

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РЕЧНОЙ СТОК

Д.Н. Василевский¹, И.А. Лисина², Л.Н. Василевская², А.С. Шпак², А.Г. Федорова²,
В.С. Боброва²

¹Дальневосточный филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток, Россия

²ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Россия

Аннотация. Произведена оценка климатических характеристик и динамики температуры воздуха и атмосферных осадков за 1966-2022 гг. для юга Приморского края; выявлены их сезонные особенности; проанализирована связь стока крупных рек с изменением режима увлажнения.

Ключевые слова: динамика температуры воздуха и атмосферных осадков, юг Приморского края, речной сток

ASSESSMENT OF TEMPERATURE AND HUMIDITY REGIME IN THE SOUTH OF PRIMORSKY TERRITORY AND ITS INFLUENCE ON RIVER FLOW

D.N. Vasilevskiy¹, I.A. Lisina², L.N. Vasilevskaya², A.S. Shpak², A.G. Fedorova²,
V.S. Bobrova²

¹Far Eastern Branch of FSBI Russian Research Institute for the Integrated Use and Protection of Water Resources, Vladivostok, Russia

²FGAOU VO "Far Eastern Federal University", Vladivostok, Russia;

Annotation. An assessment was made of the climatic characteristics and dynamics of air temperature and precipitation for 1966-2022. for the south of Primorsky krai; their seasonal characteristics have been identified; the relationship between the flow of large rivers and changes in moisture regime was analyzed

Keywords: dynamics of air temperature and precipitation, south of Primorsky krai, river flow

Введение. Наиболее негативное воздействие на экономику и население Приморского края оказывают стихийные гидрометеорологические явления, из которых самыми опасными являются паводки, возникающие в результате ливневых дождей. Примером тому служит проведенный нами сравнительный анализ «реакции» речной системы на «однотипную» траекторию перемещения тропического циклона за 1980 и 2022 годы, который показал, что интенсивность выпадения осадков за сентябрьский паводок 2022 г. в шесть раз превосходила таковую в 1980 г. [3]. Эти результаты подчеркивают растущий риск наводнений, вызванных ливнями, в условиях потепления (в теории риска ливни относятся к самой высокой категории, поскольку представляют собой неустранимый фактор).

Авторами [2] показано, что для осадков юга Приморского края развитый зональный перенос в средней тропосфере в январе указывает на положительные аномалии осадков в июне; и наоборот, развитые меридиональные процессы в апреле-мае предваряют повышенные осадки в июне. Положительные аномалии осадков в сентябре обусловлены положительной фазой индекса WP в августе, а в июне – отрицательной фазой WP в марте. Повышенное увлажнение в июле предваряет отрицательная фаза WP в мае; а в июне – положительная фаза индекса NAO в январе.

Целью настоящего исследования явилась оценка изменения температурно-влажностного режима на юге Приморского края и его влияние на сток рек бассейна залива Петра Великого (Японское море).

Задачи, поставленные в работе, включают: анализ динамики сезонного изменения температуры воздуха и атмосферных осадков, поиск корреляционных связей между стоком рек и атмосферными осадками.

Материалы и методы. Исходными материалами послужили: сведения о температуре воздуха и атмосферных осадках с 1966 по 2022 гг. [4]; информация о средних значениях метеовеличин за базовый период (1991-2020 гг.) [5]; среднегодовые расходы воды рек Раздольная и Партизанская с 1966 по 2008 гг.

Районом исследования является территория южной части Приморского края (ЮП), которая занимает крайнюю южную часть Дальнего Востока, ограниченную государственной границей России с КНДР и КНР. Все реки юга Приморья принадлежат бассейну Японского моря. Главная река – Раздольная (или Суйфун) берет начало на территории Китая, где представляет собой бурную горную реку, а в Приморье она течет в широкой долине как полноводная равнинная река. Река Партизанская берет начало на южных отрогах хребта Сихотэ-Алинь, в горах Пржевальского, и пересекая всю Золотую Долину, впадает в залив Находка (Японское море). Основным источником питания рек – это дожди. Летние и осенние наводнения сопровождаются очень быстрым и значительным подъемом воды и выходом воды из берегов одновременно сразу на нескольких крупных реках и часто приобретают форму катастрофических наводнений.

Для изучения изменчивости и изменения климата в работе использованы материалы наблюдений четырех метеорологических станций, сведения о которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики метеорологических станций

№ п/п	Название станции	Район Приморского края	Широта, °	Долгота, °
1	Тимиразевский	Южная континентальная	43,88	131,97
2	Владивосток	Южное побережье	43,80	131,90
3	Преображение	Юго-восточное побережье	42,90	133,90
4	Посьет	Юго-западное побережье	42,65	130,80

Для анализа гидрологической информации использовались данные о расходах воды по двум створам: р. Раздольная – с. Тереховка и Партизанская с. Молчановка.

Аномалии температуры и атмосферных осадков рассматривались во все месяцы года, относительно нормы за новый базовый период (1991-2020 гг.). Значимость трендов оценивалась по величине коэффициента детерминации (R^2). Для исследуемого 57-летнего ряда на 95% уровне значимости, пороговая величина R^2 составляет 0,068. Зависимость стока от атмосферных осадков оценивалась с помощью корреляционного анализа. Значимость коэффициента корреляции определялась по таблицам, приведенным в [1]. Для исследуемого периода 1966-2008 гг. на 95% уровне значимости, величина порогового коэффициента корреляции $R=0,38$.

Результаты и их обсуждение. Климат Приморского края имеет ярко выраженный муссонный характер. Лето теплое, влажное, со значительным количеством осадков; зима холодная и сухая. Зимой территория края находится под влиянием холодных и сухих воздушных масс, формирующихся в области азиатского антициклона. В это время года преобладают северо-западные ветры. В летнее время перенос воздуха происходит со стороны океана, преобладают юго-восточные потоки воздуха [6].

Согласно информации, размещенной на сайте Гидрометцентра России, температура и осадки на юге Приморского края за базовый период (1991-2020 гг.) имеют следующий годовой ход: максимальные температуры наблюдаются в августе и составляют от 19,9⁰С (Преображение) до 21,4⁰С (Посьет), а минимальные – в январе – от -7,1⁰С (Преображение) до -17⁰С (Тимирязевский); наибольшее количество осадков выпадает в августе, за исключением Посьета (где в июле выпадает несколько больше – 153 мм, чем в августе -150 мм), эта величина колеблется от 125 мм (Тимирязевский) до 176 мм (Владивосток).

В таблице 2 помещены величины коэффициентов наклона линейных трендов среднемесячной температуры воздуха и коэффициентов детерминации (R^2) на 4-х исследуемых станциях за 1966-2022 гг.

Таблица 2

Коэффициенты наклона линейных трендов (КНЛТ) среднемесячной температуры воздуха и коэффициенты детерминации (R^2), определенные за 1966-2022 гг.

Станция	Владивосток		Преображение		Посьет		Тимирязевский	
	КНЛТ	R^2	КНЛТ	R^2	КНЛТ	R^2	КНЛТ	R^2
январь	0,32	0,058	0,28	0,068	0,27	0,061	0,21	0,016
февраль	0,58	0,197	0,37	0,136	0,49	0,196	0,61	0,167
март	0,45	0,185	0,37	0,214	0,43	0,220	0,51	0,171
апрель	0,3	0,168	0,25	0,199	0,30	0,190	0,20	0,083
май	0,21	0,121	0,25	0,192	0,29	0,192	0,22	0,184
июнь	0,35	0,176	0,36	0,285	0,44	0,217	0,30	0,146
июль	0,28	0,125	0,30	0,191	0,27	0,094	0,22	0,092
август	0,26	0,119	0,27	0,159	0,10	0,006	0,19	0,105
сентябрь	0,37	0,247	0,32	0,364	0,12	0,010	0,32	0,347
октябрь	0,28	0,087	0,20	0,104	0,23	0,136	0,19	0,067
ноябрь	0,23	0,034	0,21	0,052	0,21	0,047	0,27	0,047
декабрь	0,13	0,013	0,10	0,010	0,10	0,010	0,64	0,094
год	0,31	0,431	0,27	0,452	0,26	0,337	0,28	0,388

Примечание. *жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды.

За последние полвека на юге Приморского края температура воздуха увеличилась на 1,3-1,5 ⁰С. Тенденция повышения среднегодовой температуры воздуха составляет 0,26-0,31⁰С/10 лет. Следует отметить, что положительные тренды фиксируются во все сезоны года, практически всегда это повышение является стабильным, за редким исключением, а именно в самые холодные месяцы (ноябрь-январь). И лишь на юго-западе (станция Посьет) выявленное потепление менее стабильно, т.к. аппроксимация многолетнего хода месячных температур линейным трендом является статистически незначимой в течение 6 месяцев (август-январь).

Наибольший вклад в среднегодовое потепление (рис.1) во Владивостоке и Посьете внесли февраль-март и июнь (во Владивостоке выделяется еще сентябрь); среднемесячные температуры в феврале-марте к концу исследуемого периода повысились на 2,5-3⁰С, а в июне – на 2,0-2,4⁰С. В Преображении во все месяцы наблюдаются практически одинаковые величины КНЛТ и тоже наибольшее повышение температуры в феврале-марте. На континентальной станции Тимирязевский картина динамики температуры аналогична, однако отличительной особенностью является самое высокое и стабильное повышение декабрьских температур (на 3,5⁰С).

Основная доля годовых атмосферных осадков на всех станциях выпадает с мая по сентябрь. Коэффициенты вариации годовых осадков на юге Приморья составляют около 24%; в месяцы холодного времени года (когда осадков выпадает немного) вариация составляет от 78 до 120%; в теплое же время года коэффициенты не превышают 60%. Среднее годовое количество осадков за период 1966-2022 гг. меняется по возрастанию от 633 мм (Тимиразевский), 740 мм (Посьет), 800 мм (Преображение) до 840 мм (Владивосток).

В таблице 3 представлены характеристики многолетней картины изменения атмосферных осадков.

Таблица 3

Коэффициенты наклона линейных трендов (КНЛТ) месячных сумм атмосферных осадков (мм/10 лет) и коэффициенты детерминации (R^2), определенные за 1966-2022 гг.

Станция	Владивосток		Преображение		Посьет		Тимиразевский	
	КНЛТ	R^2	КНЛТ	R^2	КНЛТ	R^2	КНЛТ	R^2
январь	-0,17	0,00	-1,49	0,041	0,92	0,009	0,46	0,008
февраль	0,04	0,00	0,02	0,00	0,78	0,011	-0,33	0,003
март	1,08	0,007	1,18	0,013	2,55	0,054	2,33	0,085
апрель	-2,83	0,024	-4,2	0,047	-5,74	0,001	0,41	0,001
май	4,22	0,023	5,77	0,056	4,95	0,034	4,91	0,074
июнь	3,07	0,005	1,73	0,004	4,74	0,00	2,61	0,008
июль	6,65	0,019	3,71	0,007	7,01	0,023	8,75	0,074
август	10,86	0,033	12,12	0,054	11,79	0,036	9,29	0,029
сентябрь	-4,88	0,010	-2,53	0,003	-4,81	0,011	-8,17	0,046
октябрь	-2,51	0,011	-1,87	0,009	-1,14	0,002	-0,92	0,002
ноябрь	4,58	0,084	3,28	0,025	3,73	0,078	3,92	0,107
декабрь	2,15	0,056	2,78	0,045	1,03	0,014	1,93	0,068
год	12,41	0,010	15,62	0,024	16,72	0,023	18,02	0,038

Примечание. *жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды; серая заливка обозначает отрицательные тренды

Выявленное некоторое увеличение годовых сумм атмосферных осадков на юге Приморья на 12-18 мм/10 лет (70-90 мм за весь период) является статистически неустойчивым. Лишь в ноябре на большей части территории осадки стабильно увеличиваются (на 4-5 мм/10 лет); в континентальном районе устойчиво повышается весеннее количество осадков (в марте на 2, а в мае – на 5 мм/10 лет). Повышение увлажнения выявлено в большую часть года за исключением начала осени (сентябрь-октябрь), середины весны (апрель) и середины зимы (январь – Владивосток, Преображение). Снижение осадков в вышеприведенные месяцы (сухой зимний муссон) незначительно отражается на общей годовой сумме.

Рост летних осадков (июль-август), вносящих основной вклад в годовую сумму, на юге Приморского края на начало 2020-годов по сравнению с серединой 1960-годов составил около 90-100 мм. Раньше всего (с 1986 г.) повышение увлажнения началось на юго-западном побережье залива Петра Великого, на южном – с 2002 г., в юго-восточных районах – с 2008 г., а в континентальной части – с 2011 г.

Аппроксимация интегрально-разностных кривых годовых осадков полиномами разных степеней показала, что во Владивостоке (полином 2-степени) с начала периода исследования до 1999 г. преобладали отрицательные аномалии осадков, а с 2000 г. – положительные; в Посьете (полином 3-степени) до 1985 г. наблюдались осадки ниже нормы, а с 1986 г. – выше нормы; в Преображении (полином 6-степени) в период с 1966 по 2007 гг. преобладают

отрицательные аномалии, а с 2008 – положительные; в Тимирязевском (полином 6-степени) до 2010 г. аномалии осадков были чаще всего отрицательными, а с 2011 г. – положительными.

Корреляционный анализ, проведенный между величиной годового стока и количеством осадков, показал, что самая тесная зависимость связывает сток двух рек с осадками во Владивостоке и Тимирязевском (табл.4).

Таблица 4

Значимые коэффициенты парной корреляции между стоком рек и атмосферными осадками за период 1966-2020 гг.

	станция Тимирязевский	станция Владивосток
р.Партизанская	R=0,52	R=0,53
р.Раздольная	R=0,77	R=0,76

Из-за отсутствия данных о стоке рек за последние 15 лет не представляется возможным уверенно оценить зависимость стока от величины атмосферных осадков. Однако на совмещенных графиках (рис. 1) четко прослеживается синфазность обоих параметров: пики максимумов и минимумов совпадают за исключением небольшого временного отрезка с 2005 по 2008 гг. на графике рис. 1а.

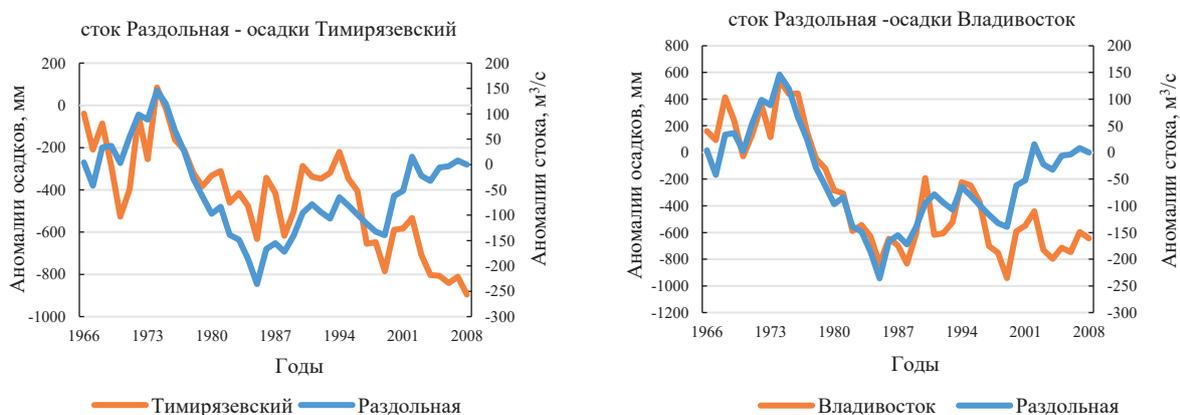


Рис. 1. Совмещенные графики накопленных аномалий годовых сумм осадков и стока р. Раздольной в течение 1966-2008 гг.

При этом коэффициент стока реки Раздольная в створе Тереховка изменяется от 0,06 до 0,42. В среднем около 22% осадков формируют сток реки Раздольная. В бассейне реки Партизанская роль осадков в стокоформировании более значительна: величина коэффициента стока составляет 0,43 (в отдельные годы речной сток формирует до 70% осадков).

Выводы. Устойчивое повышение среднегодовой температуры воздуха за 1966-2022 гг. достигает 1,3-1,5 °С, причем, положительные тренды фиксируются во все сезоны года, особенно они устойчивы в течение августа-января. Скорость повышения температуры наибольшая в феврале-марте и июне, она составляет 0,4-0,6°С/10 лет, в континентальной части юга Приморского края выявлено значительное повышение также и декабрьских температур (на 3,5°С за последние 57 лет).

Выявленное некоторое увеличение годовых сумм атмосферных осадков на юге Приморского края на 12-18 мм/10 лет (70-90 мм за 1966-2022 гг.) является статистически неустойчивым. Лишь в ноябре на большей части территории осадки стабильно увеличиваются (на 4-5 мм/10 лет); в континентальном районе устойчиво повышается весеннее количество осадков (в марте на 2, а в мае – на 5 мм/10 лет). Повышение увлажнения преобладает в период летнего муссона; рост летних осадков на начало 2020-годов по

сравнению с серединой 1960-годов составил около 90-100 мм. Раньше всего (с 1986 г.) повышение увлажнения началось на юго-западном побережье залива Петра Великого, а позднее – в континентальной части (с 2011 г.)

Анализ зависимости стока рек Раздольной и Партизанской от осадков по близлежащим метеостанциям выявил довольно тесные корреляционные связи. Участие осадков в формировании речного стока реки Партизанская в два раза превышает этот показатель для Раздольной (среднемноголетние коэффициенты стока составляют, соответственно 0,22 и 0,43).

Литература

1. Брукс К. Применение статистических методов в метеорологии / Брукс К., Карузерс Н.- Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 144 с.
2. Василевский Д.Н., Лисина И.А., Василевская Л.Н., Шпак А.С., Мушта Б.Б. Связь атмосферных осадков на территории Приморского края с индексами атмосферной циркуляции //Сборник научных статей «Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-ресурсные, и социально-экономические структуры». Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2023. с. 82-87.
3. Лисина И.А., Василевская Л.Н., Василевский Д.Н., Крамарева Л.С., Шамилова Ю.А. Анализ причин наводнения на реке Партизанская (Приморский край) в сентябре 2022 года //Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 1 (387). С. 102-119
4. Сайт Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. <http://www.meteo.ru/data>
5. Сайт Гидрометцентра России - <https://meteoinfo.ru/climatcities>
6. Справочник по климату СССР, вып. 26. Ветер. Л.: Гидрометеиздат. 1967. 192с.