

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

Д.Н. Василевский<sup>1</sup>, И.А. Лисина<sup>2</sup>, Л.Н. Василевская<sup>2</sup>, А.С. Шпак<sup>2</sup>, А.Г. Федорова<sup>2</sup>,  
В.С. Боброва<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГАОУ 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. Vasilevskiy<sup>1</sup>, I.A. Lisina<sup>2</sup>, L.N. Vasilevskaya<sup>2</sup>, A.S. Shpak<sup>2</sup>, A.G. Fedorova<sup>2</sup>,  
V.S. Bobrova<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>FGAOU 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 19,9<sup>0</sup>С (Преображение) до 21,4<sup>0</sup>С (Посьет), а минимальные – в январе – от -7,1<sup>0</sup>С (Преображение) до -17<sup>0</sup>С (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	<b>0,068</b>	0,27	0,061	0,21	0,016
февраль	0,58	<b>0,197</b>	0,37	<b>0,136</b>	0,49	<b>0,196</b>	0,61	<b>0,167</b>
март	0,45	<b>0,185</b>	0,37	<b>0,214</b>	0,43	<b>0,220</b>	0,51	<b>0,171</b>
апрель	0,3	<b>0,168</b>	0,25	<b>0,199</b>	0,30	<b>0,190</b>	0,20	<b>0,083</b>
май	0,21	<b>0,121</b>	0,25	<b>0,192</b>	0,29	<b>0,192</b>	0,22	<b>0,184</b>
июнь	0,35	<b>0,176</b>	0,36	<b>0,285</b>	0,44	<b>0,217</b>	0,30	<b>0,146</b>
июль	0,28	<b>0,125</b>	0,30	<b>0,191</b>	0,27	<b>0,094</b>	0,22	<b>0,092</b>
август	0,26	<b>0,119</b>	0,27	<b>0,159</b>	0,10	0,006	0,19	<b>0,105</b>
сентябрь	0,37	<b>0,247</b>	0,32	<b>0,364</b>	0,12	0,010	0,32	<b>0,347</b>
октябрь	0,28	<b>0,087</b>	0,20	<b>0,104</b>	0,23	<b>0,136</b>	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	<b>0,094</b>
год	0,31	<b>0,431</b>	0,27	<b>0,452</b>	0,26	<b>0,337</b>	0,28	<b>0,388</b>

**Примечание.** \*жирным шрифтом выделены статистически значимые тренды.

За последние полвека на юге Приморского края температура воздуха увеличилась на 1,3-1,5 <sup>0</sup>С. Тенденция повышения среднегодовой температуры воздуха составляет 0,26-0,31<sup>0</sup>С/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 2,5-3<sup>0</sup>С, а в июне – на 2,0-2,4<sup>0</sup>С. 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 3,5<sup>0</sup>С).

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	<b>2,33</b>	<b>0,085</b>
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	<b>4,91</b>	<b>0,074</b>
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	<b>0,074</b>
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	<b>4,58</b>	<b>0,084</b>	3,28	0,025	<b>3,73</b>	<b>0,078</b>	<b>3,92</b>	<b>0,107</b>
декабрь	2,15	0,056	2,78	0,045	1,03	0,014	<b>1,93</b>	<b>0,068</b>
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.

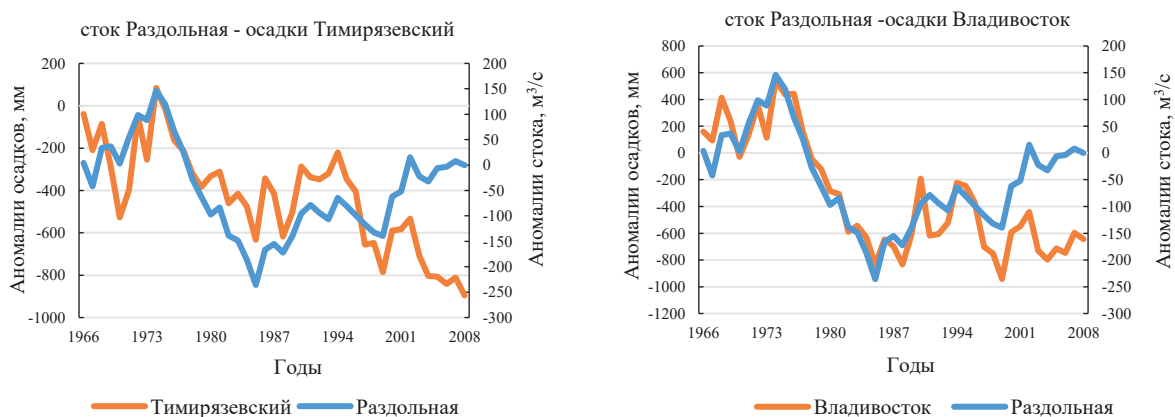


Рис. 1. Совмещенные графики накопленных аномалий годовых сумм осадков и стока р. Раздольной в течение 1966-2008 гг.

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.