

УЧАСТКИ ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ, ГДЕ В 1979–2024 ГГ. ВАРИАЦИИ МЕСЯЧНЫХ СУММ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ЗНАЧИМО СВЯЗАНЫ С ОПЕРЕЖАЮЩИМИ ИХ ИЗМЕНЕНИЯМИ СОСТОЯНИЯ ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ**Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Коваль Ю.Н.**

Цель. Межгодовые изменения месячных сумм атмосферных осадков, выпадающих на любых территориях в течение пожароопасного сезона и в месяцы, предшествующие ему, являются значимыми факторами пожароопасности по условиям погоды. Поэтому выявление процессов в климатической системе нашей планеты, значимо влияющих на этот процесс на территориях регионов России, находящихся в Сибири, является актуальной проблемой климатологии и безопасности при чрезвычайных ситуациях. Одним из таких процессов может являться Эль-Ниньо – Южное колебание. Состояние этого процесса принято характеризовать рядом глобальных климатических индексов, среди которых к наиболее информативным относится Niño 3-4.

Методы. Для проверки гипотезы работы применена методика, основанная на корреляционном анализе связей между рассматриваемыми процессами. При оценке значимости выявленных связей применен критерий Стьюдента.

Результаты. Выдвинута гипотеза о существовании на территории Сибири участков, где изменения месячных сумм атмосферных осадков в те или иные месяцы значимо связаны с вариациями индекса Niño 3-4, которые опережают его по времени. Полученные результаты показывают, что для всех месяцев с марта по октябрь, а также для декабря изучаемые связи значимы для многих участков территории Сибири, если изменения рассматриваемого индекса опережают вариации месячных сумм выпадающих на них атмосферных осадков на 1 и 2 месяца. Суммарные площади таких участков, расположенных на юге территории Сибири, а также на территориях Казахстана, Китая и Монголии, максималны для декабря. Такие же участки выявлены и на территориях, относящихся к ландшафтной зоне Тайги. Последнее свидетельствует о том, что влияние процесса Эль-Ниньо – Южное колебание на динамику пожароопасности по условиям погоды на таких участках является значимым.

Область применения исследований. Полученные результаты свидетельствуют о возможности их практического применения при моделировании и прогнозировании изменений пожароопасности по условиям погоды для территорий многих регионов Сибири.

Ключевые слова: Сибирь, месячные суммы атмосферных осадков, Эль-Ниньо – Южное колебание, пожароопасность по условиям погоды.

(Поступила в редакцию 18 марта 2025 г.)

Введение

Месячная сумма атмосферных осадков (далее – МСО), выпадающих в некотором месяце на той или иной территории, – одна из основных характеристик режима увлажнения формирующейся на ней почвы и горючего материала. Она во многом определяет существующие на этой территории экологические условия, состояние биоценоза, а также риски, обусловленные ландшафтными пожарами и многими другими опасными природными явлениями. Поэтому выявление факторов, значимо влияющих на межгодовую изменчивость МСО и способных приводить к возникновению чрезвычайных ситуаций, является актуальной проблемой не только метеорологии и климатологии, но и безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Наибольший интерес представляет ее решение для регионов мира с континентальным климатом, обладающих значительными лесными ресурсами, где существенный ущерб их населению и экономике причиняют ландшафтные пожары.

В России многие из таких регионов расположены в Сибири [1]. Среди них по количеству возникающих за год ландшафтных пожаров лидируют Иркутская область, республики Саха (Якутия) и Бурятия, Красноярский и Забайкальский край [2–7]. Все упомянутые регионы относятся к Восточной Сибири и характеризуются резко континентальным климатом и высокой повторяемостью атмосферных блокировок как зимой (малоснежной и очень мороз-

ной), так и в месяцы пожароопасного сезона. Атмосферные осадки и влажный воздух приносят в них в основном циклоны, приходящие с запада, а также с востока и юга, которые образуются не только над Атлантикой, но и над Тихим океаном, где на повторяемость этих процессов существенно влияет Эль-Ниньо – Южное колебание (далее – ЭНЮК) [1].

ЭНЮК – крупномасштабный процесс в системе океан – атмосфера, значительно влияющий на состояние климатической системы нашей планеты, в том числе на межгодовую изменчивость распределения МСО по ее поверхности. Впервые атмосферную составляющую этого процесса – Южное колебание описал в 1923 г. Гилберт Томас Уокер [8], который обнаружил также зональную конвекционную циркуляцию в атмосфере в приэкваториальной зоне Тихого океана, называемую ныне циркуляцией Уокера.

В дальнейшем было установлено, что при ЭНЮК происходят неперiodические колебания температур поверхностного слоя воды в центральной и восточной зонах экваториального пояса Тихого океана, изменяется распределение атмосферного давления и МСО над многими регионами Тропического пояса нашей планеты. Это вызывает квазициклические изменения не только характеристик циркуляции Уокера [9; 10], но и атмосферной циркуляции в ее внетропических зонах [11].

Существенные превышения среднемноголетних значений температур указанного слоя в восточной и центральной части упомянутого океанического региона (фаза Эль-Ниньо), как правило, продолжаются от 12 до 18 месяцев [12; 13], что приводит к существенному ослаблению пассатов и изменениям распределения МСО в тропическом поясе нашей планеты, показанным (согласно [12]) на рисунке 1.

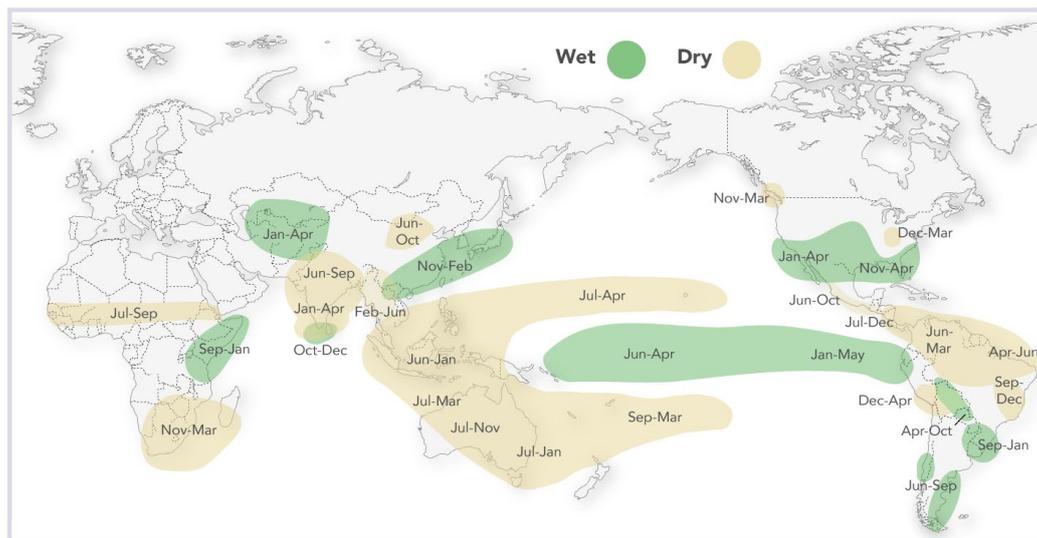


Рисунок 1. – Регионы мира, где в фазе Эль-Ниньо в те или иные месяцы происходят наиболее существенные изменения МСО (согласно [12])

Как видно из рисунка 1, ЭНЮК оказывает наиболее существенное влияние на вариации МСО во многих регионах тропического пояса нашей планеты. В том числе на территории Евразии при Эль-Ниньо МСО уменьшаются с января по сентябрь в ее Южных и Юго-Восточных регионах, а также с июня по октябрь в приграничных районах Китая и Монголии. Увеличение МСО происходит с ноября по февраль на юге Японии и Кореи, а также с января по апрель в Центральной Азии.

Существенное снижение температур поверхностного слоя в том же регионе Тихого океана (фаза Ла-Нинья), которое продолжается приблизительно такое же время, приводит к противоположным последствиям: пассаты активизируются, МСО в период с января по май увеличиваются в Индонезии и Малайзии и уменьшаются в Центральной Азии [10; 11].

Полный цикл таких изменений обычно занимает от двух до семи лет и кроме фаз: Эль-Ниньо и Ла-Нинья содержит также разделяющую их нейтральную фазу.

В период современного потепления глобального климата влияние ЭНЮК на метеосостояние во многих регионах мира усиливало опасные последствия этого процесса и не раз приводило к возникновению чрезвычайных ситуаций [14; 16].

Установлено, что значимые отклики на изменения состояния ЭНЮК, проявляющиеся в изменении характеристик и повторяемости атмосферных блокингов, могут возникать также в регионах умеренных и высоких широт [11; 15; 16].

Непосредственно на территориях, над которыми происходит блокинг, устанавливается безоблачная погода, а атмосферные осадки прекращаются. При этом на территориях Северного полушария, расположенных к западу от них, влажный воздух движется на север, что приводит к его термической трансформации и усилению там атмосферных осадков [16]. Следовательно, ЭНЮК способно значимо влиять на межгодовую изменчивость МСО и в некоторых регионах мира, расположенных вне Тропического пояса [17–19].

Согласно современным представлениям об ЭНЮК [11; 20–23] данный процесс проявляется во многих геофизических полях, тем не менее наиболее информативными количественными показателями его состояния являются глобальные климатические индексы (ГКИ), которые определяются теми или иными особенностями распределения поверхностных температур и атмосферного давления над экваториальной зоной Тихого океана. Среди таких ГКИ наиболее часто используется индекс Nino 3-4, который определяется аномалией среднемесячных значений температуры поверхности этого океана, осредненной по его экваториальному региону ($5^{\circ}\text{N} - 5^{\circ}\text{S}$, $170^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$).

Как видим из рисунка 1, ЭНЮК проявляется в существенных изменениях распределения МСО во многих регионах Евразии, среди которых некоторые расположены в непосредственной близости от территорий регионов России, расположенных в Сибири.

Последнее, а также продолжительности фаз процесса ЭНЮК, позволяет предположить наличие значимых откликов на изменения состояния ЭНЮК, проявляющихся в межгодовых вариациях распределении МСО по упомянутой части территории нашей страны.

Выдвинутая гипотеза тривиальной не является. Более того, по мнению некоторых авторов [23], ее справедливость не подтверждают полученные ими результаты, относящиеся к некоторым пунктам территории России.

Учитывая очаговый характер распределения МСО по земной поверхности, упомянутые результаты не позволяют исключить возможность подтверждения рассматриваемой гипотезы для других ее пунктов. Следовательно, осуществление ее полномасштабной проверки для территории Сибири, безусловно, имеет смысл.

Мониторинг изменений МСО на территориях всех регионов России, находящихся в Сибири, уже многие десятилетия осуществляют расположенные в них гидрометеорологические станции Росгидромета, а полученная ими информация учитывается при разработке тех или иных атмосферных реанализов [23]. Среди последних одним из наиболее точных является реанализ ERA-5 [24], поддерживаемый Copernicus. Он содержит сведения о часовых суммах атмосферных осадков, выпадавших в период с января 1940 г. по настоящее время, во всех пунктах земной поверхности, соответствующих узлам координатной сетки Меркатора, с шагом $0,25^{\circ}$.

Для тестирования результатов упомянутого реанализа может быть привлечена информация о значениях МСО, выпадавших во многих пунктах Сибири, которая содержится в [24].

Сведения об изменениях значений индекса Nino 3-4 за период 1950–2024 гг. получены из [25]. Тем не менее ранее проверка выдвинутой гипотезы не осуществлялась.

Наибольший практический интерес для разработчиков долгосрочных гидрометеорологических прогнозов и их потребителей представляет выявление участков территории Сибири, где значимыми являлись связи межгодовых изменений индекса Nino 3-4 с вариациями МСО, запаздывающими по отношению к ним на единицы месяцев и в период современного потепления климата, имевшие место как в пожароопасном сезоне (апрель – октябрь), так и в сезоне формирования снежного покрова (декабрь – март).

Целью данной работы являлась проверка выдвинутой гипотезы и выявление таких участков для всех месяцев, в которые атмосферные осадки способны влиять на пожароопасность на этих участках по условиям погоды.

Основная часть

Методика исследований. Как уже отмечалось выше, одним из источников информации об изменениях МСО на различных участках территорий регионов России, расположенных в Сибири, является реанализ ERA-5. Тестирование представленной в нем информации осуществлено с использованием сведений из [24], которые соответствуют 100 пунктам Сибири, относительно равномерно распределенным по ее территории.

При тестировании, основываясь на результатах реанализа, для каждого узла его координатной сетки, вычислены оценки МСО, соответствующие месяцам, для которых в [24] сведения о фактических значениях этого показателя имеются для некоторого пункта территории Сибири, который расположен в непосредственной близости к этому узлу.

В каждый из таких пунктов, с использованием кубического сплайна, осуществлена интерполяция соответствующих по датам результатов упомянутого реанализа, а также осуществлено сравнение полученных оценок с фактическими значениями МСО.

Установлено, что среднеквадратические отклонения полученных оценок МСО для всех учитываемых пунктов территории Сибири и любых месяцев пожароопасного сезона не превышают 10 % от средних значений этих показателей. Последнее свидетельствует о пригодности информации реанализа ERA-5 для получения качественных выводов о значимости связей между изучаемыми процессами. Поэтому для достижения указанной цели как фактический материал об изменениях МСО на различных участках территорий регионов России, расположенных в Сибири, использован реанализ ERA-5.

В качестве фактического материала об изменениях индекса Nino 3-4 использованы временные ряды его значений, соответствующих тому или иному месяцу, представленные в [25].

Методика исследования состояла в оценке значимости статистических связей межгодовых изменений оценок МСО в том или ином пункте территории Сибири, соответствующем каждому относящемуся к ней узлу координатной сетки реанализа, с вариациями индекса Nino 3-4, опережающими их по времени на 1 и 2 месяца.

Решение о значимости рассматриваемых связей принималось, если достоверность такого статистического вывода по критерию Стьюдента превышала 0,95 [26].

Как характеристика связей между изучаемыми процессами рассматривалось значение коэффициента парной корреляции соответствующих временных рядов, охватывающих весь период современного потепления климата (за временные рамки которого приняты 1979 и 2024 гг.).

Перед осуществлением корреляционного анализа значимости связей между такими рядами в каждом из них скомпенсирован линейный тренд. Для полученных при этом результатов оценены количества степеней свободы, которые оказались равны 45. Учитывая это, решение о значимости связи между рассматриваемыми рядами принималось при условии превышения модулем коэффициента их парной корреляции уровня 0,3 (что соответствует достоверности такого вывода по критерию Стьюдента 0,95).

Как следует из изложенного, применяемая методика вполне пригодна для выявления участков территории Сибири, где связи межгодовых изменений МСО для некоторого месяца, с вариациями индекса Nino 3-4, которые опережают их по времени на 1 или 2 месяца, могут быть признаны значимыми.

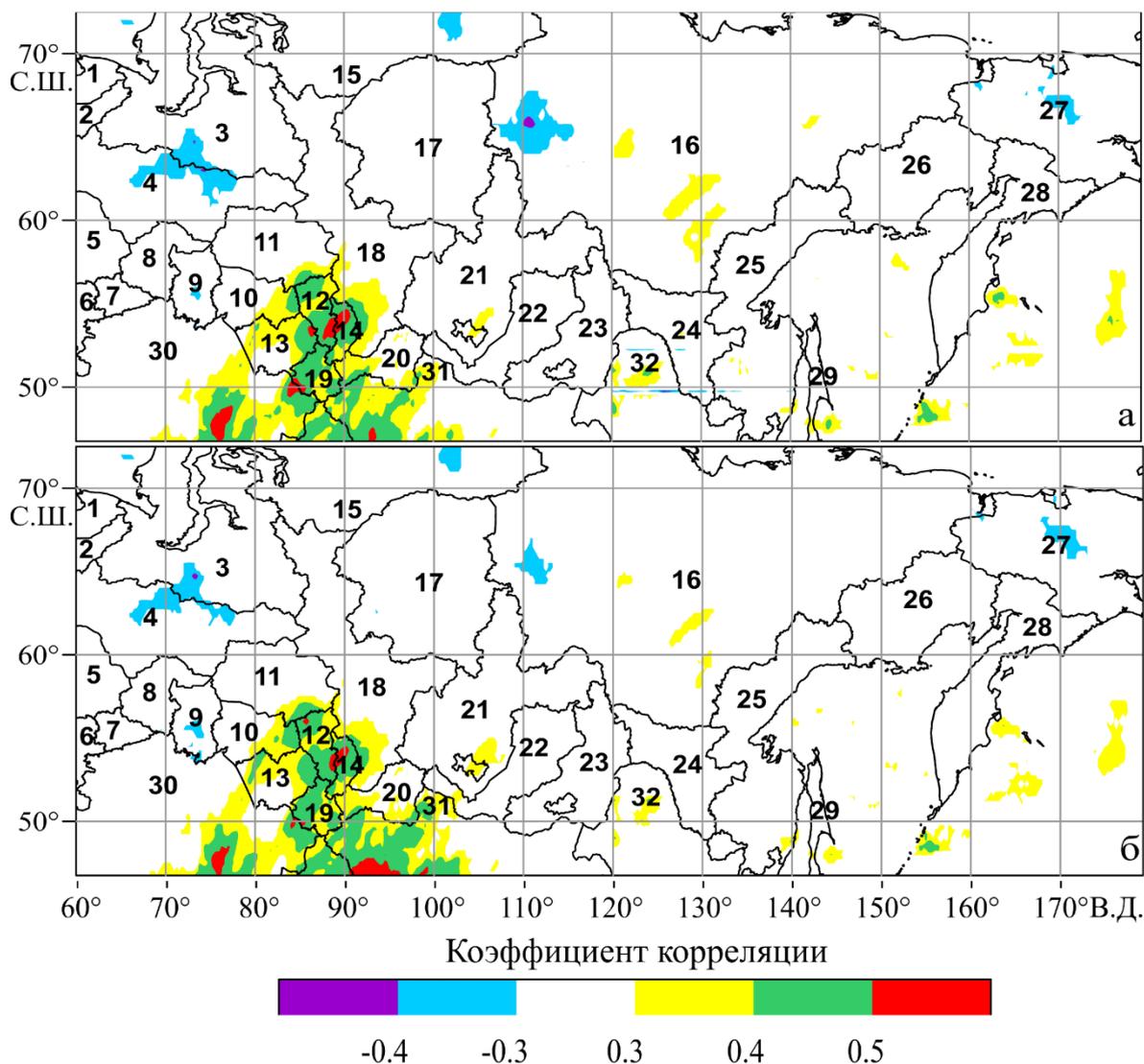
Учитывалось, что значимое влияние на пожароопасность на многих лесопокрытых территориях в месяцы начала пожароопасного сезона способны оказывать атмосферные осадки, выпадающие на них в месяцы формирования на них снежного покрова. Поэтому поиск таких участков производился для всех месяцев, начиная с декабря по октябрь.

Результаты исследования и их анализ. В соответствии с изложенной методикой, определены все участки территории регионов России, расположенных в Сибири, для которых в период 1979–2024 гг. значимое влияние на межгодовые изменения МСО для месяцев декабрь – октябрь оказывали вариации индекса Nino 3-4, которые опережают их по времени на 1 или 2 месяца.

На рисунке 2 показаны выявленные таким образом участки, на которых межгодовые изменения МСО для декабря значимо связаны с вариациями индекса Nino 3-4 для ноября и октября.

Как видно из рисунка 2, среди участков территории Сибири, на которых межгодовые изменения МСО для декабря значимо связаны с вариациями индекса Nino 3-4 для ноября и октября, преобладают те, где значимая корреляция этих процессов является положительной.

Как следует из рисунка 2а, связи изучаемого процесса для декабря с вариациями индекса Nino 3-4 для ноября значимы в основном для территорий Кемеровской и Новосибирской области, Алтайского и некоторых южных районов Красноярского края, а также для республик Хакасия, Алтай и Тыва.



Здесь (и далее на рисунках 3–7) используются числовые обозначения регионов России:
 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 (Долгано-Ненецкий) район Красноярского края; 16 – Республика Саха (Якутия);
 17 – Эвенкийский район Красноярского края; 18 – прочие районы того же края; 19 – республика Алтай;
 20 – Республика Тыва; 21 – Иркутская область; 22 – Республика Бурятия; 23 – Забайкальский край;
 24 – Амурская область; 25 – Хабаровский край; 26 – Магаданская область; 27 – Чукотский автономный округ;
 28 – Камчатский край; 29 – Сахалинская область; стран: 30 – Казахстан; 31 – Монголия; 32 – Китай.

Рисунок 2. – Участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для декабря в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Niño 3-4 для месяцев: а) ноябрь; б) октябрь

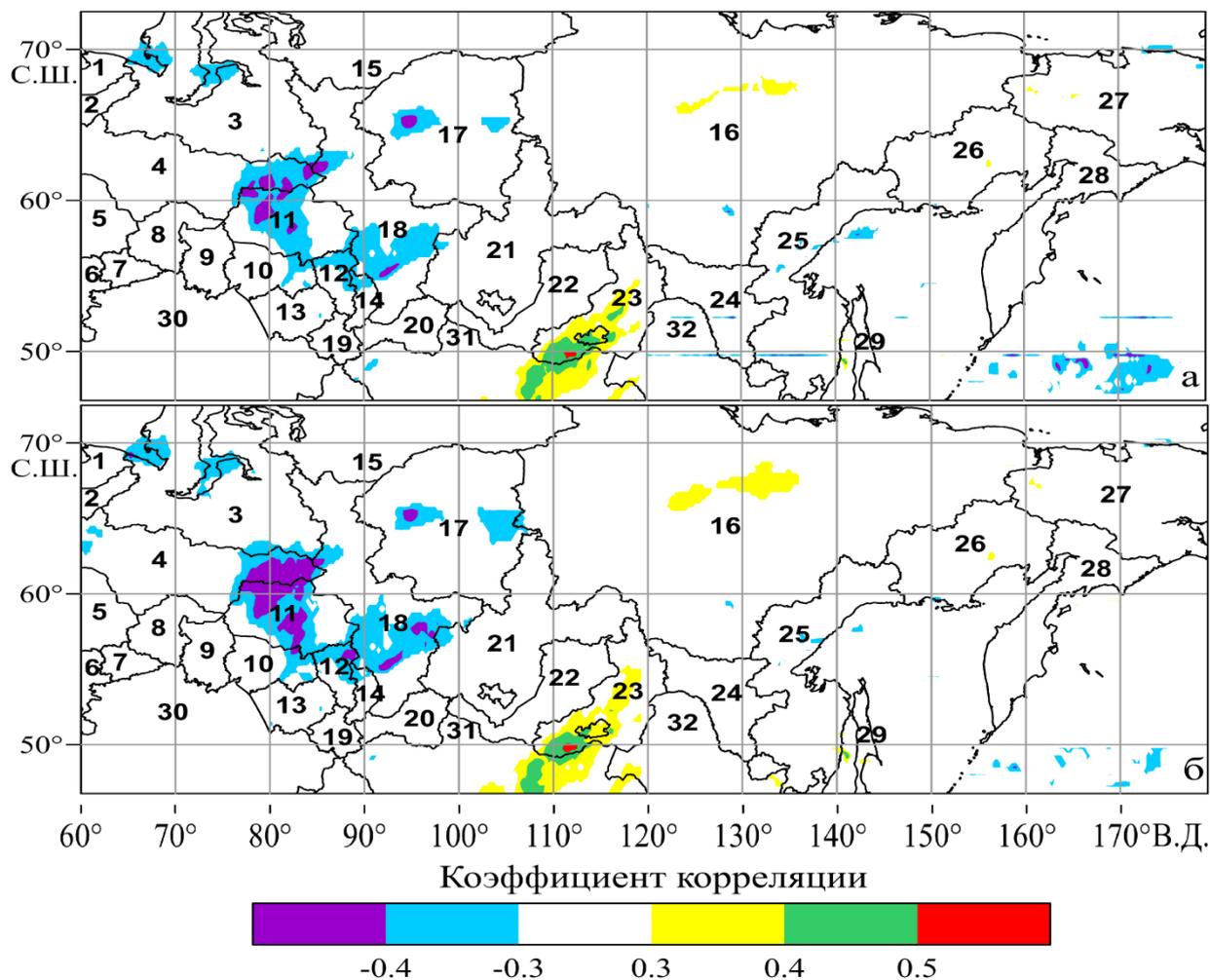
Отдельные участки, где корреляция изучаемых процессов также значима и положительна, находятся на территориях Иркутской области и Республика Саха (Якутия). Аналогичные участки выявлены и на территориях Казахстана, Монголии и Китая.

Следует отметить, что указанные результаты удовлетворительно соответствуют выводам ВМО о расположении территорий, где при наступлении фазы Эль-Ниньо (происходящем в декабре) происходит наиболее существенное увеличение МСО (рис. 1).

Нетрудно видеть, что на территории Сибири существуют участки, где МСО в декабре при увеличении Niño 3-4 для ноября в период 1979–2024 гг., как правило, значимо снижались. Такие участки расположены на территориях Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского и Чукотского автономных округов, Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края, а также Мирнинского района Якутии.

Из рисунка 2б следует, что участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для декабря значимо и положительно коррелированы с вариациями Nino 3-4 для октября, расположены практически там же, а их площади, как правило, больше (связи сильнее). В то же время размеры аналогичных участков, где корреляция тех же процессов отрицательна, меньше.

Аналогичные особенности выявлены и для расположений участков территории Сибири, где значимыми являются связи изменений МСО для января, а также вариаций Nino 3-4 для января. Для МСО, соответствующих февралю, таких участков практически не выявлено, а для марта их расположение показано на рисунке 3.



Расшифровку числовых обозначений регионов см. на рисунке 2.

Рисунок 3. – Участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для марта в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Nino 3-4 для месяцев: а) февраль; б) январь

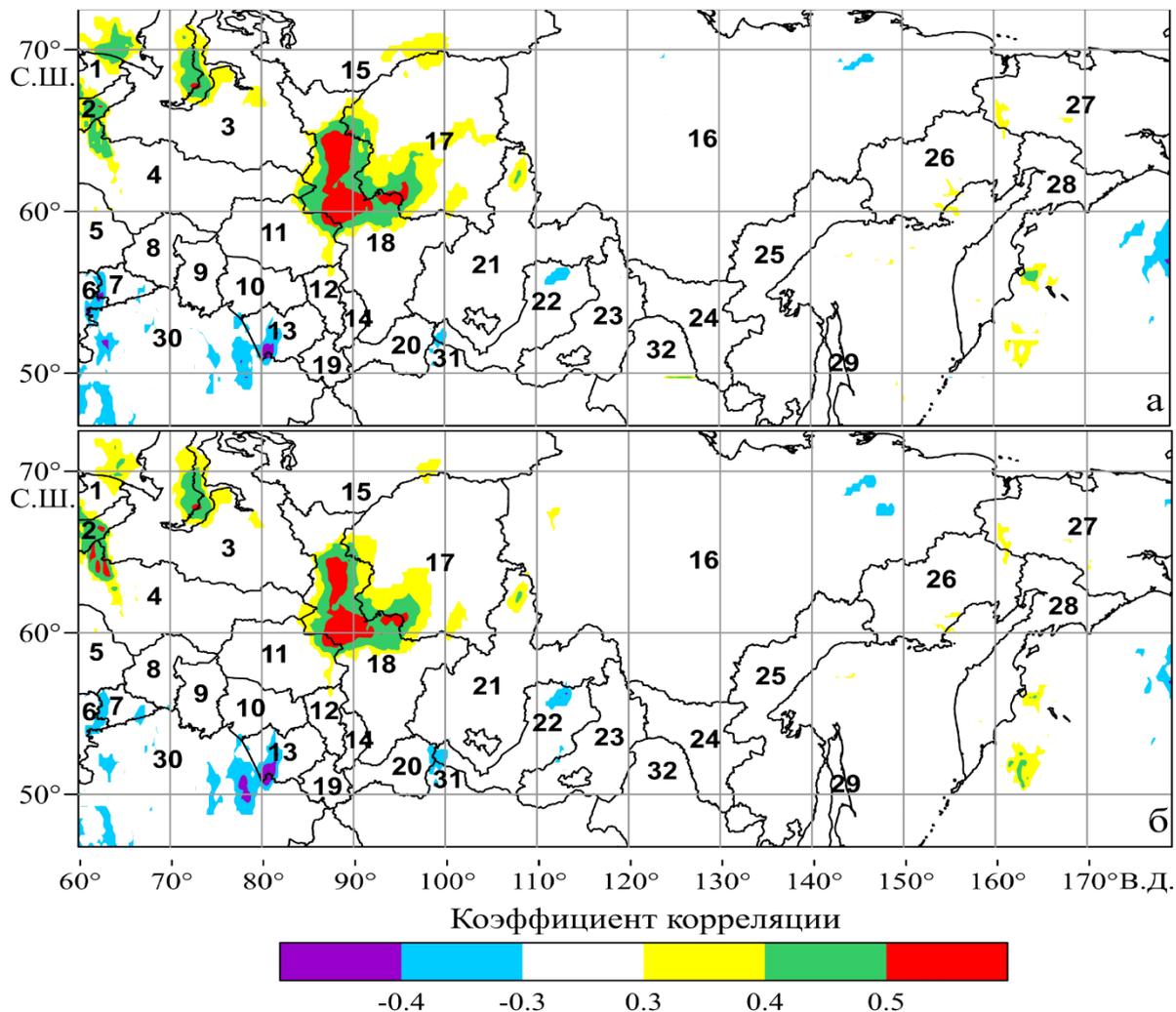
Рисунок 3 свидетельствует о том, что для марта среди участков территории Сибири, где корреляция межгодовых изменений МСО и опережающих их по времени вариаций Nino 3-4 значима, преобладают те, где она является отрицательной.

Из рисунка 3а понятно, что такие участки значимой корреляции временных рядов МСО для марта и Nino 3-4 для февраля находятся на территориях Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского автономных округов, многих районов Красноярского края, Томской, Новосибирской и Кемеровской области, а также Республики Хакасия. Отдельные аналогичные участки обнаружены также на территории Хабаровского края. В то же время участки, где значимая корреляция тех же процессов является положительной, расположены в основном на территории Забайкальского края.

Рисунок 3б показывает, что расположение участков значимой корреляции тех же рядов МСО для марта с рядами Nino 3-4 для января является практически таким же. При этом связи между этими процессами для большинства участков сильнее.

Такие же участки обнаружены и на территориях Монголии.

На рисунке 4 показаны участки территории Сибири, где связи межгодовых изменений МСО для апреля с вариациями индекса Nino 3-4 для марта и февраля, являются значимыми.



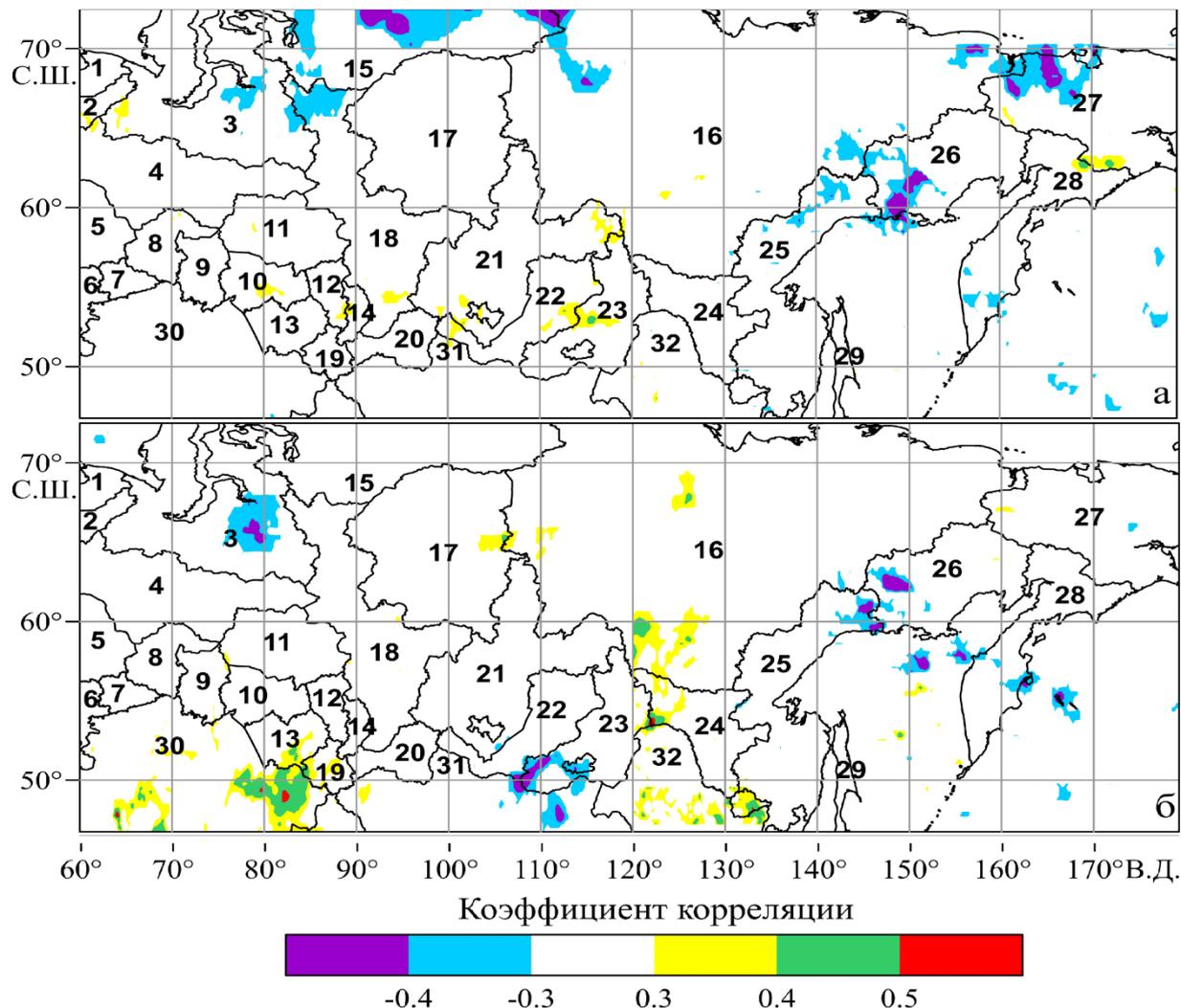
Расшифровку числовых обозначений регионов см. на рисунке 2.

Рисунок 4. – Участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для апреля в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Nino 3-4 для месяцев: а) март; б) февраль

Из рисунка 4а следует, что участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для апреля в период 1979–2024 гг. значимо и положительно коррелированы с вариациями индекса Nino 3-4 для марта преобладают в Туруханском районе Красноярского края. Встречаются такие участки и на территориях Эвенкийского, Таймырского (Долгано-Ненецкого) районов того же края, а также Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского и Чукотского автономных округов, Иркутской и Магаданской области и Республики Коми. Участки, где значимая корреляция этих же процессов является отрицательной, имеют значительно меньшую общую площадь и находятся на территориях Челябинской, Курганской области, Алтайского края, которые в апреле уже свободны от снега, а также республик Бурятия и Якутия.

Рисунок 4б указывает на то, что участки, где связи межгодовых изменений МСО для апреля и Nino 3-4 для февраля являются значимыми, расположены практически там же, их суммарная площадь несколько меньше в предыдущем случае. Аналогичные участки присутствуют и на территории Казахстана.

На рисунке 5 отображены участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для мая в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Niño 3-4 для месяцев апрель и март.



Расшифровку числовых обозначений регионов см. на рисунке 2.

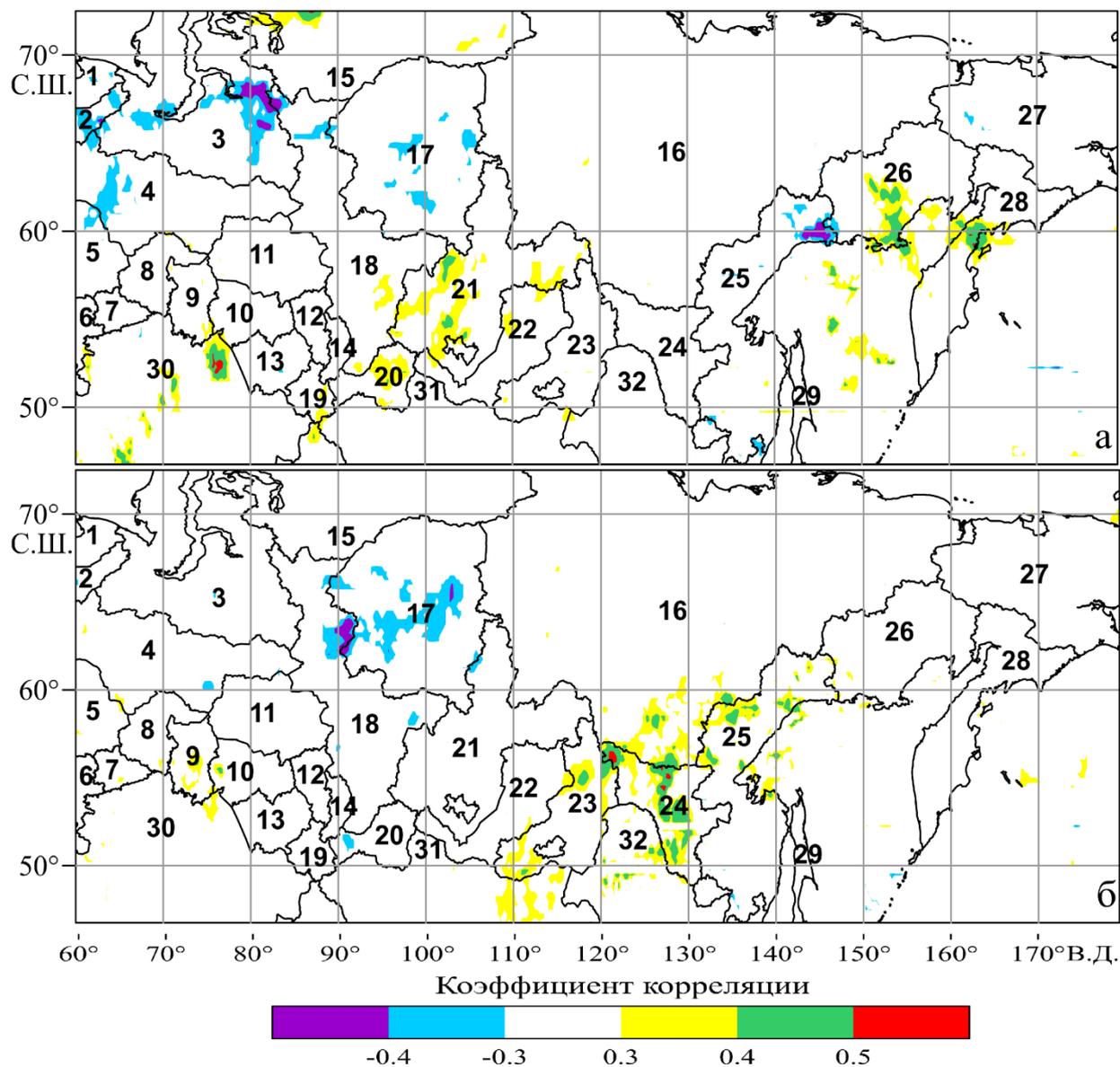
Рисунок 5. – Участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для мая в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Niño 3-4 для месяцев: а) апрель; б) март

Из рисунка 5а видно, что участки, где межгодовые изменения МСО для мая в период 1979–2024 гг. были значимо и положительно коррелированы с вариациями индекса Niño 3-4 для апреля, принадлежат территориям Новосибирской, Кемеровской, Иркутской области, Красноярскому и Забайкальскому краю, а также Республике Бурятия, которые в этом месяце уже освобождаются от снега. Кроме того, они находятся на территориях республик Коми и Якутия, а также Ямало-Ненецкого и Чукотского автономного округа.

Участки, где корреляция тех же процессов значима и отрицательна, также относятся к Таймырскому и Туруханскому районам Красноярского края, Ямало-Ненецкому и Чукотскому автономному округу. Они также расположены в Хабаровском и Камчатском крае, Магаданской области и Республике Саха (Якутия).

Рисунок 5б свидетельствует о том, что участки, где тот же процесс значимо и положительно коррелирован с вариациями Niño 3-4 для марта, расположены на территориях республик Алтай и Саха (Якутия), Алтайского края, Эвенкийского района Красноярского края, а также Амурской области. Значимая и отрицательная корреляция тех же процессов выявлена на участках Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов, Забайкальского, Камчатского и Хабаровского края, а также Магаданской области. Аналогичные участки обнаружены также на территориях Казахстана, Монголии и Китая.

На рисунке 6 показаны участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для июня в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Nino 3-4 для месяцев май и апрель.



Расшифровку числовых обозначений регионов см. на рисунке 2.

Рисунок 6. – Участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для июня в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Nino 3-4 для месяцев: а) май; б) апрель

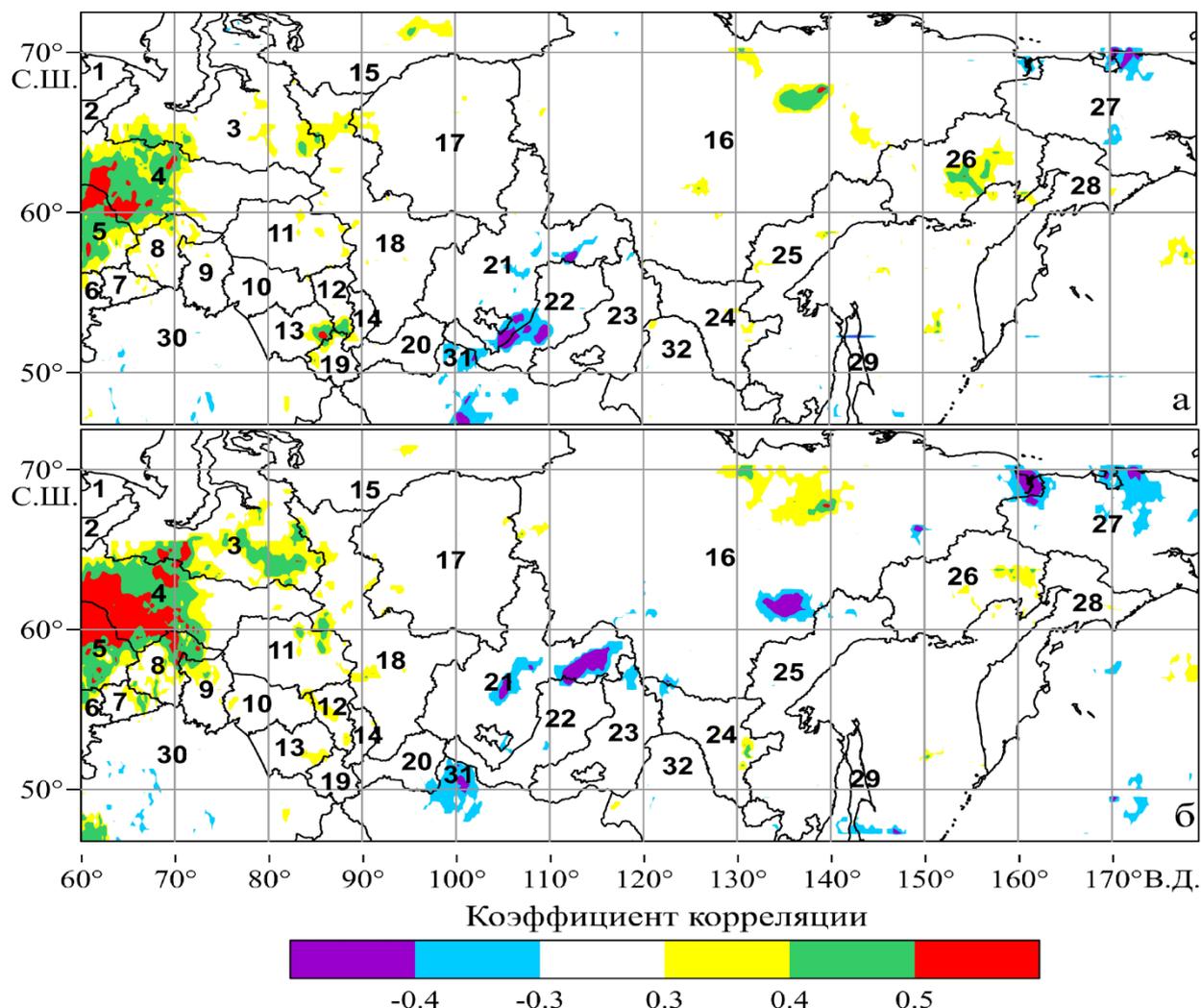
Из рисунка 6а件но, что участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для июня в период 1979–2024 гг. значимо и положительно коррелированы с вариациями индекса Nino 3-4 для мая, выявлены в Иркутской, Магаданской области, Камчатском и Красноярском крае, в республиках Тыва и Бурятия.

Участки их значимой отрицательной корреляции обнаружены в пределах Ямало-Немецкого, Ханты-Мансийского и Чукотского автономных округов, а также Хабаровском крае.

Как следует из рисунка 6б, участки, где рассматриваемый процесс значимо и положительно коррелирован с изменениями индекса Nino 3-4 для апреля, обнаружены на территориях Омской, Новосибирской, Амурской области, Забайкальского и Хабаровского края, а также Республики Саха (Якутия).

Участки, где изучаемый процесс значимо и отрицательно коррелирован с изменениями индекса Niño 3-4, выявлены в Красноярском крае, Республике Тыва и Ханты-Мансийском автономном округе. Аналогичные участки выявлены и на территориях Казахстана, Монголии, а также Китая.

Участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для июля в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Niño 3-4 для месяцев июнь и май, представлены на рисунке 7.



Расшифровку числовых обозначений регионов см. на рисунке 2.
Рисунок 7. – Участки территории Сибири, где межгодовые изменения МСО для июля в период 1979–2024 гг. значимо коррелированы с вариациями индекса Niño 3-4 для месяцев: а) июнь; б) май

Рисунок 7а показывает, что участки, где межгодовые изменения МСО для июля в период 1979–2024 гг. значимо и положительно коррелированы с вариациями индекса Niño 3-4 для июня, преимущественно расположены на территориях Ханты-Мансийского автономного округа и Свердловской области.

Выявлены такие участки также в Ямало-Ненецком и Чукотском автономных округах, Магаданской, Тюменской, Кемеровской и Амурской области, Алтайском и Красноярском крае, а также республиках Саха (Якутия) и Алтай.

Участки, где значимая корреляция тех же процессов отрицательна, относятся к Иркутской области, Республике Бурятия и Чукотскому автономному округу.

Рисунок 7б свидетельствует о том, что значимая и положительная корреляция рассматриваемого процесса, а также вариаций индекса Niño 3-4 для мая, выявлена на многих участках территории Сибири. Такие участки принадлежат Ханты-Мансийскому и Ямало-Не-

нецкому автономным округам, Свердловской, Магаданской, Тюменской, Челябинской, Курганской, Омской, Томской, Новосибирской, Кемеровской и Амурской области, а также Алтайскому, Красноярскому краю и Республике Саха (Якутия).

Значимая отрицательная их корреляция выявлена для ряда участков территории Иркутской области, Чукотского автономного округа, а также республики Саха (Якутия).

Для месяцев пожароопасного сезона с августа по октябрь суммарные площади участков, где связи межгодовых изменений МСО с вариациями индекса Nino 3-4, опережающими их на 1 и 2 месяца, являются значимыми, существенно меньше. Для территорий Казахстана, Монголии и Китая выявлены аналогичные участки.

Для августа среди них преобладают участки значимой положительной корреляции, которые выявлены на территориях Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского и Чукотского автономных округов, Эвенкийского и Туруханского районов Красноярского края, Томской области, а также Нижнеколымского и Мирненского районов (улусов) Республики Саха (Якутия).

Для сентября на территории Сибири более распространены участки значимой отрицательной корреляции. Они обнаружены в пределах Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, Таймырского (Долгано-Ненецкого), Эвенкийского и Туруханского районов Красноярского края, Оленекского национального и Алданского улусов Якутии, а также Новосибирской области и Алтайского края.

Для октября участки значимой положительной корреляции рассматриваемых процессов выявлены на территориях Еврейской автономной области, Амурского и Хабаровского районов Хабаровского края. Участки значимой отрицательной корреляции обнаружены в Елизовском и Усть-Большерецком районе Камчатского края.

На рисунке 8 представлены зависимости от месяца общего количества участков территории Сибири, где значимая корреляция изучаемых процессов является положительной, отрицательной и обоих знаков (общее количество участков 49 234).

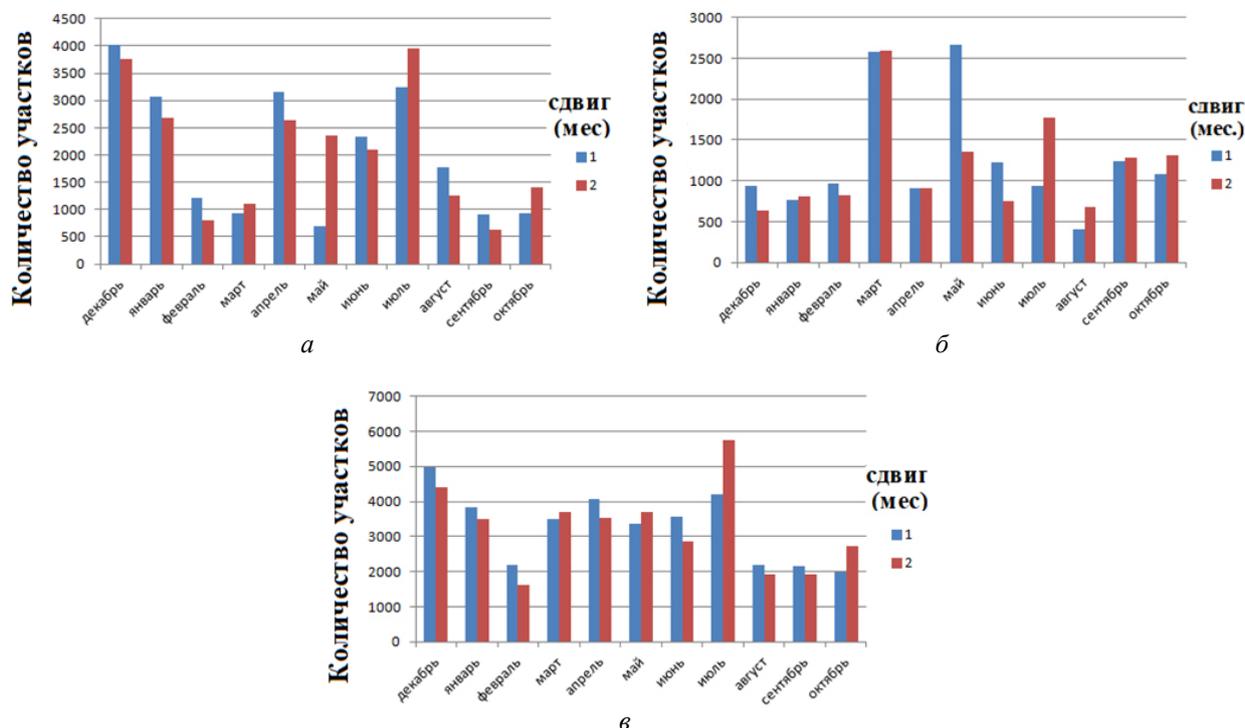


Рисунок 8. – Зависимость от месяца общего количества участков территории Сибири, где связи рядов МСО с рядами индекса Nino 3-4 в период 1979–2024 гг. являлись значимыми, при условии, что их корреляция: а) положительна; б) отрицательна; в) любого знака

Из рисунка 8а видно, что наибольшее количество участков территории Сибири, где корреляция рассматриваемых процессов значима и положительна при сдвиге по времени между ними 1 месяц, соответствует декабрю, а при сдвиге 2 месяца – июлю. Наименьшее количество таких участков приходится соответственно на май и сентябрь.

Рисунок 8б показывает, что наибольшее количество участков территории Сибири, где корреляция рассматриваемых процессов значима и отрицательна при сдвиге по времени

между ними 1 месяц, соответствует маю, а при сдвиге 2 месяца – марту. Наименьшее количество тех же участков приходится соответственно на октябрь и февраль.

Как следует из рисунка 8в, наибольшее количество участков территории Сибири, где корреляция рассматриваемых процессов значима и имеет любой знак, при сдвиге по времени между ними 1 месяц, соответствует декабрю, а при сдвиге 2 месяца – июлю. Наименьшее количество таких участков приходится соответственно на октябрь и февраль.

Следовательно, установлено, что на территории всех регионов России, расположенных в Сибири, для всех месяцев пожароопасного сезона и предшествующих им месяцев сезона образования снежного покрова, существуют участки, на которых межгодовые изменения МСО значимо коррелированы с вариациями индекса Nino 3-4, опережающими их по времени на 1 и 2 месяца. Суммарное количество таких участков в месяцы с декабря по октябрь лежит в пределах 4–12 % от общего количества рассматриваемых участков.

Следовательно, справедливость выдвинутой гипотезы подтверждена, а цель исследования достигнута.

Обсуждение полученных результатов. Как следует из полученных результатов, они в полной мере соответствуют существующим представлениям [11; 16; 19] о наличии влияния ЭНЮК на атмосферную циркуляцию и режим выпадения атмосферных осадков в некоторых регионах нашей планеты, расположенных вне ее тропических зон.

При этом некоторые из установленных фактов обладают существенной новизной. К ним относятся:

1. Статистические связи межгодовых изменений МСО, с вариациями индекса Nino 3-4, опережающими их по времени на 1 и 2 месяца для месяцев пожароопасного сезона и сезона формирования снежного покрова, за период современного потепления климата были значимыми для многих участков территории Сибири.

2. Суммарные площади всех таких участков, а также участков, где корреляция изучаемых процессов положительна, максимальны при условии, что межгодовые изменения МСО соответствуют декабрю и июлю.

Заключение

Таким образом, установлено:

1. На территориях всех регионов России, относящихся к Уральскому, Сибирскому и Дальневосточному федеральным округам, существуют участки, где межгодовые изменения месячных сумм выпадающих на них атмосферных осадков, для месяцев пожароопасного сезона и сезона формирования снежного покрова, значимо связаны с вариациями индекса Nino 3-4, опережающими их по времени на 1 и 2 месяца.

2. Расположение и суммарная площадь таких участков зависят как от месяца, для которого рассматриваются изменения месячных сумм атмосферных осадков, так и от их запаздывания по времени, по отношению к вариациям индекса Nino 3-4. Их суммарная площадь является наибольшей для декабря и июля.

3. Для многих из выявленных участков достоверность выводов о значимости изучаемых связей значительно превосходит 0,95 (что подтверждают соответствующие значения коэффициента корреляции рассматриваемых процессов). Поэтому для них процесс Эль-Ниньо – Южное колебание целесообразно учитывать при моделировании и прогнозирования пожароопасности по условиям погоды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобышева, Н.В. Климат России / Н.В. Кобышева, Е.М. Акентьева, Э.Г. Богданова [и др.]. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 654 с.
2. Валендик, Э.Н. Ландшафтные пожары тайги Центральной Сибири / Э.Н. Валендик, Е.К. Кисильхов, В.А. Рыжкова [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2014. – № 3. – С. 73–86. – EDN: SGFQDL.
3. Воробьев, Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
4. Мозырев, Н.К. Пожарная безопасность лесов / Н.К. Мозырев, В.А. Корнишин, В.С. Кошкарров // Вестник современных исследований. – 2019. – № 2-1 (29). – С. 60–63. – EDN: PPGJEZ.
5. Иванова, Г.А. Лесные пожары и причины их возникновения на территории средней Сибири / Г.А. Иванова, В.А. Иванов, А.В. Мусохранова, А.А. Онучин // Сибирский лесной журнал. – 2023. – № 6. – С. 6–16. – DOI: 10.15372/SJFS20230602. – EDN: WLJIC.

6. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: официальный сайт. – Москва. – URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 10.03.2025).
7. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году» // Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – М., 2023. – 461 с.
8. Walker, G.T. Correlation in seasonal variations of weather. IX. A further study of world weather / G.T. Walker // *Memoirs of the Indian Meteorological Department*. – 1924. – Vol. 24. – P. 275–332.
9. Stewart, R. El Niño and Tropical Heat / R. Stewart // *Our Ocean Planet: Oceanography in the 21st Century*. – Department of Oceanography, Texas A&M University, 2009.
10. Петросянц, М.А. Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость / М.А. Петросянц, Е.К. Семенов, Д.Ю. Гущина [и др.]. – М.: Макс Пресс, 2005. – 670 с.
11. Мохов, И.И. Климатические аномалии в регионах Евразии: эффекты явлений Эль-Ниньо/Ла-Нинья / И.И. Мохов, А.В. Тимажев // *Доклады Академии наук*. – 2013. – Т. 453, № 2. – С. 211–214. – DOI: 10.7868/S0869565213320200. – EDN: RFLUWT.
12. Петросянц, М.А. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья / М.А. Петросянц, Д.Ю. Гущина // *Метеорология и гидрология*. – 2002. – № 8. – С. 24–35. – EDN: SBOGUZ.
13. Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) // Всемирная организация здравоохранения: офиц. сайт. – 2023. – 9 нояб. – URL: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/el-nino-southern-oscillation-\(enso\)](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/el-nino-southern-oscillation-(enso)) (дата обращения: 10.03.2025).
14. Gushchina, D. On the relationship between ENSO diversity and the ENSO atmospheric teleconnection to high-latitudes / D. Gushchina, M. Kolennikova, B. Dewitte, S.-W. Yeh // *International Journal of Climatology*. – 2022. – Vol. 42, No. 2. – P. 1303–1325. – DOI: 10.1002/joc.7304.
15. Дзержевский, Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии / Б.Л. Дзержевский. – М., 1968. – 240 с. – (Материалы метеорологических исследований. Циркуляция атмосферы / Междунар. геофиз. год 1957-1958-1959. Междувед. геофиз. ком. при Президиуме АН СССР).
16. Hsiang, S.M. Civil conflicts are associated with the global climate / S.M. Hsiang, K.C. Meng, M.A. Cane // *Nature*. – 2011. – Vol. 476. – P. 438–441. – DOI: 10.1038/nature10311.
17. Мохов, И.И. Блоклинги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам / И.И. Мохов, М.Г. Акперов, М.А. Прокофьева [и др.] // *Доклады Академии наук*. – 2013. – Т. 449, № 5. – С. 582–586. – DOI: 10.7868/S0869565213110224. – EDN: PYHRSD.
18. Шакина, Н.П. Блокирующие антициклоны: современное состояние исследований и прогнозирования / Н.П. Шакина, А.Р. Иванова // *Метеорология и гидрология*. – 2010. – № 11. – С. 5–18. – EDN: NEKSAT.
19. Холопцев, А.В. Продолжительные Арктические вторжения и Эль-Ниньо – Южное колебание / А.В. Холопцев, В.А. Семенов, Н.К. Кононова // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. – 2018. – № 4. – С. 22–32. – DOI: 10.1134/S2587556618040088. – EDN: XXYWCL.
20. Полонский, А.Б. Роль океана в изменениях климата / А.Б. Полонский; Нац. акад. наук Украины, Морской гидрофиз. ин-т. – Киев: Наукова думка, 2008. – 182 с.
21. Нестеров, Е.С. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в атлантико-европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья / Е.С. Нестеров // *Метеорология и гидрология*. – 2000. – № 8. – С. 74–83.
22. Груза, Г.В. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Л.К. Клещенко, Л.Н. Аристова // *Метеорология и гидрология*. – 1999. – № 5. – С. 32–51.
23. Hoffmann, L. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF’s next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations / L. Hoffmann, G. Günther, D. Li [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2019. – Vol. 19, No. 5. – P. 3097–3124. – DOI: 10.5194/acp-19-3097-2019.
24. ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present: [database] // Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, 2023. – URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (date of access: 10.03.2025). – DOI: 10.24381/cds.bd0915c6.
25. Global climate data: [database] // Weather: website TuTiempo.net. – URL: <https://en.tutiempo.net/climate> (date of access: 10.03.2025).
26. Закс, Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс; пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 776 с.

Участки территории Сибири, где в 1979–2024 гг. вариации месячных сумм атмосферных осадков значимо связаны с опережающими их изменениями состояния Эль-Ниньо – Южное колебание

Areas of Siberia where in 1979–2024 variations in monthly Precipitation amounts are significantly associated with changes in the state of El Niño–the Southern Oscillation anticipatory of these amounts

Холопцев Александр Вадимович

доктор географических наук,
доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская пожарно-спасательная академия Государственной пожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», кафедра контрольно-надзорной деятельности, профессор

Адрес: ул. Северная, 1,
662972, г. Железногорск,
Красноярский край, Россия

Email: khloptsev@mail.ru

SPIN-код: 2419-5410

Aleksandr V. Kholoptsev

Grand PhD in Geographic Sciences,
Associate Professor

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «The Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Chair of Control and Supervision Activities, Professor

Address: Severnaya str., 1,
662972, Zheleznogorsk,
Krasnoyarsk Krai, Russia

Email: khloptsev@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8293-0062

Шубкин Роман Геннадьевич

кандидат технических наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская пожарно-спасательная академия Государственной пожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», кафедра инженерно-технических экспертиз и криминалистики, доцент

Адрес: ул. Северная, 1,
662972, г. Железногорск,
Красноярский край, Россия

Email: shubkinrg@sibpsa.24.mchs.gov.ru

SPIN-код: 7720-8060

Roman G. Shubkin

PhD in Technical Sciences

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «The Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Chair of Engineering and Technical Expertise and Forensics, Associate Professor

Address: Severnaya str., 1,
662972, Zheleznogorsk,
Krasnoyarsk Krai, Russia

Email: shubkinrg@sibpsa.24.mchs.gov.ru

ORCID: 0009-0007-2252-9748

Коваль Юлия Николаевна

кандидат биологических наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская пожарно-спасательная академия Государственной пожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», кафедра химии и процессов горения, заведующий кафедрой

Адрес: ул. Северная, 1,
662972, г. Железногорск,
Красноярский край, Россия

Email: a_yulya@inbox.ru

SPIN-код: 8176-0603

Yulia N. Koval

PhD in Biological Sciences, Associate Professor

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «The Siberian Fire and Rescue Academy of State Firefighting Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Chair of Chemistry and Combustion Processes, Head of the Chair

Address: Severnaya str., 1,
662972, Zheleznogorsk,
Krasnoyarsk Krai, Russia

Email: a_yulya@inbox.ru

ORCID: 0000-0001-5482-6439

AREAS OF SIBERIA WHERE IN 1979-2024 VARIATIONS IN MONTHLY PRECIPITATION AMOUNTS ARE SIGNIFICANTLY ASSOCIATED WITH CHANGES IN THE STATE OF EL NIÑO–THE SOUTHERN OSCILLATION ANTICIPATORY OF THESE AMOUNTS

Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Koval' Y.N.

Purpose. Interannual changes in monthly amounts of atmospheric precipitation falling in any territory during the fire-hazardous season and in the months preceding it are significant factors of fire hazard based on weather conditions. Therefore, identifying processes in the climate system of our planet that significantly influence this process in the territories of the regions of Russia located in Siberia is a pressing problem of climatology and safety in emergency situations. One of such processes may be El Niño – Southern Oscillation. The state of this process is usually characterized by a number of global climate indices, among which the most informative is Nino 3-4.

Methods. To test the hypothesis of the work, a method based on correlation analysis of the connections between the processes under consideration was used. When assessing the significance of the identified connections, the Student criterion was used.

Findings. A hypothesis has been put forward about the existence of areas in Siberia where changes in monthly precipitation amounts in certain months are significantly associated with variations in the Nino 3-4 index, which precede it in time. The obtained results show that for all months from March to October, as well as for December, the studied relationships are significant for many areas of the territory of Siberia, if the changes in the index under consideration are ahead of the variations in the monthly amounts of atmospheric precipitation falling on them by 1 and 2 months. The total area of such areas located in the south of Siberia, as well as in Kazakhstan, China and Mongolia, is maximum in December. Similar areas have been identified in the territories related to the Taiga landscape zone. The latter indicates that the influence of the El Niño – Southern Oscillation process on the dynamics of fire danger by weather conditions in such areas is significant.

Application field of research. The obtained results indicate the possibility of their practical application in modelling and forecasting of changes in fire danger under weather conditions on the territories of many regions of Siberia.

Keywords: Siberia, monthly precipitation, El Niño – Southern Oscillation, fire hazard according to weather conditions.

(The date of submitting: March 18, 2025)

REFERENCES

1. Kobysheva N.V., Akent'eva E.M., Bogdanova E.G. [et al.]. *Klimat Rossii* [Climate of Russia]. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 2001. 654 p. (rus)
2. Valendik E.N., Kisilyakhov E.K., Ryzhkova V.A., Ponomarev E.I., Danilova I.V. Landshaftnye pozhary taygi Tsentral'noy Sibiri [Landscape fires in the taiga of Central Siberian]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2014. No. 3. Pp. 73–86. (rus). EDN: SGFQDL
3. Vorob'ev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Lesnye pozhary na territorii Rossii: Sostoyanie i problemy* [Forest fires in Russia: Status and problems]. Moscow: DEKS-PRESS, 2004. 312 p. (rus)
4. Mozyrev N.K., Kornishin V.A., Koshkarov V.S. Pozharnaya bezopasnost' lesov [Fire safety of forests]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*, 2019. No. 2-1 (29). Pp. 60–63. (rus). EDN: PPGJEZ.
5. Ivanova G.A., Ivanov V.A., Musokhranova A.V., Onuchin A.A. Lesnye pozhary i prichiny ikh vozniknoveniya na territorii sredney Sibiri [Forest fires and the causes of their occurrence in Central Siberia]. *Siberian Journal of Forest Science*, 2023. No. 6. Pp. 6–16. (rus). DOI: 10.15372/SJFS20230602. EDN: WLJIIC.
6. *Informatsionnaya sistema distantsionnogo monitoringa Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva* [Remote Monitoring Information System of the Federal Forestry Agency]: official website. Moscow. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (accessed: March 10, 2025). (rus)
7. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii zashchity naseleniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera v 2022 godu»* [State report «On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2022»]. Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Moscow, 2023. 461 p. (rus)

8. Walker G.T. Correlation in seasonal variations of weather. IX. A further study of world weather. *Memoirs of the Indian Meteorological Department*, 1924. Vol. 24. P. 275–332.
9. Stewart R. El Niño and Tropical Heat. *Our Ocean Planet: Oceanography in the 21st Century*. Department of Oceanography, Texas A&M University, 2009.
10. Petrosyants M.A., Semenov E.K., Gushchina D.Yu., Sokolikhina E.V., Sokolikhina N.N. *Tsirkulyatsiya atmosfery v tropikakh: klimat i izmenchivost'* [Atmospheric circulation in the tropics: climate and variability]. Moscow: Maks Press. 2005. 670 p. (rus)
11. Mokhov I.I., Timazhev A.V. Climatic anomalies in Eurasia from of El Niño/La Niña effects. *Doklady Earth Sciences*, 2013. Vol. 453, No. 1. Pp. 1141–1144. DOI: 10.1134/S1028334X13110123. EDN: SLLWBV.
12. Petrosyants M.A., Gushchina D.Yu. Definition of El Niño and La Niña events. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2002. No. 8. Pp. 16–24. EDN: LHLEVZ.
13. El Niño Southern Oscillation (ENSO). *World Health Organization: official website*. November 9, 2023. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/el-nino-southern-oscillation-\(enso\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/el-nino-southern-oscillation-(enso)) (accessed: March 10, 2025).
14. Gushchina D., Kolennikova M., Dewitte B., Yeh S.-W. On the relationship between ENSO diversity and the ENSO atmospheric teleconnection to high-latitudes. *International Journal of Climatology*, 2022. Vol. 42, No. 2. Pp. 1303–1325. DOI: 10.1002/joc.7304.
15. Dzerdzeevskiy B.L. *Tsirkulyatsionnye mekhanizmy v atmosfere Severnogo polushariya v XX stoletii* [Circulation mechanisms in the atmosphere of the Northern Hemisphere in the 20th century]. Moscow, 1968. 240 p. (rus)
16. Hsiang S.M., Meng K.C., Cane M.A. Civil conflicts are associated with the global climate. *Nature*, 2011. Vol. 476. Pp. 438–441. DOI: 10.1038/nature10311.
17. Mokhov I.I., Akperov M.G., Prokofyeva M.A., Timazhev A.V., Lupo A.R., Le Treut H. Blockings in the Northern hemisphere and Euro-Atlantic region: Estimates of changes from reanalysis data and model simulations. *Doklady Earth Sciences*, 2013. Vol. 449, No. 2. Pp. 430–433. DOI: 10.1134/S1028334X13040144. EDN: RFFCWD.
18. Shakina N.P., Ivanova A.R. The blocking anticyclones: the state of studies and forecasting. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2010. Vol. 35, No. 11. Pp. 721–730. DOI: 10.3103/S1068373910110014. EDN: OBAWGV.
19. Kholoptsev A.V., Semenov V.A., Kononova N.K. Prodolzhitel'nye Arkticheskie vtorzheniya i El'-Nin'o – Yuzhnoe kolebanie [Long Arctic invasion and El-Nino – Southern Oscillation]. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2018. No. 4. Pp. 22–32. (rus). DOI: 10.1134/S2587556618040088. EDN: XXYWCL.
20. Polonskiy A.B. *Rol' okeana v izmeneniyakh klimata* [The role of the ocean in climate change]. Kiev: Naukova dumka, 2008. 182 p. (rus)
21. Nesterov E.S. Variability of atmospheric and oceanic characteristics in the European Atlantic region in the El Niño and La Niña years events. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2000. No. 8. Pp. 43–50. EDN: LGJMND.
22. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya., Kleshchenko L.K., Aristova L.N. O svyazi klimaticheskikh anomalii na territorii Rossii s yavleniem El'-Nin'o – Yuzhnoe kolebanie [On the connection of climatic anomalies in Russia with the phenomenon of El Niño – Southern oscillation]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1999. No. 5. Pp. 32–51. (rus)
23. Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O., Wu X., Griessbach S., Heng Y., Konopka P., Müller R., Vogel B., 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. Pp. 3097–3124. DOI: 10.5194/acp-19-3097-2019.
24. ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to present: [database]. *Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store*, 2023. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (accessed: March 10, 2025). – DOI: 10.24381/cds.bd0915c6.
25. Global climate data: [database]. *Weather: website TuTiempo.net*. URL: <https://en.tutiempo.net/climate> (accessed: March 10, 2025).
26. Zacks Sh. *Teoriya statisticheskikh vyvodov* [The theory of statistical inference]: translation from English. Moscow: Mir, 1975. 776 p. (rus)

Copyright © 2025 Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Koval' Y.N.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.