

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ

УДК 551.524.7; 593

А.И. Кусков*, С.Г. Катаев*, А.И. Комаров**, М.А. Волкова***

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ОСАДКОВ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА ГОДА НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

* Томский государственный педагогический университет

** Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

*** Томский государственный университет

Исследование условий формирования и выпадения осадков посвящены работы [1–5 и др.]. В них авторы изучали условия выпадения осадков в различных частях барических образований или при различных синоптических процессах [1; 3; 6, с. 79–89; 7; 8].

Особое внимание было уделено синоптическим условиям выпадения продолжительных и обильных осадков. Следует отметить, что большинство работ посвящено условиям выпадения осадков для ЕТС. В то же время полных и систематизированных данных о роли циркуляционных условий и формировании полей осадков на территории Западной Сибири, и в частности Томской области, нет. Нет также и единого подхода в определении влияния циркуляции на выпадение осадков. Это выражается в отсутствии общепризнанных методов привязки полей осадков к синоптическим ситуациям.

Таким образом, целью работы являлись выделение циркуляционных (синоптических) процессов, воздействующих на Томскую область, и оценка их роли в формировании полей суточных сумм осадков.

Материалом для исследования послужили суточные суммы осадков на метеорологических станциях Томской области за период 1983–1998 гг., а также карты погоды за этот же период.

В основу классификации циркуляционных процессов, влияющих на Томскую область, был положен генетический принцип. Исходя из характеристики места возникновения циклонов все циклонические процессы были разделены на 5 типов: 1) западные, 2) ныряющие, 3) южные, 4) центральные, 5) местные.

Западные циклоны – это циклонические образования, как правило, возникают западнее Урала в секторе, ограниченном с юга 50° с. ш. и с севера 65° с. ш. Смещаются на Западную Сибирь по трем траекториям: северным, центральным и южным. В большинстве случаев в момент влияния на погоду Томской области центр циклона находится севернее ее.

Ныряющие циклоны, преимущественно низкие барические образования, возникают над северными

морями – Баренцевым и Карским. На Томскую область опускаются из высоких широт по восточной периферии высотного гребня. Как известно, в передней части высотного гребня отсутствуют условия для циклогенеза, поэтому давление в центре ныряющего циклона велико, в некоторых случаях может достигать 1 035 ГПа.

Южные циклоны возникают южнее 50° с. ш., и смещаются на территорию Томской области по восточной периферии высотной ложбины. Это глубокие циклоны, возникающие под полярной ВФЗ. Относительно высокая температура воздушных масс в циклоне способствует накоплению водяного пара. Эти циклоны характеризуются большими значениями скоростей восходящих потоков.

Центральные циклоны – это малоподвижные, глубокие и высокие барические образования, возникающие над районами северного Урала, полуостровами Ямал и Таймыр, северными морями. Таким образом, при воздействии центрального циклона Томская область оказывается большую часть времени в его теплом секторе.

Местные циклоны возникают над территорией Западной Сибири между 50° и 65° с. ш., но наиболее часто они образуются в междуречье Оби и Иртыша. Влияние на Томскую область начинается практически с момента формирования.

Из антициклонических процессов выделены три типа: полярные и ультраполярные антициклоны (6-й тип), западные (7-й тип) и стационарные (8-й тип).

Полярные и ультраполярные антициклоны возникают над северными морями, смещаясь на Томскую область по восточной периферии высокого гребня. В зависимости от ориентации гребня антициклоны могут смещаться по северо-западным и северным или по северо-восточным траекториям.

Западные антициклоны – это барические образования, смещающиеся на территорию Томской области с запада. Район их формирования в большинстве случаев ограничен 50 – 65° с. ш. и 30 – 60° в. д.

В отдельных редких случаях антициклоны, возникающая над Западной Европой, достигают Томской области.

Стационарные антициклоны – это высокие барические образования, которые либо непосредственно возникают над Западной Сибирью, либо смещаются из районов южного или центрального Урала. Скорость смещения этих антициклонов незначительна, порядка 10 км/ч, что позволяет назвать их стационарными.

К ситуациям, не принадлежащим ни к одному из рассмотренных типов синоптических процессов, относятся малоградиентные поля. К ним относятся седловины, перемычки в циклонах и антициклонах, которые, в свою очередь, разделяются на малоградиентные поля повышенного (9-й тип) и пониженного давления (10-й).

Таким образом, все циркуляционные процессы, влияющие на погоду в Томской области, можно разделить на 10 типов.

Для оценки вклада различных типов синоптических процессов в формирование циркуляционного режима Томской области были рассчитаны их статистические характеристики. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические характеристики типов синоптических процессов Томской области

Тип процесса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число процессов	129	18	54	81	225	78	21	117	87	153
Повторяемость (%)	13.4	1.9	5.6	8.7	23.3	8.1	2.2	12	9	15.8
Вероятность дня с процессом (%)	14.5	1.7	7.4	7.6	31.1	5.8	2.1	14	5.8	10
Сред. продолжительность (дни)	2.6	2.2	3.2	2.1	3.2	1.7	2.3	2.7	1.5	1.5

Из анализа табл. 1 следует, что наибольшее влияние на Томскую область оказывают местные циклоны. Этот процесс отмечается в 31 % всех суток и имеет наибольшую устойчивость (средняя продолжительность процесса составляет 3.2 сут). Вторыми из циклонических процессов по значимости являются западные циклоны. Вероятность их воздействия на область составляет 14.5 %, а средняя продолжительность 2.6 дня.

Почти с одинаковой вероятностью воздействуют на Томскую область южные и центральные циклоны (7.4 %, 7.6 % соответственно). Однако устойчивость южных циклонов выше и составляет 3.2 дня по сравнению с центральными циклонами (2.1 дня). Нырющие циклоны составляют незначительную долю среди синоптических процессов (они воздействуют на область 1.7 % сут теплого периода).

Из антициклонических процессов наиболее частыми и устойчивыми являются стационарные антициклоны. Вероятность их появления составляет 14.0 % при средней продолжительности в 1.7 дня. Западные антициклоны воздействуют на область почти в 3 раза реже, чем стационарные антициклоны. Вероятность их воздействия равна 5.8 %, при средней продолжительности в 1.7 сут. Полярные и ультраполярные антициклоны имеют низкую повторяемость (всего 2.1 %).

Малоградиентные поля воздействуют на область в 15.8 % всех дней. Из них 10 % составляют малоградиентные поля пониженного давления. Устойчивость этих полей незначительна и составляет в среднем 1.5 дня.

Таким образом, в теплый период года над Томской областью преобладают циклонические процессы, охватывающие 62.3 % суток. На долю антициклонических процессов приходится 21.9 % суток, в 15.8 % суток область оказывается под воздействием малоградиентных полей. Региональной особенностью процессов Томской области является воздействие местных циклонов, которые отмечаются в 31 % дней теплого периода.

Общие характеристики полей суточных сумм

Принципы, положенные в основу выделения синоптических процессов, позволяют судить о происхождении влаги, идущей на образование осадков, а также об условиях их формирования. Поэтому естественно предположить, что совокупность факторов, приводящих к выпадению осадков, будет носить специфический характер при каждом типе синоптического процесса и, таким образом, обуславливать вероятность и количество выпавших осадков. Наиболее общей характеристикой полей суточных сумм осадков, которые формируются под влиянием различных синоптических процессов, является доля территории Томской области, на которой выпадают осадки в количестве большем некоторого заданного значения. Возможные суточные суммы осадков были представлены 8 значениями. Это ≥ 0.0 мм, ≥ 0.1 мм, ≥ 0.4 мм, ≥ 1.0 мм, ≥ 2.0 мм, ≥ 3.0 мм, ≥ 5.0 мм, ≥ 10.0 мм. Для каждой из выбранных сумм осадков рассчитывались средние значения (в долях от всей территории области) площади, на которой выпадали осадки для каждого типа синоптического процесса. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2
Средние значения доли территории (%), на которой выпадают осадки при различных синоптических процессах

Тип процесса	Суточная сумма осадков								
	0.0	0.1	0.4	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0	100
1	78	66	59	45	33	25	16	6	
2	70	52	43	36	30	26	14	2	
3	79	76	73	59	46	38	25	12	
4	83	72	66	51	39	30	17	5	
5	82	71	65	52	41	33	22	10	
6	32	21	15	11	7	4	2	0	
7	16	12	9	6	4	2	1	0	
8	12	8	5	4	2	1	1	0	
9	32	23	18	13	8	5	3	1	
10	48	40	30	22	16	12	7	3	
Среднее	62	51	46	36	27	21	14	6	

При всех циклонических процессах осадки с количеством ≥ 0.0 мм выпадают на значительной части области, составляющей в среднем 70–83 % ее площади. С увеличением суточной суммы осадков доля территории, на которой они выпали, уменьшается. Наиболее сильное уменьшение отмечается при ныряющих циклонах. Для этого типа процесса доля территории области, охваченная осадками с суточными суммами ≥ 10.0 мм, составляет всего 2 %.

Максимальные площади, охваченные дождями, практически при всех значениях суточных норм осадков отмечаются при южных и местных циклонах. Следует отметить, что средние значения территории, на которых отмечаются осадки, почти для любых суточных сумм при циклонических процессах выше, чем соответствующие средние многолетние значения.

Обратная закономерность отмечается при антициклонических типах процессов. При этих процессах доля территории, покрытая осадками в зависимости от их количества, колеблется от 0 до 32 %. Наибольшие значения площадей с осадками отмечаются при западных антициклонах, наименьшие – при стационарных антициклонах. При антициклонических процессах не отмечается на территории области осадков с суточными суммами ≥ 10.0 мм.

При малоградиентных полях осадки могут занимать почти 50 % территории. Однако площадь распространения осадков при этих процессах меньше, чем средняя многолетняя величина.

Для всех циклонических процессов характерно, что суточные суммы осадков ≥ 0.0 мм могут отмечаться более чем на 90 % территории области. Осадки на площади, превышающей 90 % территории области, отмечаются в 55 % при южных циклонах, в 48 % при центральных, в 38 % при западных и местных циклонах. При циклонических процессах характерно

выпадение осадков с суточными суммами ≥ 0.0 мм на площадях более 30 % территории области. Только при западных циклонах в 3.4 % случаев отмечаются площади с осадками на территории в 11–30 %. При южных циклонах минимальная территория, покрытая осадками ≥ 0.0 мм, составляет половину области. Для суточных сумм ≥ 0.0 мм отмечается постоянный рост повторяемости по мере увеличения площади орошения. С увеличением суточной суммы происходит естественное уменьшение величины площади, на которой выпадают осадки. Уже для суточных сумм ≥ 3.0 мм отмечаются случаи, когда осадки с такими суммами вовсе не выпадают в области, однако таких случаев немного, их повторяемость колеблется от 2–3 % при южных и местных циклонах до 53 % при ныряющих циклонах. Осадки с суточными суммами ≥ 10.0 мм не отмечаются в Томской области в 50 % случаев при западных и центральных циклонах и 30–35 % при южных и местных циклонах. Эти факты свидетельствуют о том, что среди циклонических образований наиболее благоприятные условия для выпадения осадков складываются в южных и местных циклонах, наиболее неблагоприятные – в ныряющих. Это обстоятельство имеет достаточно обоснованное физическое толкование. При выходе южных циклонов на территорию Томской области результат их воздействия определяется влиянием теплого фронта и теплого сектора. Теплый сектор южного циклона сформирован из тропической массы, которая вследствие высокой температуры имеет высокую потенциальную возможность к накоплению водяного пара. К тому же при воздействии южного циклона его центральная часть проходит через территорию Томской области. Общеизвестно, что в центральной части циклонов отмечаются наиболее благоприятные условия для восходящего движения воздуха, и как следствие – конденсация водяного пара, формирование облачности и осадков. Можно утверждать, что значительная доля осадков, выпадающих при местных циклонах, связана не с адвективным, а с местным водяным паром, поскольку замкнутая циркуляция на высоте не способствует выносу водяного пара, идущего на формирование осадков, с других территорий. При местных циклонах в 93 % случаев осадки с суточными суммами > 0.0 мм выпадает более чем на половине территории Томской области. Только при местных циклонах отмечались случаи, когда осадки с суммой ≥ 10.0 мм выпадали на более чем 70 % территории области.

Из антициклонических процессов наиболее часто и на большой территории осадки выпадают при западных антициклонах. При этом типе процесса отмечались случаи, когда осадки с суммами 0.0 мм охватывали до 90 % территории (2.2 %), также редки случаи (5.2 %), когда при западных антициклонах осадков над областью не отмечалось вообще. Это объясняется тем, что, с одной стороны, в передней части западных антициклонов, как правило, располагается

фронт, с другой стороны, западные антициклоны никогда не сменяют антициклонические процессы, а только циклонические или малоградиентные поля, которые являются основными, приводящими к формированию осадков.

Полярные антициклоны также имеют в передней части фронтальный раздел, однако они являются холодными и, приходя на теплую поверхность прогреваются, при этом понижается величина относительной влажности, что приводит к рассеиванию облачности. Поэтому только в 15 % случаев при полярных антициклонах осадки, с суммой более чем 0.0 мм покрывают территорию области более чем на 30 %, а в 23 % случаев осадки в области не отмечаются вообще.

Стационарные антициклоны, будучи очень устойчивыми образованиями, создают наиболее благоприятные условия для формирования сухих периодов. Так, в 35 % случаев при стационарных антициклонах в области не отмечается осадков с суммами ≥ 0.0 мм, и в 80 % случаев – с суммами ≥ 3.0 мм. Общей чертой всех антициклонических процессов является то, что при них не выпадает больших сумм осадков.

Малоградиентные поля пониженного давления способствуют выпадению значительных сумм осадков, охватывающих большие площади. Отмечались случаи (1.7 %), когда дожди выпадали на ≥ 90 % территории области, а в 12 % случаев ≥ 30 % территории покрывали осадки с суточными суммами более 10.0 мм.

При малоградиентных полях повышенного давления осадки выпадают реже и на меньшей территории, чем при малоградиентных полях пониженного давления. Площадь охвата осадками ≥ 10.0 мм только в 3 % случаев выпадают на 30 % и менее территории.

Приведенные выше результаты относятся к роли циркуляции в формировании осредненных полей осадков. В то же время задачи теории и практики требуют более детальных исследований, т.е. определение роли циркуляции в формировании вероятности выпадения осадков в любой точке Томской области. Принципиально решение этой задачи не отличается от решения предыдущей. Для каждого из выделенных синоптических процессов рассчитывались вероятности различных суточных сумм осадков для каждой станции Томской области. Затем для каждого синоптического процесса и фиксированной суммы осадков строились карты полей вероятности выпадения осадков. В настоящей работе приведены карты вероятности выпадения осадков ≥ 0.0 мм. По таким картам путем интерполяции можно определить вероятность выпадения осадков в любой точке Томской области при любом типе синоптического процесса (рис. 1–10).

В этом плане построенные карты можно считать прогностическими. Достаточно определить будущий тип процесса и получить вероятность распределения осадков по территории области. На построенных кар-



Рис. 1. Поле вероятности выпадения осадков ≥ 0.0 мм при западных циклонах



Рис. 2. Поле вероятности выпадения осадков ≥ 0.0 мм при ныряющих циклонах



Рис. 3. Поле вероятности выпадения осадков ≥ 0.0 мм при южных циклонах



Рис. 4. Поле вероятности выпадения осадков ≥ 0.0 мм при центральных циклонах

через нее. Отличительные особенности поля вероятности при южных и местных циклонах заключаются в том, что поле вероятности при местных циклонах более размыто. Структура поля вероятности при ныряющих циклонах очень сложная с замкнутым очагом минимальных вероятностей в центральной части области, к востоку и западу значения вероятностей возрастают от 50 до 80 %. При воздействии антициклонической группы процессов в районе Бакчарского и Васюганского болот отмечается замкнутый очаг минимальных вероятностей с абсолютными значениями 5–10 % в зависимости от типа процесса. При этом

на севере области отмечаются вероятности со значениями около 20–30 %. Аналогичная структура поля вероятности отмечается и при малоградиентных полях. Различие заключается лишь в абсолютных значениях вероятностей.

Таким образом, в районах Бакчарского и Васюганского болот и центре области вероятности выпадения осадков изменяются от 5–10 % до 85–90 %, для других районов Томской области диапазон изменения вероятности выпадения осадков меньше – от 20–25 % до 80–85 %. Это свидетельствует о том, что осадки в значительной степени формируются под воз-

Литература

1. Ерофеева А.И. Циркуляционные особенности дефицита и избытка осадков на юге Западной Сибири в начале лета // Межвузовская науч. конф. Омский гос. пед. ин-т. Географ. секция. Омск, 1967.
2. Жаков С.И. Происхождение осадков в теплое время года. Л., 1966.
3. Кошинский С.Д., Корулина Л.Г. Пространственно-временная синоптическая характеристика дождливых периодов на юго-востоке Западной Сибири // Динамическая и синоптическая метеорология. Л., 1976.
4. Кременская Н.Л., Никитченко С.Ф. Синоптические условия дождливых периодов на территории Брянской, Орловской, Курской и Белгородской областей // Сборник работ по региональной синоптике. М., 1962. № 7.
5. Кудрянь А.И. Некоторые особенности циркуляции атмосферы, определяющие осадки на юге Украины // Метеорология, климатология и гидрология. 1970. Вып. 6.
6. Войнова Т.А. Некоторые результаты статистического анализа полусуточных количеств осадков при однородных синоптических процессах над Средней Азией. Л., 1972.
7. Попова К.И. Краткая характеристика связи осадков с циркуляционным режимом за теплый период над юго-восточной частью Западно-Сибирской низменности // Вопросы географии Сибири. Вып. 4. Томск, 1962.
8. Строгина К.Ф., Уласевич К.Д. Синоптические условия формирования продолжительных осадков на Урале // Сборник работ по региональной синоптике. М., 1962. № 7.

УДК 551.524.7; 593

*А.И. Кусков***, *С.Г. Катаев***, *М.А. Волкова**

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ТРЕНДА ОСАДКОВ НА АЗИАТСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

* Томский государственный педагогический университет

** Томский государственный университет

В связи с проблемой глобальных климатических изменений, в последние годы интерес представляют исследования динамики атмосферных осадков. Исследованию динамики осадков посвящено значительное количество исследований [1, 2]. Тем не менее остался нерешенным целый ряд проблем, в том числе остаются практически не исследованы условия формирования долговременного тренда.

Задачей данного исследования является изучение составляющих долговременного тренда месячных сумм атмосферных осадков на Азиатской территории России (АТР). Материалом для исследования послужили временные ряды месячных сумм осадков на 129 метеорологических станциях, расположенных на АТР за период 1955–2000 гг.

В работах [3, 4] показано, что средние месячные значения природного поля, имеющего сезонную составляющую, можно выразить как

$$T(t) = T_r(t) + T_m + \Delta T(t), \quad (1)$$

где $T_r(t)$ – величина долговременного тренда температуры, T_m – среднее значение температуры конкретного месяца t в годовом ходе, $\Delta T(t)$ – отклонение средних месячных значений конкретных месяцев от обусловленных годовым ходом значений, t – условный порядковый номер месяца, начиная с начала временного ряда.

Учитывая, что осадки имеют выраженную сезонную составляющую, долговременный тренд и аномалию [1], было проведено разложение временных ря-