

УДК 551.5

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В РОССИЙСКИХ РЕГИОНАХ: СВЯЗЬ С ТИХООКЕАНСКОЙ ДЕСЯТИЛЕТНЕЙ ОСЦИЛЛЯЦИЕЙ

© 2021 г. Академик РАН И. И. Мохов¹, *

Поступило 15.06.2021 г.

После доработки 25.06.2021 г.

Принято к публикации 28.06.2021 г.

Представлены оценки региональных особенностей формирования экстремальных атмосферных и гидрологических, климатических и экологических режимов в связи с проявлениями Тихоокеанской десятилетней осцилляции (ТДО) на фоне общего потепления последних десятилетий. В том числе формированию рекордного амурского наводнения в 2013 г. и камчатского “красного прилива” в 2020 г. способствовали положительные аномалии температуры в западной части Тихого океана в Северном полушарии, соответствующие отрицательной фазе ТДО. С режимами ТДО связаны крупномасштабные климатические вариации типа “климатического сдвига” во второй половине 1970-х годов, отмечена связь с особенностями атмосферных блокирований. В частности, повторяемость летних атмосферных блокирований, наибольшая над европейской территорией России, особенно велика в отрицательной фазе ТДО. Рекордный по продолжительности период атмосферного блокирования над европейской территорией России летом 2010 г. с рекордной жарой и пожарами был отмечен именно в отрицательной фазе ТДО.

Ключевые слова: Тихоокеанская десятилетняя осцилляция, Эль-Ниньо, региональные аномалии, атмосферные блокирования, амурское наводнение, “красный прилив”

DOI: 10.31857/S2686739721100121

Последние десятилетия характеризуются значимыми региональными и глобальными изменениями климата, наиболее заметные изменения проявляются в повторяемости и интенсивности экстремальных региональных явлений и процессов [1, 2]. Количество опасных метеорологических явлений в России по данным Росгидромета (<http://www.meteorf.ru/>) за последние два десятилетия с конца XX века увеличилось примерно втрое на фоне быстрого потепления для России в целом – со скоростью примерно 0.5°C за десятилетие (в два с половиной раза быстрее глобально). При этом в ряде российских регионов, в частности в арктических и субарктических широтах, скорость потепления достигала и даже превышала 1°C за десятилетие. Существенно, что наибольшее количество гидрометеорологических аномалий отмечается в России в теплые месяцы – чаще летом. По данным метеорологических на-

блюдений количество опасных явлений в России с 1998 по 2019 г. увеличивалось в среднем на 21 событие в год, при этом число экстремальных явлений летом (составляющих 40% общего количества за год) увеличивалось в среднем почти на 10 событий в год.

Отмеченные тенденции связаны с тем, что при потеплении растет влагоемкость атмосферы (согласно уравнению Клапейрона–Клаузиуса), что способствует увеличению вероятности более мощных осадков. В случае ослабления тропосферной циркуляции при потеплении (и уменьшении меридионального градиента температуры) это способствует большей пространственной неоднородности осадков в летние месяцы и увеличению вероятности как избыточных осадков (наводнений), так и дефицита осадков (засух) в сопредельных регионах. В числе рекордных аномалий последних лет на территории России экстремально жаркое лето 2010 г. в европейских регионах, сильнейшее наводнение в бассейне Амура в 2013 г. В 2020 г. у полуострова Камчатка была выявлена массовая гибель морских животных при неестественном цвете океана. Это было связано с сильными положительными аномалиями температуры поверхности океана (ТПО) в

¹ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова
Российской академии наук,
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: mokhov@ifaran.ru

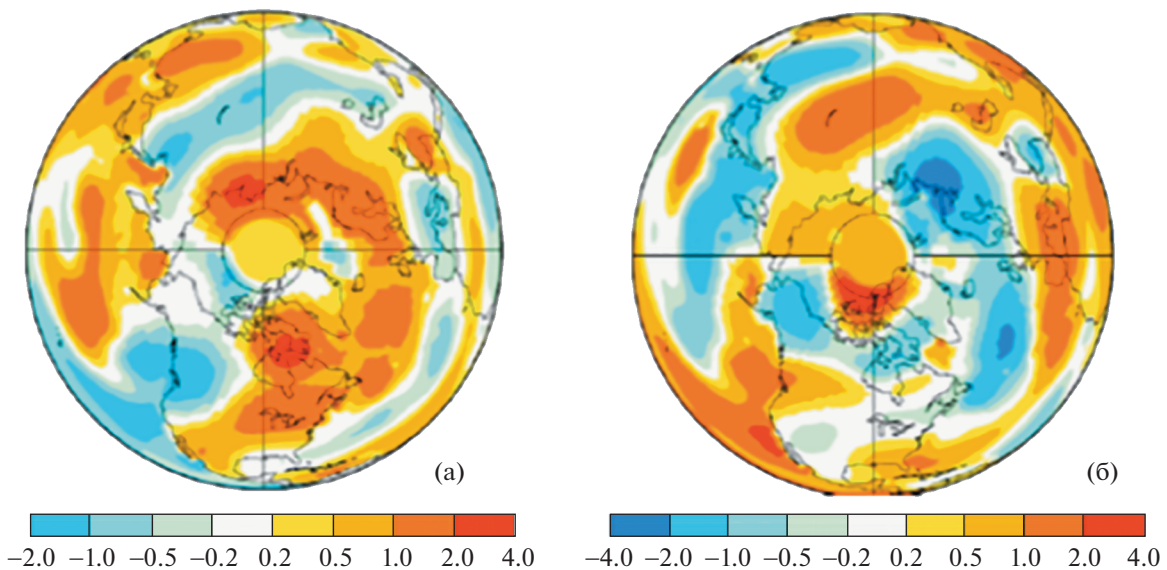


Рис. 1. Разница летних значений температуры поверхности [K] между 2020 и 2015 г. (а) и между 2015 и 2013 г. по данным GISS.

этом регионе в летне-осенние месяцы, что способствовало формированию так называемого “красного прилива” с вредоносным цветением водорослей, ответственных за гибель гидробионтов в прибрежных зонах у полуострова Камчатка [3].

Повышенному риску формирования региональных экстремальных режимов способствует ряд факторов, включая особенности квазициклических процессов в климатической системе, на фоне общего потепления, в том числе Тихоокеанской десятилетней осцилляции (ТДО). ТДО — ключевая мода климатической изменчивости в Северном полушарии, в частности в тихоокеанском бассейне и сопредельных областях. Значимо проявляется ТДО в изменениях Алеутского центра действия в атмосфере [4]. С режимами ТДО наряду с климатическими вариациями колебательного характера связываются и более резкие вариации типа “климатического сдвига” во второй половине 1970-х годов [5–7]. В [8, 9] среди причин формирования рекордного наводнения в бассейне реки Амур в 2013 г. в результате атмосферного блокирования над Тихим океаном в муссонный сезон (август–сентябрь) отмечался режим отрицательной фазы ТДО, характеризующейся положительными аномалиями температуры поверхности в западной части Тихого океана у азиатских побережий, на фоне многолетней значимой тенденции глобального и регионального потепления. Отмечена также роль явлений Эль-Ниньо и процессов, характеризующихся Западно-Тихоокеанским индексом.

Значимость региональных температурных аномалий в различных фазах ТДО иллюстрирует рис. 1, на котором представлена разница значе-

ний температуры у поверхности между годами в отрицательной фазе ТДО (2013 и 2020 г.) и в положительной фазе ТДО (2015 г.). В положительной фазе ТДО, в частности в 2015 г., аномалии температуры у поверхности в западной части Тихого океана отрицательные. На фоне общего потепления значительные положительные аномалии ТПО в западной части Тихого океана, связанные с отрицательной фазой ТДО, как и в 2020 г. (см. рис. 1), увеличивают риск образования “красных приливов” в прибрежных зонах Дальнего Востока. Как отмечено в [10], антропогенные воздействия и изменения климата привели к тому, что проявление “красных приливов”, связанных с вредоносным цветением водорослей, приобрело глобальный характер. Связь с ТДО “красных приливов” проявляется и в других регионах, в частности в прибрежных зонах Северной Америки [11–13].

Результаты, полученные в [8, 9], свидетельствуют о влиянии ТДО на формирование экстремального стока реки Амур в период муссонной активности. На рис. 2 представлены результаты вейвлет-анализа межгодовой изменчивости стока Амура в августе и сентябре, когда сток Амура максимален в годовом ходе, по данным Государственного гидрологического института для периода 1900–2013 гг. Наиболее значимые вариации стока Амура в августе–сентябре отмечены с периодичностью около 2–3 десятилетий. Подобная периодичность характерна для ТДО (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>). Проявляются также вариации с периодичностью в несколько лет, характерной для явлений Эль-Ниньо/Ла-

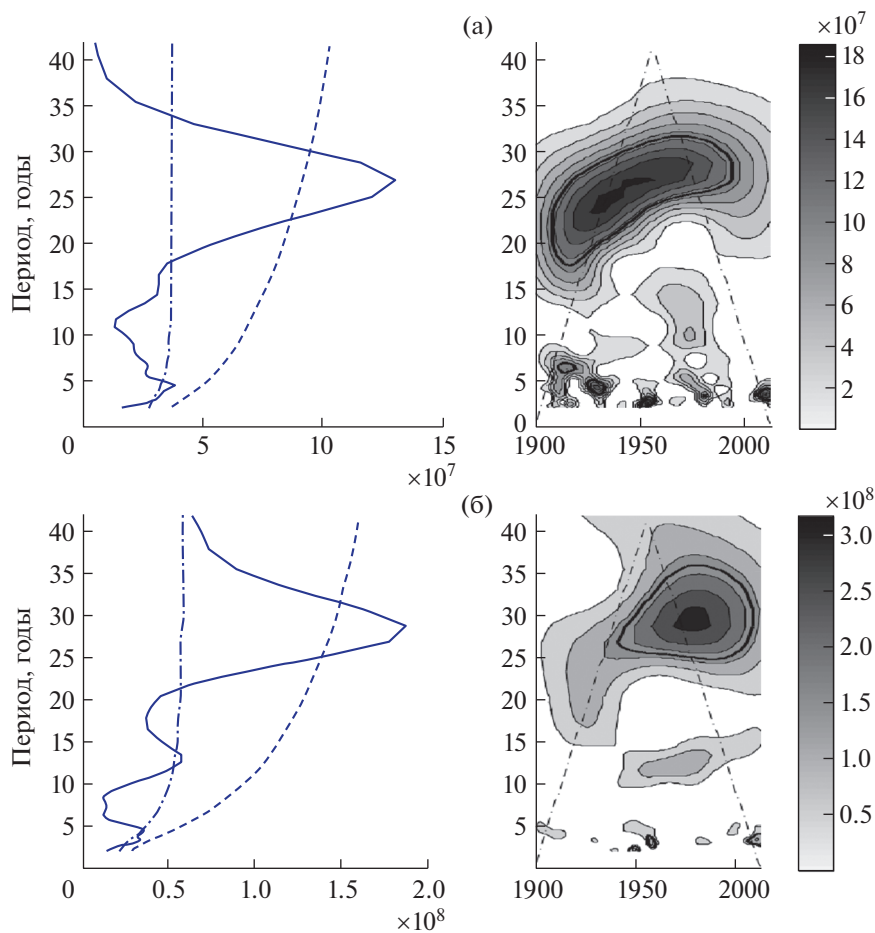


Рис. 2. Интегральные (слева) и локальные (справа) вейвлет-спектры для стока Амура [$\text{м}^3/\text{с}$] в августе (а) и сентябре (б) по данным для периода 1900–2013 гг. Ось ординат – периоды в годах, ось абсцисс – время в годах. На локальных спектрах штрихпунктирные линии отделяют области краевых эффектов, а жирные линии ограничивают области, где мощность сигнала больше, чем ожидается для модели стационарного красного шума на уровне значимости $p = 0.05$. На интегральных спектрах штриховые линии характеризуют 95%-й квантиль значений мощности для модели стационарного красного шума, а штрихпунктирные – ее среднее значение.

Нинья. Отмечаются и вариации с периодом около 10 лет.

В 2013 г. отмечались значительные положительные аномалии (относительно 1971–2000 гг.) температуры поверхности Тихого океана (ТПО) в его северной части. В частности, летом 2013 г. аномалии ТПО в области Японского и Охотского моря были рекордными за период инструментальных наблюдений с 1870 г. [9]. При этом существенный вклад в изменчивость ТПО северной части Тихого океана связан с ТДО. В [9] отмечено, что 8 из 10 лет с максимальным расходом реки Амур в августе с 1900 г. соответствовали отрицательной фазе ТДО. На рис. 3 приведены оценки вероятности превышения стока реки Амур в августе различных уровней по данным наблюдений с 1900 г. для всего периода и отдельно для положительной и отрицательной фаз ТДО. Согласно полученным оценкам при относительно малых значениях сто-

ка Амура (меньше 15 тыс. $\text{м}^3/\text{с}$) различия вероятности для разных фаз ТДО незначительны. При этом в отрицательной фазе ТДО оценки вероятности значений стока около 20 тыс. $\text{м}^3/\text{с}$ примерно вдвое, а экстремальных значений стока более 25 тыс. $\text{м}^3/\text{с}$ втрое и более превышают соответствующие оценки вероятности в положительной фазе ТДО.

Значительная роль в формировании экстремальных климатических явлений, таких как экстремальная жара с пожарами летом 2010 г. на европейской территории России, амурское наводнение 2013 г., наводнение и пожары в сопредельных регионах в Сибири в 2019 г., связана с атмосферными блокировками [14, 15]. Рисунок 4 характеризует долготную зависимость частоты атмосферных блокировок (на основе данных для 1969–2013 гг.), которая над западной частью Тихого океана и восточной частью Азии в Северном

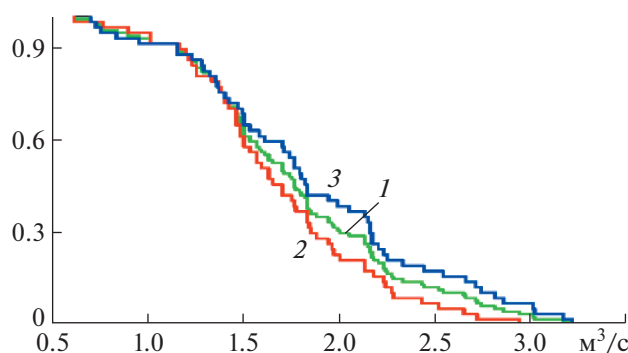


Рис. 3. Вероятность превышения стока реки Амур [$\text{м}^3/\text{с}$] в августе различных уровней по наблюдениям для периода 1900–2013 гг. (1, зеленая кривая) и отдельно для положительной (2, красная кривая) и отрицательной (3), синяя кривая) фазы ТДО.

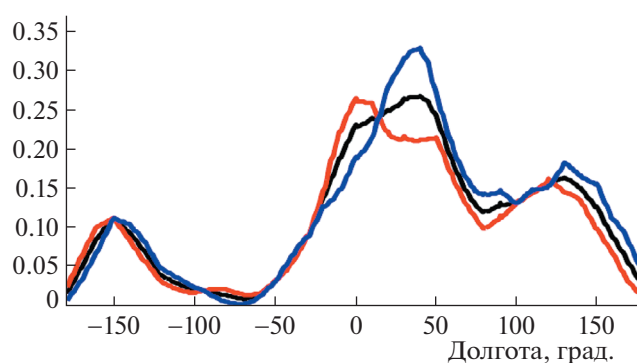


Рис. 4. Частота летних атмосферных блокировок в зависимости от долготы в Северном полушарии для периода 1969–2013 гг. (черная кривая) и отдельно для отрицательной (синяя кривая) и положительной (красная кривая) фаз ТДО.

полушарии летом наиболее высока в отрицательной фазе ТДО [9]. Еще больший эффект проявляется над европейской территорией России, с максимумом частоты летних блокировок в атмосфере. Рекордный по продолжительности период атмосферного блокирования над европейской территорией России летом 2010 г. [9, 16], результатом которого была рекордная жара с пожарами, был отмечен именно в отрицательной фазе ТДО.

Согласно [17], атмосферные блокирования, особенно в июле-августе-сентябре, в Северном полушарии в целом по данным за последние десятилетия более часты и интенсивны в отрицательной фазе ТДО.

Следует отметить, что на фоне значимых междесятилетних квазициклических вариаций климата в регионах тихоокеанского бассейна с проявлением и влиянием ТДО, в частности для стока Амура с периодичностью около 2–3 десятилетий, существенны более короткопериодные вариации со средней периодичностью около 4–5 лет, характерной для явлений Эль-Ниньо (см. рис. 2). С явлениями Эль-Ниньо с положительными аномалиями ТПО в восточной и центральной экваториальных областях

Тихого океана (Е-фаза) связаны сильнейшие межгодовые вариации глобальной приповерхностной температуры. Согласно [18] самый большой сток Амура в августе по данным наблюдений с начала XX века был отмечен в отрицательной фазе ТДО в нейтральной фазе Эль-Ниньо (N). При этом максимальный сток отмечался при фазовом переходе $N \rightarrow N$, когда год начинается и заканчивается в нейтральной фазе Эль-Ниньо, как в 2013 г. (более 32 тыс. $\text{м}^3/\text{с}$). На втором и третьем месте по экстремальности стока Амура в отрицательной фазе ТДО – годы, начинающиеся в фазе Ла-Нинья (L), как 2021 г., – для переходов $L \rightarrow E$ (более 30 тыс. $\text{м}^3/\text{с}$) и $L \rightarrow L$ (около 29 тыс. $\text{м}^3/\text{с}$). При переходе $L \rightarrow N$ максимальный сток Амура в августе заметно меньше (хотя и больше 24 тыс. $\text{м}^3/\text{с}$). Согласно прогностическим оценкам CPC/IRI (<https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>), полученным к началу лета, вероятность продолжения L -фазы до конца 2021 г. (переход $L \rightarrow L$) около 50%, соответствующая вероятность перехода $L \rightarrow N$ к N -фазе более 40% и менее 10% при переходе $L \rightarrow E$ к E -фазе. Следует отметить, что средние значения стока Амура в августе по данным с начала XX века наибольшие (из

всех фазовых переходов Эль-Ниньо и обеих фаз ТДО) именно для наиболее вероятного перехода $L \rightarrow L$ для 2021 г. при отрицательной фазе ТДО (22 тыс. м³/с). Немного меньшее среднее значение стока Амура в августе (более 21 тыс. м³/с) отмечено для перехода $L \rightarrow E$, а для перехода $L \rightarrow N$ значительно меньшее (менее 15 тыс. м³/с). Согласно оценкам для 2021 г. достаточно высока вероятность значительного стока Амура.

Полученные оценки свидетельствуют о потенциале предсказуемости межгодовых и междесятилетних особенностей региональных климатических режимов при учете квазипериодических климатических процессов с полужарным и глобальным влиянием типа явлений Эль-Ниньо и ТДО. При этом следует отметить, что при глобальных изменениях климата следует ожидать изменений режимов ключевых климатических мод [18, 19]. Как следствие, следует ожидать изменений потенциала предсказуемости климатических аномалий в связи с этими модами. В частности, согласно оценкам [20], предсказуемость аномалий, связанных с ТДО, существенно уменьшается при потеплении.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда (№ 19-17-00240). Особенности режимов блокирования анализировались при поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта № 075-15-2020-776).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds.) // Cambridge/New York: Cambridge University Press. 2013. 1535 p.
- Мохов И.И. Российские климатические исследования в 2015–2018 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 4. С. 1–21.
- Бондур В.Г., Замишин В.В., Чверткова О.И. Исследование из космоса экологического происшествия у полуострова Камчатка в сентябре–октябре 2020 г., связанного с красным приливом // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 497. № 1. С. 83–90.
- Мохов И.И., Чернокульский А.В., Осипов А.М. Центры действия атмосферы Северного и Южного полушарий: особенности и изменчивость // Метеорология и гидрология. 2020. № 11. С. 5–23.
- Miller A.J., Cayan D.R., Barnett T.P., Craham N.E., Oberhuber J.M. The 1976–77 Climate Shift of the Pacific Ocean // Oceanography. 1994. V. 7. P. 21–26.
- Latif M., Barnett T.P. Decadal Climate Variability over the North Pacific and North America—Dynamics and Predictability // J. Clim. 1996. V. 9. P. 2407–2423.
- Wills R.C., Schneider T., Wallace J.M., Battisti D.S., Hartmann D.L. Disentangling Global Warming, Multidecadal Variability, and El Niño in Pacific Temperatures // Geophys. Res. Lett. 2018. V. 45. P. 2487–2496.
- Мохов И.И. Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне реки Амур в условиях глобального потепления // ДАН. 2014. Т. 455. № 5. С. 585–588.
- Мохов И.И., Хон В.Ч., Тимажев А.В., Чернокульский А.В., Семенов В.А. Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне реки Амур в связи с климатическими изменениями / В: “Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации”. М.: Росгидромет. 2014. С. 81–120.
- Орлова Т.Ю. Красные приливы и токсические микроводоросли в дальневосточных морях России // Вестник ДВО РАН. 2005. № 1. С. 27–31.
- Hooff R.C., Peterson W.T. Copepod Biodiversity as an Indicator of Changes Inocean and Climate Conditions of the Northern California Current Ecosystem // Limnol. Oceanogr. 2006. V. 51 (6). P. 2607–2620.
- McKibben S.M., Peterson W., Wood A.M., Trainer V.L., Hunter M., White A.E. Climatic Regulation of the Neurotoxin Domoic Acid // Proc. N.A.S. 2017. V. 114 (2). P. 239–244.
- Corters-Altamirano R., Alonso-Rodriguez R., Salas-de-Leorn D.A. Historical Observations of Algal Blooms in Mazatlan Bay, Sinaloa, Mexico (1979-2014) // PLoS ONE. 2019. V. 14 (1). e0210631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210631>
- Бондур В.Г., Мохов И.И., Воронова О.С., Ситнов С.А. Космический мониторинг сибирских пожаров и их последствий: особенности аномалий 2019 г. и тенденции 20-летних изменений // ДАН. 2020. Т. 492. № 1. С. 99–106.
- Мохов И.И., Бондур В.Г., Ситнов С.А., Воронова О.С. Космический мониторинг природных пожаров и эмиссий в атмосферу продуктов горения на территории России: связь с атмосферными блокированиями // ДАН. 2020. Т. 495. № 2. С. 61–66.
- Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А., Тимажев А.А., Луно А.Р., Ле Трет Э. Блокинг в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам // ДАН. 2013. Т. 449. № 5. С. 582–586.
- Lupo A.R., Jensen A.D., Mokhov I.I., Timazhev A., Eichler T., Efe B. Changes in Global Blocking Character during Recent Decades // Atmosphere. 2019. V. 10 (2). P. 92. <https://doi.org/10.3390/atmos10020092>
- Мохов И.И., Елисеев А.В., Хворостьянов Д.В. Эволюция характеристик климатической изменчивости, связанной с явлениями Эль-Ниньо/Ла-Нинья // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36. № 6. С. 741–751.
- Mokhov I.I., Khvorostyanov D.V., Eliseev A.V. Decadal and Longer Term Changes in El Niño—Southern Oscillation Characteristics // Intern. J. Climatol. 2004. V. 24. P. 401–414.
- Li S., Wu L., Yang Y., Geng T., Cai W., Gan B., Chen Z., Jing Z., Wang G., Ma X. The Pacific Decadal Oscillation Less Predictable under Greenhouse Warming // Nature Clim. Change. 2020. V. 10. P. 30–34.

EXTREME ATMOSPHERIC AND HYDROLOGICAL PHENOMENA IN RUSSIAN REGIONS: RELATIONSHIP WITH THE PACIFIC DECADAL OSCILLATION

Academician of the RAS **I. I. Mokhov**^{a, #}

^a *A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation Lomonosov
Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

[#] *E-mail: mokhov@ifaran.ru*

The estimates of the regional features of the formation of extreme atmospheric and hydrological, climatic and ecological regimes in connection with the manifestations of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) against the background of the general warming of recent decades are presented. In particular, the formation of the record Amur flood in 2013 and the Kamchatka “red tide” in 2020 were facilitated by the positive temperature anomalies in the western Pacific Ocean in the Northern Hemisphere, corresponding to the negative PDO phase. Large-scale climatic variations like “climatic shift” in the second half of the 1970s are associated with the PDO regimes, and a connection with the peculiarities of atmospheric blockings is noted. In particular, the recurrence of summer atmospheric blockings, which is highest over the European territory of Russia, is especially high in the negative phase of the PDO. The record-breaking period of atmospheric blockings over the European territory of Russia in the summer of 2010 with record heat and fires was noted exactly in the negative phase of the PDO.

Keywords: Pacific Decadal Oscillation, El-Niño, regional anomalies, atmospheric blockings, Amur River flood, “red tide”