



УДК 551.583 (571.53/.55)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.41>

Синоптические условия повышения уровня рек на юге Иркутской области и Забайкалья в июле 2023 года

И. В. Латышева*

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

В. Н. Синюкович

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

К. А. Лощенко

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

В. Л. Макухин

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Рассмотрены природные и антропогенные факторы повышения уровня рек и связанные с ними экологические последствия, существующие вероятностные оценки количества наводнений с использованием различных гидрологических и климатических моделей. Выделены орографические, климатические и циркуляционные особенности возникновения наводнений в Иркутской области. Выполнено исследование циркуляционных и погодных факторов увеличения интенсивности и продолжительности атмосферных осадков в начале июля 2023 г., которое сопровождалось повышением уровня рек на юге Иркутской области и Прибайкалья. Проанализирована динамика атмосферных процессов у поверхности Земли и на уровнях изобарических поверхностей АТ-850 гПа, АТ-700 гПа, АТ-500 гПа и АТ-300 гПа, отражающих условия приземного и высотного цикло- и фронтогенеза. Выделен вклад адвективных потоков тепла и влаги, мезоструй в средней тропосфере и верхнетропосферных струйных течений в увеличении количества и продолжительности атмосферных осадков. Существенный вклад в увеличение количества атмосферных осадков и повышение уровня рек внесли влажные воздушные массы, смещающиеся в нижней тропосфере с акватории оз. Байкал, в средней тропосфере с акватории Желтого моря. Оценены время прохождения паводка и высота подъема уровня отдельных водотоков в результате прошедших дождей.

Ключевые слова: наводнения, сильные осадки, циркуляция, тропосфера, геопотенциал, циклоны, высотная фронтальная зона.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания ЛИН СО РАН (тема № 0279-2021-0004).

Для цитирования: Синоптические условия повышения уровня рек на юге Иркутской области и Забайкалья в июле 2023 года / И. В. Латышева, В. Н. Синюкович, К. А. Лощенко, В. Л. Макухин // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 48. С. 41–56. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.41>

Synoptic Conditions for Rising River Levels in the South of the Irkutsk Region and Transbaikalia in July 2023

I. V. Latysheva*

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

V. N. Sinyukovich

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

K. A. Loshchenko

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

V. L. Makukhin

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The article discusses natural and anthropogenic factors of rising river levels and associated environmental consequences, existing probabilistic estimates of the amount of floods using various hydrological and climate models. Orographic, climatic and circulation features of the occurrence of floods in the Irkutsk region are identified. A study was carried out of the circulation and weather factors of increasing the intensity and duration of precipitation in early July 2023, which was accompanied by an increase in river levels in the south of the Irkutsk region and the Baikal region. The dynamics of atmospheric processes near the Earth's surface and at the levels of isobaric surfaces AT-850 hPa, AT-700 hPa, AT-500 hPa and AT-300 hPa, reflecting the conditions of surface and high-altitude cyclo- and frontogenesis, are analyzed. The contribution of advective flows of heat and moisture, mesojets in the middle troposphere and upper tropospheric jet currents in increasing the amount and duration of atmospheric precipitation is highlighted. A significant contribution to the increase in precipitation and the rise in river levels was made by moist air masses moving in the lower troposphere from the water area of the lake. Baikal, in the middle troposphere from the Yellow Sea. The time of passage of the flood and the height of the rise in the level of individual watercourses as a result of the rains were estimated.

Keywords: floods, heavy precipitation, circulation, troposphere, geopotential, cyclones, high-altitude frontal zone.

For citation: Latysheva I.V., Sinyukovich V.N., Loshchenko K.A., Makukhin V.L. Synoptic Conditions for Rising River Levels in the South of the Irkutsk Region and Transbaikalia in July 2023. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 48, pp. 41-56. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.48.41> (in Russian)

Введение

По данным Росгидромета, наводнениям в России подвержены около 500 тыс. км², наводнениям с катастрофическими последствиями – 150 тыс. км², где расположены порядка 300 городов, десятки тысяч населенных пунктов, большое количество хозяйственных объектов, более 7 млн га сельхозугодий [Мингалеев, 2022]. Наводнения включают речные паводки, внезапные паводки, городские паводки, ливневые паводки, канализационные паводки, прибрежные паводки и наводнения, вызванные прорывом ледниковых озер.

Среди естественных факторов существенный вклад в формирование благоприятных условий для летних паводков и наводнений вносят синоптические и крупномасштабные циркуляционные процессы. На территории России это чаще всего выходы циклонов с продолжительными и интенсивными

дождями, сопровождающиеся резким паводком на реках, активизацией оползней и селей, примером которых можно назвать катастрофическое наводнение 20 и 21 июня 2002 г. на р. Кубань [Тамбиева, Эркенова, 2022]. Необходимо отметить, что циркуляция атмосферы Северного полушария с 1998 г. заметно изменилась: преобладание южных циклонов сменилось ростом суммарной годовой продолжительности и преобладанием блокирующих процессов. Формирование устойчивых антициклонов над континентами чревато сильными наводнениями на их периферии, где малоподвижные и часто углубляющиеся циклоны определяют интенсивные осадки. Например, выпадение обильных осадков на Черноморском побережье связано с выходами средиземноморских циклонов, которым преграждает путь блокирующий антициклон над югом европейской территории России [Кононова, 2012].

Интенсивность наводнений и связанные с ними последствия напрямую зависят от влагосодержания атмосферы, которое определяет количество и продолжительность атмосферных осадков с учетом особенностей региональных и крупномасштабных форм атмосферной циркуляции [Koutsoyiannis, 2013; Calibrating hourly ... , 2016]. Например, в центральных районах Ирана в 25 % случаев причиной наводнений являются обильные осадки, которые связывают с проявлением в Тихом океане Эль-Ниньо и Ла-Нинья, в остальных случаях с вовлечением большого количества водяного пара при прохождении средиземноморских циклонов [Javadinejad, 2022].

Нередко наводнения происходят после нескольких дней умеренного дождя и полного впитывания влаги в почву, за которыми следует сильный ливень [Blume, Zehe, Bronstert, 2007]. В горных районах увеличивает сток интенсивное снеготаяние при потеплении, вызванное прохождением теплых атмосферных фронтов над земной поверхностью, покрытой снегом и льдом [Calibrating hourly rainfall-runoff ... , 2016].

Одной из причин возросшего числа наводнений в последние десятилетия рассматривают глобальные и региональные климатические факторы [Barredo, Sauri, Llasat, 2012; Neumayer, Barthel, 2011]. Изменение климатических условий, проявляющееся в повышении средней температуры воздуха, способствующее возрастанию интенсивности таяния льда и снега в горах, увеличение повторяемости осадков большой интенсивности наблюдается примерно с середины 1970-х гг. С этим, например, связано увеличение частоты экстремальных гидрологических событий на Северном Кавказе [Наводнения на черноморском ... , 2016]. Отмечается, что изменения в атмосферной динамике, такие как расширение к полюсу тропической циркуляции Хэдли могут ослабить [Norris, Chen, Neelin, 2019] или усилить [Larger increases ... , 2019] термодинамический эффект на региональном уровне и модифицировать экстремальное усиление атмосферных осадков. Изменения характеристик влажности почвы и стока неплохо согласуются с климатическими вариациями влажности воздуха в региональном масштабе [Girvetz, Zganjar, 2014]. Более значимые статистические связи обнаружены в наблюдаемом годовом максимальном стоке во влажных регионах по сравнению с засушливыми регионами [Terrestrial contribution to ... , 2016].

Однако существующие оценки с использованием различных гидрологических и климатических моделей и сценариев указывают как на уменьшение, так и возможное увеличение количества наводнений в условиях глобального потепления [Asadieh, Krakauer, 2017]. Согласно результатам ансамблевого прогноза, полученного по выходным данным 24 глобальных климатических моделей (GCM) по сценарию RCP8.5, изменение экстремальных осадков с учетом наблюдаемого глобального потепления в 2070–2099 гг. по сравнению с 1971–2000 гг. показывает существенные различия между моделями, а также существенно различается в регионах [Tabari, 2020]. Около 72 % мировых земель, вероятно, подвергнется аридизации в будущем, при этом увеличение засушливости > 30 % ожидается в странах Ближнего Востока, Северной Африки, Южной Европы, Южной Африки и Австралии. В глобальном масштабе засушливые и полусухие регионы увеличатся по занимаемой площади примерно на 10,3 и 9,9 % соответственно, в то время как влажные и полувлажные регионы сократятся по площади на 2,3 и 4,9 % соответственно. При этом экстремальные осадки увеличиваются примерно равномерно во всех климатических зонах [Risks from climate ... , 2018].

В средних и высоких широтах, занимающих значительную площадь во влажных и полувлажных регионах, экстремальные изменения атмосферных осадков в основном обусловлены термодинамическими причинами, тогда как в низких, где расположены более засушливые районы, усиливается тенденция к выпадению экстремальных осадков, которые обусловлены динамическим эффектом. Интенсивность наводнений возрастает со скоростью порядка 5,07, 3,63 и 3,12 % на градус Кельвина соответственно для влажных, полувлажных и полусухих климатических регионов. В целом в условиях меняющегося климата возрастает неопределенность прогнозируемых изменений интенсивности паводков [Pfahl, O’Gorman, Fischer, 2017]. В работе [Паводковые наводнения и причины ... , 2022] отмечается совпадение таких факторов, как сильные ливневые осадки и резкое таяние снегов с усилением солнечной активности, что вызвало подъем воды на реках Краснодарского края в 2002, 2012 и 2022 гг.

Наводнения являются следствием не только естественных причин, но и разнообразной хозяйственной деятельности, что требует постоянного мониторинга [Social Vulnerability ... , 2008]. Ущерб, связанный с наводнением, является функцией не только скорости течения и скорости подъема уровня воды, но также растворенной и взвешенной нагрузки, которую несут паводковые воды, в том числе, когда паводок становится селевым потоком. Осадок, твердый и жидкий материал, включая неочищенные сточные воды и широкий спектр загрязняющих веществ, может повлиять на затопленную территорию, часто создавая серьезную опасность для здоровья [Koutsoyiannis, 2012]. Среди экологических последствий наводнений можно отметить эрозионные и аккумуляционные процессы, качественную перестройку наземных и водных биоценозов, засоление почв и др. [Тимофеева, Тимофеев, Бодиенков, 2020].

Изменения в землепользовании и растительном покрове также влияют на наводнения, как и инженерные разработки. Городские и сельские водосборы одного размера и топографии будут по-разному реагировать на одно и то же количество атмосферных осадков. Водохранилища, разработанные специально для паводковой защиты или предназначенные для хранения воды, могут существенно снизить кратковременные паводковые волны, но во время крупных наводнений их положительный эффект уменьшается и может даже стать отрицательным [Malik, 2022].

Объект и методы исследования

Иркутская область относится к числу регионов с высокой вероятностью наводнений и паводков. На основе ретроспективного анализа числа случаев наводнений в Иркутской области за 30-летний период (1980–2010 гг.) выявлена тенденция роста числа наводнений в регионе [Тимофеева, Эглит, Морозова, 2011]. Одним из последних примеров можно назвать катастрофическое наводнение в Иркутской области в июне 2019 г., когда в зону подтопления попало шесть административных районов, погибло 25 чел., пострадало 42 762 чел., подтопленными оказались 107 населенных пунктов, почти 11 тыс. жилых домов, 49 участков дорог. По предварительным подсчетам ущерб оценивается в 29 млрд руб.

Основной водной артерией Иркутской области и самым многоводным притоком Енисея является р. Ангара, берущая начало из оз. Байкал. Значительная часть населенных пунктов располагается в поймах рек и на прирусловых террасах р. Ангары, бассейн которой вследствие большой протяженности (1107 км) и сочетания равнинного и горного рельефа отличается большим разнообразием климатических условий, оказывающих влияние на формирование гидрологического режима рек ее бассейна. Для них свойственно общее снижение стока летом в период дождевых паводков с юга на север [Лексакова, 1987].

По данным исследований многолетнего режима стока по 32 гидрологическим постам одной из главных причин наводнений в бассейне р. Ангары на территории Иркутской области являются летние дождевые паводки [Слепнева, Парыгина, Кичигина, 2020]. Они вызваны сильными ливневыми дождями, и чаще всего им подвержены юго-западные районы области, где расположены водосборные бассейны левобережных притоков Ангары (реки Уда, Бирюса, Ия, Ока, Белая, Китой, Иркут и др.) и оз. Байкал (реки Снежная, Хара-Мурин, Утулик и др.). Для рек, берущих начало в горных районах Восточного Саяна и Хамар-Дабана, низкая инфильтрационная способность грунтов и большие уклоны способствуют быстрому стеканию дождевых вод в реки и формированию паводочных максимумов во время сильных дождей и ливней в летний период. В целом на развитие летнего паводка в Иркутской области влияет совокупность следующих факторов: количество, интенсивность, продолжительность атмосферных осадков и охват территории, занимаемой выпадающими осадками; накопленное количество влаги в почве и ее водопроницаемость; особенности формы затопляемых речных долин, величина уклонов рек и пропускная способность речных русел и долин; активное снеготаяние в горах и сброс талых вод в реки (в начале лета) и др.

При прогнозировании наводнений важно учитывать характер преобладающих ветровых потоков на высотах, которые определяют термодинамические свойства воздушных масс. При развитии паводковой ситуации на юге Иркутской области в июле 1971 г. в средней и верхней тропосфере возрастал вклад меридиональных северных потоков, в 2019 г. – ветров восточной четверти, тогда как при продолжительном отсутствии атмосферных осадков в июле 1995 г. превалировал вклад ветров западной составляющей. При формировании паводкообразующих осадков второй половины XX в. на юге Иркутской области характерно углубление и длительное стационарирование южных циклонов при усилении процессов подвижного циклогенеза над Атлантикой и Монголией. Кроме того, в усилении интенсивности летних осадков в начале XXI в. возрастает вклад блокирующих процессов над Восточной Сибирью, высотного циклогенеза и адвективных потоков влаги на высотах с акватории Тихого океана [Синюкович, Латышева, Макухин, 2021].

Одной из основных циркуляционных причин наводнения в г. Тулуне следует рассматривать влияние холодного высотного циклона. Благодаря его стационарированию и усилению ветров восточной четверти, в горных районах Восточного Саяна осуществлялось тесное взаимодействие трех разнородных воздушных масс: арктической, субтропической и редкого для региона выноса воздуха с Тихого океана в слоях атмосферы от 1,5 до 5 км. Также следует указать вклад орографии горных районов Восточного Саяна в усилении процессов облако- и осадкообразования, возможный вклад потоков тепла и влаги на материк в условиях увеличения положительных аномалий температур на северо-западе Тихого океана и длительно сохраняющейся на территории Иркутской области в июне адвекции тепла при развитии блокирующих процессов с юга.

Понимание взаимосвязи между крупно- и мезомасштабными факторами повышения уровня рек в период летних паводков позволит более глубоко изучить причины их возникновения в условиях меняющегося климата, чтобы повысить предсказуемость такого рода процессов и обеспечить устойчивое социально-экономическое развитие регионов с высоким риском опасных гидрологических событий.

Результаты исследований

В период с 30 июня по 6 июля 2023 г. на значительной части территории Иркутской области и в Забайкалье (преимущественно в южных районах) отмечалось продолжительное выпадение атмосферных осадков. В Иркутске количество выпавших осадков в период с 1 по 7 июля 2023 г. составило 63 мм (59 %) при месячной норме 107 мм, максимум осадков отмечался 5 и 6 июля. В Нижнеудинске продолжительные осадки были в период со 2 по 5 июля (32 % месячной нормы), максимум отмечался 4 июля. В Братске атмосферные осадки отмечались с 3 по 6 июля, в Улан-Удэ – со 2 по 6 июля, в Чите с 3 по 8 июля выпало 64 % месячной нормы, максимум осадков (37 мм) приходится на 4 июля.

По оперативным данным Центра регистра и кадастра [gis.vodinfo.ru] повышение уровня рек в зоне выпадения осадков на левобережных притоках Ангары и на Хамар-Дабанских притоках Байкала в основном началось 2–3 июля (рис. 1, табл. 1). Прохождение пика паводков на этих водотоках отмечалось 6–9 июля и различалось в зависимости от их длины, определяющей разное время руслового добегаания дождевых вод. На Чикоее и Баргузине наивысший уровень наблюдался значительно позже (15 и 17 июля), а на Верхней Ангаре он хоть и совпадал по времени с экстремальными уровнями на юге Иркутской области, но в значительной мере был обусловлен талыми водами. Кроме того, бассейн Верхней Ангары находился на периферии описываемой нами депрессии, где осадков было значительно меньше. В регионах севернее Байкала паводки в начале июля вообще не отмечались. На Киренге, наоборот, с 1 июля начался спад уровня после его значительного (более 2 м) повышения в конце июня.

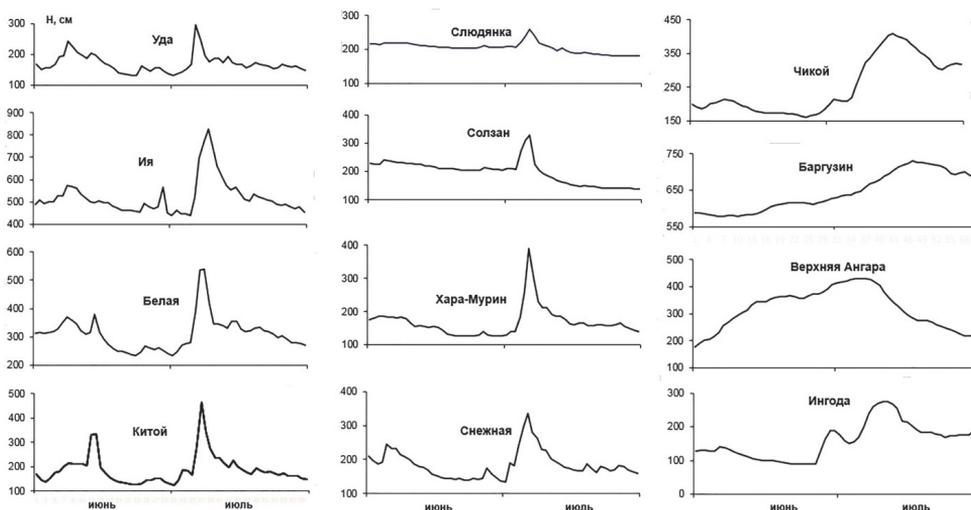


Рис. 1. Динамика уровня воды отдельных рек в июне – июле 2023 г.

Таблица 1

Общие характеристики паводка на отдельных реках

Река – Пункт	Длина реки, км	Начало подъема, дата	Пик паводка, дата	Высота подъема, м
Бирюса – Шиткино	508	3/07	8/07	1,6
Уда – Нижнеудинск	445	2/07	6/07	1,6
Ия – Тулун	365	2/07	9/07	3,9
Ока – Усть-Када	594	5/07	8/07	2,1
Белая – Мишелевка	291	2/07	8/07	3,1
Китой – Китой	295	2/07	7/07	3,4
Слюдянка – Слюдянка	18	2/07	6/07	0,7
Солзан – Байкальск	34	1/07	6/07	1,3
Хара – Мурино	82	2/07	6/07	2,7
Снежная – Выдрино	168	2/07	9/07	2,1

Окончание табл. 1

Река – Пункт	Длина реки, км	Начало подъема, дата	Пик паводка, дата	Высота подъема, м
Чикой – Поворот	746	6/07	15/07	2,0
Баргузин – Баргузин	424	5/07	17/07	0,9
Верхняя Ангара – Верхняя Заимка	407	29/06	7/07	0,6
Ингода – Чита	475	4/07	11/07	1,3

Высота подъема вод во время июльского паводка на реках Иркутской области и Забайкалья достигала 3–4 м. На некоторых водотоках уровень был близок критическим отметкам или даже превышал их (Ия, Белая). Повышенные уровни сопровождались увеличением скорости потока с локальными разрушениями хозяйственных объектов (размыв дорог, разрушение мостов) и частичным затоплением пониженных участков вдоль рек. В Забайкалье в связи с этим 4 июля властями был введен режим повышенной готовности.

Для изучения синоптических условий выпадения продолжительных осадков в качестве исходной информации были использованы: ежечасные метеорологические данные станций Иркутской области и Забайкалья (гр-5); 6-часовые приземные карты погоды; 12-часовые высотные карты (АТ-850 гПа, АТ-700 гПа, АТ-500 гПа, АТ-300 гПа) Гидрометцентра России (<https://meteoinfo.ru>), а также данные Реанализов ERA5. Для определения синоптических причин выпадения продолжительных атмосферных осадков проводился сравнительный анализ динамики основных барических образований, которые определяли погодные условия на территориях Иркутской области и Забайкалья; рассчитывались температурные и барические градиенты на разных уровнях тропосферы в области высотной фронтальной зоны.

Первоначально охарактеризуем крупномасштабные атмосферные факторы в июне 2023 г., предшествующие формированию продолжительных атмосферных осадков на юге Иркутской области и Забайкалья. В июне 2023 г. значительная часть территории Северного полушария у поверхности Земли была занята положительными температурными аномалиями, достигающими наибольших значений порядка 5 °С на севере Сибири и в Якутии. На юге Иркутской области июнь 2023 г. оказался близким по климатическим значениям в поле температур, количество осадков почти в 1,5 раза превышало месячную норму. В высокогорных районах Восточного Саяна осадков выпало около половины месячной нормы, на юге Бурятии и Забайкалья июнь 2023 г. был прохладным (~1 °С ниже нормы), осадков выпало около месячной нормы. В аномалиях приземного барического поля на юге Иркутской области и Забайкалья отмечался рост давления на 1–2 гПа при развитии гребня Азорского антициклона на европейскую часть России с формированием антициклона над Иркутской областью и Забайкальем. Волновая структура высотного барического поля на высоте АТ-500 гПа была представлена характерной для теплого периода года ложбиной над Атлантикой, сопряженной с высотным гребнем над Западной Европой, далее на восток прослеживалась обширная барическая ложбина с осью, ориентированной на Казахстан. Иркутская область и Забайкалье оказывались под влиянием барического гребня с динамическими факторами роста давления (рис. 2).

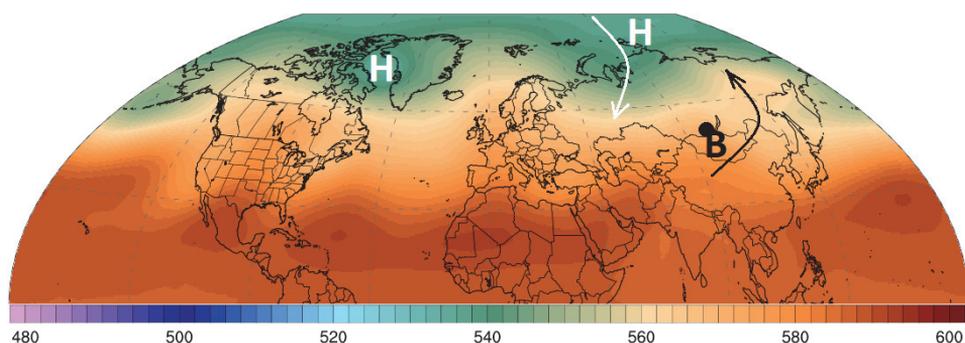


Рис. 2. Среднее поле геопотенциала АТ-500 гПа в июне 2023 г. по данным Реанализа ERA5: *Н* – центр циклона; *В* – центр антициклона, стрелками показаны оси высотной ложбины и высотного гребня, точкой отмечен г. Иркутск

В период выпадения продолжительных осадков с 30 июня по 6 июля 2023 г. происходило увеличение амплитуды волн Россби со смещением высотного гребня на территорию Западной Сибири, сопровождающимся углублением сопряженной ложбины над югом Прибайкалья и Монголией, которая длительно стационарировала при развитии высотного гребня над Тихим океаном.

Так как вклад разных слоев атмосферы в формирование погодных аномалий часто отличается друг от друга, для выявления причин выпадения продолжительных осадков выполнен синоптический анализ приземных и высотных карт погоды. На приземных синоптических картах 30 июня 2023 г. на территории Монголии и Китая наблюдалась обширная область пониженного атмосферного давления глубиной 991,7 гПа с координатами центра 35° с. ш., 98° в. д., ориентированная на Забайкалье и Дальний Восток. 1 июля 2023 г. произошло углубление китайско-монгольской депрессии до 985 гПа, а 2 июля уже большая часть территории Иркутской области и Забайкалья попадает под влияние холодной влажнонеустойчивой воздушной массы, где возрастают скорости ветра и интенсивность атмосферных осадков. 3 июля в южных районах Иркутской области при сближении тыловой части монгольского циклона с гребнем арктического антициклона барические градиенты возросли до 13,5 гПа/1000 км, что сопровождалось увеличением площади сильных осадков в монгольском и пекинском центрах низкого давления. 4 июля центр монгольского циклона глубиной 989 гПа сместился на юго-западные районы Бурятии. На южной периферии монгольского циклона скорости ветра возросли до 15 м/с, что способствовало интенсивному вовлечению в циклон теплого субтропического воздуха с юга, а увеличение скорости ветра в передней части пекинского циклона способствовало активному притоку влажного тихоокеанского воздуха с акватории Желтого моря. Адвекция тепла сопровождалась углублением монгольского (до 986,8 гПа) и пекинского (до 982,8 гПа) центров низкого давления и сохранением зоны интенсивных осадков на юге Иркутской области и Забайкалья. 5 июля вновь произошло объединение монгольского и пекинского центров в единую обширную барическую депрессию, простирающуюся от северных районов Ир-

кутской области до японских островов с ориентированной вдоль 50° с. ш. зоной атмосферных осадков. Ливневые осадки отмечались на юге Прибайкалья, в Читинской области и на Дальнем Востоке. 6 июля происходило углубление пекинского циклонического центра до 989,4 гПа, 7 июля циклон стационарировал над Китаем, а Иркутская область и Монголия оказались уже под влиянием гребня антициклона.

На карте изобарической поверхности АТ-850 гПа (1,5 км) 30 июня южные районы Иркутской области находились на стыке взаимодействия гребня тепла, ориентированного с Китая, интенсивностью 32°C и ложбины холода с Новой Земли (очаг холода 0°C), на юге Иркутской области горизонтальные градиенты температуры воздуха составили $16^\circ\text{C}/1000\text{ км}$, т. е. являлись динамически значимыми. 1 июля при усилении (до -6°C) очага холода над Новой Землей Иркутская область и Забайкалье попадают под влияние термической ложбины. 3 июля на южные районы Иркутской области и Забайкалья оказывает влияние северная периферия монгольского циклона глубиной 136 дкм, который 4 июля углубляется до 131 дкм и занимает значительную площадь от юга Красноярского края до Курил (в широтном направлении) и от южных районов Якутии до юго-востока Китая (в меридиональном направлении). В передней части монгольского циклона над акваторией Желтого моря отмечаются мезоструи, где скорости южного и юго-западного ветров возрастают до 17 м/с. 5 июля происходит углубление монгольского циклона до 121 дкм, скорости ветра увеличиваются вдоль его северо-западной периферии в передней и южной частях циклона. 7 июля монгольский циклон смещается на северо-восток Китая, давление в его центре постепенно повышается, а территории Иркутской области и Бурятии уже находятся под влиянием барического гребня.

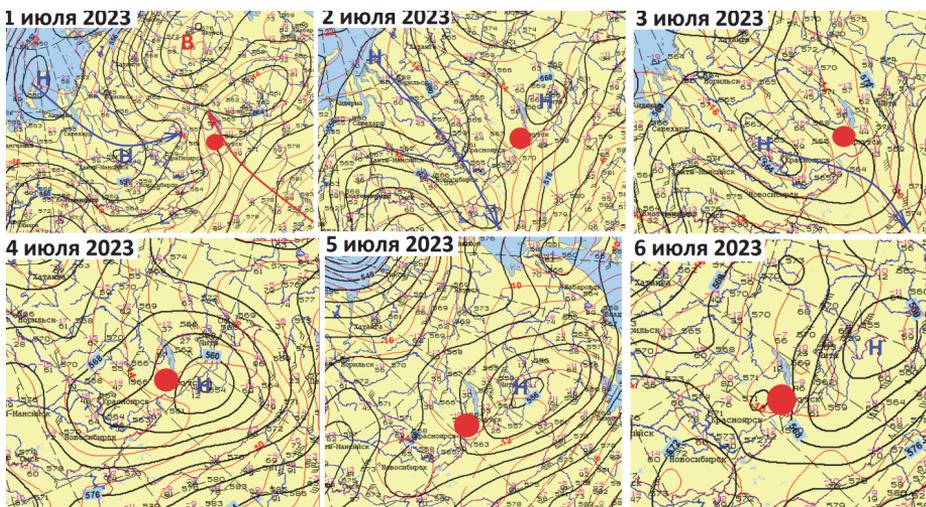


Рис. 3. Карты АТ-500 гПа за 00 ВСВ с 1 по 6 июля 2023 г. Гидрометцентра России: черные линии – изогипсы; красные линии – изотермы; Н – центр высотного циклона; В – центр антициклона; красная стрелка – ось высотного гребня; синяя стрелка – ось высотной ложбины; красной точкой отмечен г. Иркутск

На карте изобарической поверхности АТ-700 гПа (3 км) 30 июня южные районы Иркутской области находятся на стыке взаимодействия гребня тепла интенсивностью 20 °С, ориентированного с Китая, и ложбины холода с Новой Земли (очаг холода –6 °С). 1 июля территория Иркутской области оказывается под влиянием ложбины холода, ось которой проходит через районы Иркутска до 40° с. ш. 2 июля влияние термической ложбины распространяется на Забайкалье, а 3 июля над северо-западными районами Монголии формируется высотный циклон глубиной 304 дкм, под влияние его северной периферии попадают южные районы Иркутской области и Забайкалья. 4 июля в передней части монгольского циклона над акваторией Желтого моря скорости южного и юго-западного ветров возрастают до 20 м/с, а в тыловой части скорости северо-западного ветра достигают 15 м/с. 5 июля происходит углубление монгольского циклона до 289 дкм и смещение его центра на северо-восток Монголии. В передней части циклона над акваторией Японского моря проходит струйное течение со скоростью 30 м/с, до 20 м/с возрастают скорости ветра в центре монгольского циклона на территории Забайкалья. 6 июля территории Иркутской области и Бурятии уже находятся под влиянием барического гребня, ориентированного с юга.

На карте изобарической поверхности АТ-500 гПа 30 июня южные районы Иркутской области находятся на стыке взаимодействия гребня тепла интенсивностью 3 °С, ориентированного с Китая, и ложбины холода с Новой Земли (очаг холода –23 °С) (рис. 3). 1 июля территории Иркутской области и Забайкалья оказываются под влиянием дельты высотной фронтальной зоны, ось высотной ложбины ориентирована с Новой Земли на северо-западные районы Монголии. 2 июля влияние термической и барической ложбины распространяется на Забайкалье, а 3 июля над северо-западными районами Монголии формируется высотный циклон глубиной 564 дкм. В его передней и южной частях скорости западного, южного и юго-западного ветров возрастают до 27–30 м/с. 5 июля происходит смещение центра монгольского циклона на северо-восточные районы Китая, а 6 июля на территории Иркутской области получает развитие барический гребень антициклона с центром над Самарой.

На карте изобарической поверхности АТ-300 гПа (9 км) 30 июня территория Иркутской области оказывается под влиянием передней части высотной ложбины циклона глубиной 908 дкм с центром над Новой Землей, а Забайкалье – под влиянием высотного циклона глубиной 928 дкм. 2 июля через северные районы Монголии и Китая проходит струйное течение со скоростями 30 м/с. 4 июля над Монголией формируется высотный циклон глубиной 922 дкм, в передней части которого проходит струйное течение со скоростями юго-западного ветра порядка 45 м/с. 5 июля происходит смещение центра монгольского циклона на северо-восточные районы Китая, а Иркутская область и Забайкалье оказываются под влиянием высотного антициклона.

Обсуждение результатов

Выпадение продолжительных осадков в период с 30 июня по 6 июля 2023 г., определяющих повышение уровня рек на юге Иркутской области и Забайкалья, было связано:

– с объединением монгольского и пекинского барических центров в обширную барическую депрессию, простирающуюся от северных районов Иркутской области до японских островов с ориентированной вдоль 50° с. ш. зоной обложных и ливневых осадков;

– в нижней тропосфере на уровне изобарической поверхности АТ-850 гПа с влиянием на южные районы Иркутской области и Забайкалья северной периферии обширного монгольского циклона, где длительное время осуществлялся приток влажных воздушных масс, в том числе вовлекаемых восходящими потоками над акваторией оз. Байкал, при сохраняющихся высоких значениях горизонтальных градиентов температур;

– в средней тропосфере на уровне изобарических поверхностей АТ-700 гПа и АТ-500 гПа с углублением холодного высотного циклона над Монголией и притоком в его передней части теплого влажного воздуха с акватории Желтого моря при усилении ветра на высотах, что длительное время поддерживало развитие облачности на юге Иркутской области и в Забайкалье;

– в верхней тропосфере на уровне изобарической поверхности АТ-300 гПа с возрастанием горизонтальных градиентов геопотенциала в передней части динамически значимой высотной фронтальной зоны и прохождением оси струйного течения, определяющих благоприятные условия для усиления восходящих потоков, развития облачности и выпадения продолжительных и интенсивных осадков на юге Иркутской области и в Забайкалье.

Заключение

Проведенное исследование показало, что интенсивность и продолжительность выпадения атмосферных осадков в период с 30 июня по 6 июля 2023 года, вызвавших значительное повышение уровня рек на юге Иркутской области и Забайкалья, были обусловлены сложными синоптическими условиями во всех слоях атмосферы над рассматриваемой территорией и сопредельными регионами. Прежде всего это длительное сохранение термических и барических составляющих приземного и высотного цикло- и фронтогенеза при усилении антициклогенеза над Западной Сибирью, Арктикой и Восточным Саяном, циклогенеза над Монголией и Китаем, которые были вызваны усилением меридиональности потоков в средней и верхней атмосфере при развитии процессов блокирования над Западной Сибирью и Тихим океаном.

Достаточно весомым оказался и вклад дополнительного притока теплого воздуха вдоль южной периферии обширного по площади и углубляющегося монгольского циклона при объединении с пекинским центром низкого давления, а также теплого и влажного воздуха с акватории Желтого моря в передней части монгольского циклона при наличии мезоструй в нижней тропосфере и верхнетропосферного струйного течения.

Сочетание перечисленных факторов стало причиной формирования обширной области низкого давления и обильных осадков, охватывающей южные районы Иркутской области и Забайкалья и простирающейся в широтном направлении от Тувы до японских островов. Распространение зоны выпадения паводкообразующих осадков и их интенсивность в бассейнах р. Ангары и оз. Байкал, а также в Забайкалье хорошо прослеживаются по реакции уровня воды протекающих здесь рек.

Список литературы

- Кононова Н. К.* Циркуляция атмосферы как фактор стихийных бедствий на Северном Кавказе в XXI веке // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2012. Т. 8, № 1-2. С. 72–103.
- Лексакова В. Д.* Максимальный сток рек бассейна Ангары. Новосибирск : Наука, 1987. 132 с.
- Мингалеев С. Г.* Человеческий фактор в природных чрезвычайных ситуациях // Природопользование: от истории к современности. Куражковские чтения : материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2022. С. 101–108.
- Наводнения на черноморском побережье Краснодарского края / Н. И. Алексеевский, Д. В. Магрицкий, П. К. Колтерманн [и др.] // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 1. С. 3–17.
- Паводковые наводнения и причины их возникновения в приморских районах Краснодарского края / Ю. Я. Нагалецкий, А. А. Шматко, Е. Р. Сакаева, Ю. Э. Нагалецкий // Туристско-рекреационный комплекс в системе регионального развития : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. Краснодар, 2022. С. 119–123.
- Синюкович В. Н., Латышева И. В., Макухин В. Л.* Климатические риски дождевых паводков на притоках Южного Байкала // Климатические риски и космическая погода : материалы Междунар. конф., посвящ. памяти Нины Константиновны Кононовой. Иркутск, 2021. С. 207–214.
- Слепнева Е. В., Парыгина Е. А., Кичигина Н. В.* Генезис наводнений в Иркутской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 34. С. 96–112.
- Тамбиева Д. А., Эркенова М. У.* Наводнения, условия возникновения, виды, классификация // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 90(4). С. 39–41.
- Тимофеева С. С., Тимофеев С. С., Бодиенков С. Г.* Негативные экологические последствия наводнений на территории Иркутской области // Безопасность-2020 : сб. науч. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2020. С. 6–11.
- Тимофеева С. С., Элит В. Э., Морозова О. В.* Мониторинг наводнений на территории Иркутской области на основе ретроспективного анализа // Вестник ИрГТУ. 2011. № 9. С. 82–89.
- Asadieh B., Krakauer N. Y.* Global change in streamflow extremes under climate change over the 21st century // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017. Vol. 21, N 11. P. 5863–5874.
- Barredo J. I., Sauri D., Llasat M. C.* Assessing trends in insured losses from floods in Spain 1971–2008 // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2012. Vol. 12. P. 1723–1729.
- Blume T., Zehe E., Bronstert A.* Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation // Hydrological Sciences Journal. 2007. Vol. 52, N 5. P. 843–862.
- Calibrating hourly rainfall-runoff models with daily forcings for streamflow forecasting applications in meso-scale catchments / J. C. Bennett, D. E. Robertson, G. D. Phillip [et al.] // Environmental Modelling & Software. 2016. Vol. 76. P. 20–36.
- Girvetz E. H., Zganjar C.* Dissecting indices of aridity for assessing the impacts of global climate change // Clim. Change. 2014. Vol. 126, N 3-4. P. 469–483.
- Javadinejad S.* Causes and consequences of floods: flash floods, urban floods, river floods and coastal floods // Resour. Environ. Inf. Eng. 2022. Vol. 4, N 1. P. 173–183.
- Koutsoyiannis D.* Hydrology and change // Hydrological Sciences Journal, 2013. Vol. 58, N 6. P. 1177–1197. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.804626>
- Koutsoyiannis D.* Clausius-Clapeyron equation and saturation vapour pressure: simple theory reconciled with practice // European Journal of Physics. 2012. Vol. 33, N 2. P. 295–305. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/33/2/295>

Larger increases in more extreme local precipitation events as climate warms / Li Chao, Francis Zwiers, Xuebin Zhang [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* 2019. Vol. 46, N 12. P. 6885–6891.

Malik I. H. Anthropogenic causes of recent floods in Kashmir Valley: a study of 2014 flood // *SN Soc. Sci.* 2022. Vol. 2, N 8. P. 162–187. <https://doi.org/10.1007/s43545-022-00463-z>

Neumayer E., Barthel F. Normalizing economic loss from natural disasters: a global analysis // *Global Environmental Change*. 2011. Vol. 21. P. 13–24.

Norris J., Chen G., Neelin J. D. Thermodynamic versus dynamic controls on extreme precipitation in a warming climate from the community earth system model large ensemble // *Journal of Climate*. 2019. Vol. 32, Is. 4. P. 1025–1045.

Pfahl S., O’Gorman P. A., Fischer E. M. Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation // *Nat. Clim. Change*. 2017. Vol. 7. P. 423–427.

Risks from climate extremes change differently from 1.5 C to 2.0 C depending on rarity / V. V. Kharin, G. Flato, X. Zhang [et al.] // *Earth’s Future*. 2018. Vol. 6, N 5. P. 704–715.

Social Vulnerability and the Natural Built Environment: A Model of Flood / S. Zahran, D. C. Brody, G. W. Peacock [et al.] // *Casualties in Texas*. 2008. Vol. 32, N 4. P. 537–560.

Tabari H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Art. N 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>

Terrestrial contribution to the heterogeneity in hydrological changes under global warming / S. Kumar, F. Zwiers, P. A. Dirmeyer [et al.] // *Water Resour. Res.* 2016. Vol. 52, N 4. P. 3127–3142.

References

Kononova N.K. Tsirkulyatsiya atmosfery kak faktor stikhiinykh bedstviy na Severnom Kavkaze in XXI [Atmospheric circulation as a factor of natural disasters in the North Caucasus in the 21st century]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and ecogeodynamics of regions], 2012, vol. 8, no. 1-2, pp. 72-103. (in Russian)

Leksakova V.D. *Maksimalnyi stok rek basseina Angary* [Maximum flow of rivers in the Angara basin]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, 132 p. (in Russian)

Mingaleev S.G. Chelovecheskii faktor v prirodnykh chrezvychainykh situatsiyakh [Human factor in natural emergencies]. *Prirodopolzovanie: ot istorii k sovremennosti. Kurazhkovskie chteniya* [Nature management: from history to modernity. Kurazhkov readings]. Proc. of the I Int. Sci. and Practical Conf. Astrakhan, 2022, pp. 101-108. (in Russian)

Alekseevskii N.I., Magritskii D.V., Koltermann P.K. et al. Navodneniya na chernomorskom poberezh’e Krasnodarskogo kraya [Floods on the Black Sea coast of the Krasnodar Territory]. *Vodnye resursy* [Water resources], 2016, vol. 43, no. 1, pp. 3-17. (in Russian)

Nagalevskii Yu.Ya., Shmatko A.A., Sakaeva E.R. et al. Pavodkovye navodneniya i prichiny ich vozniknoveniya v primorskikh raionakh Krasnodarskogo kraya [Floods and the causes of their occurrence in the coastal areas of the Krasnodar Territory]. *Turistsko-rekreatsionnyi kompleks v sisteme regionalnogo razvitiya* [Tourist and recreational complex in the system of regional development]. Proc. of the 10th Int. Sci. and Practical Conf. Krasnodar, 2022, pp. 119-123. (in Russian)

Sinyukovich V.N., Latysheva I.V., Makukhin V.L. Klimaticheskie riski dozhdevykh pavodkov na pritokach Yuzhnogo Baikala [Climatic risks of rain floods on the tributaries of Southern Baikal]. *Klimaticheskie riski i kosmicheskaya pogoda* [Climate risks and space weather], 2021, pp. 207-214. (in Russian)

Slepneva E.V., Parygina E.A., Kichigina N.V. Genesis navodnenii v Irkutskoi oblasti [Genesis of floods in the Irkutsk region]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2020, no. 34, pp. 96-112. (in Russian)

Tambieva D.A., Erkenova M.U. Navodneniya, usloviya vozniknoveniya, vidy, klassifikatsiya [Floods, conditions of occurrence, types, classification]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education], 2022, no. 90(4), pp. 39-41. (in Russian)

Timofeeva S.S., Timofeev S.S., Bodienkov S.G. Negativnye ekologicheskie posledstviya navodnenii na territorii Irkutskoi oblasti [Negative environmental consequences of floods in the Irkutsk region]. *Bezopasnost 2020* [Security 2020]. Collection of scientific articles of the All-Russian Scientific and Practical Conf. Chita, 2020, pp. 6-11. (in Russian)

Timofeeva S.S., Eglit V.E., Morozova O.V. Monitoring navodnenii na territorii Irkutskoi oblasti na osnove retrospektivnogo analiza [Monitoring of floods in the Irkutsk region based on retrospective analysis]. *Vestnik IrGTU* [ISTU Bulletin], 2011, no. 9, pp. 82-89. (in Russian)

Asadieh B., Krakauer N.Y. Global change in streamflow extremes under climate change over the 21st century. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2017, vol. 21, no. 11, pp. 5863-5874.

Barredo J.I., Sauri D., Llasat M.C. Assessing trends in insured losses from floods in Spain 1971–2008. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2012, vol. 12, pp. 1723-1729.

Blume T, Zehe E., Bronstert A. Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. *Hydrological Sciences Journal*, 2007. vol. 52, no. 5, pp. 843-862.

Bennett J.C., Robertson D.E., Phillip G.D. [et al.] Calibrating hourly rainfall-runoff models with daily forcings for streamflow forecasting applications in meso-scale catchments. *Environmental Modelling & Software*, 2016, vol. 76, pp. 20-36.

Girvetz E.H., Zganjar C. Dissecting indices of aridity for assessing the impacts of global climate change. *Clim. Change*, 2014, vol. 126, no. 3–4, pp. 469-483.

Javadinejad S. Causes and consequences of floods: flash floods, urban floods, river floods and coastal floods. *Resour. Environ. Inf. Eng.*, 2022, vol. 4, no. 1, pp. 173-183.

Koutsoyiannis D. Hydrology and change. *Hydrological Sciences Journal*, 2013, vol. 58, no. 6, pp. 1177-1197. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.804626>

Koutsoyiannis D. Clausius-Clapeyron equation and saturation vapour pressure: simple theory reconciled with practice. *European Journal of Physics*, 2012, vol. 33, no. 2, pp. 295-305. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/33/2/295>

Chao Li, Zwiers Francis, Zhang Xuebin et al. Larger increases in more extreme local precipitation events as climate warms. *Geophys. Res. Lett.*, 2019, vol. 46, no. 12, pp. 6885-6891.

Malik I.H. Anthropogenic causes of recent floods in Kashmir Valley: a study of 2014 flood. *SN Soc. Sci.*, 2022, vol. 2, no. 8, pp. 162-187. <https://doi.org/10.1007/s43545-022-00463-z>

Neumayer E., Barthel F. Normalizing economic loss from natural disasters: a global analysis. *Global Environmental Change*, 2011, vol. 21, pp. 13-24.

Norris J., Chen G., Neelin, J.D. Thermodynamic versus dynamic controls on extreme precipitation in a warming climate from the community earth system model large ensemble. *J. Clim.*, 2019, vol. 32, pp. 1025–1045.

Pfahl S., O’Gorman P.A., Fischer E.M. Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation. *Nat. Clim. Change*, 2017, vol. 7, pp. 423-427.

Khari V.V., Flato G., Zhang X. et al. Risks from climate extremes change differently from 1.5 C to 2.0 C depending on rarity. *Earth’s Future*, 2018, vol. 6, no. 5, pp. 704-715.

Zahran S., Brody D. C., Peacock G.W. et al. Social Vulnerability and the Natural Built Environment: A Model of Flood. *Casualties in Texas*, 2008, vol. 32, no. 4, pp. 537-560.

Tabari H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, art. no. 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>

Kumar S., Zwiers F., Dirmeyer P.A. et al. Terrestrial contribution to the heterogeneity in hydrological changes under global warming. *Water Resour. Res.*, 2016, vol. 52, no. 4, pp. 3127-3142.

Сведения об авторах

Латышева Инна Валентиновна

кандидат географических наук, доцент,
заведующий, кафедра метеорологии и физики
околосемного космического пространства
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: ababab1967@mail.ru

Information about the authors

Latysheva Inna Valentinovna

Candidate of Sciences (Geography), Associate
Professor, Head, Department of Meteorology
and Physics of Near-Earth Space
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: ababab1967@mail.ru

Синюкович Валерий Николаевич

кандидат географических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория гидрологии и гидрофизики
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
e-mail: sin@lin.irk.ru

Лощенко Кристина Анатольевна

кандидат географических наук, доцент
кафедры метеорологии и физики
околосемного космического пространства
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: loshchenko@bk.ru

Макухин Владимир Леонидович

кандидат технических наук,
младший научный сотрудник,
лаборатория гидрохимии и химии
атмосферы
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
доцент кафедры метеорологии и физики
околосемного космического пространства
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: aerosol@lin.irk.ru

Sinyukovich Valery Nikolaevich

Candidate of Sciences (Geography),
Senior Researcher, Laboratory of Hydrology
and Hydrophysics
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: sin@lin.irk.ru

Loshchenko Kristina Anatolievna

Candidate of Sciences (Geography),
Associate Professor of the Department of
Meteorology and Physics of Near-Earth Space
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: loshchenko@bk.ru

Makukhin Vladimir Leonidovich

Candidate of Sciences (Techics), Junior
Researcher, Laboratory of Hydrochemistry
and Atmospheric Chemistry
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
Associate Professor of the Department of
Meteorology and Physics of Near-Earth Space
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: aerosol@lin.irk.ru

Коды научной специальности: 1.6.18; 1.6.16

Статья поступила в редакцию 09.02.2024; одобрена после рецензирования 06.06.2024; принята к публикации 07.06.2024
The article was submitted February, 09, 2024; approved after reviewing June, 06, 2024; accepted for publication June, 07, 2024