции атмосферы. Эти условия над сушей благо-

приятны для конвекции, где орография усиливает процесс облакообразования, но море поддерживает ее в этом месяце лучше, чем суша.

В октябре повторяемость низкой облачности над морем увеличивается, в том числе с верхней границей 1 км. Эта облачность наблюдается преимущественно над морем, суммарное отношение «море – суша» для высот 2 км составляет 16/4.

Облачность с высотами 3...5 км неустойчива по преимущественному местоположению. Облачность с высотой верхней границы 3 км имеет одинаковую повторяемость и над морем и над сушей, 54/54, облачность с высотой 4 км несколько чаще встречается над морем, 70/58, а облачность с высотой 5 км – над сушей 95/108. Облачность с высотой верхней границы 5 км в октябре имеет большую повторяемость и над сушей, и над морем 95\108. Эта облачность относится к слоисто-дождевой и облачности среднего яруса.

Облачность с высотами верхней границы 6 км и более является конвективной, во многих случаях кучево-дождевой. Как и в июле, ее повторяемость над теплым морем выше, чем над сушей. Для высоты 6 км отношение «море – суша» составляет 50/45, а для 7 км уже 21/10, т.е. чем выше высота верхней границы, тем вероятнее, что облако находится над морем.

Чтобы лучше обосновать сказанное выше о причинах, определяющих распределение высот верхней границы облачности по принципу «море – суша», рассмотрим еще ее распределение по принципу «север – юг». Данные приведены в таблице 5.

Таблица 5

Повторяемость высоты верхней границы облачности севернее и южнее МРЛ (отношение «север – юг») в срединные месяцы сезонов

Высоты, км										
1	2	3	4	5	6	> 6	7	8	9	10
январь										
64/84	18/57	54/113	23/27	2/5						
апрель										
2/0	8/6	91/49	124/105	89/66	88/67	7/5	7/5	0	0	0
июль										
	13/6	7/4	31/14	59/41	172/85	125/55	74/26	30/23	7/3	4/3
октябрь										
6/0	6/18	50/58	72/56	109/93	41/56	19/24	11/20	6/2	0/1	2/1

В январе облачность с разными высотами верхней границы наблюдается преимущественно в южной полосе наблюдений без исключения. Следовательно, более высокие температуры поверхности воды в этой

полосе способствуют и большей повторяемости преимущественно низкой облачности «местного» происхождения.

В апреле более высокую повторяемость имеет облачность в северной полосе наблюдений. Обратимся к рисунку 3. Северная полоса в апреле не включает в себя поверхность северной части моря. Это только суша, северная часть плато Мангышлак, горы Мангыстау и южная часть полуострова Бузачи. В апреле эта территория достаточно увлажнена, хорошо прогревается, и облачность наблюдается преимущественно днем (см. таблицу 3). Конвекции способствует орография. Южная полоса включает значительную часть моря, которое все еще препятствует конвекции. К тому же суша в полосе южнее МРЛ не имеет уже столько влагозапасов, как северная полоса.

В июле, во всем диапазоне высот верхней границы, облачность наблюдается в полосе севернее МРЛ. Теперь уже по причине того, что температура воды там выше, чем в полосе южнее МРЛ, условия для облакообразования и конвекции лучше. Выходя на сушу, облачность даже несколько активизируется за счет увеличения трения и орографии.

В октябре, когда море теплее суши, особенно в южной полосе, облачность с высотами до 3 км чаще наблюдается в южной полосе. Мощная конвективная облачность с высотами 6 км и более так же наблюдается в южной полосе по тем же причинам, по которым в июле она наблюдается в северной полосе. Для наиболее часто встречающейся высоты верхней границы 6 км в июле отношение «север-юг» равно $172/85$, т.е. близко к 2, а для этой же высоты 6 км (максимум повторяемости) в октябре оно составляет $41/56$, т.е. меньше единицы. Для всего диапазона высот 6 км и выше оно остается примерно таким же – $60/80$.

Облачность с верхней границей 3,5...5,0 км несколько чаще встречается в северной полосе. Облачность с такими высотами верхней границы относят к слоисто-дождевым и облакам среднего яруса. И те и другие связаны с хорошо выраженными атмосферными фронтами, прохождение которых сопровождается осадками, как правило, на фоне заметного повышения температуры. В этом случае термический фактор, обусловленный региональными особенностями, подавляется, остается трение и орография. Поскольку и тот, и другой факторы в северной полосе сильнее, то и повторяемость облачности там выше.

Радиолокационная отражаемость

Радиолокационная отражаемость – важнейшая метеорологическая характеристика облачности, поскольку ее величина определяется

водностью, спектром частиц, особенно наличием крупных, и их фазовым состоянием. Поэтому часто радиолокационную отражаемость называют интенсивностью облака. Измерение радиолокационной отражаемости особенно важно для кучево-дождевых облаков. Поэтому она так же измерялась и была нами обработана (таблица 6) на больших расстояниях от МРЛ. Эту характеристику возможно измерить только тогда, когда имеет место мощная кучевая и кучево-дождевая облачность. В ближней зоне (от 40 км от МРЛ) радиолокационная отражаемость может быть измерена кроме мощных кучевых также в слоисто-дождевых и некоторых других типах облачности. [2, 9]. Наши обобщения, однако, выполнены по данным наблюдений дальней зоны.

В январе наблюдалось только 2 случая радиолокационной отражаемости в дальней зоне МРЛ, что согласуется с высказанным выше утверждением о том, что мощная конвективная облачность в январе – это редкий случай, который возможно наблюдается не ежегодно. В апреле радиолокационная отражаемость чаще наблюдается над сушей, чем над морем, что согласуется с распределением облачности и осадков (таблицы 2 и 3).

Таблица 6

Суточный ход радиолокационной отражаемости всех градаций над морем и сушей (отношение «море – суша») в средние месяцы сезонов. Время по Гринвичу

Срок								Отношение сумм	Коэффициент отношения	Общее количество случаев «море – суша»
00	03	06	09	12	15	18	21			
январь										
1/1										
апрель										
5/5	3/4	7/9	10/15	2/8	2/3	0/1	3/3	32/48	0,666	80
июль										
3/9	41/4	1/9	15/3	15/0	9/0	18/17	11/22	83/66	1,256	149
октябрь										
15/9	8/12	11/11	13/20	18/25	12/8	8/2	20/8	105/95	1,106	200

Отношение «море – суша» в целом составляет в апреле 0,67, т.е. влияние суши выражено лучше, чем для осадков (0,88) и для облачности (0,90). Однако если время максимума падает, как правило, на два срока 9 и 12 ч., то время наибольшей повторяемости радиолокационной отражаемости определенно приходится на 9 ч., т.е. на более ранний срок. Это согласуется с нашими представлениями о динамике кучево-дождевого облака: с началом выпадения осадков самые крупные частицы быстро вымываются из облака в результате начавшихся нисходящих движений и радиолокационная отражаемость заметно уменьшается. Жизнь облака и выпадение осадков, однако, продолжается иногда значительное время. По этой причине для отдельного дождя максимум радиолокационной отражаемости имеет место в момент его начала или незначительно до этого. Оказывается, что при статистических обобщениях это различие во времени может сохраняться даже при трехчасовой дискретности наблюдений, как это следует из наших данных для апреля.

В июле наибольшая повторяемость радиоэха имеет место в те же сроки (18 ч), что и наибольшая повторяемость осадков и облачности. Однако в целом отношение повторяемости радиоэха «море – суша» равно 1,26, т.е. над морем радиоэхо отмечается чаще, чем над сушей, хотя это отношение для облачности равно 0,91, а для осадков – 0,44.

Осадки обнаруживаются в радиусе до 100 км, а радиолокационная отражаемость на том же расстоянии, что и облачность. Этим объясняется часть различий. Однако более важным является то, что мощная конвективная облачность с высотами верхней границы 7 км и более отмечается именно над морем (таблица 4). Она дает более высокую повторяемость радиоэха, но осадки из этих облаков над морем, находящихся на расстоянии более 100 км, не фиксируются.

В октябре в суточном ходе максимум повторяемости радиоэха отмечается в срок 12 ч, а второй в срок 21 ч, т.е. тогда же, когда и максимум повторяемости облачности и осадков. Отношение «море – суша» для отражаемости составляет 1,11, т.е. оно несколько меньше, чем для облачности и несколько больше, чем для осадков. Объяснение этому такое же, как и для июля с уточнением, что число мощной конвективной облачности над морем в отношении «море – суша» по данным радиолокационной отражаемости ниже, чем конвективной облачности вообще.

Из анализа данных об отражаемости можно предположить, что осадков над морем в июле и октябре выпадает больше, чем над сушей, и

мы попытаемся определить величину этого превышения. Её можно оценить тремя способами, взяв за основу отношения «море – суша»: для осадков; для облачности; для радиолокационной отражаемости.

Поскольку речь идет именно об осадках над морем, как представляющих большой практический интерес, то именно отношение осадков «море – суша» должно лечь в основу расчетов. Несложные расчеты на основе данных о таких отношениях, содержащихся в таблице 2, и данных о месячном распределении осадков на М Шевченко (таблица 7) дают 51 мм или 33 %. Следовательно, по этому методу осадков над морем больше, чем над сушей на 33 % или на 51 мм (поэтому в одном значении табл. 7 стоит знак минус).

Таблица 7

Годовой ход количества осадков на М Шевченко (Актау) [6] и вероятные величины над морем, скорректированные на отношения «море – суша» для осадков, облачности и радиолокационной отражаемости

Параметр	Месяцы												Год	Изменение мм/%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Осадки, мм	10	12	18	19	11	9	4	8	9	16	17	23	156	
	по осадкам													
Поправочный коэффициент	2,44	1,92	1,40	0,88	0,73	0,59	0,45	0,67	0,89	1,10	1,51	1,92		
Осадки над морем	24	24	25	17	8	5	2	6	8	18	26	44	207	-51/33
	по облачности													
Поправочный коэффициент	1,19	1,06	0,93	0,80	0,80	0,79	0,78	0,97	1,16	1,34	1,29	1,24		
Осадки над морем	12	13	17	15	9	7	3	8	10	22	22	29	171	15/10
	по радиолокационной отражаемости													
Поправочный коэффициент	2,44	1,92	1,40	0,87	0,87	1,07	1,26	1,21	1,15	1,10	1,51	1,92		
Осадки над морем	24	24	25	17	10	10	5	10	11	18	26	44	244	68/44

Однако мы отмечаем, что кроме января ареал наблюдения облачности существенно превышает ареал наблюдения осадков. Чем больше такие различия в размерах, тем в меньшей степени данные об отношении осадков «море – суша» соответствуют его значению, которое было бы, если бы осадки измерялись во всей зоне, где определяется и облачность. Есть, осно-

вания предполагать, что отношение для облачности, «море – суша» распространяется и на осадки. Только часть отмечаемой облачности дает осадки, но оно постоянно и для моря и для суши. В этом случае количество осадков над морем может быть найдено через коэффициенты отношения «море – суша», содержащиеся в таблице 3. Грубые подсчеты дают меньшую величину, чем расчеты через осадки непосредственно: 10% или 15 мм. Причиной этого может быть факт, что летом очень малая доля облаков, около 7 %, дает осадки (см. таблицу 1). В другие сезоны эта доля увеличивается.

Расчеты через радиолокационную отражаемость представляются наиболее надежными. Во-первых, потому что отражаемость измеряется на том же расстоянии, что и облачность. Во-вторых, отражаемость возможно измерять только от довольно мощных кучево-дождевых облаков. Именно с такими облаками связаны осадки. Все слабо развитые облака не в состоянии обеспечить ответный сигнал необходимой мощности и в расчет не попадают.

Используя данные о радиолокационной отражаемости в апреле, июле и октябре (таблица 6) и коэффициент для осадков «море – суша» для января, мы выполнили расчет количества осадков над морем в течение года (таблица 7). Можно видеть, что в этом случае количество осадков над морем возрастает по сравнению с сушей до 44 % или на 68 мм. В основном за счет зимних осадков, а также летних из мощных кучево-дождевых облаков над морем. Оказалось, что результаты расчетов через осадки и через радиолокационную отражаемость близки.

Таким образом, все три метода расчета дают увеличение количества осадков над морем, но прирост разный. Через поле облачности из-за слабой корреляции связи «количество случаев облаков» – «количество случаев осадков» прирост осадков над морем составляет всего 10 % или 15 мм. Через поле осадков превышение осадков над морем составляет 33 % или 51 мм, а при использовании для января отношения «море – суша» для осадков и соотношений радиолокационной отражаемости в другие сезоны превышение осадков над морем достигает 68 мм или 44 % от осадков над сушей.

Выводы:

Информация МРЛ Шевченко (Актау), установленного у восточного берега Каспийского моря, позволила обнаружить и количественно оценить ряд закономерностей в формировании и пространственно-временном распределении осадков и облачности в обширной зоне взаимодействия моря и суши.

Построенные карты-схемы пространственного распределения облачности в срединные месяцы сезонов позволили выявить ряд особенностей. Так, в январе преобладающее число облачности имеет место над морем. Над морем же отмечается и область ее повышенной повторяемости. Высоты верхней границы этой облачности 1...3 км. Над морем отмечается и основное количество осадков. Комплексный анализ всех данных показывает, что наблюдаемая в январе облачность в основном относится к слоистой, слоисто-кучевой и образуется регулярно над теплым морем и дает слабые осадки. Выходя на берег, при малоградиентном барическом поле она быстро разрушается, однако успевает дать осадки и над сушей. В полосе южнее МРЛ, где вода теплее, облачность образуется чаще, чем в полосе севернее МРЛ.

Для апреля, только при соответствующих аэросиноптических условиях, в регионе характерно преобладание конвективной облачности, как над морем, так и над сушей. В апреле облачность с высотами верхней границы до 4 км, безусловно, преобладает над морем, а с высотами 5 км и более – над сушей.

Летом низкая облачность над морем образуется значительно реже, обычно в ранние утренние часы. В июле до высот верхней границы 6 км облачность преобладает над сушей, а более 6 км – над морем. В октябре высота верхней границы слабо зависит от типа подстилающей поверхности, однако над морем повторяемость облачности чаще. В эти месяцы, следовательно, море стимулирует или ослабляет развивающиеся в регионе синоптические процессы, а непосредственное влияние, например, образование облачности и осадков, сильно ослаблено и проявляется в виде образования в утренние часы низкой облачности и тумана над морем, которые выносятся также на сушу. Суточный ход облачности таков, что экстремумы над морем и над сушей во все месяцы года совпадают. Максимум повторяемости облачности в январе в срок 6 ч по Гринвичу приводит к тому, что и вынос ее на сушу в это время наибольший, хотя она над сушей и разрушается. Тоже имеет место и в другие месяцы.

Сами максимумы повторяемости облачности (и осадков) в разные месяцы наблюдаются в разное время. В январе – срок 6 ч., в апреле – 6, 12 ч, в июле и октябре 18, 21 ч, т.е. максимумы имеют место тогда, когда разность температур «море – суша» наибольшая. Зимой такая ситуация наиболее благоприятна для облакообразования над морем, в апреле, полдень – лучшее время для облакообразования над сушей и для обмена об-

лачностью с морской поверхностью, в июле – только в ночное время возможно облакообразование над сушей.

В октябре над относительно теплым морем устойчивость атмосферы наименьшая, а с суши происходит определенный обмен воздушными массами. В разные месяцы года то море, то суша более благоприятны для облакообразования, а в результате взаимодействия максимум в суточном ходе наблюдается почти одновременно.

Получено, что против ожидания количество осадков над морем больше. В основном это происходит за счет зимних осадков из облачности, образующейся в регионе при малоградиентном барическом поле. Величина осадков над морем по разным методам оценки дает разные значения: 10, 33 или даже 44 % по сравнению с сушей, цифра 35 % или 55 мм возможно наиболее приемлема, как средняя из двух наиболее надежных методов.

Процессы взаимодействия «море – суша» сложны и многообразны и автор считает, что не все эффекты изучены и определены количественно. Ценным было бы изучение взаимодействия «море – суша» при конкретных синоптических условиях, что позволило бы учитывать и осадки над морем. К сожалению, синоптические материалы за исследуемые годы оказались утраченными. Имеется ряд других интересных задач, например, расчеты водного баланса Каспийского моря и уточнения в нем роли осадков, выпадающих непосредственно на акваторию, уточнение влияния высокого берега на облакообразование и другие, которые пока не решены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аманиязов К.Н. Каспийское море. Алматы, изд. «Казак университеті». 1999. – 110 с.
2. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Низдойминова Г.Л. Радиолокационные характеристики облаков и осадков. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 231 с.
3. Дроздов О.А. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1994 – 530 с.
4. Жаков С.И. Происхождение осадков в теплое время года. Л.: Гидрометеиздат – 1996. – 25 с.
5. Калинин Н.А. Смирнова А.А. Исследование радиолокационных характеристик для распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью // Метеорология и гидрология. – 2005. – №1. – 12 с.
6. Калинин Н.А. Смирнова А.А. Численный анализ данных радиолокационных и станционных измерений облачности // Метеорология и гидрология. – 2003. – №7 – 9 с.

7. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 639 с.
8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, многолетние данные, части 1 – 6, выпуск 18, Казахская ССР, книга 2, Л. Гидрометеиздат, 1989. – 440 с.
9. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. – Л.: Гидрометеиздат. – 1974. – 332 с.
10. Чередниченко А.В. О распределении конвективной облачности над юго-востоком Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 1998. – №3 – 4. – С. 7 – 19.

КазНИИЭК – КазНУ им. аль-Фараби

МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ РАДИОЛОКАТОР МӘЛІМЕТТЕРІ БОЙЫНША КАСПИЙ ТЕҢІЗІНІҢ ШЫҒЫС ЖАҒАЛАУЫНДАҒЫ БҰЛТТЫЛЫҚ ПЕН ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ ДИНАМИКАСЫ

Геогр. ғылымд. канд. А.В. Чередниченко

Шевченко метеорологиялық радиолокатор (МРЛ) бақылау зонасында маусымның орта айлары үшін жауын-шашын мен бұлттылықтың қайталануының кеңістіктік таралуының картасхемасы тұрғызылды. Аймақтағы бұлттылық тек жер бедеріне ғана емес, бақылаудағы су айдынының тереңдігінің өзгеруіне де тәуелді екендігі көрсетілген. Шығыс жағалаудағы бұлттылық пен жауын-шашынға теңіздің әсері бағаланды. Әсерді бағалауға негіз ретінде теңіз және құрлық бетіндегі бұлттылықтың, жауын-шашынның және радиолокациялық шағылысудың қайталану қатынасы алынды. Мұндай әсердің сандық сипаттамалары алынды. Осындай негізде әртүрлі тәсілмен теңіз бетіндегі жауын-шашынның болжамдық мөлшері есептеліп, тұтас бір жылда құрлық бетіне қарағанда көп екендігі анықталды.