



УДК 551.577.21(571.61/.64)

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЛЕТНИХ ОСАДКОВ НА ЮГЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ**Т.Е. Данова¹, Е.А. Григорьева²,
А.С. Густенко¹**¹ *Одесский государственный экологический университет, Украина, 65016, г. Одесса,**ул. Львовская, 15*² *Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Россия, 679016, Биробиджан, ул. Шолом-Алейхема, 4**E-mail: danova8@mail.ru;
eagrigor@yandex.ru*

Представлена современная динамика количества летних осадков на юге Дальнего Востока России. Показан вклад летних осадков в их годовое количество и определена территория максимального распространения. Выявленные зоны максимальных значений осадков хорошо иллюстрируют характерные для региона траектории перемещения насыщенного влагой воздуха. Показано увеличение количества летних осадков в последнее десятилетие по сравнению с предыдущим.

Ключевые слова: количество летних осадков, динамика, статистические характеристики, юг Дальнего Востока России.

Постановка проблемы и ее актуальность

Режим атмосферных осадков является одной из важнейших характеристик природно-климатических особенностей любого региона. Осадки являются главным элементом в формировании водного баланса территории; определяют увлажнение почвы и количество доступной для растений влаги, влияют на урожайность сельскохозяйственных культур. Знание динамики выпадения осадков необходимо для устойчивого развития многих отраслей экономики: гидроэнергетики, строительства, транспорта, сельскохозяйственного производства, лесного хозяйства, рекреации и курортологии.

Югу Дальнего Востока России «свойствен континентальный климат с муссонными чертами» [1] с аazonальным распределением областей муссонов и муссонных тенденций [2-5]. Это отражается в характерной для региона большой межгодовой и межсезонной изменчивости в режиме атмосферных осадков. Большинство исследователей полагают, что дальневосточный муссон имеет циклоническую природу [1, 2, 4, 6]. Считается, что муссоны наблюдаются в районах с достаточной устойчивостью и сезонностью в проявлении областей низкого и высокого атмосферного давления и обусловлены расположением и взаимодействием циклонов и антициклонов [2, 4, 6]. В то же время, наличие термических различий между Азиатским континентом и Тихим океаном обуславливает формирование в тропосфере устойчивых меридиональных потоков, возмущающих господствующий в умеренных широтах западно-восточный перенос. Неоднородность в нагревании суши и моря определяет особенности циркуляции – наличие устойчивых воздушных течений сезонного характера – муссонов [2, 6-8].

Муссон часто рассматривается как замкнутая циркуляционная ячейка большого масштаба. Нижняя его часть проявляется в виде аazonального приземного потока, который сопровождается на высотах противоположным течением антимуссоном [2, 8]. Азиатско-австралийский муссон является наиболее интенсивным из всех известных муссонных воздушных течений. В северном полушарии зимой образуется сибирский антициклон, который охватывает большие пространства Азиатского континента, сильное радиационное выхолаживание способствует существованию этого антициклона в течение всех месяцев зимы. Из области антициклона происходит отток холодного воздуха через Китай, Японию на юг и юго-восток. Потоки воздуха, которые имеют направление на юг, пересекают экватор между западной частью Тихого океана и западной акваторией Индийского океана.

Структура летнего азиатско-австралийского муссона значительно сложнее, что заключается в наличии многочисленных впадин, сдвигов ветра, линий конвергенции и дивергенции. Потоки воздуха южного полушария, пересекающего экватор, наблюдаются между западными акваториями Индийского и западными акваториями Тихого океанов. Общий муссонный поток между этими циркуляционными объектами можно разделить на четыре муссонных субобразования: 1 – южно-азиатская муссонная система, располагающаяся над Аравийским морем и Индией; 2 – юго-восточная азиатская муссонная система, которая охватывает пространство от Бенгальского залива до Индокитая и Южно-китайского моря; 3 – восточно-азиатская муссонная система, состоящая из муссонных явлений над севером Южно-китайского моря, Восточ-

ным Китаем, Корейским полуостровом и Японией; 4 – тибетская муссонная система, наблюдающаяся на запад от линии дивергенции, которая располагается вдоль 110° в. д. [9-11].

Нас интересует третья восточно-азиатская муссонная система, являющаяся климатообразующим фактором для территории юга Дальнего Востока России, которая характеризуется умеренным муссонным климатом с теплым влажным летом и сухой холодной зимой. Отличительной особенностью является изменение климатических условий не только в широтном, но и в долготном направлении, что объясняется наличием горных хребтов, вытянутых преимущественно с юго-запада на северо-восток [1].

Воздух летнего азиатского муссона, который приходит на сушу, содержит много влаги, в основном с ним связаны длительные и обильные осадки на рассматриваемой территории. Выпадение осадков обусловлено здесь в первую очередь наличием характерных для муссонных областей активных фронтально-циклонических процессов. Это прежде всего адвекция теплого и влажного воздуха: континентального субтропического из центральных частей Китая и Монголии и морского субтропического с акваторий Желтого и Восточно-Китайского морей и западной части Тихого океана [4, 7, 12].

Надо иметь в виду, что для образования осадков необходимо не только большое влагосодержание воздуха, но и интенсивное развитие процессов, приводящих к конденсации водяного пара. К ним относятся термическая конвекция, которая усиливается орографическими восходящими потоками, образующимися за счет поднятия воздуха вдоль склонов субмеридионально вытянутых горных хребтов, а также втягивание влажного воздуха в систему циклонической циркуляции. Для формирования атмосферных осадков на юге Дальнего Востока важное значение имеет также развивающаяся над Охотским и Японским морями атмосферная циркуляция, но ее влияние ограничено прежде всего прибрежной линией горных хребтов Сихотелинь, Ям-Алинь и Джугджур [4, 7]. Кроме рассмотренных процессов, во второй половине лета на изучаемую территорию влияют тайфуны, перемещающиеся во внетропических широтах с юго-востока и юга по траекториям южных циклонов и приносящие сюда обильные осадки [4, 12].

Цель работы заключается в выявлении особенностей динамики режима летних осадков в приземном слое атмосферы на юге Дальнего Востока во второй половине 20 – начале 21 вв.

Объекты и методы исследования



При подготовке работы использовались данные наблюдений сети 48 гидрометеорологических станций (ГМС) (рис. 1) за количеством осадков на территории Хабаровского и Приморского краев, Амурской и Еврейской автономной областей за период 1966–2011 гг. В расчетах задействованы базы Мирового центра данных (www.meteo.ru) [13].

Для выявления пространственно-временных закономерностей в неоднородности режима атмосферных осадков в летний период в исследованном регионе использовалась методика визуализации данных, полученных при статистической обработке исследуемого материала. Данные каждой ГМС были подвергнуты статистической обработке; результаты расчетов – максимальные значения, средние значения, коэффициенты асимметрии, эксцесса – были использованы для построения карт.

Рис. 1. Юг Дальнего Востока России

Кроме того, для выявления особенностей временной изменчивости летнего количества осадков в исследуемом регионе были рассчитаны отклонения их среднего значения за каждое десятилетие от многолетнего среднего значения за период наблюдений с 1966 по 2011 гг.

Результаты и их обсуждение

Учитывая, что исследуемый регион находится под воздействием восточно-азиатской муссонной системы, с которой связаны сильные осадки в теплый сезон года, определим территорию, которая подвергается максимальному действию этих осадков. Для этого рассчитаем вклад летних осадков (%) в их годовое количество и проведем анализ пространственно-временного распределения. Весь период наблюдения был разделен на десятилетние фазы, начиная с 2011 г. в обратном отсчете, из которых только 1966–1971 гг. является шестилетней, а остальные – десятилетние; за лето считались календарные месяцы с июня по август.

Результаты расчетов представлены в виде полей распределения части летних осадков (%) по отношению к суммарному их количеству за год (рис. 2). Общая тенденция на протяжении 46-летнего периода практически не изменяется. На территории Тихоокеанского побережья часть летних осадков составляет несколько больше, чем 35% от всех осадков за год. Здесь влияние на годовую динамику осадков оказывают многочисленные южные циклоны, выходящие со стороны дальневосточных морей в зимний период [1, 4, 12].

Район Российско-Китайской границы, представленной р. Амур, характеризуется максимальной долей летних осадков – 60%. Как известно, граничащая с рекою Амур территория является зоной ежегодных летних паводков, некоторые случаи которых классифицируются как катастрофические. Таким образом, условия образования паводковых ситуаций напрямую зависят от количества летних осадков.

Заметим, что на протяжении исследуемого периода размер территории, ограниченной изолинией 60%, значительно меняется. Максимальная территория с долей летних осадков 60% наблюдается в период 1982–2001 гг.

Представленный анализ показал динамику пространственно-временного распределения доли летних осадков и позволил выявить зону максимумов в приграничном районе. Такое расположение зоны максимумов, кроме особенностей крупномасштабных потоков и орографических характеристик региона, может быть обусловлено влиянием загрязнения воздуха, а также пыльных и песчаных бурь на условия осадкообразования. Сегодня в странах, подверженных влиянию азиатского муссона, необходимо рассматривать процессы осадкообразования, учитывая влияние аэрозолей различного происхождения [14]. Поглощающие аэрозоли могут нагревать атмосферу и вызвать восходящее движение, усиливать конвергенцию влаги на нижнем уровне и тем самым увеличивать количество осадков. Авторами работы [14], представленной в бюллетене ВМО отмечено, что устойчивое накопление поглощающих аэрозолей начинается в апреле-мае перед муссонными дождями. Кроме того, аэрозоли могут увеличивать концентрацию ядер конденсации облаков (CCN); при наличии более влажного и теплого воздуха пониженные скорости слияния и столкновения могут привести к переохлаждению капель на более высоких уровнях, откуда выпадают осадки в виде льда с последующим таянием. Выделение скрытого тепла в процессе замерзания наверху и таяния внизу предполагает более активный перенос тепла в загрязненных облаках и активизирует глубокую конвекцию [15]. Таким образом, в исследуемом регионе Дальнего Востока, подверженного влиянию муссона, для которого также характерен перенос загрязненного воздуха с юго-запада, аэрозоли могут увеличивать локальную конвекцию [16].

Анализ пространственного распределения статистических характеристик показал характерные для исследуемого региона зоны максимумов и минимумов. Поле средних значений характеризуется максимальными величинами на ст. Аян (401.7 мм) (рис. 3, а). Также появляются две зоны экстремумов в приграничном с Китаем районе, объединенные в большую зону максимальных значений осадков с выраженным потоком южного направления (рис. 3, а). Выявленные зоны экстремумов хорошо иллюстрируют характерные для региона траектории перемещения насыщенного влагой воздуха [3, 5].

Пространственно-временное распределение максимальных значений количества летних осадков в регионе характеризуется ярко выраженным экстремумом в районе ГМС Аян – 1131.9 мм в 1981 г. (рис. 3, б). Уточним, что поле максимальных значений формировалось из выборки максимумов для всех станций за весь период наблюдений.

Пространственно-временное распределение коэффициентов асимметрии для поля осадков в районе исследования характеризуется положительными значениями (правосторонней асимметрией), что свидетельствует об уменьшении количества осадков в целом за исследованный период. Зона максимальных положительных значений коэффициентов асимметрии фиксируется в районе ГМС Советская Гавань (1.99) (рис. 3, в).

В то же время, выявляется небольшая территория с отрицательным коэффициентом асимметрии с центром в Среднем Приамурье, что говорит о наличии некоторой локальной тенденции к увеличению осадков. При анализе пространственного распределения осадков, которые для данной местности не являются редким явлением, то есть не подчиняются закону распределения Пуассона, отрицательное значение коэффициента асимметрии может свидетельствовать о росте анализируемых величин.

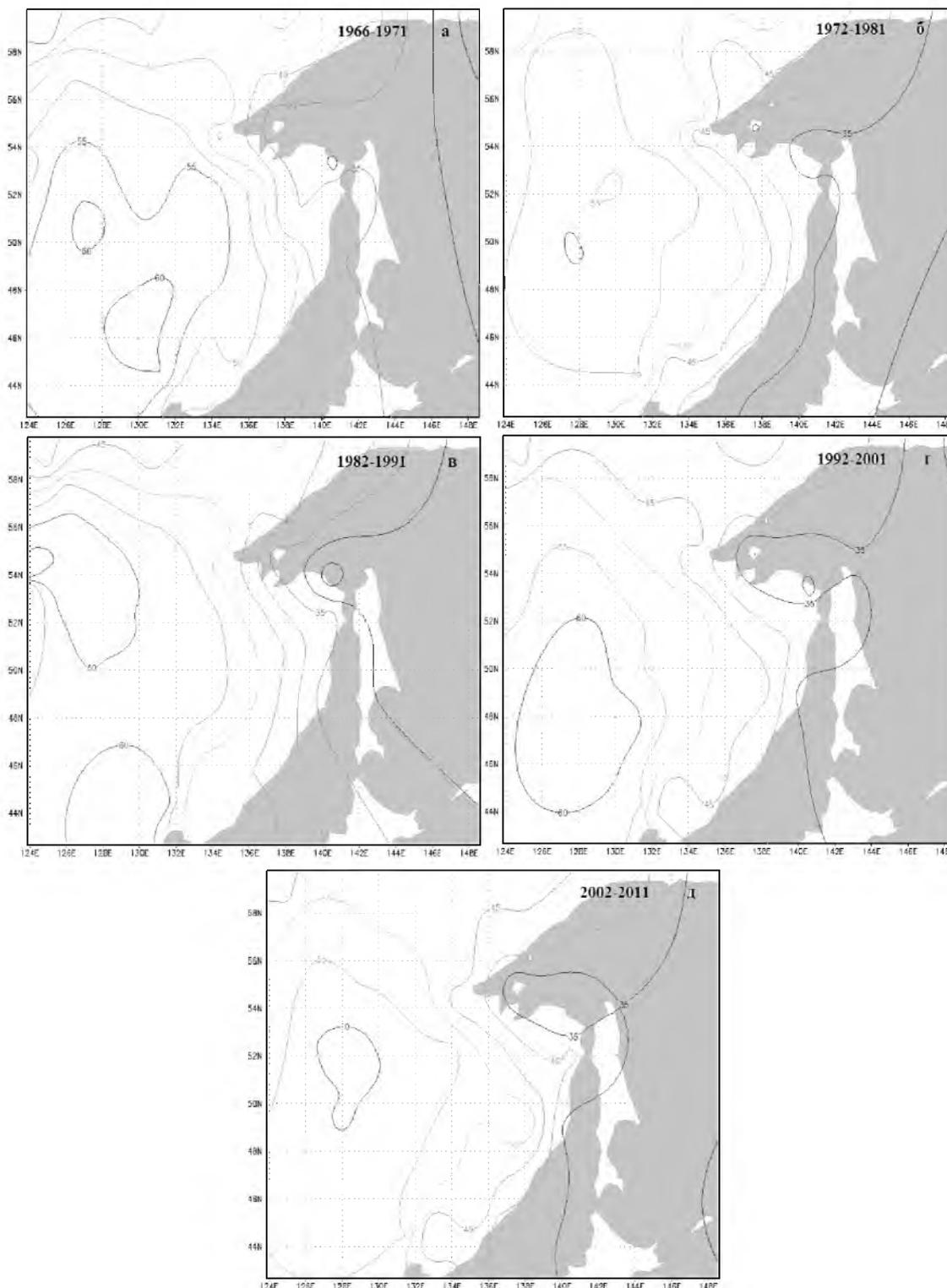


Рис. 2. Доля летних осадков в их годовом количестве, юг Дальнего Востока России (%): а) 1966–1971 гг.; б) 1972–1981 гг.; в) 1982–1991 гг.; г) 1992–2001 гг.; д) 2002–2011 гг.

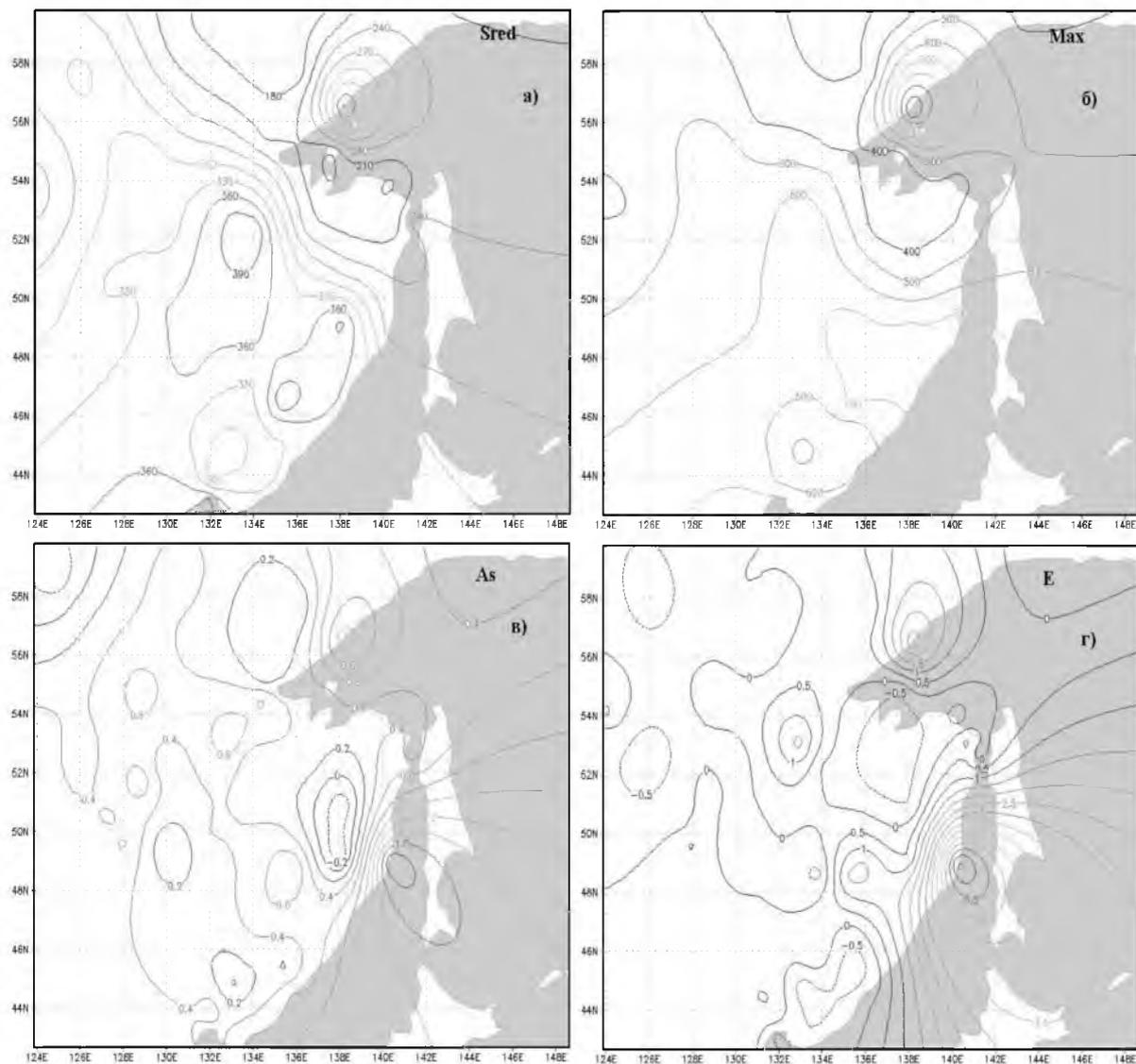


Рис. 3. Пространственное распределение статистических величин количества летних осадков на юге Дальнего Востока России: а) средние значения б) максимальные значения; в) коэффициент асимметрии; г) коэффициент эксцесса

Известно, что кривая распределения может быть нормальной, вытянутой или сплюснутой, мерой чего является коэффициент эксцесса. В целом анализ показал, что преобладает вытянутая кривая распределения, свидетельствующая о малом интервале, в котором происходит изменение количества осадков в регионе. Практически весь регион характеризуется полем либо положительных, либо нулевых значений коэффициентов эксцесса, что является показателем устойчивости количественных характеристик осадков (рис. 3, г).

Для анализа многолетних изменений количества летних осадков были рассчитаны аномалии, для чего использованы отклонения их среднего количества на данной станции за каждое десятилетие от многолетней средней величины, рассчитанной для периода наблюдений 1966–2011 гг. В результате расчетов получены аномалии для каждого десятилетнего периода, начиная с 2011 гг. в обратном отсчете. Полученные значения аномалий количества осадков для каждой станции региона были визуализированы. Анализ пространственного распределения аномалий (рис. 4) показывает изменение в расположении зон максимумов и минимумов для пяти периодов с 1966 по 2011 гг.

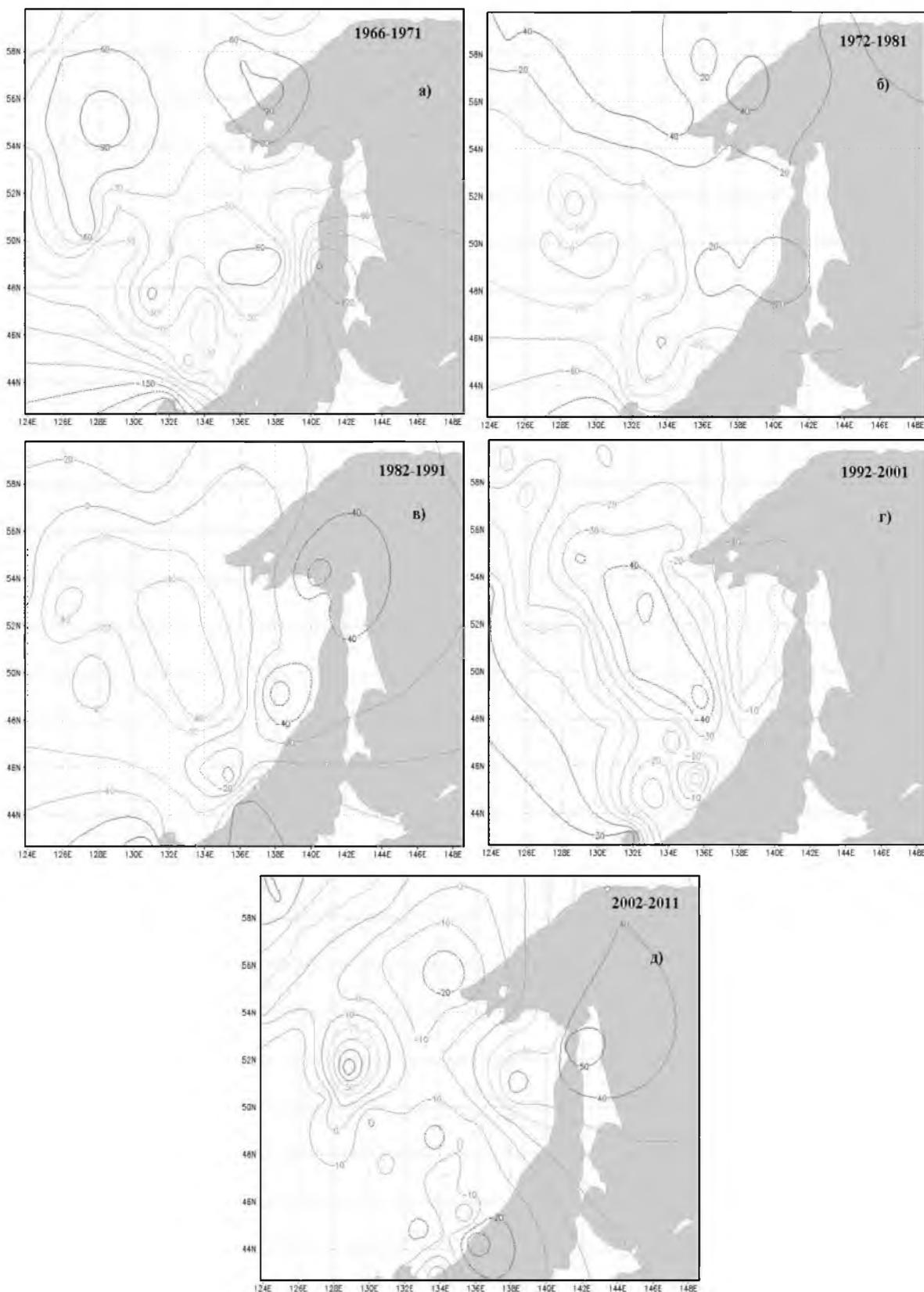


Рис. 4. Аномалии летних осадков по десятилетиям на юге Дальнего Востока России (%):
 а) 1966–1971 гг.; б) 1972–1981 гг.; в) 1982–1991 гг.; г) 1992–2001 гг.; д) 2002–2011 гг.

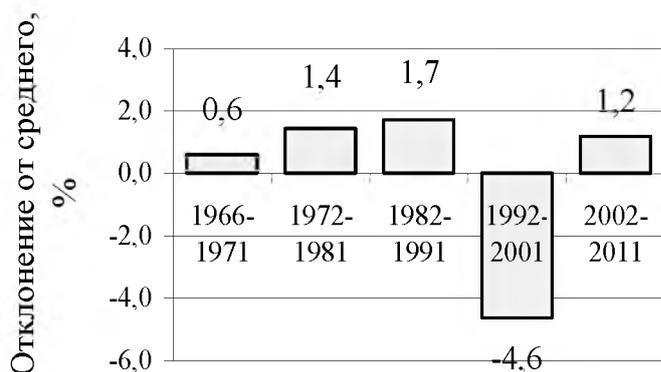
В период с 1966 по 1981 гг. почти вся территория представлена положительными отклонениями с наличием отрицательных значений в незначительной южной части региона (рис. 4, а, б). Десятилетие 1982–1991 гг. всю береговую зону вдоль Охотского и северной части



Японского морей занимают отрицательные аномалии до -50 мм, а зона положительных отклонений формируется в Среднем Приамурье (рис. 4, в).

В десятилетие 1992–2001 гг. картина меняется, зоны минимальных аномалий до -45 мм смещаются с прибрежного района на континентальную часть, а зона максимумов – соответственно в юго-западную часть региона (рис. 4, г). В последнее десятилетие 2002–2011 гг. отрицательные значения наблюдаются в центральной, южной и южно-западной частях исследуемой территории; положительные отклонения характерны для района тихоокеанского побережья с максимумом на Нижнем Амуре (ГМС Джаоре, $+58.6$ мм), второй максимум отмечен на Верхнем Амуре (ГМС Мазаново, $+61.2$ мм).

Далее все данные были суммированы, рассчитаны аномалии в процентах от среднего количества летних осадков за весь период наблюдений для всего региона (рис. 5). В первые три периода наблюдался незначительный рост количества осадков во всем регионе (в пределах 1% от среднего), 1999–2002 гг. характеризуются уменьшением количества летних осадков до 5%, а



в последнее десятилетие опять зафиксировано их увеличение. Полученные нами результаты о временной динамике летних осадков достаточно хорошо согласуются с исследованиями режима атмосферных осадков на Нижнем Амуре и в Хабаровске [17, 18].

Рис. 5. Распределение отклонений от среднего количества летних осадков на юге Дальнего Востока России за 1966–2011 гг. (%)

Выводы

Исследование динамики летних осадков на территории Дальнего Востока России за последние сорок шесть лет показало значительную изменчивость как в пространственно-временном распределении зон максимумов и минимумов, так и их количества.

1. По расчетам вклада летних осадков в годовое количество осадков определена территория их максимального распространения. Район Российской-Китайской границы, представленной р. Амур, характеризуется максимальной долей летних осадков – до 60%. Такое расположение зоны максимумов может быть обусловлено не только крупномасштабными потоками и орографическими особенностями региона, но и влиянием на условия осадкообразования загрязнения воздуха, а также пыльных и песчаных бурь.

2. Выявленные зоны максимальных значений осадков хорошо иллюстрируют характерные для региона траектории перемещения насыщенного влагой воздуха. Коэффициент асимметрии характеризуется положительными величинами, что свидетельствует об уменьшении количества осадков за исследованный период в целом. Преобладает вытянутая кривая распределения, которая указывает на малый интервал, в котором происходят изменения количества осадков в регионе.

3. Динамика аномалий осадков показала незначительную изменчивость их количества во всем регионе за 1966–1991 гг., резкое уменьшение в летний сезон в период 1992–2001 гг. и восстановление значений в 2002–2011 гг.

Список литературы

1. Витвицкий Г.Н. Климат. Южная часть Дальнего Востока. – М.: Наука, 1969. – С. 70–96.
2. Хромов С.П. Муссоны в общей циркуляции атмосферы // В кн.: А.И. Воейков и современные проблемы климатологии / Под ред. М.И. Будыко. – Л.: Гидрометеониздат, 1956. – С. 84–108.
3. Лисогурский Н.И., Петричев А.З. Распространение муссона над Восточной Азией и степень его устойчивости // Метеорол. и гидрол. – 1980. – №5. – С. 54–59.
4. Федоровский А.С. Закономерности пространственного распределения атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // Гидрометеорологические исследования на юге Дальнего Востока. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. – С. 3–12.
5. Новороцкий П.В. Распространение муссона над южной частью российского Дальнего Востока // Метеорол. и гидрол. – 1999. – №11. – С. 40–46.
6. Хайруллина Г.Р., Астафьева Н.М. Элементы общей циркуляции и распределение влагозапаса атмосферы Земли. – М.: ИКИ РАН, 2008. – 64 с.
7. Борисов А.А. Климаты СССР. – М.: Просвещение, 1967. – 296 с.



8. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 295 с.
9. Demarcating the worldwide monsoon / W. Qian, Y. Deng, Y. Zhu, W. Dong // *Theor. Appl. Climatol.* – 2002. – 71(1–2). – Pp. 1–16.
10. Wang B., Lin H. Rainy season of the Asian-Pacific Summer Monsoon // *J. Climate.* – 2002. – Vol. 15. – Pp. 386–398.
11. Krishnamurti T.N., Mishra A.K. Improving multimodel forecast of monsoon rainfall over China using the FSU Superensemble // *The Global Monsoon System: Research and Forecast.* С.-П. Chang et al. (Eds.). World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate. Vol. 5. World Scientific Publication Company. – 2011. – Pp. 475–492.
12. Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т. Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. – Владивосток-Хабаровск: Дальнаука, 2000. – 174 с.
13. Официальный сайт Мирового Центра Данных (ВНИИГМИ – МЦД) (Электронный ресурс) URL: www.meteo.ru.
14. Possible influences of air pollution, dust- and sandstorms on the Indian monsoon / W.K.M. Lau, K.-M. Kim, C.N. Hsu, B.N. Holben // *WMO Bulletin.* – 2009. – Vol. 58 (1). – Pp. 22–30.
15. Flood or Drought: How do aerosols affect precipitation? / D. Rosenfeld, U. Lohmann, G.B. Raga et al. // *Science.* – 2008. – Vol. 321. – Pp. 1309–1313. doi:10.1126/science.1160606.
16. Данова Т.Е., Мацук Ю.М. Компонентный анализ повторяемости гроз в Причерноморском регионе // *Вестн. Московского гос. обл. ун-та: Сер. «Естеств. науки».* – 2013. – №3. – С. 98–103.
17. Новороцкий П.В. Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет // *Метеорол. и гидрол.* – 2007. – № 2. – С. 43–53.
18. Grigorieva E.A., de Freitas C.R. Temporal dynamics of precipitation in an extreme mid-latitude monsoonal climate // *Theor. Appl. Climatol.* – 2014. – Vol. 116(1). – Pp. 1–9.

MODERN DYNAMICS OF SUMMER PRECIPITATION AT THE SOUTHERN PART OF THE RUSSIAN FAR EAST

**T.Ye. Danova¹, E.A. Grigorieva²,
A.S. Gustenko¹**

¹*Odessa State Environmental University, 15 Lvovskaya St, Odessa, 65016, Ukraine*

²*Institute for Complex Analysis of Regional Problems, Far Eastern Branch of RAS, 4 Sholom-Aleikhem St, Birobidzhan, 679016, Russia*
E-mail: danova8@mail.ru;
eagrigor@yandex.ru

Modern dynamics of summer precipitation in the southern part of the Russian Far East is presented. Contribution of summer precipitation to annual quantities was shown and the territory of its maximum distribution was defined. Identified zones of the maximal values of precipitation illustrate the region specific trajectories of saturated air. The increase in summer precipitation during the last ten years in comparison with the previous decade was shown.

Key words: summer precipitation, dynamics, statistic characteristics, southern part of the Russian Far East.