

О.П. ОСИПОВА, Н.В. КИЧИГИНА

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, olga@irigs.irk.ru, nkichigina@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАВОДНЕНИЯХ В ПРИБАЙКАЛЬЕ

Представлены результаты исследований взаимосвязей атмосферной циркуляции и наводнений в Южном Прибайкалье. Во время наводнений в июле 1971 г., июне и июле 2019 г. на метеостанциях исследуемой территории осадков выпало существенно выше нормы — в среднем 229 %, 163 % и 156 % от нормы соответственно. Проведен комплексный синоптический анализ для выявления основных причин экстремально высоких значений осадков, которые спровоцировали подъем уровней воды на левобережных притоках Ангары и реках Южного Байкала в июле 1971 г., июне и июле 2019 г. Синоптические процессы были классифицированы по типам погоды согласно методу Дженкинсона и Коллисона. Для наводнения в июле 1971 г. было идентифицировано шесть типов погоды, а для наводнения в июне и июле 2019 г. — 15. В основном это были циклонические и адвективные типы с восточными компонентами, коррелирующие с влажными погодными условиями. Направления переноса воздушных масс определены по данным анализа 5-дневных обратных траекторий HYSPLIT. Установлено, что основные факторы, определившие интенсивность катастрофических паводков следующие: активный процесс циклогенеза; резкое усиление меридиональных затоков холода и тепла и развитие блокирующих процессов; наличие высокого содержания потенциально накопленной влаги, поля восходящих вертикальных движений и вынужденной конвекции в предгорьях; местные орографические условия.

Ключевые слова: экстремальные паводочные наводнения, синоптические процессы, атмосферные осадки, обратные траектории HYSPLIT, Прибайкалье.

O.P. OSIPOVA, N.V. KICHIGINA

V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, olga@irigs.irk.ru, nkichigina@mail.ru

FEATURES OF THE ATMOSPHERIC CIRCULATION DURING EXTREME FLOODS IN CISBAIKALIA

The article presents the results of studies of the relationship between atmospheric circulation and floods in Southern Cisbaikalia. During the floods (in July 1971, June and July 2019), precipitation at the meteorological stations of the study area was significantly higher than the norm: on average 229 %, 163 % and 156 % of the norm, respectively. A comprehensive synoptic analysis was carried out to identify the main causes of extremely high precipitation values, which provoked a rise in water levels on the left-bank tributaries of the Angara river and on the rivers of Southern Baikal in July 1971, June and July 2019. Synoptic processes were classified by weather types according to the Jenkinson and Collison method. Six and fifteen weather types were identified for the July 1971 flood and for the June and July 2019 flood, respectively. These were mainly cyclonic and advective types with eastern components, correlating with humid weather conditions. The directions of air mass transfer were determined based on the analysis of 5-day HYSPLIT backward trajectories. It was found that the main factors determining the intensity of catastrophic floods were as follows: 1) active process of cyclogenesis; 2) sharp increase in meridional cold and heat flows and development of blocking processes; 3) the presence of a high content of potentially accumulated moisture, a field of upward vertical movements and forced convection in the foothills, and 4) local orographic conditions.

Keywords: extreme rainfall floods, synoptic processes, atmospheric precipitation, HYSPLIT backward trajectories, Cisbaikalia.

ВВЕДЕНИЕ

Изменения климата в последние десятилетия привели к перестройке системы атмосферной циркуляции. Значительное преобладание меридиональных процессов над зональными привело к необычной структуре циркуляции атмосферы в XXI в., что, в свою очередь, вызвало резкое увеличение по-

вторяемости опасных и даже катастрофических гидрометеорологических процессов и явлений со значительными ущербами. Наводнения занимают здесь ведущее место.

В Прибайкалье самыми опасными среди всех наводнений являются паводочные, т. е. дождевые. Они имеют максимальные повторяемость, площади затопления и силу воздействия и характеризуются наибольшими экономическими ущербами, количеством эвакуированных жителей и человеческих жертв. Хребты и предгорья Восточного Саяна в бассейнах левых притоков Ангары, Иркута, Китоя, Оки, Ии, Уды и Бирюсы, а также горные реки Хамар-Дабана относятся к самым паводковоопасным территориям Прибайкалья [1, 2]. Только в последние 50 лет здесь прошли высочайшие паводки — в 1971, 1984, 1996, 2001, 2019 гг.

Дождевые паводки относятся к самым трудно прогнозируемым опасным процессам из-за сложности прогноза осадков. Цель работы — на конкретных примерах оценить особенности атмосферной циркуляции при формировании экстремальных осадков и паводочных наводнений на реках.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Рассмотрены экстремальные паводочные наводнения на реках Прибайкалья — 1971 г. и два наводнения 2019 г., вызвавшие наибольший материальный ущерб и приведшие к человеческим жертвам. Объектами исследования стали бассейны левых притоков Ангары — Иркута, Китоя, Белой, Оки, Ии, Уды, Бирюсы, а также реки Южного Байкала.

Были использованы данные Росгидромета по уровням на гидропостах [3] и по атмосферным осадкам на метеостанциях (meteo.ru). Для данных наводнений определено превышение на гидропостах критических уровней воды (Нкр), соответствующих началу наводнения [4]. Также выполнен анализ количества атмосферных осадков за год и теплый период (с мая по сентябрь) в сравнении с многолетней нормой; количества осадков за один и два месяца перед наводнением, которые характеризуют предшествующее увлажнение водосбора; суточных максимумов осадков за весь период наблюдения, а также суточных сумм осадков в годы с наводнениями. Кроме этого, проанализированы суточные суммы осадков накануне наводнения, их суммы до пика наводнения.

В качестве исходных данных для анализа поля приземного давления, высоты геопотенциала (AT-850, AT-700, AT-500, AT-300), полей содержания потенциально накопленной влаги (precipitable water PW) и вертикальных движений были созданы композитные карты за разные периоды (<https://www.esrl.noaa.gov>). Для синоптического анализа частично использовались также приземные и кольцевые карты погоды [5]. Анализ направлений переноса воздушных масс, поступавших в район исследования, выполнялся с помощью модели обратных траекторий HYSPLIT (<http://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajasrc.pl>) [6, 7]. Были построены 120-часовые обратные траектории для трех уровней, соответствующих приземному слою — 500 м, нижней тропосфере — 1500 м, средней тропосфере — 5500 м. В качестве исходных пунктов выбраны точки с координатами, соответствующие центрам района исследований. Обратные траектории показывали, откуда перемещались воздушные массы в течение пяти суток, предшествующих выбранной дате. В качестве метеорологического архива модели применялись данные реанализа NCEP/NCAR [8].

Для идентификации типов погоды использована объективная классификация Джэнкинсона и Коллисона [9], преимуществами которой являются объективность и возможность применения данных реанализов. Этот метод может быть применен к любому региону средних и высоких широт ($\sim 30\text{--}70^\circ$) [10, 11]. В основном эта классификация применялась в морских районах средних широт и намного реже в континентальных областях, например, на юго-западе России [12] и юге Восточной Сибири [13]. Классификация синоптических типов основана на расчете параметров воздушного потока в 16 равномерно расположенных точках [13]. Мы использовали сеть точек между $47,5$ и $67,5^\circ$ с. ш. и между $102,5$ и $132,5^\circ$ в. д. с центровкой над пунктами с наводнениями. В качестве исходных были использованы ежедневные данные реанализа NCEP/NCAR [8] за 1970–2020 гг. Классификация [9] включает 27 типов погоды, объединяющихся в три группы — циклоническую (CYC), антициклоническую (ANT) адвективную (ADV) и малоградиентное поле (тип U).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности синоптической ситуации (24–28 июля 1971 г.). Погода у поверхности земли в районе исследования 24–25 июля определялась влиянием ложбины с юга от циклона с центром над Монголией. В средней тропосфере поле давления над центральной и южной частями Иркутской области

было представлено высотным циклоном с центром над Монголией, а на уровне АТ-850 гПа — термическим гребнем. 26 июля в средней тропосфере центр высотного циклона смещается на районы Байкала, и вся территория Восточной Сибири уже находится под влиянием высотной ложбины. Юг Иркутской области оказался на северной периферии циклона под влиянием северо-восточных, северных и восточных воздушных потоков. В это же время в тылу ложбины на Западную Сибирь с Карского моря смещался влажный холодный воздух. На территории исследования наблюдался сильный заток холода с севера в приземном слое и с запада — на уровне средней тропосферы. Очаг холода сохранялся до конца июля. У поверхности земли центр циклона сместился на районы Забайкалья, где стационировал, так как его блокировал барический гребень, распространявшийся с западного побережья Тихого океана. Циклон, интенсивность которого поддерживалась двухсторонней адвекцией температуры, находясь в очаге тропосферного холода, способствовал сильным и очень сильным осадкам, выпавшим на территории исследования 25–28 июля. Максимальное количество осадков (260 мм) было зафиксировано на метеостанции Хамар-Дабан 26 июля, что стало максимумом за все годы для июля. Такие сильные осадки и спровоцировали дождевой паводок на реках.

Особенности синоптической ситуации (дождевой паводок 24–30 июня 2019 г.). В нижних слоях тропосферы 24 июня сформировался циклон с центром над севером Монголии, а к западу Иркутской области сместился холодный атмосферный фронт. Города Тулун и Нижнеудинск оказались на северной периферии циклона под влиянием северных и северо-восточных воздушных потоков. Днем 24 июня в западных районах области начались умеренные и сильные дожди (до 16 мм за 12 часов). Погода у поверхности земли в районе исследования 25 июня определялась влиянием ложбины циклона с центром над Монголией. Холодная ветка полярного фронта, связанного с заполняющимся циклоном, проходила по линии Пайтурма–Тура–Нижнеудинск и далее уходила на юг. Малоподвижный холодный атмосферный фронт с волной в районе Тулуна наблюдался 25–26 июня у поверхности земли в глубокой ложбине, ориентированной с юго-востока. После прохождения холодного атмосферного фронта произошел сильный заток холода на территорию исследования. В интенсификации осадков важна конвективная неустойчивость, для реализации которой существуют благоприятные условия в очагах тропосферного холода. Конвективная неустойчивость хорошо идентифицируется по спутниковым снимкам благодаря наличию конвективных элементов как в облачной спирали высотного циклона, так и в холодной воздушной массе к югу от Байкала (рис. 1).

Во всей тропосфере 24–26 июня наблюдалась область интенсивных восходящих движений с центром в районе бассейна рек Уды и Ии. Параллельно над районом сформировался очаг высокого содержания потенциально накопленной влаги. Синхронно с восходящими вертикальными движениями накопленная влага выпала в виде сильных осадков. Максимальное количество осадков наблюдалось на территориях Нижнеудинского (106–140 мм) и Тулунского (85–218 мм) районов, что составило 1,5 и 4 месячные нормы соответственно. Это были фронтальные осадки, которые и стали причиной катастрофического дождевого паводка.

Особенности синоптической ситуации (дождевой паводок 25–30 июля 2019 г.). Над районом исследования с 25 июля в средней тропосфере наблюдался антициклон. 26 июля у поверхности земли была область малоградиентного циклонического поля, а на картах АТ-500 прослеживался небольшой

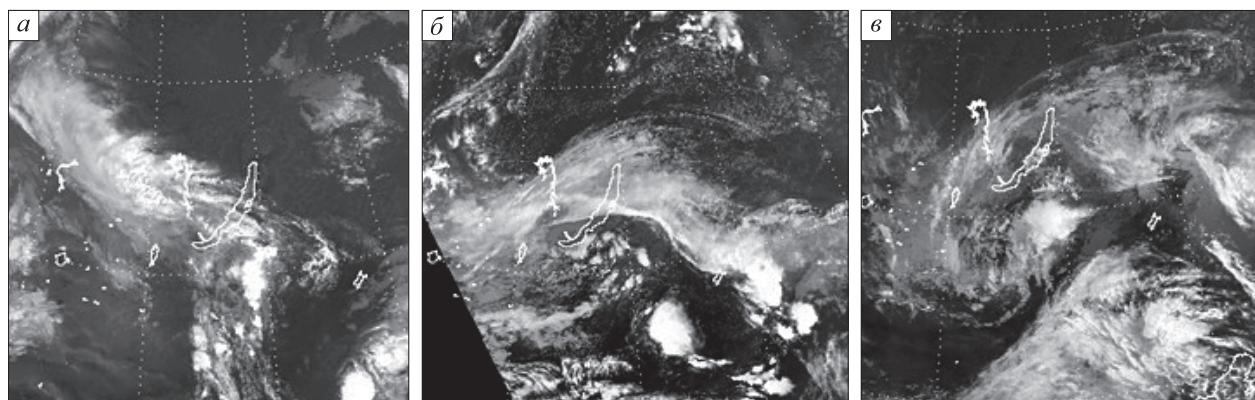


Рис. 1. Спутниковые снимки облачности высотного циклона за 24.06.2019 (а), 25.06.2019 (б), 26.06.2019 (в).

высотный циклон. С запада с 26 по 29 июня в район исследования перемещался холодный атмосферный фронт со скоростью 12–18 км/ч. Такие небольшие скорости фронта были обусловлены блокирующими барическим и термическим гребнем в средней тропосфере над севером Иркутской области. Атмосферный фронт обострился из-за холодной воздушной массы, что привело к образованию циклона. Таким образом, как в приземном слое, так и на высотах преобладало циклоническое поле, что способствовало формированию интенсивных восходящих вертикальных движений в области циклона.

Над бассейнами Уды и Ии 26–29 июля общее количество влаги в столбе воздуха достигало 30 мм, что реализовалось при восходящих движениях в интенсивные осадки. Как показывают спутниковые снимки (рис. 2), облачность циклона имела компактную вихревую структуру, центр вихря располагался в Южном Прибайкалье. При этом в начале периода (26.07.2019) преобладала конвективная облачность и, соответственно, наблюдались ливневые осадки. В середине периода отмечалось сочетание слоистых и кучевообразных форм облачности, что свидетельствует о мощной вертикальной протяженности облачности и возможности выпадения значительных осадков. На территории Тулунского района выпало 122–136 мм (106–143 % от месячной нормы), в Нижнеудинске — 112 мм осадков (108 %).

Синоптическая классификация. Во второй половине июля 1971 г. было отмечено шесть типов погоды, согласно классификации Дженкинсона и Коллисона. Наибольшая повторяемость была у типов С (5 дней, 29 %), U (5 дней, 29 %) и A (3 дня, 17 %). Остальные три типа (адвективные N, NE и циклонический CNE) наблюдались всего один или два дня. Непосредственно для периода дождевого паводка (26–28 июля 1971 г.) наблюдался циклон (тип С). В июне – июле 2019 г. (первая и вторая волна паводков) отмечалось 15 типов погоды, по классификации ДК. Наибольшая повторяемость была у типов A (16 дней, 26 %), U (16 дней, 26 %) и C (12 дней, 20 %), а также у адвективного типа NE (3 дня, 5 %). Остальные 11 типов наблюдались всего один или два дня. Такое распределение типов погоды в целом соответствует каталогу типов погоды, составленному для Восточной Сибири [13]. Для первой волны паводка (с 24 по 26 июня) наблюдался циклон (тип С), который сменили адвективный тип NE (27 июня) и циклонический CSE (28 июня). Для второй волны паводка (с 24 по 27 июля) также наблюдался циклон (тип С), который сменил адвективный тип N (28 и 29 июля). Через индекс относительной эффективности (RPI) была установлена взаимосвязь между определенными типами погоды и осадками и оценена сухость/влажность каждого типа [12, 13]. Циклонические и адвективные типы с восточным компонентом коррелируют с влажными погодными условиями. Наибольший вклад в годовое количество осадков вносят циклонические типы (CYC) [13]. Максимальное значение RPI летом относится к одному из самых редких типов (CSE), который наблюдался над районом исследований 28 июня 2019 г. Летом типы с северным компонентом (NW и N) вносят большой вклад в количество осадков.

HYSPLIT-анализ траекторий воздушных масс. Для анализа траекторий направления переноса воздушных частиц, ассоциируемых с воздушными массами, поступавшими в район исследования, использовалась модель обратных траекторий HYSPLIT. Были построены 120-часовые обратные траектории, соответствующие центрам районов исследования. Выбрано три уровня: приземный слой — 500 м, нижняя тропосфера — 1500 м, средняя тропосфера — 5500 м (рис. 3).

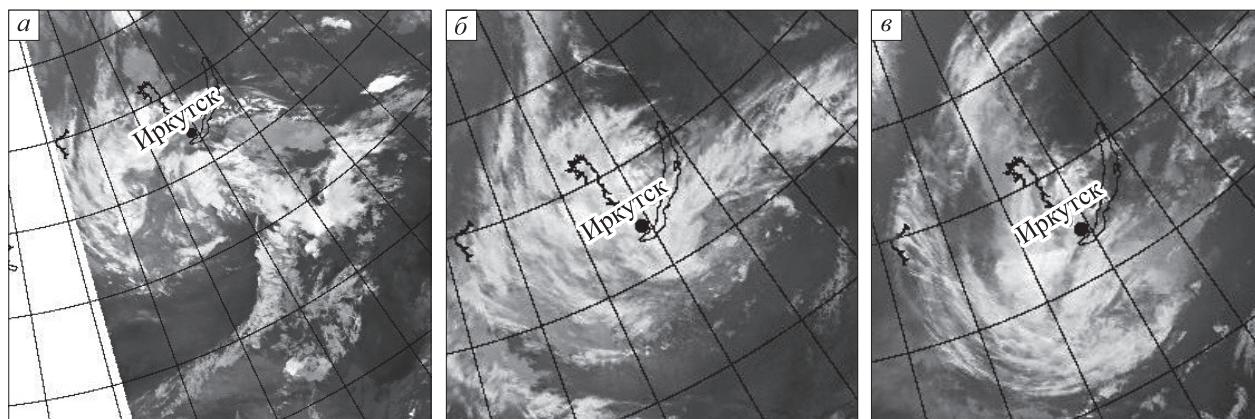


Рис. 2. Спутниковые снимки облачности циклона за 26.07.2019 (а), 27.07.2019 (б), 28.07.2019 (в).

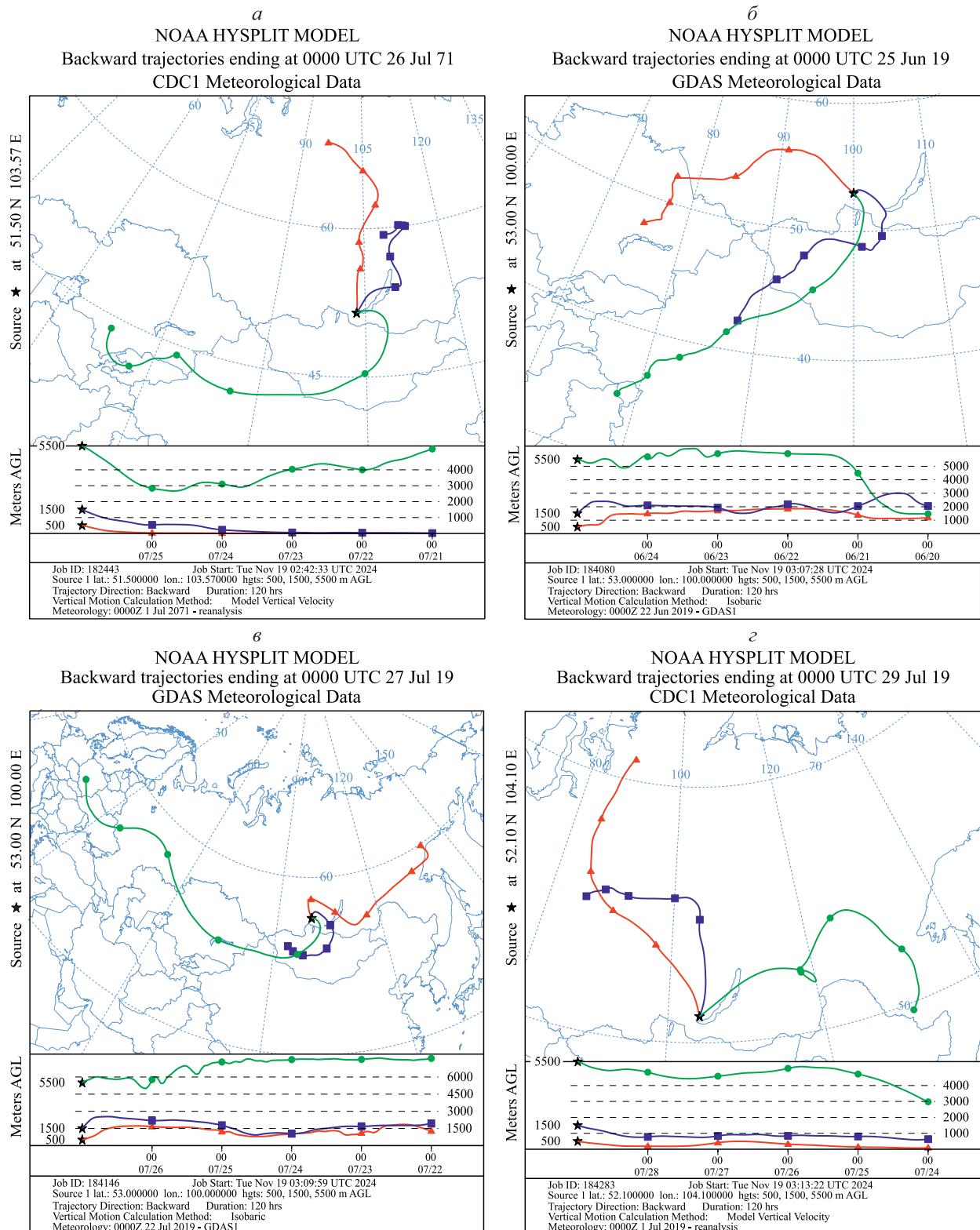


Рис. 3. Обратные траектории перемещения воздушных масс на уровнях 500 м (красная линия), 1500 м (синяя), 5500 м (зеленая).

a — 26.07.1971, бассейн Иркута; *б* — 25.06.2019, бассейны Ии, Уды; *в* — 27.07.2019, бассейны Ии, Уды; *г* — 29.07.2019, бассейн Иркута, реки Южного Байкала.

Для июля 1971 г. траектории построены для бассейна Иркута (см. рис. 3, *а*). В приземном слое атмосферы воздушные массы поступали с севера и северо-востока, а на уровне средней тропосферы — с запада. Такая ориентация воздушных потоков в приземном слое относительно горной гряды Восточных Саян могла вызвать вынужденную конвекцию в потоках, натекающих на горные склоны, что спровоцировало выпадение интенсивных осадков. Для июня 2019 г. траектории построены для бассейнов рек Ии и Уды в районе Тулун и Нижнеудинска (см. рис. 3, *б*). Можно видеть, что в предшествующие сильным осадкам 5 сут воздух в нижней и средней тропосфере перемещался в район исследования с юго-запада, в том числе и из субтропических районов Средней Азии, в приземном слое — из районов юга Западной Сибири.

В июле 2019 г. ситуация с переносом воздушных масс была несколько другой. Для бассейнов Ии и Уды их перемещение происходило на разных уровнях из разных районов (см. рис. 3, *в*). В предшествующие 5 сут (до 27 июля 2019 г.) в приземном слое воздух перемещался с востока, с побережья Охотского моря, принося морской, насыщенный влагой воздух. В нижней тропосфере воздушная масса циркулировала в районе исследования с небольшими скоростями, не трансформировалась за счет адвекции, а в средней тропосфере присутствовал интенсивный западно-восточный перенос, с которым поступал трансформированный над континентом воздух. Для бассейна Иркута на нижних уровнях воздушные массы перемещались из районов Западной Сибири (см. рис. 3, *г*).

Атмосферные осадки и уровни воды в реках во время наводнения 26–28 июля 1971 г. Во время катастрофического наводнения летом 1971 г. только на реках Иркутской области было затоплено 33 населенных пункта, 82 промышленных предприятия, около 700 км автодорог. В районе южного Байкала прошли селевые потоки, повреждено более 40 км железнодорожного полотна, разрушены железнодорожные и автомобильные мосты, дорожное полотно на участке Слюдянка–Байкальск. По руслу р. Малой Осиновки селевой поток попал в один из водоотстойников Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, возникла угроза попадания промышленных отходов в Байкал. Бедствие приобрело всесоюзный масштаб. В бассейне Иркута были разрушены мосты, дороги, кладбища, паромная переправа, промышленные объекты.

В 1971 г. превышение критических уровней (наводнение) на гидропостах произошло 26–27 июля на реках Иркут, Китой, Олха и на реках Южного Байкала — Хара-Мурина, Снежная, Солзан, Утулик и др. (табл. 1).

Годовые осадки в 1971 г. характеризовались величинами, близкими к средним многолетним значениям и составили, по данным рассматриваемых метеостанций, 102–128 % от многолетней нормы. Осадки за теплый период (май–сентябрь) 1971 г. также в основном были близки к среднемноголетним значениям (104–130 %), за исключением района метеостанции Иркутск (обсерватория), где с мая по сентябрь было зафиксировано 535 мм осадков, или 152 % от нормы. Осадки за июнь и июль 1971 г. характеризуют предварительное увлажнение водосбора. В июне осадков выпало в среднем 113 % от нормы. Осадки за июль существенно превысили среднемноголетние значения и составили в среднем 230 % от нормы. Наибольшее превышение нормы было зафиксировано на метеостанциях Иркутск (обсерватория) (бассейны Иркута, Олхи) — 331 % (344 мм), Хамар-Дабан (Иркут, реки юга Байкала) — 257 % (739 мм), Ангарск (Китой) — 276 % (282 мм). Суточные максимумы за июнь 1971 г. — от 13 до 107 мм. По данным метеостанций Дабады и Хамар-Дабан, суточный максимум превысил норму в два раза. 25 июня 1971 г. на метеостанции Дабады (бассейн Китоя) был зафиксирован наивысший за период наблюдения суточный максимум — 58 мм (207 % от среднемноголетнего суточного максимума).

Таблица 1
Максимальные превышения (Нмакс) критического уровня воды (Нкр) на реках во время наводнения
в конце июля 1971 г.

Река – пост	Нкр, см	Нмакс, см	Дата Нмакс	Тип погоды, по [9]
Иркут – с. Тибелти	600	887	27.07.1971	C
Олха – дер. Олха (приток Иркута)	210	282	26.07.1971	C
Китой – с. Раздолье	280	344	26.07.1971	C
Хара-Мурина – пос. Мурино	550	580	26.07.1971	C
Снежная – ст. Выдрино	580	593	26.07.1971	C
Солзан – г. Байкальск	400	431	26.07.1971	C
Утулик – пос. Утулик	450	477	26.07.1971	C

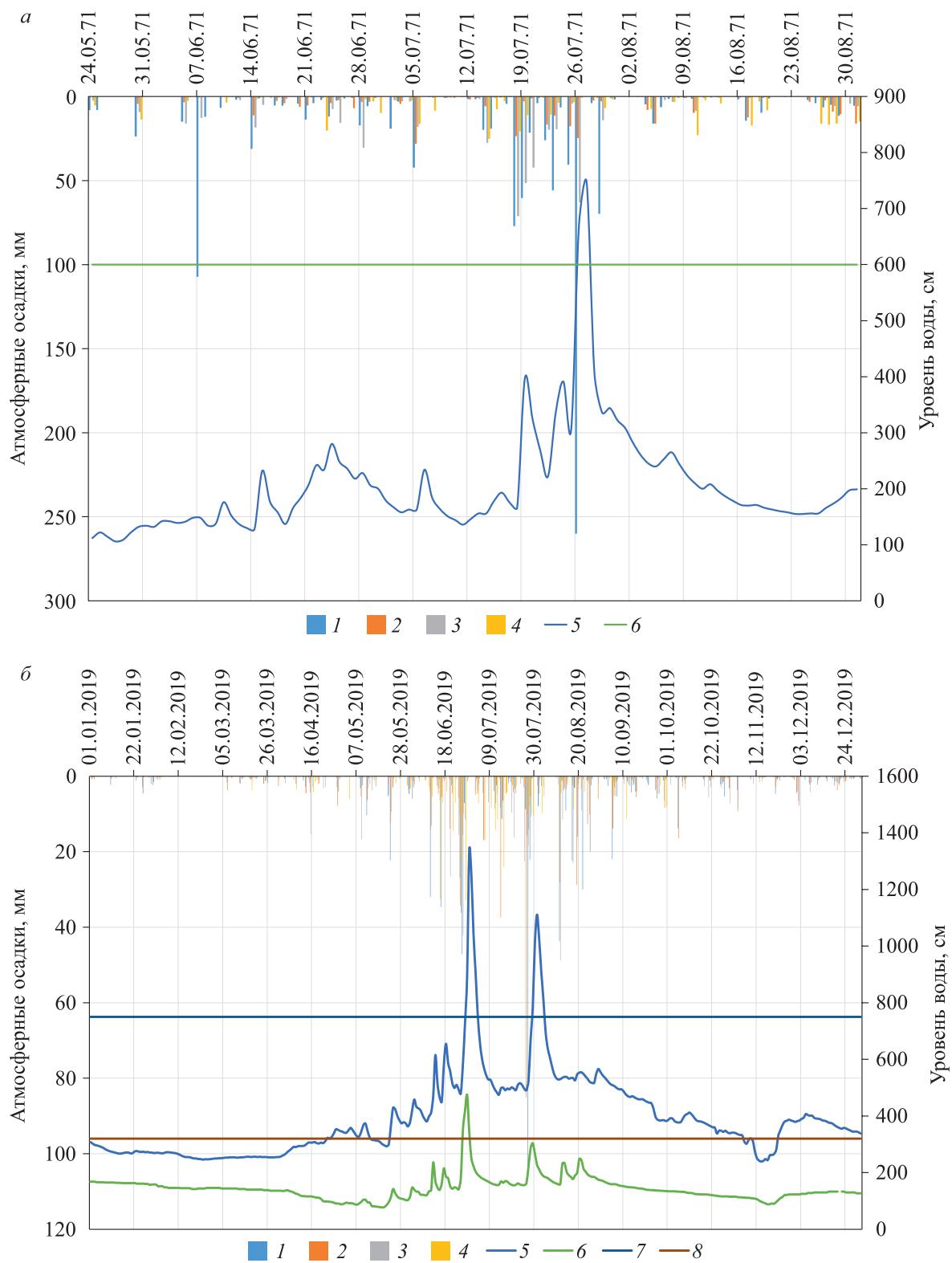


Рис. 4. Атмосферные осадки на метеостанциях и уровни воды на гидропостах.

а — наводнение в 1971 г.: метеостанции: 1 — Хамар-Дабан, 2 — Тунка, 3 — Иркутск (обсерватория), 4 — Инга; 5 — гидропост р. Иркут-с. Тибелты; 6 — Нкр. б — наводнения в 2019 г.: метеостанции: 1 — Тулун, 2 — Нижнеудинск, 3 — Тайшет, 4 — Орлик; гидропосты: 5 — р. Ия-г. Тулун, 6 — р. Уда-г. Нижнеудинск; Нкр на гидропосту: 7 — р. Ия-г. Тулун, 8 — р. Уда-г. Нижнеудинск.

Суточные максимумы за июль составили от 17,6 до 260 мм. Наибольшее превышение нормы было отмечено на метеостанциях Иркутск (обсерватория) — 71 мм (245 % от нормы) и Хамар-Дабан — 260 мм (342 %). Июльский суточный максимум 26 июля 1971 г., зафиксированный на метеостанции Хамар-Дабан, был наивысшим за весь период наблюдений (1936–2023 гг.), его обеспеченность составила менее 1 % [14].

Максимальному пику паводка предшествовало два небольших подъема уровня воды. Уровень в р. Иркут начал подниматься 18 июля, первый пик был 19 июля (397 см), второй — 24 июля (391 см). После небольшого спада уровень начал резко расти 25 июля и достиг срочного максимума 887 см (среднесуточного — 747 см) 27 июля. Затем в течение двух суток проходил его спад, и предпаводочных значений уровень достиг 29 июля (рис. 4, а). Непрерывные осадки начались 18 июля, продолжались повсеместно и практически беспрерывно в районах всех рассмотренных метеостанций (Хамар-Дабан, Тунка, Иркутск (обсерв.), Инга, Орлик) вплоть до 26 июля. За 10 дней до наступления пика паводка (27 июля) больше всего осадков было зафиксировано на метеостанциях Хамар-Дабан (551,7 мм) и Иркутск (обсерватория) (271 мм); меньше всего на метеостанциях Инга (51,2 мм) и Орлик (58 мм).

Атмосферные осадки и уровни воды во время наводнений в июне–июле 2019 г. Катастрофический дождевой паводок произошел в конце июня 2019 г. в западных и центральных районах Иркутской области на левобережных притоках Ангары, реках Ие, Уде, Оке, Бирюсе и привел к человеческим жертвам и огромному материальному ущербу. Пострадало восемь районов области. Были затоплены 109 населенных пунктов, сотни километров автодорог, уничтожены посевы, 22 моста, 10 890 жилых домов, более 11 тыс. приусадебных участков, пострадало 86 социально значимых объектов, 26 человек погибли, 5 — пропали без вести. Основной удар пришелся на Тулун. Поток воды снес целые улицы деревянных домов, а многоэтажные здания затопило до третьего этажа. В Тулуне в зоне затопления оказалось 10 739 чел., 3056 домов, 290 га застройки, в Нижнеудинске — 16 932 чел., 3798 домов. Ущерб оценен в 31,2 млрд руб. [15].

В конце июля 2019 г. прошел второй паводок. В зону затопления попали шесть районов, пострадало 58 населенных пунктов, 5424 чел., 1984 жилых дома, 3207 приусадебных участков. Ущерб от двух паводков оценен в 35,152 млрд руб., из них более 20 млрд — ущерб инфраструктурным и административным объектам, 10,8 млрд — из-за утраты жилья, около 420 млн руб. — потери аграрного комплекса [15].

В 2019 г. превышение Нкр на гидропостах произошло в июне и затем повторно в июле 2019 г. на реках Иркут, Олха, Китой, Белая, Ока, Тагна, Ия, Уда, Бирюса, а также в июле на реках южного побережья оз. Байкал — Солзан, Слюдянка (табл. 2).

Таблица 2
Максимальные превышения (Нмакс) критического уровня воды (Нкр) на реках
во время наводнений в июне–июле 2019 г.

Река — пост	Нкр, см	Нмакс, см	Дата Нмакс	Тип погоды, по [9]
Олха — дер. Олха	210	243	29.07.2019	N
Китой — с. Раздолье	280	266	29.07.2019	N
Белая — пос. Большелельск	680	753	28.06.2019	CSE
Ока — с. Ухтуй	400	560	30.06.2019	S
Тагна — с. Хор-Тагна (приток Оки)	460	444*	28.06.2019	CSE
Ия — г. Тулун	700	1387 1125	29.06.2019 31.07.2019	U N
Уда — с. Алыгджер	500	534	27.06.2019	NE
Уда — дер. Укар	450	640	28.06.2019	CSE
Уда — г. Нижнеудинск	320	507	28.06.2019	CSE
Уда — с. Широково	560	924	29.06.2019	U
Бирюса — г. Бирюсинск	400	554	28.06.2019	A
Бирюса — р. п. Шиткино	600	803	30.06.2019	S
Солзан — г. Байкальск	400	422	28.07.2019	N
Слюдянка — г. Слюдянка	290	322	28.07.2019	N

* Почти достигло Нкр.

Годовые осадки в 2019 г. характеризовались величинами, близкими к среднемноголетним значениям — от 314 мм (74 % от нормы) на метеостанции Тайшет до 687 мм (162 %) на метеостанции Тулун. Осадки за теплый период (май–сентябрь) 2019 г. в основном также были близки к среднемноголетним значениям или ниже их, за исключением трех метеостанций, где они были существенно выше нормы: Тулун (183 %), Нижнеудинск (151 %) и Орлик (134 %).

Осадки за май и июнь характеризуют предварительное увлажнение водосбора перед паводками 27–30 июня. В мае на всех станциях осадков выпало существенно ниже среднемноголетних значений — в среднем 58 % от нормы: от 22 % на метеостанции Орлик до 133 % на метеостанции Тулун. Осадки в июне были выше нормы почти на всех метеостанциях, за исключением двух, расположенных на равнинной территории в устьевых областях крупных водосборов — Тайшет (52 %) и Тасеево (100 %). В среднем превышение нормы за июнь по району с наводнениями составило 163 %. Максимальное превышение нормы зафиксировано на метеостанциях Орлик (бассейны Китой, Иркут, Ока) — 264 % (164 мм), Тулун (Ия) — 256 % (164 мм) и Верхняя Гутара (Уда) — 194 % (172 мм). Осадки за июль по району с наводнениями изменились от 33 (Тайшет) до 229 % от нормы, в среднем составили 137 % от нормы. Наибольшее превышение нормы было отмечено на метеостанциях Хамар-Дабан (бассейны рек Иркут, Солзан, Слюдянка) — 229 % (638 мм), Нижнеудинск (р. Уда) — 212 % (201 мм) и Тулун (р. Ия) — 209 % (182 мм).

Максимальному пику паводка предшествовало несколько небольших подъемов уровня. Уровень в реках Ие и Уде начал подниматься 26 июня. Пик на р. Уде (Нижнеудинск) наблюдался 28 июня, он составил 507 см; пик на р. Ие (Тулун) зафиксирован 29 июня — 1387 см. Резкий спад продолжался в течение нескольких суток, уровень установился на значениях выше предпаводочных (см. рис. 4, б). За первую половину июня выпало значительное количество осадков (29–78 мм). Больше всего осадков пришлось на 11 и 16 июня в Тулуне (32 и 35 мм). Непрерывные осадки начались 23–24 июня и продолжались до 26–28 июня. Всего за 4–6 дней до пика паводка на метеостанциях Тулун, Нижнеудинск, Тайшет Орлик было зафиксировано от 55 до 107 мм осадков.

После перерыва уровня воды в реках начали снова подниматься и превысили критическую отметку на р. Ие второй раз. Уровень в Ие и Уде начал подниматься 27 июля, критические уровни в Ие у Тулуна были превышены с 29 июля по 3 августа. Причиной стали экстремальные осадки 28–29 июля. Зафиксированы исторические максимумы суточных осадков на метеостанциях: Тулун 27 июля — 104,4 мм, Нижнеудинск 26 июля — 85,1 мм. На метеостанции Хамар-Дабан 28 июля выпало 208,8 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В июльском наводнении 1971 г. осадки в бассейне Иркута и на реках Хамар-Дабана были связаны с выходом южного циклона с центром над Монголией (по классификации [9] это был тип погоды С). Стационарирование циклона над районом исследования обусловил блокирующий барический гребень с Тихого океана. Очень сильные осадки были спровоцированы конвективной неустойчивостью, реализации которой способствовал очаг тропосферного холода с севера. В июньском и июльском наводнениях 2019 г. осадки были фронтальные, связанные с высотным циклоном. Фронтальный раздел дифференцировал воздушные массы (холодные и с температурой выше 30 °С). Циклон сформировался за счет отсечения тропосферного очага холода в предшествующий осадкам период. По классификации Дженкинсона и Коллисона это были типы погоды С, NE, N и CSE. В течение двух периодов над районом исследований было высокое содержание потенциально накопленной влаги и восходящих вертикальных движений, которые реализовались в виде сильных осадков. В формирование июньского наводнения дополнительный вклад внесли осадки в середине июня. Усиливающим фактором в июльском наводнении стали достаточно высокие после июньских событий уровни воды в реках и насыщенные влагой почвогрунты.

Работа выполнена в рамках темы НИР (AAAA-A21-121012190059-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кичигина Н.В.** Опасность паводочных наводнений в бассейнах левых притоков Ангары // География и природ. ресурсы. — 2020. — Т. 41, № 4. — С. 45–55. — DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2020-4(45-55)
2. **Кичигина Н.В.** Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природ. ресурсы. — 2018. — 2. — С. 41–51.

3. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. — <https://gmvo.skniivh.ru> (дата обращения 26.06.2024).
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. — Л.: Гидрометеоиздат, 1972. — Т. 16, вып. 2. — 586 с.; 1973. — Т. 16, вып. 3. — 400 с.
5. Осипова О.П. Синоптические условия формирования катастрофических паводков в Иркутской области в 2019 году // География и природ. ресурсы. — 2020. — Т. 41, № 4. — С. 56–65.
6. Rolph G., Stein A., Stunder B. Real-time Environmental Applications and Display system: READY // Environmental Modelling & Software. — 2017. — Vol. 95. — P. 210–228.
7. Stein A., Draxler R., Rolph G., Stunder B., Cohen M. NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system // Bulletin of the American Meteorological Society. — 2015. — Vol. 96. — P. 2059–2077.
8. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bulletin of the American Meteorological Society. — 1996. — Vol. 77. — P. 437–471.
9. Jenkinson A.F., Collison F.P. An Initial Climatology of Gales over the North Sea // Synoptic Climatology Branch Memorandum. — 1977. — Vol. 62. — P. 18.
10. Jones P.D., Hulme M., Briffa K.R. A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme // Intern. Journ. of Climatology. — 1993. — Vol. 13. — P. 655–663.
11. Jones P.D., Harpham C., Briffa K.R. Lamb weather types derived from reanalysis products // Intern. Journ. of Climatology. — 2013. — Vol. 33. — P. 1129–1139.
12. Spellman G. An assessment of the Jenkinson and Collison synoptic classification to a continental mid-latitude location // Theoretical and Applied Climatology. — 2017. — Vol. 128. — P. 731–744.
13. Osipova O.P., Osipov E.Y. Objective classification of weather types for the Eastern Siberia over the 1970–2020 period using the Jenkinson and Collison method // Atmospheric Research. — 2022. — Vol. 277. — P. 106291.
14. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3: Многолетние данные.— Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — Ч. 1–6, вып. 22. — 590 с.
15. Цена наводнения // Interfax-Russia.ru (23 авг. 2019 г.) [Электронный ресурс]. — <http://www.interfax-russia.ru/Siberia/view.asp?id=1058665> (дата обращения 26.05.2023).

Поступила в редакцию 19.07.2024

Посте доработки 13.08.2024

Принята к публикации 31.10.2024