

Научная статья
УДК 630*432.1
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.86.63.008

Тенденции изменений рисков опасных природных явлений российской Арктики, на примере лесной зоны Восточной Сибири

Александр Вадимович Холопцев^{1,2}
*Роман Геннадьевич Шубкин*²
*Иван Юрьевич Сергеев*¹
*Алексей Николаевич Батуру*¹
*Александр Викторович Антонов*¹

¹Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

²Севастопольское отделение «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Севастополь, Россия

Автор ответственный за переписку: Роман Геннадьевич Шубкин, rshubkin@yandex.ru

Аннотация. Изучены современные тенденции изменений среднемесячных температур воздуха на территориях Арктической и Лесной ландшафтной зоны Восточной Сибири, а также связи этих процессов с вариациями суммарных площадей полыней, которые образуются в летние месяцы в ледяном покрове морей Лаптевых и Восточносибирского. Показано, что на многих территориях Арктической зоны Восточной Сибири, значимых изменений среднемесячных температур летних месяцев в 2010 -2020 гг. не происходило, вследствие чего риски возникновения на них многих опасных природных явлений повыситься не могли. Поэтому вероятной причиной их фактически произошедшего повышения является антропогенный фактор.

Ключевые слова: Восточная Сибирь, Арктическая зона, Лесная зона, среднемесячная температура воздуха, полынья, арктические моря, сибирские реки, половодье, связи

Для цитирования: Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Сергеев И.Ю., Батуру А.Н., Антонов А.В. Тенденции изменений рисков опасных природных явлений в арктической зоне России, при дальнейшем потеплении климата ее лесной зоны (на примере восточной Сибири) // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 4 (27). С. 43-55. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.86.63.008>

TRENDS IN CHANGES IN THE RISKS OF NATURAL HAZARDS IN THE RUSSIAN ARCTIC, ON THE EXAMPLE OF THE FOREST ZONE OF EASTERN SIBERIA

Aleksandr V. Kholoptsev^{1,2}
*Roman G. Shubkin*¹
*Ivan U. Sergeev*¹
*Aleksey N. Baturo*¹
*Aleksandr V. Antonov*¹

¹Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

²State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, Sevastopol, Russia

Corresponding author: Roman G. Shubkin, rshubkin@yandex.ru

Abstract. The current trends of changes in average monthly air temperatures in the Arctic and Forest land-landscape zone of Eastern Siberia, as well as the relationships of these processes with variations in the total area of wormwood, which are formed in the summer months in the ice cover of the seas of Laptev and East Siberia. It is shown that in many territories of the Arctic zone of Eastern Siberia, significant changes in average monthly temperatures of summer months in 2010-2020. As a result, the risks of many natural hazards could not be increased. Therefore, the probable cause of their actual increase is anthropogenic.

Keywords: Eastern Siberia, Arctic zone, Forest zone, average monthly air temperature, wormwood, Arctic seas, Siberian rivers, floods, connections

For citation: Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Sergeev I.U., Batur A.N., Antonov A.V. Trends in the risks of natural hazards in the arctic zone of russia, with further warming of its forest zone (case of eastern siberia) // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2022;4(27):43-55. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/ vestnik.sibpsa.2022.86.63.008>.

Природные и техногенные чрезвычайные ситуации в Арктической зоне России в современном периоде возникают все чаще, что причиняет значительный ущерб населению, экономике и экосистемам не только упомянутой зоны, но и всей России. Поэтому развитие существующих представлений о причинах их возникновения является актуальной проблемой пожарной и экологической безопасности.

Решение указанной проблемы представляет наибольший интерес для арктических территорий и акваторий, природные ресурсы которых весьма значительны, но лишь в малой части освоены человеком. К ним относятся многие северные территории Восточной Сибири, входящие в состав Красноярского края и Республики Саха (Якутия), а также акватории прилегающих к ним морей Лаптевых и Восточносибирского. Ускоренное развитие систем природопользования упомянутых Субъектов Российской Федерации предусматривает «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года», которая утверждена Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645.

Освоение природных ресурсов упомянутых арктических территорий и шельфа морей Восточной Сибири неизбежно связано с усилением антропогенного воздействия на их ландшафтные комплексы, что может привести к повышению рисков, связанных с развитием в них ряда опасных природных процессов. Не менее мощное воздействие на такие процессы может вызвать и такой фактор, как происходящее потепление регионального климата [1-6].

Следовательно, при планировании развития систем предотвращения, а также ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России необходимо учитывать характерные для тех или иных ее регионов соотношения между воздействиями, оказываемыми на их ландшафтные комплексы климатическими и антропогенными факторами.

Согласно существующим представлениям о причинах потепления климата Арктики, к числу существенных относится сокращение площади ледяного покрова арктических морей, (которое является также и важным последствием этого потепления) [7-11].

В летние месяцы разрушение ледяного покрова арктических морей начинается с образования в нем полыней. Многие из них возникают на приустьевом взморье впадающих в них рек, после начала половодий в их устьевых областях. Этому способствует происходящее при половодье повышение в таких областях уровня водной поверхности, которое может взламывать здесь припай, а также увеличение скоростей существующих в них стоковых течений, уносящих обломки льда от берега. В современном периоде, на всех реках, впадающих в рассматриваемые моря, половодье начинается в период полярного дня.

Свободная водная поверхность морей значительно активней поглощает падающую на нее суммарную солнечную радиацию (далее ССР), чем их ледяной покров [11, 13]. Поэтому образование в ледяном покрове морей полыней и увеличение их суммарной площади (далее

СПП) приводит к возрастанию потока тепла, образующегося в водах этих морей при поглощении ССР.

Образовавшееся таким образом тепло потребляется при повышении средней температуры деятельного слоя морских вод, таянии ледяных покровов, а также испарении влаги и нагревании воздуха. Если количество поглощенной в полыньях ССР превышает потери ими тепла, СПП увеличивается.

Чем раньше в период полярного дня в некотором море образуются рассматриваемые полыньи, тем больше суммарная доза ССР, поглощенной им за указанный период и больше общее количество тепла, отданного им в атмосферу.

Более ранний приход половодья в устьевую область любой реки является следствием более раннего начала интенсивного таяния снежного покрова в ее бассейне. Последнее может быть вызвано повышением в весенние месяцы среднемесячных температур воздуха (далее СТВ) на его территориях [14].

Увеличению средней скорости роста СПП способствует также увеличение средних температур речных вод, поступающих в соответствующее море за период половодья.

Зоны питания бассейнов всех рек, впадающих в арктические моря России, расположены на территориях ее Лесной ландшафтной зоны, где в апреле и мае значимым фактором повышения СТВ являются лесные пожары.

Изложенные соображения позволяют предположить, что одной из **существенных причин потепления климата Арктической зоны России для летних месяцев, является потепление климата в ее Лесной зоне для весенних месяцев.**

Справедливость выдвинутой гипотезы не очевидна, так как причинами потепления климата рассматриваемого региона для летних месяцев могут служить и многие иные процессы [2, 15-17].

Подтверждение выдвинутой гипотезы для каких-либо территорий Арктической зоны России позволило бы использовать информацию о сроках начала половодья в зонах питания соответствующих рек при прогнозировании рисков возникновения на них ЧС, связанных с потеплением климата. Поэтому проверка данной гипотезы для территорий Восточной Сибири, относящихся к Арктической и Лесной зоне, а также акваторий, прилегающих к ним морей, представляет существенный теоретический и практический интерес. Тем не менее, ранее ее проверка не проводилась.

Цель работы - проверка справедливости выдвинутой гипотезы для арктических территорий Восточной Сибири и оценка современных тенденций изменений рисков, обусловленных опасными природными процессами, которые возможны на них летом, при дальнейшем потеплении климата Лесной зоны для весенних месяцев.

Очевидно, что выдвинутая гипотеза может быть справедлива, если выполняются следующие условия:

- влияние межгодовых изменений суммарной дозы ССР, поглощенной свободной водной поверхностью каких-либо арктических морей у берегов России в летние месяцы, на синхронные с ними вариации СТВ на некоторых территориях или акваториях Арктической зоны России является значимым;

- межгодовые изменения упомянутой дозы ССР, поглощенной в таких морях за летние месяцы, значимо связаны с вариациями СТВ на соответствующих территориях Лесной зоны России, которые происходят в предыдущие месяцы.

Выполнимость первого условия не очевидна, поскольку поток тепла, поступающий в атмосферу над Арктической зоной России от таких морей, формируется всей их подстилающей поверхностью, а не только ее участками, свободными ото льда. Немалый поток тепла поступает в атмосферу и от ледяного покрова морей, который также поглощает ССР (хотя его альbedo значительно больше).

Часть суммарного потока тепла, поступающего от акватории того или иного моря в атмосферу, которая формируется в его полыньях, тем больше, чем больше СПП, которая зависит от времени. Вопрос о том, достаточно ли велика для некоторого летнего месяца эта часть, для того чтобы выполнялось указанное условие для морей Лаптевых и Восточносибирского, ранее не рассматривался.

Выполнимость второго условия также нуждается в подтверждении, ведь на вариации среднемесячных значений их СПП (далее $S_{СПП}$) динамика СТВ на прибрежных территориях для тех же месяцев может влиять гораздо сильнее.

Следует отметить, что изменения рисков, связанных с опасными природными процессами в некоторых районах Арктической зоны России, при дальнейшем потеплении климата соответствующих территорий ее Лесной зоны для весенних месяцев, зависят и от того, наблюдаются ли в действительности на этих территориях подобные тенденции.

Результаты мониторинга изменений климата, который проводится на многих территориях Лесной зоны Сибири, свидетельствуют о том, что в большинстве из них в современном периоде происходит его значимое потепление [3, 5, 6]. Вместе с тем, вопрос о тенденциях межгодовых изменений СТВ, которые проявляются в весенние месяцы на тех ее территориях, где они способны влиять на сроки начала половодий в устьевых областях сибирских рек, остается открытым, поскольку расположение таких территорий не выявлено.

Поэтому для достижения указанной цели решены следующие задачи.

1. Оценка значимости связи межгодовых изменений месячных доз ССР, поглощенной в полыньях, которые образуются летом в ледяном покрове моря Лаптевых и Восточносибирского моря, с вариациями СТВ над акваториями и побережьями Восточной Сибири.

2. Выявление участков территории Восточной Сибири, где межгодовые вариации СТВ для каких-либо весенних месяцев значимо связаны с изменением $S_{СПП}$ в ледяном покрове арктических морей у побережий Восточной Сибири в последующие летние месяцы.

3. Оценка современных тенденций изменений СТВ на выявленных территориях Восточной Сибири, которые соответствуют выявленным весенним месяцам.

При решении указанных задач, как фактический материал, использована информация:

- об изменениях среднесуточных значений ледовитости различных участков акватории арктических морей у берегов Восточной Сибири, которая получена из реанализа GLORYS12.v.1 [16];

- о вариациях среднечасовых значений ССР и температур воздуха на высоте 2м над различными пунктами территории Восточной Сибири и акваториями морей Лаптевых и Восточносибирского, которая представлена в реанализе ERA 5 [16].

Реанализ GLORYS12v.1 основан на использовании математических моделей семейства NEMO, которые верифицированы по данным спутникового мониторинга. Рассматриваемые его результаты представляют собой среднесуточные значения ледовитости акваторий рассматриваемых водных объектов участков для каждых суток из периода с 1.01.1993 по 31.12.2020, с координатным шагом 5 угловых минут.

Для осуществления реанализа ERA-5 применены глобальные математические модели IMERG [16], которые верифицированы по информации наземных метеорологических и актинометрических наблюдений. Он содержит сведения о среднечасовых значениях интенсивности инсоляции различных участков земной поверхности и температурах воздуха над ними в период с 01.01.1979 по 24.31.12.2021 г. с координатным шагом 0.25°. Оба реанализа поддерживаются службой Copernicus.

При выборочном тестировании фактического материала использована информация с портала Единой системы информации о Мировом океане, который поддерживается ВНИИ МЦД (Обнинск) и архивные материалы.

Методика исследования предполагала решение первой задачи в три этапа. На первом этапе вычислялись значения $S_{СПП}$ для каждого моря и некоторого месяца, как разность общей площади

его акватории и среднемесячного значения общей площади его ледяного покрова. Упомянутые площади вычислялись с использованием информации реанализа GLORYS12v.1 об изменениях среднесуточных значений ледовитости различных участков акватории каждого моря с учетом их широты. При этом было принято допущение о том, что каждый участок представляет собой трапецию. Участки, частично включающие сушу, рассматривались как суша.

На втором этапе для каждого рассматриваемого месяца определялась месячная доза ССР, поглощенной всеми полыньями каждого моря. Значение этого показателя, рассчитывалось с учетом изменений СПП, как сумма доз ССР, поглощенной в полыньях за каждые сутки изучаемого месяца. Последние вычислялись с учетом влияния на альbedo соответствующих участков водной поверхности морей, изменений высоты Солнца над горизонтом.

На третьем этапе осуществлялся корреляционный анализ связей между временными рядами месячных доз ССР и синхронными рядами СТВ над акваториями рассматриваемых морей и территориями Восточной Сибири, для месяцев май-август. При оценке значимости изучаемых связей принято допущение о том, что статистические свойства изучаемых процессов позволяют применить для этого критерий Стьюдента. Связи рассматривались как значимые, если достоверность такого вывода превышала 0,95.

При решении второй задачи выполнялись такие же исследования, с использованием предположения о том, что временные ряды $S_{СПП}$, соответствующих тому или иному месяцу, запаздывают по отношению к рядам среднемесячных температур воздуха для рассматриваемых участках территорий на 1-3 месяца.

При решении третьей задачи, как количественные меры тенденции межгодовых изменений СТВ на высоте 2м над всеми участками территории Лесной зоны Сибири, оценены значения углового коэффициента линейного тренда (далее УКЛТ) соответствующих временных рядов, которые соответствуют периодам 1979-2020гг. и 2010-2020 гг.

При оценке вероятных изменений рисков возникновения опасных природных явлений, которые возможны летом на различных участках территории Арктической зоне Восточной Сибири, учитывалось, что значения этих показателей пропорциональны СТВ над ними.

Поэтому для нахождения искомым оценок изучались распределения по всей упомянутой территории УКЛТ рядов СТВ над ее участками для месяцев июнь-август, которые вычислены за указанные периоды времени.

Нетрудно видеть, что изложенная методика основана на ряде допущений, способных оказывать существенное влияние на количественные оценки изучаемых показателей. Вследствие этого она может быть признана вполне пригодной для выявления лишь качественных закономерностей, свойственных связям между изучаемыми процессами.

С использованием указанного фактического материала и изложенной методики, решены все поставленные задачи. На первом и втором этапах решения первой задачи, для месяцев с мая по август, определены зависимости от времени $S_{СПП}$ для обоих морей у побережий Восточной Сибири, а также месячных доз поглощенной в их полыньях ССР.

Установлено, что изменения указанных показателей для любых месяцев представляют собой сложные колебания, в спектрах которых присутствуют как квазидвухлетние, так и более длиннопериодные составляющие. Эти колебания для мая в период 1993-2019 г. происходят на практически неизменном уровне. Для июня –августа в них присутствуют возрастающие тренды (значения УКЛТ соответствующих рядов положительны, хотя значимыми не являются). При этом средние скорости увеличения $S_{СПП}$ были наибольшими для периода 2000-2012 гг.

В 2012-2019 гг. изменения $S_{СПП}$ для указанных месяцев, как и для мая, происходили на практически неизменном уровне. Из этого следует, что тенденции межгодовых изменений $S_{СПП}$ в морях Лаптевых и Восточносибирском, в 2012-2019 гг. переменились: дальнейшее увеличение этого показателя и снижение средней ледовитости их акваторий, для летних месяцев прекратилось.

На втором этапе решения первой задачи определены зависимости от времени доз ССР, падающей и поглощенной в полыньях каждого изучаемого моря.

На рисунке 1, как пример, показаны установленные зависимости от времени значений доз ССР, падающей и поглощенной в полыньях всего моря Лаптевых, нормированных к максимальным значениям этих показателей (CCP_{max}) за 1993-2019 гг., которые соответствуют месяцам май – август.

Как видно из рисунка 1а, межгодовые изменения месячных доз ССР, поступающей на акваторию моря Лаптевых и поглощенной его водой в полыньях, также представляют собой сложные колебания.

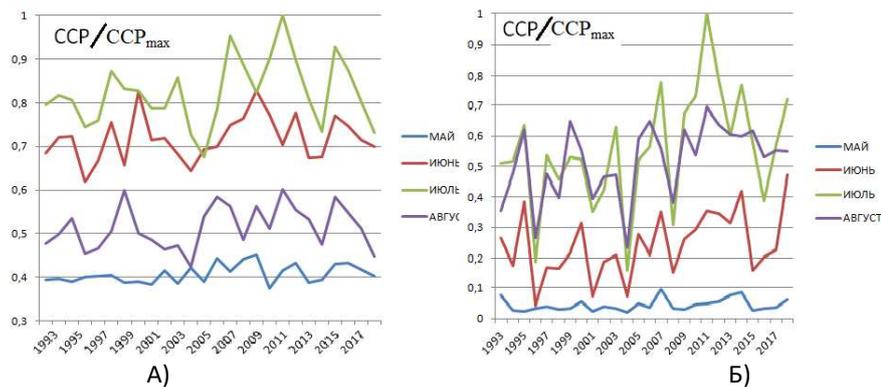


Рис. 1. Зависимости от времени доз ССР для всей акватории моря Лаптевых, нормированных к их максимальным значениям (CCP_{max}) за 1993-2019 гг., которые соответствуют месяцам май – август
А) падающая; Б) поглощенная

Как следует из рисунка 1А, наибольшие значения месячной дозы ССР, падающей на акваторию моря Лаптевых, в рассматриваемые месяцы приходятся на период 2007-2012 гг. В современном периоде в изменениях этого показателя присутствует убывающий тренд.

Аналогичные особенности наблюдаются и на рисунке 1Б, из чего следует, что произошедшая в 2012 г. перемена тенденций динамики $S_{СПП}$, наиболее заметно отразилась на межгодовые изменения месячных доз ССР, поглощенной в полыньях моря Лаптевых для июля и августа.

Для июня устойчивое увеличение этих доз продолжилось и после 2012 г. Последнее свидетельствует о том, что на изменения $S_{СПП}$ для июня могло оказать влияние как смещение дат начала половодья в устьевых областях соответствующих рек на более ранние сроки, так и повышение средних температур поступивших в море речных вод.

В последующие месяцы влияние этого фактора, по-видимому, ослабевает, так как основная часть потока тепла, потребляемого при таянии ледяного покрова, формируется за счет поглощения ССР свободной водной поверхностью южных районов изучаемых морей. Такие же выводы в полной мере справедливы и для Восточносибирского моря.

Полученные результаты позволяют связывать выявленные межгодовые изменения месячных доз ССР в период 2012-2020 гг. не только с соответствующими вариациями $S_{СПП}$, но и с уменьшением среднемесячной интенсивности инсоляции акваторий изучаемых морей, которое может быть обусловлено усилением над ними облачности.

При изучении связей межгодовых изменений в 1993-2019 гг. общего количества ССР, поглощенной в полыньях изучаемых морей за месяцы май-август, с синхронными вариациями СТВ на высоте 2м над поверхностью всей Арктической зоны Восточной Сибири, выявлены ее участки, где эти связи являлись значимыми. Расположение выявленных участков показано на рис. 2.

Из рис. 2 понятно, что в изучаемом регионе существуют многочисленные участки земной поверхности, для которых достоверность статистического вывода о значимости связи между рядами СТВ над ними, а также рядами месячных доз ССР, поглощенной в полыньях моря

Лаптевых, превышала 0,95. Степеней свободы таких рядов 28, вследствие чего соответствующее пороговое значение коэффициента их корреляции определено как 0,4.

Немало в регионе и участков, для которых достоверность такого вывода превосходила 0,99 (соответствующее этому уровню достоверности пороговое значение коэффициента корреляции выбрано 0,52). Выявлены также участки, где коэффициент корреляции рассматриваемых временных рядов был больше 0,6 и даже больше 0,7 (максимальное его значение составляет 0,783).

Как нетрудно заметить из рисунка 2а, для мая участки земной поверхности, где связи между вариациями СТВ над ними, а также изменениями месячных доз ССР, поглощенной всеми полыньями моря Лаптевых, с достоверностью 0,95 признаны значимыми, занимали всю его акваторию, а также акваторию северо-восточной части Карского моря.

Кроме того, они располагались на всем материковом побережье моря Лаптевых и всей северо-западной части территории Республики Саха (Якутия).

Рис. 2б позволяет утверждать, что для июня аналогичные участки включали также территории всей северной части полуострова Таймыр и Новосибирских островов, а также западную часть акватории Восточносибирского моря. Суммарная площадь рассматриваемых участков для этого месяца максимальна. Наиболее обширны также акватории и территории Арктической зоны Восточной Сибири, где значения коэффициента корреляция между рассматриваемыми рядами превышают 0,7.

Из рис. 2в можно заключить, что для июля область рассматриваемого региона, где значимыми являются связи межгодовых изменений СТВ, а также дозы ССР, поглощенной всеми полыньями моря Лаптевых, несколько меньше, чем для июня. Она включает территории, занимаемые устьевой областью р. Колыма и южным побережьем Восточносибирского моря, которые в аналогичную область для июня не входят.

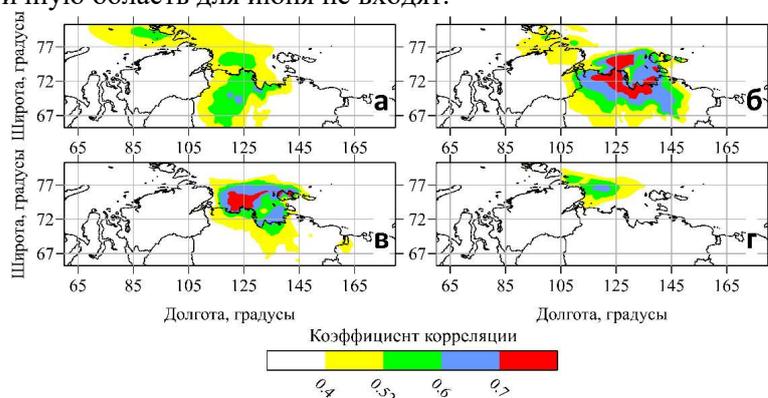


Рис. 2. Участки земной поверхности Арктической зоны Сибири, где связи межгодовых изменений в 1993-2020 гг. СТВ на высоте 2м над ними, а также синхронных вариаций доз ССР, поглощенной всеми полыньями моря Лаптевых, значимы для месяцев: а) Май; б) Июнь; в) Июль; г) Август

О существенном уменьшении размеров рассматриваемой области для августа свидетельствует рис. 2г. Из него видно, что для этого месяца данная область включает лишь акватории центральной и западной части моря Лаптевых, прилегающей к восточному побережью полуострова Таймыр.

Полученные результаты подтверждают справедливость представлений [12, 13] о том, что в период полярного дня ССР, поглощаемая в полыньях арктических морей, является одним из основных источников тепла, согревающего воздух приземного слоя атмосферы над многими регионами мира, расположенными в его Арктической зоне (в том числе и над арктическими территориями Восточной Сибири). Из них следует, что повышение темпов роста СПП, а также $S_{СПП}$, может служить одной из существенных причин происшедшего в изучаемом регионе потепления климата.

Выявленное при решении второй задачи расположение участков территории Восточной Сибири, где межгодовые изменения СТВ в апреле и мае 1993-2020 гг. были значимо связаны с вариациями $S_{СПП}$ моря Лаптевых для мая, а также июня, показано на рис. 3.

Рис. 3а позволяет заключить, что значимым фактором межгодовых изменений S для моря Лаптевых в мае являются вариации СТВ для апреля, непосредственно над территориями, прилегающими к его южному побережью. Последнее, вероятно, объясняется тем, что изменения СТВ над такими участками земной поверхности в мае и в апреле взаимосвязаны, а половодье в устьевых областях рек региона начинается лишь в конце мая.

Из рисунка 3б видно, что межгодовые изменения СТВ в мае над некоторыми территориями Восточной Сибири, расположенными в бассейнах реки Лены и ее правого притока Алдана, являются значимым фактором межгодовых изменений $S_{СПП}$ моря Лаптевых для июня.

Следует отметить, что расположения выявленных территорий таковы, что продолжительности периодов, за которые возникающее на них половодье достигает дельты Лены, приблизительно одинаковы и близки к 1 месяцу.

Аналогичные связи выявлены и между изменениями СПП Восточносибирского моря для июня, а также вариациями СТВ для мая, на участках территории бассейна р. Колымы, которые столь же удалены от устья наиболее полноводного рукава ее дельты.

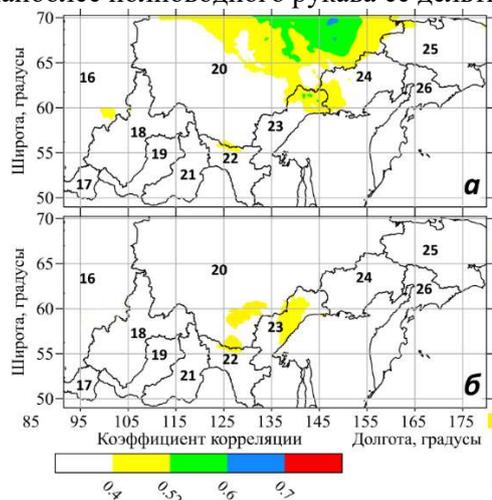


Рис. 3. Участки территории Восточной Сибири, где межгодовые изменения среднемесячных температур воздуха в апреле и мае 1993-2019 гг., были значимо связаны с вариациями $S_{СПП}$ моря Лаптевых для месяцев: а) Май; б) Июнь

Следовательно, выдвинутая гипотеза для арктических территорий Восточной Сибири справедлива.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при дальнейшем повышении СТВ весенних месяцев на выявленных территориях Восточной Сибири, значения СПП в морях Лаптевых и Восточносибирском для июня и прочих летних месяцев могли бы возрастать. Следствием последнего могло бы явиться повышение СТВ для летних месяцев на территориях Арктической зоны Восточной Сибири, показанных на рис. 4. Последнее вызвало бы повышение рисков возникновения на таких территориях опасных природных явлений, которые активизируются при потеплении местного климата. В это же время на участках маршрутов СМП, расположенных в море Лаптевых и Восточносибирском, ледовая обстановка становилась бы более благоприятной для навигации. Вместе с тем, из того, что подобные явления возможны, отнюдь не следует, что они в действительности происходят.

Для оценки возможности возникновения в Арктической зоне Восточной Сибири указанных явлений решена задача 3.

При ее решении, для месяцев май и июнь построены распределения по всей территории Сибири значений УКЛТ временных рядов СТВ на высоте 2м над земной поверхностью, которые соответствуют периодам 1979 -2020 гг. и 2010-2020 гг. и представлены на рис. 4.

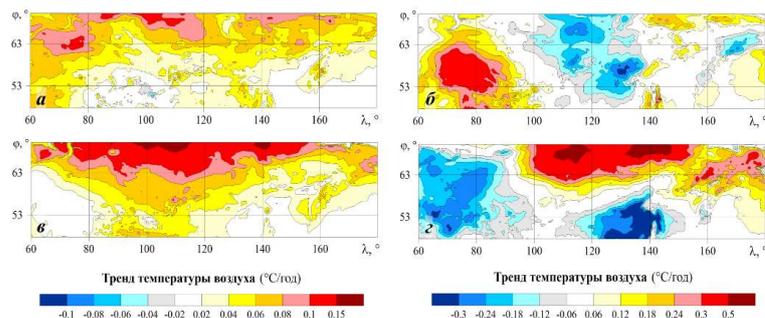


Рис. 4. Распределения по территории Сибири значений УКЛТ временных рядов СТВ на высоте 2м над различными пунктами земной поверхности, для месяцев: а) май 1979-2020; б) май 2010-2020; в) июнь 1979-2020; г) июнь 2010-2020

Из рис. 4а и 4в видно, что как для мая, так и для июня на всей территории Сибири в 1979-2020 гг. СТВ повышались (что подтверждает справедливость выводов [1-8]).

Для июня темпы потепления здесь были значительно выше, чем для мая, а значения УКЛТ рядов СТВ на многих участках территории Сибири превосходили выбранный уровень значимости 0,1°C/год. Наиболее быстро потепление климата происходило на территориях, расположенных к северу от параллели 60°с.ш., что подтверждает справедливость выводов [1, 2, 4, 8, 10, 11].

Рис. 4б и 4г свидетельствуют о том, что в период 2010-2020 гг. тенденции изучаемых процессов заметно изменились. Для мая (рисунок 4б) участков территории всей Восточной Сибири, для которых УКЛТ рядов СТВ превосходили бы соответствующий уровень значимости (0,24°C/год), не выявлено. При этом в районах Станового нагорья и Станового хребта также в верховьях реки Вилюй выявлено значимое похолодание.

Вместе с тем на всей территории Западной Сибири выявлено повышение СТВ, которое в ее южной части (Новосибирская, Тюменская, Омская, Томская и Курганская области) являлось значимым.

Для июня (рисунок 4г) на всех территориях Восточной Сибири, относящихся к Арктической зоне, преобладало значимое потепление (а на многих ее участках, относящихся к Красноярскому краю и Республике Саха (Якутия) значения УКЛТ СТВ превышали уровень значимости). В результате этого риски возникновения на таких территориях опасных природных явлений повышались. В тоже время для многих районов бассейна р. Амур и районов Западной Сибири отмечено значимое похолодание.

Учитывая полученные результаты, для различных участков территории Сибири оценены значения УКЛТ рядов СТВ на высоте 2м над земной поверхностью, для месяцев июль-сентябрь, которые для районов Арктической зоны пропорциональны УКЛТ рядов рисков возникновения в них опасных природных явлений, вызванных потепления климата.

На рис. 5 представлены распределения этих показателей по территории Сибири, значения которых оценены за 1979-2020 и 2010-2020 гг.

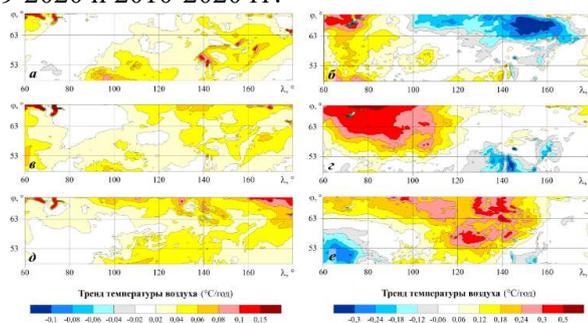


Рис. 5. распределения по территории Сибири значений УКЛТ рядов СТВ для месяцев июль-сентябрь, которые оценены за периоды времени: а) июль 1979-2020гг.; б) июль 2010-2020 гг.; в) август 1979-2020 гг.; г) август 2010-2020 гг.; д) сентябрь 1979-2020 гг.; е) сентябрь 2010-2020 гг.

Из рис. 5а, 5в и 5д понятно, для всех летних месяцев за 1979-2020 гг. риски возникновения опасных природных явлений почти на всей территории Восточной Сибири повышались (что соответствует выводам [1, 3, 10]).

Несмотря на то, что практически на всей этой территории такое значение УКЛТ рядов СТВ выбранного уровня значимости не достигало, на некоторых ее участках оно являлось значимым.

Из рис. 5а видно, для июля значимое повышение за 1979-2020 гг. рисков возникновения в Арктической зоне Сибири рассматриваемых опасных природных явлений характерно лишь для ее северо-западной части (участки территории Ямало-Ненецкого автономного округа), где значения УКЛТ рядов СТВ превышают $0,15^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (при выбранном пороге значимости $0,1^{\circ}\text{C}/\text{год}$).

Рис. 5б показывает, что за период 2010-2020 гг. для июля значимое повышение рисков возникновения тех же явлений выявлено на тех же территориях (значения УКЛТ рядов СТВ для них превышают $0,3^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (при выбранном пороге значимости $0,1^{\circ}\text{C}/\text{год}$)). При этом на многих территориях Республики Саха (Якутия) риски, обусловленные такими явлениями, заметно снизились.

Как следует из рис. 5в, для августа риски, связанные с опасными природными явлениями, за весь период 1979-2020 гг. заметно повысились лишь в тех же северо-западных районах Ямало-Ненецкого автономного округа.

Рис. 5г свидетельствует о том, что в 2010-2020 гг. значимое повышение рисков, связанных с теми же явлениями, имело место практически на всех территориях Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономного округа и на всей северной части Красноярского края. На территориях Арктической зоны, принадлежащих Республике Саха (Якутия), повышения таких рисков не зафиксировано.

Как видно из рис. 5д, риски, связанные с опасными природными явлениями, для сентября за 1979-2020 гг. заметно повышались на тех же территориях Ямало-Ненецкого автономного округа, а также на северо-востоке Республики Саха (Якутия).

Рис. 5е позволяет утверждать, что за период 2010-2020 гг. значимое повышение рисков возникновения опасных природных явлений, связанных с потеплением климата, наблюдалось как на многих территориях Красноярского края и Республики Саха (Якутия), относящихся к Арктической зоне, так и на территориях Лесной зоны (Амурская область и Хабаровский край).

Следовательно, в современном периоде риски, которые связаны с возникновением в Арктической зоне Восточной Сибири опасных природных явлений, связанных с потеплением климата, заметно возрастают лишь в июне и сентябре (о чем свидетельствуют значимые уровни УКЛТ рядов СТВ над ее территорией).

На территориях Лесной зоны Восточной Сибири они наиболее существенно повышаются для сентября. Именно этим, по-видимому, может объясняться снижение темпов увеличения $S_{СПП}$ в морях Лаптевых и Восточносибирском, которое выявлено для летних месяцев 2012-2020 гг. Так как при этом ледовитость акваторий рассматриваемых морей в июле и августе несколько повышается, риски для судоходства в указанных морях в какой-то мере возрастают.

В результате выявленных особенностей изменений в 2010-2020 гг. СТВ для июля, августа и сентября на многих арктических территориях Восточной Сибири, здесь в те же годы должна была наблюдаться стабилизация рисков, связанных с опасными природными явлениями.

Тем не менее, фактически в эти месяцы здесь отмечалось увеличение как общего количества ландшафтных пожаров, так и площадей территорий, пройденных при этом огнем. Следовательно, полученные результаты позволяют связывать упомянутое фактическое повышение горимости ландшафтов в таких районах, с усилением воздействий на них антропогенных факторов.

Учитывая это, комплекс мероприятий направленных на снижение рисков, возникающих в Арктической зоне России, должен предусматривать совершенствование осуществляемой здесь контрольно-надзорной и профилактической деятельности ГПС МЧС Российской Федерации.

Данный комплекс мероприятий должен предусматривать расширение полномочий по проверке функциональных и территориальных подсистем РСЧС в Арктической зоне России. Внедрения современных профилактических инструментов с учетом климата Арктики. Ужесточение санкций за правонарушения связанные с защитой населения и территории Арктической зоны России от ЧС.

Полученные результаты в полной мере соответствуют существующим представлениям о причинах изменения состояния ледяного покрова арктических морей [1,2, 4, 8, 10, 11] и роли в этом процессе впадающих в них рек [14]. Они свидетельствуют о том, что следствиями современного потепления климата в бассейнах рек Восточной Сибири является смещение половодий в их устьевых областях на более ранние сроки и существенное увеличение их теплового стока. Эти явления приводят к увеличению темпов роста полыней в арктических морях и потоков тепла, поступающего от них в атмосферу, что способно вызывать повышение СТВ над их акваториями и побережьями морей.

Научной новизной обладают следующие выявленные факты:

1. Выявлены участки бассейнов сибирских рек, для которых вывод о значимости влияния межгодовых изменений термического режима в мае темпы роста полыней в ледяном покрове изучаемых морей в июне характеризуется достоверностью не ниже 0,95.

2. Выявлены участки территорий и акваторий Арктической зоны Восточной Сибири, для которых, для месяцев май-август, столь же достоверен вывод о значимости связей межгодовых изменений СТВ, с синхронными вариациями месячной дозы ССР, поглощаемой свободной водной поверхностью полыней в ледяном покрове морей Лаптевых и Восточносибирского.

3. Доказано, что значимым фактором динамики рисков, связанных с возникновением опасных природных явлений в Арктической зоне России для летних месяцев, является повышение СТВ над некоторыми территориями ее Лесной зоны для весенних месяцев.

Таким образом, установлено:

1. Потепление климата, происходящее ныне на некоторых территориях Восточной Сибири, расположенных в ее Лесной ландшафтной зоне, не только усложняет жизнедеятельность их населения и функционирование экономики, но также оказывает значимое трансграничное влияние на риски, связанные с опасными природными процессами в ее Арктической зоне.

2. Это влияние проявляется в повышении темпов потепления климата арктических территорий, что способствует увеличению повторяемости ландшафтных пожаров и площадей территорий, пройденных огнем, а также приводит к повышению интенсивности термического разрушения Вечной мерзлоты, а также может являться причиной техногенных и природных ЧС.

3. Существенным является также влияние потепления климата Восточной Сибири для весенних месяцев, на безопасность судоходства в восточных частях морей Восточного сектора Северного Морского пути, ледовитость которых, в начале летнего навигационного периода, при этом снижается.

4. Проблемы предотвращения ЧС в Арктической и Лесной зоне России взаимосвязаны, вследствие чего решать их необходимо комплексно. Существенную роль в их решении могло бы сыграть совершенствование кадрового и материально-технического обеспечения подразделений ГПС МЧС России, действующих на территориях Субъектов РФ, расположенных на территории Восточной Сибири.

Список источников

1. Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (расширенное резюме). – Отв. редактор Б.А. Моргунов. – М.: Научный мир, 2011. http://npa-arctic.ru/rus/sap_ru.html

2. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. Изменения климата Арктики и Антарктики — результат действия естественных причин // Проблемы Арктики и Антарктики. № 2 (85). С. 52–61. (2010).

3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Изд-во Росгидромета, 2014. – 1009 с.
4. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т. 1. С. 11–26.
5. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., 2012: Об оценках изменений климата регионов России в 20 и начале 21 веков по данным наблюдений. Метеорология и гидрология, № 6, с. 95–107;
6. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург. 2017. – 106 с.
7. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций (Шойгу С.К., ред.), Москва, Издательство «Феория», 2011, 696 с.
8. Холопцев А.В., Подпорин С.А. Анализ изменений ледовых условий на Северном Морском пути в конце XX- начале XXI века //Вестник ГУМРФ имени С.О. Макарова. 2020. – т.12., №1, С.71-84.
9. Мохов И.И. Особенности современных изменений климата в Арктике и их последствий. Проблемы Арктики и Антарктики. 2020;66(4):446-62. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-4-446-462>
10. Фролов И.Е. Океанография и морской лед. – М.: Paulsen. - 2011. - 432с.
11. Спорышев П.В., Катцов В.М., Мелешко В.П., Алексеев Г.В., Кароль И.Л., Мирвис В.М., 2014: Причины наблюдаемых изменений климата. Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, вып. 574, с. 39-124.
12. Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. (2009). О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики.2009. № 1(81).С.15-23
13. Исследование причин изменчивости климата / В.Д. Коваленко, Л. Д. Кизим, А. М. Пашесток, В. Г. Николаев // Агроклиматические ресурсы Сибири. Сборник трудов ВАСХНИЛ, Сибирское отделение. Новосибирск, 1987, с. 103-113.
14. Котляков В.М. (2012). О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110–114.
15. Результаты реанализа GLORYS12v.1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-toproducts/?option=com_csw&view=details&productid=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030
16. Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOI: 10.24381/cds.bd0915c6
17. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: официальный сайт. – Москва. URL [Электронный текст]. Режим доступа: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml .

List of sources

1. Diagnostic analysis of the state of the environment of the Arctic zone of the Russian Federation (extended summary). – Editor B.A. Morgunov. – М.: Scientific World, 2011. http://npa-arctic.ru/rus/sap_ru.html
2. Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Smolyanitsky V.M. Climate changes in the Arctic and Antarctic — the result of natural causes // Problems of the Arctic and Antarctic. No. 2 (85). pp. 52-61. (2010).
3. The second evaluation report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. – Moscow: Publishing House of Roshydromet, 2014. – 1009 p.
4. Alekseev G.V. Manifestation and intensification of global warming in the Arctic // Fundamental and applied climatology. 2015. Vol. 1. pp. 11-26.
5. Anisimov O.A., Zhiltsova E.L., 2012: On estimates of climate changes in Russia's regions in the 20th and early 21st centuries based on observational data. Meteorology and Hydrology, No. 6, pp. 95-107;

6. Report on climate risks in the territory of the Russian Federation. – St. Petersburg. 2017. – 106 p.
7. Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations (Shoigu S.K., ed.), Moscow, Publishing House "Feoria", 2011, 696 p.
8. Kholoptsev A.V., Podporin S.A. Analysis of changes in ice conditions on the Northern Sea Route at the end of the XX- beginning of the XXI century //Bulletin of the GUMRF named after S.O. Makarov. 2020. –vol.12., No. 1, pp.71-84.
9. Mokhov I.I. Features of modern climate changes in the Arctic and their consequences. Problems of the Arctic and Antarctic. 2020;66(4):446-62. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-4-446-462>
10. Frolov I.E. Oceanography and sea ice. – M.: Paulsen. - 2011. - 432с.
11. Sporyshev P.V., Kattsov V.M., Meleshko V.P., Alekseev G.V., Karol I.L., Mirvis V.M., 2014: Causes of observed climate changes. Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov, issue 574, pp. 39-124.
12. Gudkovich Z. M., Karklin V. P., Smolyanitsky V. M., Frolov I. E. (2009). On the nature and causes of changes in the Earth's climate // Problems of the Arctic and Antarctic. 2009. No. 1 (81). pp. 15-23.
13. Investigation of the causes of climate variability / V. D. Kovalenko, L. D. Kizim, A.M. Pashestyuk, V. G. Nikolaev // Agro-climatic resources of Siberia. Collection of works of VASHNIL, Siberian branch. Novosibirsk, 1987, pp. 103-113.
14. Kotlyakov V. M. (2012). On the causes and consequences of modern climate changes // Solar-terrestrial physics. 2012. Issue 21. C. 110-114.
15. Resultaty reanalyzlaglorys12v.1 [electronic resource]. Access mode: http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-topproducts/?option=com_csw & view = details & productid=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030
16. Results of reanalysis of ERA 5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. [electronic resource]. Access mode: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOC: 10.24381/cds.bd0915c6
17. Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency: official website. – Moscow. URL [Electronic text]. Access mode: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml

Информация об авторах

А.В. Холопцев - доктор географических наук, профессор

Р.Г. Шубкин - кандидат технических наук

И.Ю. Сергеев - кандидат технических наук

А.Н. Батуро - кандидат технических наук, доцент

А.В. Антонов - кандидат технических наук

Information about the author

A.V. Kholoptsev - Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science)

in Geographic Sciences, Professor

R.G. Shubkin - Ph.D. of Engineering Sciences

I.U. Sergeev - Ph.D. of Engineering Sciences

A.N. Baturo - Ph.D. of Engineering Sciences, Docent

A.V. Antonov - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 28.10.2022; одобрена после рецензирования 14.12.2022; принята к публикации 21.12.2022.

The article was submitted 28.10.2022, approved after reviewing 14.12.2022, accepted for publication 21.12.2022.