

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-62-83

EDN: ZDHYZG

УДК 502.45

Научная статья / Research article

Принципы долгосрочного прогнозирования природных процессов на примере азиатской территории России

А.В. Холопцев^{id}, Р.Г. Шубкин^{id}, Ю.Н. Коваль^{id}✉

*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск,
Российская Федерация
✉ a_yulya@inbox.ru*

Аннотация. Важный класс природных процессов образуют те, развитие которых обусловлено причинными связями с некоторыми наблюдаемыми факторами, опережающими их по времени, что позволяет использовать такие связи для долгосрочного прогнозирования. Принципы такого их прогнозирования во многом определяют выбор методики, применяемой при разработке прогнозов, а также их оправдываемость. Поэтому их совершенствование — перспективное направление развития технологий профилактики опасных последствий рассматриваемых процессов, а также актуальная проблема безопасности при чрезвычайных ситуациях. При долгосрочном прогнозировании изучаемых процессов традиционно применяется принцип «чем точнее моделирование, тем точнее и прогнозирование», а также принимается допущение о том, что их развитие происходит по инерционному сценарию, а также может быть применен принцип «каждому свое», предполагающий, что для каждого участка изучаемой территории прогнозирование осуществляется с учетом значимых факторов рассматриваемого процесса, соответствующих именно этому участку. При выявлении таких факторов принимается допущение о том, что в будущем сценарий развития изучаемого процесса не переменится. Это позволяет использовать в качестве предиктора прогностической модели фактор изучаемого процесса, связь с которым в прошлом усиливалась. Предложена методика выявления участков, для которых рассматриваемый фактор изучаемого процесса обладает указанным свойством. Установлено, что участков Азиатской Территории России, где сценарий развития каких-либо гидрометеорологических процессов является инерционным, мало. Вследствие этого априорные оценки оправдываемости долгосрочных прогнозов таких процессов здесь, как правило, существенно отличаются от ее апостериорных оценок. Следование принципу «каждому свое» приводит к необходимости разработки для каждого изучаемого участка рассматриваемой территории специализированной прогностической модели, предикторами которой являются факторы, связи с которыми ранее усиливались. Чем больше рассматриваемых участков, тем выше и трудоемкость разработки требуемого количества специализированных моделей. Поэтому актуальной является

© Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Коваль Ю.Н., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

проверка гипотез о многочисленности участков, где априорные оценки оправданности прогноза занижены. Справедливость гипотез подтверждена на примере межгодовых вариаций среднемесячных температур приземного воздуха на Азиатской части России для весенних месяцев и их фактора изменения количества ландшафтных пожаров, возникших в предыдущем году на территории Якутии.

Ключевые слова: сценарий, связь, тенденция, гидрометеорологические факторы

Вклад авторов. *Холопцев А.В.* — концептуализация, формулирование идеи, формулирование исследовательских целей и задач, подготовка и создание рукописи. *Шубкин Р.Г.* — методология, разработка или проектирование методологии исследования, создание модели исследования, подготовка и создание рукописи. *Коваль Ю.Н.* — подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 30.03.2025; доработана после рецензирования 09.07.2025; принята к публикации 01.12.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: *Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Коваль Ю.Н.* Принципы долгосрочного прогнозирования природных процессов на примере азиатской территории России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 62–83. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-62-83> EDN: ZDHYZG

Principles of long-term forecasting of natural processes: case study of the Asian territory of Russia

Aleksandr V. Kholoptsev^{ID}, Roman G. Shubkin^{ID}, Yulia N. Koval^{ID}✉

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk,
✉a_yulya@inbxo.ru

Abstract. An important class of natural processes is formed by those whose development is due to causal relationships with some observed factors that are ahead of them in time, which makes it possible to use such relationships for long-term forecasting. The principles of such forecasting largely determine the choice of methodology used in the development of forecasts, as well as their justifiability. Therefore, their improvement is a promising direction for the development of technologies for the prevention of dangerous consequences of the processes under consideration, as well as an urgent safety problem in emergency situations. In the long-term forecasting of the studied processes, the principle “the more accurate the modeling, the more accurate the forecasting” is traditionally applied, and it is also assumed that their development occurs according to an inertial scenario. To solve the problem under consideration, the principle of “to each his own” can also be applied, suggesting that for each section of the studied territory, forecasting is carried out taking into account the significant factors of the process under consideration, corresponding specifically to this section. When identifying such factors, it is assumed that the scenario for the development of the process under study will not change in the future. This allows us to use as a predictor of the predictive model, the factor of the process under study, the connection with which has been strengthened in the past. A method

is proposed for identifying areas for which the considered factor of the process under study has the specified property. It has been established that there are few areas of the Asian Territory of Russia where the scenario of the development of any hydrometeorological processes is inertial. As a result, a priori estimates of the justifiability of long-term forecasts of such processes here, as a rule, differ significantly from its a posteriori estimates. Following the principle of “to each his own” leads to the need to develop a specialized predictive model for each studied area of the territory under consideration, the predictors of which are factors that have previously been strengthened. The more sites under consideration, the higher the complexity of developing the required number of specialized models. Therefore, it is important to test hypotheses about the abundance of sites where a priori estimates of the feasibility of the forecast are underestimated. The validity of the hypotheses is confirmed by the example of such a process as interannual variations in average monthly surface air temperatures in the Asian territory of Russia for the spring months and their factors such as changes in the number of landscape fires that occurred in the previous year in Yakutia.

Keywords: scenario, relationship, trend, hydrometeorological factors

Authors’ contribution. *A.V. Kholoptsev* — conceptualization, ideas, formulation or evolution of overarching research goals and aims, preparation and creation of the published work. *R.G. Shubkin* — methodology, development or design of methodology, creation of models, preparation and creation of the published work. *Yu.N. Koval* — writing — original draft, preparation and/or presentation of the published work, specifically writing the initial draft (including substantive translation). All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 30.03.2025; revised 09.07.2025; accepted 01.12.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Kholoptsev AV, Shubkin RG, Koval YuN. Principles of long-term forecasting of natural processes: case study of the Asian territory of Russia. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):62–83. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-62-83> EDN: ZDHYZG

Введение

Особенностью многих природных процессов, способных причинять ущерб населению, экономике и экосистемам России, является наличие значимых причинных связей их динамики с некоторыми наблюдаемыми факторами, опережающими их по времени, что позволяет использовать такие связи для их долгосрочного прогнозирования.

Примерами таких процессов могут служить межгодовые изменения количества ландшафтных пожаров (КЛП), возникающих на рассматриваемой территории за некоторый месяц или за весь год, которые причинно связаны с вариациями массы накопившегося на ней горючего материала, а также его увлажненности. Последние в свою очередь зависят от изменений интенсивности образования на ней горючего материала в предыдущие годы, а также среднемесячных температур воздуха (СТВ) и месячных сумм выпадающих здесь атмосферных осадков (МСО), соответствующих предыдущим месяцам.

Эффективность деятельности подразделений МЧС России, направленной на снижение ущерба от рассматриваемых процессов, во многом определяется

качеством долгосрочных прогнозов, учитываемых при ее планировании, характеристикой которого является их оправдываемость (далее — ОДП) [1]. Значение упомянутого показателя, а также выбор методики разработки таких прогнозов во многом определяется принципами, положенными в основу прогнозирования. Поэтому совершенствование упомянутых принципов является актуальной проблемой не только естественных наук, но и безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для природных катастроф, которые ежегодно причиняют существенный ущерб населению и экономике многих регионов России. Видное место среди них занимают ландшафтные пожары, ущерб от которых в ряде ее регионов за период 2000–2024 гг. увеличился¹, [1-8]. Информация об изменениях КЛП для территории каждого региона России представлена в *Информационной системе дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства*². Из нее следует, что в период 2000–2024 гг. наибольший ущерб населению и экономике причиняли ландшафтные пожары, происходящие на азиатской территории России (АТР).

Значения КЛП для различных регионов России, относящихся к АТР, в те или иные годы различались в десятки раз³ [9; 10]. По этой причине многократно различались также людские, материальные и финансовые ресурсы, которые фактически требовались для ликвидации ландшафтных пожаров на территории того или иного региона.

Если оценки вероятных КЛП для предстоящего года, которые учитывались при планировании деятельности противопожарных подразделений, оказывались заниженными, выделенных ресурсов для ликвидации фактически возникавших пожаров не хватало. В таких случаях стоящие перед подразделениями задачи решались лишь благодаря героизму их личного состава, экстренной помощи со стороны добровольцев и органов власти, а ущерб от ландшафтных пожаров, который не удавалось предотвратить, существенно возрастал.

Если учитываемые при планировании долгосрочные прогнозы КЛП являлись завышенными, выделенных ресурсов для ликвидации возникающих

¹ Классификация сроков метеорологических прогнозов. URL: <https://meteoinfo.ru/for/about/1597-f> (дата обращения: 12.03.2025); Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году». Москва : Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. 461 с.; Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Санкт-Петербург : Научно-технологический институт, 2022. 124 с.

² Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 12.03.2025).

³ Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 12.03.2025).

пожаров было вполне достаточно и каких-либо неразрешимых проблем не возникало.

Следовательно, существенными факторами реальной эффективности деятельности противопожарных подразделений, а также ущерба, который не удалось предотвратить, выступают наличие и знак смещения априорных оценок ОДП прогнозов КЛП на предстоящий год, которые учитываются при ее планировании. Поэтому существенный теоретический и практический интерес представляет поиск путей повышения достоверности их определения.

Априорные оценки ОДП любого процесса вычисляются по его предыстории как частота, с которой прогноз в прошлом оправдывался. Они всегда являются несмещенными по отношению к апостериорным оценкам ОДП, если сценарий развития изучаемого процесса инерционен (все его статистические характеристики в будущем остаются такими же, какими они были в прошлом) [11].

Количество статистических характеристик изучаемых процессов — бесчисленное множество. Поэтому убедиться в том, что сценарий их развития является инерционным, практически невозможно. Отчасти поэтому проверку справедливости такого предположения разработчики прогноза не проводят, а участки АТР, для которых он обладает указанным свойством, не определены.

Одной из статистических характеристик любого изучаемого процесса является значение коэффициента его корреляции с каким-либо фактором, которое вычислено на некотором отрезке времени. Эта характеристика может рассматриваться как показатель силы (тесноты) связей между ними.

Сценарий развития изучаемого процесса и его фактора, при котором значения этой характеристик не зависят от выбора отрезка его временного ряда некоторой длины, используемого для их оценки, рассматривается здесь и далее как консервативный [12]. Любой инерционный сценарий гарантированно является консервативным, но отнюдь не любой консервативный сценарий инерционен.

Убедиться в том, что упомянутая характеристика изучаемого процесса не зависит от выбора начала отрезка его временного ряда, по которому она оценивается, можно, располагая результатами его мониторинга, образующими его предысторию. Тем не менее участки АТР, для которых сценарии изучаемых процессов консервативны, не выявлены.

Смещение априорных оценок ОДП по отношению к ее апостериорным оценкам возникает, если в изменениях силы связи между процессом и его фактором проявляются какие-либо значимые тенденции.

Если все учитываемые при прогнозировании связи усиливаются, то оценка ОДП по предыстории процесса всегда занижена по отношению к оценке за более поздний отрезок времени (включающий и будущее). В противном случае она завышена. Поэтому знак смещения априорных оценок ОДП определяется предысторией изменения силы связей, учитываемых в прогностических

моделях изучаемого процесса. Его оценка по предыстории процесса в будущем окажется адекватной, если сценарий, по которому он развивается, не переменится.

Согласно существующим представлениям о природных факторах, обусловивших возникновение в некоторых регионах России тенденций к увеличению КЛП, к числу основных относится потепление их климата [1; 7].

Этот процесс приводит к активизации на территориях многих регионов России гидрометеорологических факторов пожароопасности по условиям погоды [13], что вызывает рост и соответствующих КЛП. К таким факторам относятся соответствующие изменения СТВ, МСО, а также многие другие процессы⁴ [14].

Как показано в [12; 15], для многих участков АТР значимыми факторами межгодовых изменений СТВ для весенних месяцев, являются вариации КЛП на территории республики Саха (Якутия), опережающие их по времени на 1 год.

На многих участках территории России пожароопасный сезон в XX в. начинался в апреле, а пик горимости их ландшафтов приходился на весенние месяцы [3; 16; 17]. В результате потепления климата начало пожароопасного сезона в период 2000–2024 гг. сместилось на март .

Проблема повышения апостериорных оценок ОДП гидрометеорологических процессов в принципе может быть решена с использованием двух подходов.

Основополагающим принципом, на котором основаны разработки долгосрочных гидрометеорологических прогнозов, реализующих традиционный подход, является следующий: «Чем точнее моделирование, тем точнее и прогнозирование». Поэтому рассматриваемый подход состоит в совершенствовании климатических моделей изучаемых процессов за счет расширения множества учитываемых ими факторов, что приводит к повышению точности моделирования. Он развивается практически всеми разработчиками долгосрочных гидрометеорологических прогнозов, представляющими Гидрометцентр России [18; 19], Главную геофизическую обсерваторию им. А.И. Воейкова [20; 21], Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт [11; 22; 23] и Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова [12]. Большинство разработчиков явно или неявно использует предположение о том, что сценарий дальнейших изменений изучаемого процесса является инерционным.

Эффективность рассматриваемого подхода при разработке краткосрочных и среднесрочных гидрометеорологических прогнозов неоднократно подтверждена практикой. Во многих случаях повышение точности моделирования

⁴ Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году». Москва : Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. 461 с.

изучаемых процессов приводит также к повышению апостериорных оценок ОДП⁵. Вместе с тем в некоторых случаях такого результата достичь не удастся, а априорные оценки ОДП изучаемых процессов разработчиками их прогнозов оцениваются в среднем по территории России, как 0,7–0,8.

Одной из причин ошибочности упомянутых прогнозов для некоторых участков АТР может являться несправедливость упомянутого допущения, что влечет за собой существенные различия статистических свойств изучаемого процесса в прошлом и в будущем, а также наличие значимого смещения априорной оценки ОДП по отношению к ее апостериорной оценке.

Второй подход к решению рассматриваемой проблемы основан на принципе, который может быть условно назван «каждому свое», а также на допущении о том, что сценарий развития изучаемого процесса в будущем не изменится. Упомянутый принцип предполагает, что для каждого участка изучаемой территории разработка долгосрочного прогноза должна осуществляться с учетом значимых факторов рассматриваемого процесса, соответствующих именно этому участку.

Упомянутое допущение позволяет использовать в качестве предиктора прогностической модели фактор изучаемого процесса, связи с которым в прошлом усиливались, что приводило к повышению точности его моделирования. Очевидно, что если точность модели процесса с течением времени увеличивается, априорная оценка его ОДП, вычисленная по его предыстории, всегда является, по отношению к апостериорной оценке этого показателя, заниженной.

Фактически второй подход предполагает разработку для всего рассматриваемого региона не одной сложной и универсальной прогностической модели изучаемого процесса, а множества более простых и специализированных его моделей, которые соответствуют различным участкам его территории и перекрывают ее целиком лишь в совокупности.

Предикторами этих моделей должны быть значимые факторы изучаемого процесса с характеристиками, соответствующими рассматриваемому участку, при условии, что их связи с этим процессом в прошлом усиливались. Учитывая принятое допущение, в будущем эти связи должны стать еще сильнее, а точность моделей выше.

Следует отметить, что для моделей, разработанных в соответствии с традиционным подходом, повышение точности в будущем не гарантируется, так как среди учитываемых ими факторов присутствуют и те, для которых связи с изучаемым процессом в прошлом с течением времени становились слабее.

Поэтому апостериорные оценки ОДП для каждого участка АТР, разработанных с применением упомянутых специализированных моделей, могут

⁵ Результаты реанализа см.: ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (дата обращения: 12.03.2025).

быть выше, чем для модели, разработанной в соответствии с первым подходом. Однако чем больше таких участков, тем выше и трудоемкость разработки требуемого количества этих моделей.

Цель исследования — проверка справедливости выдвинутых гипотез, а именно:

- 1) количество участков АТР, для которых априорные оценки ОДП совпадают с апостериорными оценками, невелико;
- 2) существуют многочисленные участки АТР, для которых априорные оценки ОДП межгодовых изменений СТВ для весенних месяцев, разработанных с учетом их связей с вариациями КЛП на территории Якутии, являются заниженными.

Для ее достижения решены задачи:

- 1) выявлены участки АТР, где априорные оценки ОДП межгодовых изменений МСО и СТВ для весенних месяцев по их предысториям являются несмещенными (а сценарии их развития консервативны);
- 2) определены участки АТР, для которых априорные оценки ОДП межгодовых изменений СТВ для некоторых месяцев пожароопасного сезона, разработанных с учетом их связей с вариациями КЛП на территории Якутии, являются заниженными.

Фактический материал и методы исследования

При решении поставленных задач в качестве фактического материала использованы результаты реанализа ERA 5 [24], отражающие изменения часовых сумм атмосферных осадков и среднечасовых температур приземного воздуха в пунктах земной поверхности, соответствующих узлам координатной сетки Меркатора с шагом $0,25^\circ$. Упомянутые результаты охватывают период с 01.01.1940 г. по 31.12.2024 г.⁶

Из упомянутой информации для каждого пункта территории Сибири, соответствующего некоторому узлу упомянутого реанализа, и для всех месяцев пожароопасного сезона сформированы временные ряды МСО и СТВ, охватывающие период времени 01.01.1961–31.12.2024 г.

Как фактический материал об изменениях КЛП использована информация из *Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства*⁷ за период с 2000 по 2024 г.

При разработке методики исследования принято допущение о том, что в будущем какие-либо перемены сценария изучаемых процессов не произойдут, оно является более общим, чем допущение об инерционности их сценария.

⁶ База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (дата обращения: 12.03.2025).

⁷ Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 12.03.2025).

При решении первой задачи применялась методика, основанная на оценке показателя устойчивости статистической связи изучаемого процесса с каждым фактором, учитываемым в его модели, к изменениям отрезка времени, для которого вычислено его значение. Как один из таких факторов рассматривался отрезок предыстории того же процесса, который опережает его по времени на Δ . Учитывалось, что для долгосрочных прогнозов значение Δ может составлять от 30 суток до 720 сут⁸. Поэтому предполагалось, что $\Delta = 1, 2, 3$ месяца.

Из предысторий изменений в период 1961–2024 гг. МСО и СТВ для весенних месяцев сформированы отрезки соответствующих временных рядов, содержащие по $N = 30$ членов, начала которых различны и сдвинуты между собой на Δ .

Для каждой пары сопоставляемых временных рядов вычислено значение коэффициента их корреляции $K(\Delta, N)$. Из значений этого коэффициента, соответствующих тому или иному участку, месяцу и показателю, но различающихся годом начала отрезков, по которым они вычислены, сформированы соответствующие временные ряды.

С использованием этих рядов для каждого участка, месяца и показателя оценены значения показателя устойчивости связи χ , который определяется как

$$\chi = (\max(K(\Delta, N)) + \min(K(\Delta, N)))/(\max(K(\Delta, N)) - \min(K(\Delta, N))), \quad (1)$$

где $\max(K(\Delta, N))$ и $\min(K(\Delta, N))$ — операторы, которые позволяют определить во временных рядах $K(\Delta, N)$ их максимальные, а также минимальные члены.

Если сценарий изучаемого процесса близок к консервативному сценарию, то при увеличении N разность между значениями $\max(K(\Delta, N))$ и $\min(K(\Delta, N))$ уменьшается, стремясь к нулю, а значения χ неограниченно возрастают.

Значения χ вычислены для рядов как СТВ, так и МСО, для всех пунктов АТР, соответствующих различным узлам координатной сетки реанализа ERA5, а также всем месяцам пожароопасного сезона и указанным выше значениям Δ .

При решении второй задачи учитывалось, что на территории Сибири могут существовать участки, где сценарий развития какого-либо из изучаемых процессов консервативным не является.

Принималось во внимание, что ОДП прогнозов рассматриваемых процессов по их предысториям могут являться заниженными, если для прогнозирования применены модели, точность которых с течением времени в прошлом увеличивалась. Последнее имеет место, если в прошлом, с течением времени, связи каждого изучаемого процесса с любым предиктором его прогностической модели усиливались.

⁸ Классификация сроков метеорологических прогнозов. URL: <https://meteoinfo.ru/forcabout/1597-f> (дата обращения: 12.03.2025).

Подтверждением этому может служить значимость и положительность углового коэффициента линейного тренда временного ряда (УКЛТ (Δ , N)), сформированного из значений модуля $K(\Delta, N)$ отрезков их временных рядов, имеющих фиксированную длину (N), но различающихся годом своего начала.

Как уже упоминалось выше, одним из факторов межгодовых изменений СТВ для весенних месяцев на многих участках АТР являются вариации КЛП за весь предыдущий пожароопасный сезон на территории Якутии. Поэтому для доказательства существования на территории Сибири участков, где априорные оценки ОДП занижены, значения $K(\Delta, N)$ были вычислены для всех соответствующих отрезков временных рядов СТВ для того или иного месяца, а также соответствующих отрезков рядов КЛП для Якутии, содержащих по 12 членов ($N = 12$).

Из полученных значений $K(\Delta, 12)$ сформированы временные ряды, по которым вычислены значения УКЛТ ($\Delta, 12$) для всех пунктов и каждого рассматриваемого месяца.

Принято допущение о том, что отклонения значений каждого изучаемого показателя от соответствующего линейного тренда представляют собой нормальные случайные величины. Его справедливость подтверждена с применением критерия Пирсона. Поэтому связь между некоторым рядом СТВ и рядом КЛП рассматривалась как усиливающаяся, если соответствующая оценка значения УКЛТ($K(\Delta, 12)$) являлась положительной и с достоверностью не менее 0,95 признавалась значимой. Последнее имело место, если выполнялось условие

$$12 \times \text{УКЛТ} (\text{ABS} (K(\Delta, 12))) > 1,65 \times \text{СКО} (K(\Delta, 12)), \quad (2)$$

где ABS — оператор нахождения абсолютной величины своего аргумента; СКО ($K(\Delta, 12)$) — среднеквадратическое отклонение членов ряда $K(\Delta, 12)$ от соответствующего тренда.

Из вышеизложенного следует, что рассматриваемая методика позволяет выявить участки АТР, где априорные оценки ОДП для изучаемых процессов, соответствующие тому или иному месяцу, являются несмещенными либо заниженными.

Результаты исследования и их анализ

В результате решения, с применением изложенной методики, первой задачи определены все участки АТР, для которых сценарии межгодовых изменений МСО и СТВ являлись консервативными, а соответствующие априорные оценки ОДП — несмещенными.

Установлено, что для всех месяцев пожароопасного сезона суммарная площадь участков территории Сибири, для которых сценарии межгодовых изменений МСО являлся консервативным, весьма невелика.

Как пример, на рис. 1 представлены участки территории Сибири, для которых сценарии изменений МСО для июля, при $\Delta = 1, 2$ и 3 месяца, в период 1961–2024 гг. в той или иной мере близок к консервативному сценарию.

На нем (и далее) обозначены: 1 — Ненецкий Автономный округ; 2 — Республика Коми; 3 — Ямало-Ненецкий автономный округ; 4 — Ханты-Мансийский автономный округ; 5 — Свердловская область; 6 — Челябинская область; 7 — Курганская область; 8 — Тюменская область; 9 — Омская область; 10 — Новосибирская область; 11 — Томская область; 12 — Кемеровская область; 13 — Алтайский край; 14 — Республика Хакасия; 15 — Таймырский район Красноярского края; 16 — Республика Саха (Якутия); 17 — Эвенкийский район Красноярского края; 18 — прочие его районы; 19 — Республика Алтай; 20 — Республика Тыва; 21 — Иркутская область; 22 — Республика Бурятия; 23 — Забайкальский край; 30 — Казахстан; 31 — Монголия.

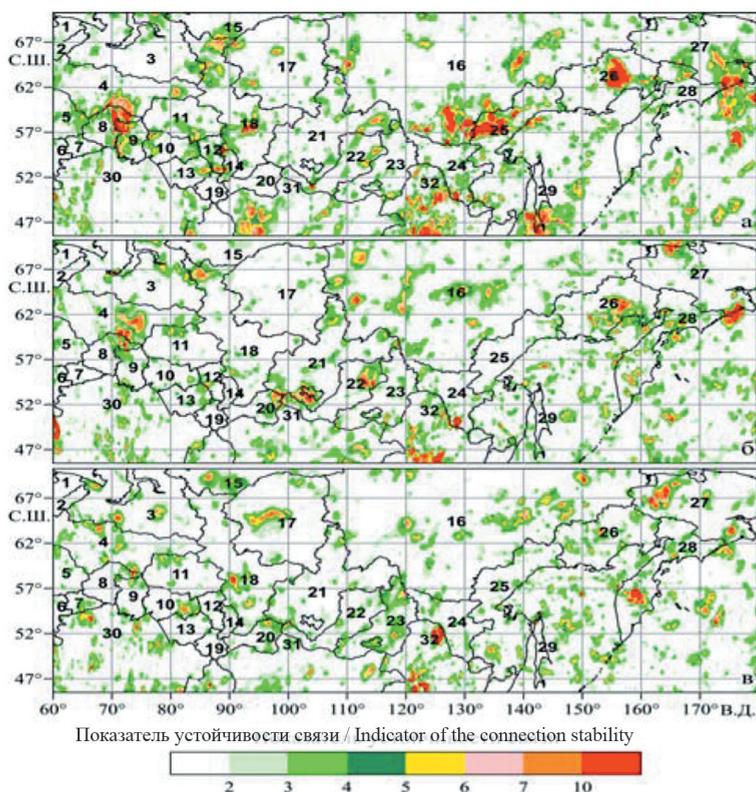


Рис. 1. Участки территории Сибири, для которых сценарий изменений МСО осадков для июля, при $N = 30$, в период 1961–2024 гг. в той или иной мере близок к инерционному сценарию: а — $\Delta = 1$ мес.; б — $\Delta = 2$ мес.; в — $\Delta = 3$ мес.

Источник: составлено А.В. Холопцевым, Р.Г. Шубкиным, Ю.Н. Коваль с использованием информации из реанализа ERA5.

Figure 1. Areas of the Siberian territory for which the scenario of changes in precipitation for July, at $N = 30$, in the period 1961–2024 is more or less close to the inertial scenario: а — $\Delta = 1$ mo.; б — $\Delta = 2$ mo.; в — $\Delta = 3$ mo.

Source: compiled by A.V. Kholoptsev, R.G. Shubkin, Yu.N. Koval using information from the ERA5 reanalysis.

Как видно из данных рис. 1а, условие $\chi > 10$ для связей отрезков временных рядов изучаемого процесса длиной 30 членов, соответствующих месяцам июль и апрель ($\Delta = 3$ мес.) выполняется лишь для некоторых участков терри-

тории Республики Саха (Якутия), Хабаровского и Красноярского края, Амурской, Омской, Тюменской и Магаданской области, а также Чукотского автономного округа.

Суммарная площадь таких участков не превышает 4 % от площади всей территории Сибири. Аналогичные участки обнаружены также на территориях Китая и Монголии.

Упомянутое условие для месяцев июль и май ($\Delta = 2$ мес.) выполняется также для ряда участков территории Республики Бурятия, Амурской, Тюменской, Иркутской и Магаданской области, а также Чукотского и Ханты-Мансийского автономного округа (рис. 1б). Общая площадь участков, где $\chi > 10$, не превышает 3 % от площади всей территории Сибири. Такие же участки выявлены на территориях Казахстана и Китая.

Рассматриваемое условие для месяцев июль и июнь ($\Delta = 1$ мес.) справедливо для некоторых участков территории Камчатского и Красноярского края, Тюменской области, а также Чукотского и Ямало-Ненецкого автономного округа (рис. 1в).

Вся площадь выявленных участков не превышает 2 % от общей площади территории Сибири.

Рассматриваемые участки выявлены также на территориях Казахстана и Китая.

Таким же образом установлено, что для любых месяцев пожароопасного сезона участки территории Сибири, для которых сценарий изменений МСО близок к консервативному сценарию, — редкое исключение. Правилом здесь является следующее: сценарий развития этого процесса не инерционен.

Участки территории Сибири, для которых сценарий изменений СТВ температур воздуха для июля, при $N = 30$ и $\Delta = 1, 2$ и 3 месяца в период 1961–2024 гг. в той или иной мере близок к инерционному сценарию, показаны на рис. 2.

Условие $\chi > 10$ для связей отрезков временных рядов изучаемого процесса длиной 30 членов, соответствующих месяцам июль и апрель ($\Delta = 3$ мес.), на каких-либо участках территории Сибири не выполняется (рис. 2а). Упомянутое условие для месяцев июль и май ($\Delta = 2$ мес.) на территории Сибири также не выполняется (рис. 2б). Такие участки выявлены лишь на территориях Казахстана и Китая.

Для месяцев июль и июнь ($\Delta = 1$ мес.) рассматриваемое условие справедливо также лишь для некоторых участков территории Казахстана и Китая (рис. 2в). В пределах территории Сибири таких участков нет.

Аналогичным образом установлено, что и для других месяцев пожароопасного сезона на всех участках АТР сценарий изменений СТВ консервативным и тем более инерционным не является.

Таким образом, доказано, что сценарии межгодовых изменений МСО и СТВ для большинства участков АТР и всех месяцев пожароопасного сезона консервативными и тем более инерционными не являются.

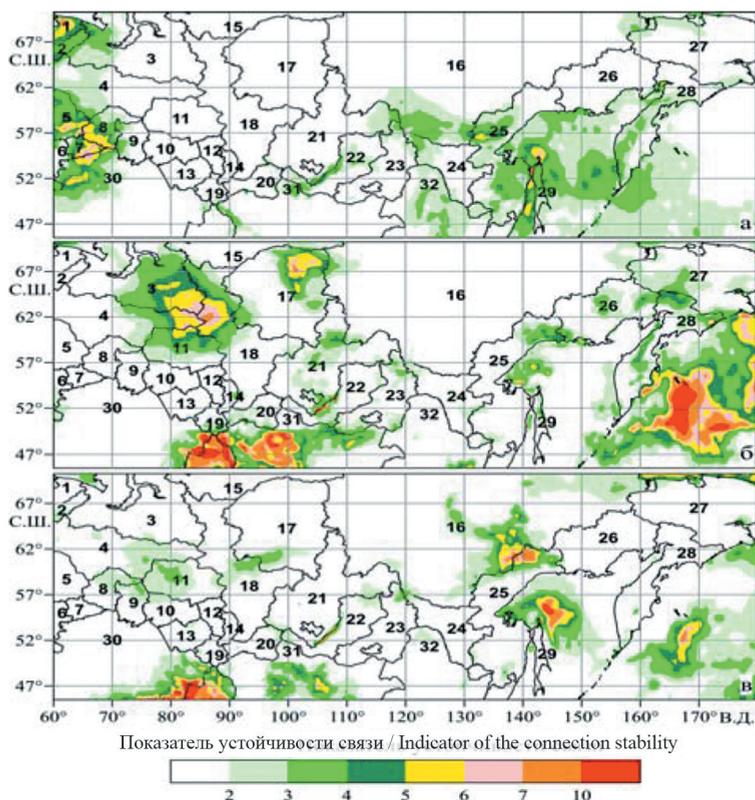


Рис. 2. Участки территории Сибири, для которых сценарии изменений СТВ для июля, при $N = 30$, в период 1961–2024 гг. в той или иной мере близок к инерционному сценарию: а — $\Delta = 1$ мес.; б — $\Delta = 2$ мес.; в — $\Delta = 3$ мес.

Источник: составлено А.В. Холопцевым, Р.Г. Шубкиным, Ю.Н. Коваль с использованием информации из реанализа ERA5.

Figure 2. The sections of the Siberian territory for which the scenario of changes in the STV for July, at $N = 30$, in the period 1961–2024 is more or less close to the inertial scenario: а — $\Delta = 1$ mo.; б — $\Delta = 2$ mo.; с — $\Delta = 3$ mo.

Source: compiled by A.V. Kholoptsev, R.G. Shubkin, Yu.N. Koval using information from the ERA5 reanalysis.

Поэтому долгосрочные прогнозы этих процессов, которые разработаны, следуя принципу «чем точнее моделирование, тем точнее и прогнозирование», характеризуются ОДП, априорные оценки которой, по предысториям этих процессов, являются смещенными. Знак и величина этого смещения могут быть любыми.

В результате решения второй задачи выявлены участки АТР, для которых априорная оценка ОДП СТВ, с учетом вариаций КЛП Якутии, являлась заниженной.

Указанные участки выявлены для каждого месяца пожароопасного сезона, для периода 2000–2024 гг. При этом применена изложенная выше методика.

В качестве примера на рис. 3 показаны участки АТР, для которых связи межгодовых изменениях СТВ для месяцев апрель–июль, с опережающими их

по времени вариациями КЛП на территории Якутии, в период 2000–2024 гг. усиливались ($УКЛП(K(\Delta, 12)) > 0$).

Значимое усиление связей межгодовых изменений КЛП на территории Якутии в период 2000–2024 гг. с запаздывающими по отношению к ним по времени вариациями СТВ на территории Сибири для апреля выявлено для многих ее участков (рис. 3а).

Такие участки относятся к Ненецкому, Ямало-Ненецкому и Ханты-Мансийскому автономному округу, Республике Саха (Якутия) и Коми, Свердловской, Челябинской, Курганской, Тюменской, Омской и Иркутской области, а также Таймырскому (Долгано-Ненецкому), Эвенкийскому и Туруханскому районам Красноярского края.

Для мая значимое усиление связей межгодовых изменений СТВ с опережающими их по времени вариациями КЛП в Якутии обнаружено на участках территорий тех же регионов России, а также Томской, Новосибирской, Челябинской и Курганской областей, Алтайского и Забайкальского края, а также Республики Бурятия (рис. 3б). Наиболее существенно увеличилась общая площадь рассматриваемых участков на территории Республики Саха (Якутия) и Ханты-Мансийского автономного округа. Для Эвенкийского района Красноярского края площадь таких участков, напротив, существенно уменьшилась.

Для июня искомые участки находились на территориях всех показанных на нем регионов России, а также Казахстана и Китая (рис. 3в). Их суммарная площадь на территориях Западной и Средней Сибири больше, чем в предыдущие весенние месяцы и чем в прочие месяцы пожароопасного сезона.

Для июля значимые тенденции к усилению связей межгодовых изменений СТВ и КЛП на всей территории Якутии в предыдущем году выявлены для участков АТР, которые относятся: к Ненецкому, Ямало-Ненецкому, Ханты-Мансийскому и Чукотскому автономным округам, к Красноярскому, Хабаровскому Забайкальскому и Камчатскому краю, Республикам Саха (Якутия) и Коми, а также к областям: Свердловской, Челябинской, Курганской, Тюменской, Омской, Томской, Новосибирской, Кемеровской Амурской, Иркутской и Магаданской (рис. 3г). Суммарная площадь таких участков несколько больше, чем для апреля, но меньше, чем для июня.

Для всех рассматриваемых месяцев аналогичные участки обнаружены также на территориях Китая, Казахстана и Монголии.

Следовательно, из данных рис. 3а-г можно заключить, что для многих участков АТР априорные оценки ОДП межгодовых изменений СТВ для весенних месяцев, вычисленные с учетом вариаций КЛП для Якутии, по предысториям этих процессов, действительно являются заниженными.

Аналогичные выводы справедливы и для других месяцев пожароопасного сезона, хотя для них суммарная площадь таких участков АТР меньше, чем для апреля и мая.

Общая площадь таких участков для любых месяцев пожароопасного сезона составляет не менее 45 % от общего количества рассматриваемых участков АТР.

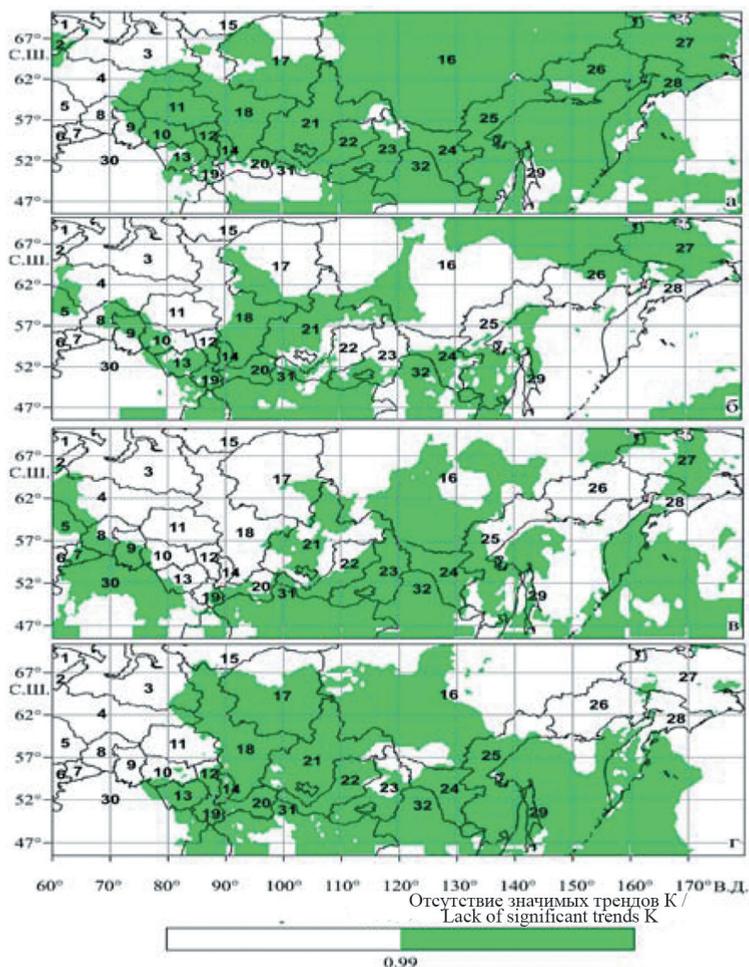


Рис. 3. Участки территории Сибири, для которых выявлено значимое усиление связей межгодовых изменений КЛП на территории Якутии в период 2000–2024 гг. с запаздывающими по отношению к ним по времени вариациями СТВ для месяцев:
 а — апрель; б — май; в — июнь; г — июль

Источник: составлено А.В. Холопцевым, Р.Г. Шубкиным, Ю.Н. Коваль с использованием информации из реанализа ERA5.

Figure 3. The sections of the territory of Siberia for which a significant increase in the relationship of interannual changes in CFS in Yakutia was revealed in the period 2000–2024, with time-lagging variations in CFS for the months:
 a — April; b — May; c — June; d — July.

Source: compiled by A.V. Kholoptsev, R.G. Shubkin, Yu.N. Koval using information from the ERA5 reanalysis.

Полученные результаты представляют собой доказательство того, что весьма многочисленны участки АТР, для которых оценки ОДП межгодовых изменений СТВ для всех месяцев пожароопасного сезона, разработанные с учетом опережающих их по времени вариаций КЛП для территории Якутии, являются заниженными. Для любого из таких участков включение упомянутого фактора в перечень предикторов какой-либо их прогностической модели будет способствовать повышению ее точности, а также увеличению апостериорных оценок ОДП СТВ, разработанных с ее применением.

Таким образом, для многих участков АТР априорные оценки ОДП являются завышенными (их не менее 40 %!). Следовательно, для любого из таких участков учет рассматриваемого фактора СТВ при разработке долгосрочного прогноза их изменений, в случае если сценарий этого процесса не переменится, приведет к уменьшению апостериорной оценки ОДП, даже если ее априорная оценка повысится.

Вместе с тем результаты данного исследования не снижают актуальности дальнейшего развития методик долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических процессов на АТР, основанных на традиционном принципе. Однако они указывают также на перспективность развития и второго подхода, основанного на принципе «каждому свое». При осуществлении этого подхода для изучаемого участка АТР необходимо предварительно выбрать факторы изучаемого процесса, связи между которыми в прошлом не ослабевали и в современном периоде являлись значимыми. Для этого целесообразно изучить тенденции изменений на всей доступной предыстории рассматриваемого процесса значений коэффициента его корреляции с каждым фактором, вычисленных в скользящем окне. Факторы, для которых выявлена значимая тенденция к их ослаблению, рекомендуются при разработке прогностической модели не учитывать, даже если в современном периоде они признаны значимыми. В качестве предикторов такой модели учитывать лишь факторы, связи которых с прогнозируемым процессом в прошлом усиливались.

Специализированные модели, разработанные в соответствии с указанным принципом, для зон ответственности тех или иных противопожарных подразделений, представляют наибольший интерес для специалистов, занимающихся планированием их деятельности.

При разработке таких моделей для некоторой территории предлагается учитывать среди их предикторов лишь те значимые факторы прогнозируемых процессов, связи с которыми в прошлом усиливались. Поэтому разработанные с их помощью долгосрочные прогнозы таких процессов могут обладать высокой априорной ОДП, а ее апостериорные оценки окажутся еще выше (если перемены соответствующего сценария не произойдут).

Таким образом, обе поставленные задачи решены, а цель исследования достигнута.

Обсуждение полученных результатов

Как следует из полученных результатов, они в полной мере соответствуют существующим представлениям о происходивших в период 1961–2024 гг. изменениях горимости ландшафтов АТР [3; 4; 6; 8], а также гидрометеорологических факторах этих процессов [1; 2]. Полученные выводы подтверждают также справедливость представлений [12] о принципах оценки качества долгосрочных прогнозов природных процессов по их предысториям. При этом

некоторые из выявленных фактов обладают существенной научной новизной, в частности:

1) на территории АТР количество участков, для которых сценарий изменений их МСО и СТВ для каких-либо месяцев пожароопасного сезона, в период 1961–2024 гг. был близок к консервативному и тем более к инерционному сценарию, не превышает единиц % от общего количества рассматриваемых ее участков;

2) на АТР существует значительное количество участков, для которых априорные оценки ОДП прогнозов СТВ, разработанных с учетом вариаций КЛП на территории Якутии, которые опережают их по времени на 1 год, являются заниженными. Суммарная площадь таких участков максимальна для июня, а для прочих месяцев пожароопасного сезона составляет не менее 45 % от их общего количества;

3) актуальной проблемой долгосрочного прогнозирования пожароопасности по условиям погоды на АТР является выявление ее участков, для которых те или иные факторы изучаемых процессов обладают указанными свойствами, а априорные оценки ОДП, вычисленные по предысториям этих процессов, являются заниженными.

Заключение

В результате проведенного исследования авторами установлено:

1. При долгосрочном прогнозировании месячных сумм атмосферных осадков и среднемесячных температур приземного воздуха на участках азиатской территории России традиционный принцип долгосрочного прогнозирования в полной мере применим лишь в редких случаях, а априорные оценки оправдываемости их прогнозов по соответствующим предысториям, как правило, обладают смещением.

2. Существуют также многочисленные ее участки, для которых априорные оценки оправдываемости долгосрочных прогнозов межгодовых изменений среднемесячных температур воздуха приземного слоя атмосферы, которые соответствуют тому или иному месяцу пожароопасного сезона, являются заниженными. Указанным свойством они обладают далеко не для любых участков. Поэтому для обеспечения высокой апостериорной оправдываемости прогнозов целесообразно руководствоваться принципом «каждому свое» и предварительно определять участки, для которых связи изучаемого процесса с учитываемыми его факторами в прошлом усиливались.

3. Для многих факторов изучаемого процесса на азиатской территории России есть участки, где связи между ними в прошлом становились слабее. Для подобных участков априорные оценки оправдываемости прогнозов, разработанных с учетом таких факторов, являются завышенными, а учитывать такие прогнозы при планировании рискованно.

Список литературы

- [1] *Малевский-Малевич С.П., Молькентин Е.К., Надежина Е.Д., Шкляревич О.Б.* К оценке изменений пожароопасной обстановки в лесах России при ожидаемом потеплении климата в XXI веке // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 3. С. 34–36. EDN: KUNKWF
- [2] *Анисимов О.А., Жильцова Е.Л.* Об оценках изменений климата регионов России в XX и начале XXI в. по данным наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 6. С. 95–107. EDN: OYSLAR
- [3] *Валендик Э.Н., Кисильхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Данилова И.В.* Ландшафтные пожары тайги Центральной Сибири // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2014. № 3. С. 73–86. EDN: SGFQDL
- [4] *Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И.* Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. Москва : Дзэкс-Пресс, 2004. 312 с. EDN: UCSYVJ
- [5] *Мозырев Н.К., Корнишин В.А., Кошкарлов В.С.* Пожарная безопасность лесов // *Вестник современных исследований*. 2019. № 2-1 (29). С. 60–63. EDN: PPGJEZ
- [6] *Иванова Г.А., Иванов В.А., Мусохранова А.В., Онучин А.А.* Лесные пожары и причины их возникновения на территории средней Сибири // *Сибирский лесной журнал*. 2023. № 6. С. 6–16. EDN: WLJIC
- [7] *Коровин Г.Н., Зукерт Н.В.* Влияние климатических изменений на лесные пожары в России // *Климатические изменения: взгляд из России / Рос. регион. экол. центр ; [Авалиани С.Л. и др.] ; под ред. В.И. Данилова-Данильяна*. Москва : ТЕИС, 2003. С. 69–98.
- [8] *Кондратьев К.Я., Григорьев А.А.* Лесные пожары как компонент природной экодинамики // *Оптика атмосферы и океана*. 2004. Т. 17. Вып. 4. С. 279–292. EDN: OYGYXX
- [9] *Шубкин Р.Г., Ширинкин П.В.* Результаты долгосрочного прогнозирования крупномасштабных лесных пожаров в Байкальском регионе // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2016. № 3 (3). С. 35–38. URL http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf (дата обращения: 12.03.2025). EDN: XSIEAV
- [10] *Коннова Л.А., Львова Ю.В., Руднев Е.В.* О проблемных вопросах природных пожаров в Арктической тундре // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. 2020. № 2. С. 1–5. EDN: UIQJLM
- [11] *Мионов Е.У., Клячкин С.В., Макаров Е.И., Юлин А.В., Афанасьева Е.В.* Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов // *Российская Арктика*. 2021. № 15. С. 40–53. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2021-4-40-53> EDN: CMLCOM
- [12] *Холопцев А.В., Никифорова М.П.* Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 333 с. ISBN 978-3-659-41130-4.
- [13] *Сверлова Л.И.* Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной засушливости и сезонов года / *Федер. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды*. ДальНИЦ Дальневост. УГМС. Хабаровск, 2000. 41 с.
- [14] *Нестеров В.Г.* Горимость леса и методы ее определения. Москва : Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
- [15] *Kholoptcev A.V., Shubkin R.G., Baturo A.N., Babenyshev S.V.* Climatic Changes in the Arctic Zone of Russia and Climate Warming in Siberia // *Processes in GeoMedia*. Vol. VI. T. Chaplina (ed.). Springer Geology. Cham: Springer Nature Switzerland AG; 2022. P. 131–144.

- [16] *Холопцев А.В., Садыров Р.С.* Горимость лесов Алтайского края и ее метеорологические факторы в 2015–2022 годах // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2023. № 3 (30). С. 115–127. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.012>. EDN: VKJTJO
- [17] *Демаков Ю.П.* Влияние факторов среды на рост деревьев в сосняках Республики Марий Эл : монография. Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2023. 480 с. URL: <https://science.volgatech.net/editorial-publishingcenter/izdaniya/monografii/2023/DemakovYuP.pdf> (дата обращения: 12.03.2025). EDN: QIZGAG
- [18] *Вильфанд Р.М., Зарипов Р.Б., Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Крыжов В.Н., Куликова И.А., Тищенко В.А., Толстых М.А., Хан В.М.* Долгосрочные метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2019. № 4 (374). С. 12–36. EDN: ATVKCN
- [19] *Филатов А.Н., Муравьев А.В., Реснянский Ю.Д.* Долгосрочный метеорологический прогноз: математические проблемы и возможности гидродинамических моделей // 70 лет Гидрометцентру России / Федер. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Гидрометеорол. науч.-исслед. центр Рос. Федерации; [редкол.: А.А. Васильев (отв. ред.) и др.]. Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1999. С. 141–165.
- [20] *Pichugin Y.A., Meleshko V.P., Matyugin V.A., Gavrilina V.M.* Hydrodynamic long-term ensemble weather prediction // *Russian Meteorology and Hydrology*. 1998. No. 2. С. 1–9. EDN: RQJLH
- [21] *Мелешко В.П., Гаврилина В.М., Мирвис В.М., Матюгин В.А., Пичугин Ю.А., Вавулин С.В.* Гидродинамико-статистический долгосрочный прогноз метеорологических полей по модели ГГО. 2. Результаты оперативных испытаний и перспективы улучшения прогностической схемы // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 10. С. 5–17. EDN: SBOFGF
- [22] Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей / З.М. Гудкович, А.А. Кириллов, Е.Г. Ковалев [и др.] ; под ред. канд. геогр. наук Н.А. Волкова и Ю.В. Николаева ; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Аркт. и антаркт. науч.-исслед. ин-т. Ленинград : Гидрометеоиздат, [19--]. 347 с.
- [23] *Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Shubkin R.G.* Correlations between interannual variations in ice cover characteristics and sea levels of the Kara Sea gulfs in winter // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2023. Vol. 48. No. 7. P. 606–613. <https://doi.org/10.3103/S1068373923070075> EDN: THYUCQ
- [24] *Hoffmann L., Stein O., Wu X., Griessbach S., Günther G., Li D., Konopka P., Müller R., Vogel B., Heng Y., Wright J.S.* From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF’s next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 19. No. 5. P. 3097–3124. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019> EDN: ZYYWOA

References

- [1] Malevsky-Malevich SP, Molkentin EK, Nadezhdina ED, Shklyarevich OB. On the assessment of changes in the fire hazard situation in the forests of Russia with the expected climate warming in the 21st century. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2005;(3):34–36. (In Russ.) EDN: KUHKW

- [2] Anisimov OA, Zhil'tsova EL. Climate change estimates for the regions of Russia in the 20th century and in the beginning of the 21st century based on the observational data. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2012;(6):95–107. (In Russ.) EDN: OYSLAR
- [3] Valendik EN, Kisilyakhov YeK, Ryzhkova VA, Ponomarev EI, Danilov IV. Landscape wildfires in central Siberian taiga. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2014;(3):73–86. (In Russ.) EDN: SGFQDL
- [4] Vorobyov YuL, Akimov VA, Sokolov YuI. *Forest Fires in Russia: Status and Problems*. Moscow: Deks-Press; 2004. (In Russ.) EDN: UCSYVJ
- [5] Mozyrev NK, Kornishin VA, Koshkarov VS. Fire safety of forests. *Bulletin of Modern Research*. 2019;(2-1):60–63. (In Russ.) EDN: PPGJEZ
- [6] Ivanova GA, Ivanov VA, Musokhranova AV, Onuchin AA. Forest fires and the causes of their occurrence in central Siberia. *Siberian Journal Of Forest Science*. 2023;(6):6–16. (In Russ.) EDN: WLJIIC
- [7] Korovin GN, Zukert NV. The influence of climate change on forest fires in Russia. In: : Avaliani S.L. et al. Danilov-Danilyan VI, editor. *Climate Change: A View from Russia*. Moscow: TEIS; 2003. p. 69–98. (In Russ.)
- [8] Kondratyev KYa, Grigor'ev AlA. Forest fires as a component of natural ecodynamics. *Optika atmosfery i okeana*. 2004;17(4):279–292. (In Russ.) EDN: OYGYXX
- [9] Shubkin RG, Shirinkin PV. Long-term forecasting results of large-scale forest fires in the Baikal region. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2016;(3):35–38. Available from: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf (In Russ.) EDN: XSIEAV
- [10] Konnova LA, Lvova YuV, Rudnev EV. On the problematic issues of natural fires in the Arctic tundra. *Bulletin of the Saint Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia*. 2020;(2):1–5. (In Russ.) EDN: UIQJLM
- [11] Mironov YeU, Klyachkin SV, Makarov YeI, Yulin AV, Afanasyeva EV. Sea ice processes in the Russian arctic seas in autumn of 2021 and estimation of ice forecasts accuracy. *Russian Arctic*. 2021;(15):40–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2021-4-40-53> EDN: CMLCOM
- [12] Kholoptsev AV, Nikiforova MP. *Solar Activity and Forecasts of Physical and Geographical Processes*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing; 2013. (In Russ.)
- [13] Sverlova LI. *Method of Assessing Fire Danger in Forests According to Weather Conditions, Taking into Account the Zones of Atmospheric Aridity and the Seasons of the Year*. Khabarovsk; 2000. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2021-4-40-53>
- [14] Nesterov VG. *Forest Combustibility and Methods of Its Determination*. Moscow: Goslesbumizdat; 1949. (In Russ.)
- [15] Kholoptsev AV, Shubkin RG, Baturo AN, Babenyshev SV. Climatic Changes in the Arctic Zone of Russia and Climate Warming in Siberia. In: Chaplina T, ed. *Processes in GeoMedia. Volume VI*. Cham: Springer; 2022. p. 131–144.
- [16] Kholoptsev AV, Sadyrev RS. The burnability of forests of the Altai Territory and its meteorological factors in 2015–2022. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2023;3(30):115–127. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.012>. EDN: VKJTJO
- [17] Demakov YuP. *The Influence of Environmental Factors on the Growth of Trees in the Pine Forests of the Republic of Mari El: a monograph*. Yoshkar-Ola: Volga State Technological University; 2023. Available from: <https://science.volgatech.net/editorial-publishingcenter/izdaniya/monografii/2023/DemakovYuP.pdf> (accessed: 12.03.2025) (In Russ.) ISBN 978-5-8158-2348-8. EDN: QIZGAG

- [18] Vilfand RM, Zaripov RB, Kikteva DB, Kruglova EN, Kryjov VN., Kulikova IA, Tishchenko VA, Tolstykh MA, Khan VM. Long-range forecasting at Hydrometeorological Center of Russia. *Gidrometeorologicheskie Issledovaniya i Prognozy*. 2019;(4):12–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.012> EDN: ATVKCN
- [19] Filatov AN, Muravyev AV, Resnyansky YuD. Long-term meteorological forecast: mathematical problems and possibilities of hydrodynamic models. In: Vasilyev AA., ed. *70 Years of the Hydrometeorological Center of Russia*. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat; 1999. p. 141–165. (In Russ.)
- [20] Pichugin YA, Meleshko VP, Matyugin VA, Gavrilina VM. Hydrodynamic long-term ensemble weather prediction. *Russian Meteorology and Hydrology*. 1998;(2):1–9. EDN: RQJLH
- [21] Meleshko VP, Gavrilina VM, Mirvis VM, Matyugin VA, Pichugin YuA, Vavulin SV. Statistical hydrodynamic long-range forecast of meteorological fields with the MGO model. 2. Operational test results and prospects of improving the prognostic scheme. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2002;(10):5–17. (In Russ.) EDN: SBOFGF
- [22] Gudkovich ZM, Kirillov AA, Kovalev EG, Smetannikova AV, Spichkin VA. *Fundamentals of Long-term Ice Forecasts for the Arctic Seas*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 19--. (In Russ.)
- [23] Kholoptsev AV, Podporin SA, Shubkin RG. Correlations between interannual variations in ice cover characteristics and sea levels of the Kara Sea gulfs in winter. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2023;48(7):606–613. <https://doi.org/10.3103/S1068373923070075> EDN: THYUCQ
- [24] Hoffmann L, Stein O, Wu X, Griessbach S, Günther G, Li D, Konopka P, Müller R, Vogel B, Heng Y, Wright JS. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019;19(5):3097–3124. DOI: 10.5194/acp-19-3097-2019 EDN: ZYYWOA

Сведения об авторах:

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, доцент, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, кафедра контрольно-надзорной деятельности, профессор, Российская Федерация, 662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1. ORCID: 0000-0002-9757-5219; eLIBRARY SPIN-код: 2419-5410. E-mail: kholoptsev@mail.ru

Шубкин Роман Геннадьевич, кандидат технических наук, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, кафедра инженерно-технических экспертиз и криминалистики, доцент, Российская Федерация, 662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1. ORCID: 0000-0002-7163-8146; eLIBRARY SPIN-код: 7720-8060. E-mail: shubkinrg@sibpsa.24.mchs.gov.ru

Коваль Юлия Николаевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой химии и процессов горения, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, 662972, Красноярский край, г. Железнодорожск, ул. Северная, д. 1. ORCID: 0000-0001-5482-6439; eLIBRARY SPIN-код: 8176-0603

Bio notes:

Aleksandr V. Kholoptsev, D. in Geography, Associate Professor, Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Department of Supervisory Activities, Professor, 1 Severnaya St,

Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9757-5219, eLIBRARY SPIN-code: 2419-5410. E-mail: kholoptsev@mail.ru

Roman G. Shubkin, D. in Engineering, Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Department of Engineering and Technical Examinations and Criminalistics, Associate Professor, 1 Severnaya St, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7163-8146; eLIBRARY SPIN-code: 7720-8060. E-mail: shubking@sibpsa.24.mchs.gov.ru

Yulia N. Koval, D. in Biology, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Combustion Processes, Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, 1 Severnaya St, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai, 662972, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5482-6439, eLIBRARY SPIN-code: 8176-0603.