

О.П. ОСИПОВАИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, olga@irigs.irk.ru**СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПАВОДКОВ
В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ В 2019 ГОДУ**

Представлены результаты исследований синоптических процессов, наблюдавшихся в периоды наводнений на юге Иркутской области (20–30 июня, 25–30 июля 2019 г.). Проведен комплексный синоптический анализ для выявления основных причин экстремально высоких значений осадков в районе городов Тулуна и Нижнеудинска летом 2019 г. С 25 по 29 июня в южных районах Иркутской области отмечались сильные и очень сильные осадки в количестве 31–81 мм за 12 ч, а также продолжительные сильные осадки — 136 мм за 36 ч. 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. Установлено, что основные факторы, определившие интенсивность катастрофических паводков, следующие: мощный высотный циклон; блокирующий высотный меридиональный гребень над Восточной Сибирью; малоподвижный холодный атмосферный фронт; поступление в район исследований контрастных воздушных масс (теплых субтропических, холодных и влажных с юга Западной Сибири; восточных — с побережья Охотского моря). Указанные направления переноса воздушных масс были определены по данным анализа 5-дневных обратных траекторий HYSPLIT. Над исследуемой территорией выявлены очаги высокого содержания потенциально накопленной влаги и поля восходящих вертикальных движений. Причиной резкого обострения фронта и усиления осадков могли стать местные особенности рельефа, которые способствовали формированию орографических восходящих вертикальных токов, что привело к развитию вынужденной конвекции в предгорьях. Сделан вывод, что в оба периода наводнений выпавшие осадки имели фронтальное происхождение.

Ключевые слова: синоптические процессы, циклон, блокирующий высотный гребень, кольцевые карты погоды, фронтальные осадки, обратные траектории HYSPLIT.

O.P. OSIPOVAV.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, olga@irigs.irk.ru**SYNOPTIC CONDITIONS OF CATASTROPHIC FLOODS
IN IRKUTSK REGION IN 2019**

Presented are the results from investigating the synoptic processes observed during the floods in the south of Irkutsk region (June 20–30 and July 25–30, 2019). A comprehensive synoptic analysis was conducted to identify the main causes of extreme high precipitation amounts in the area of Tulun and Nizhneudinsk in summer 2019. During June 25–29, the southern areas of Irkutsk region showed heavy and very heavy precipitation, with its amounts within 31–81 mm in 12 h, as well as long-lasting heavy precipitation (136 mm in 36 h). The maximum rainfall was observed in the territories of Nizhneudinskii (106–140 mm) and Tulunskii (85–218 mm) districts, which amounted to 1.5 and 4 normal monthly values, respectively. It was established that the main factors determining intensity of the catastrophic floods were: 1) a powerful truncated cyclone; 2) a blocking truncated meridional ridge over Eastern Siberia; 3) a slow-moving cold atmospheric front, 4) advection of contrasting air masses to the study area (warm subtropical and cold and humid masses from the south of Western Siberia, and easterly masses ones from the coast of the Sea of Okhotsk). The aforementioned directions of the transport of air masses were determined by analyzing the HYSPLIT 5-day backward trajectories. Foci of high content of potentially accumulated moisture and fields of upward vertical air movements were identified over the study area. An intensification of the frontogenesis and an enhancement of precipitation could be caused by local orographic features contributing to the formation of orographic upward vertical flows, gave rise to a forced convection in the foothill areas. It is concluded that the two flood events were forced by precipitation of frontal origin.

Keywords: synoptic processes, cyclone, blocking truncated ridge, weather maps, frontal precipitation, HYSPLIT backward trajectories.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия отмечается увеличение числа катастрофических паводков во многих регионах России. Один из основных факторов, влияющих на рост количества наводнений и других стихийных бедствий, связанных с осадками, — циркуляция атмосферы. Характерный для настоящего времени, максимальный за весь период наблюдений межширотный обмен воздушных масс способствует высокой повторяемости и интенсивности метеорологически обусловленных опасных природных процессов [1]. Происходит частая смена воздушных масс с различным температурным режимом, усиливается меридиональная составляющая в виде арктических вторжений и южных циклонов.

Летом в Сибири у поверхности земли преобладает барическое поле пониженного давления со слабыми ветрами. При интенсивном развитии высотных гребней и ложбин устанавливаются летние типы циркуляции, для которых характерно блокирование зонального потока [2, 3]. Взаимосвязи между повторяемостью атмосферных блокировок и количеством осадков в летний период над Сибирью исследованы в работах [4, 5]. Эпизоды блокирования связаны с меридиональными формами циркуляции, повторяемость которых в последние годы увеличивается [6].

Территория исследований расположена в континентальной части Азии, на юге Восточной Сибири (юг Иркутской области, район городов Тулуна ($54^{\circ}56'$ с. ш. $100^{\circ}58'$ в. д.) и Нижнеудинска ($54^{\circ}90'$ с. ш. $99^{\circ}03'$ в. д.)). В конце июня и июля 2019 г. здесь прошли две волны экстремальных осадков, спровоцировавших катастрофический паводок на реках Ие и Уде. Значительная часть водосборов рек расположена в горах Восточного Саяна. Поскольку в горах нет метеостанций, то очень трудно оценить количество выпавших там осадков. Погодные условия, преобладающие атмосферные процессы летнего периода в горах Восточного Саяна исследовались в работах [7–9]. Наводнения в бассейнах указанных рек повторяются регулярно, их опасность определена как «очень высокая» [10]. Наводнения с превышением опасного уровня 850 см за последние полвека фиксировались трижды: в 1980, 1984, 2006 гг. Летом 2019 г. предыдущие рекордные превышения опасного уровня были дважды перекрыты. Цель настоящей работы — проведение комплексного синоптического анализа для выявления основных причин экстремально высоких значений осадков на юге Иркутской области летом 2019 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Период исследования включал два наводнения — последнюю декаду июня (20–30.06.2019) и конец июля (25–30.07.2019). 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 строились композитные карты за разные периоды (<https://www.esrl.noaa.gov>). Краткий обзор синоптических и погодных условий в Иркутской области за 20–30 июня и 22 июля – 2 августа 2019 г. был предоставлен Иркутским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для синоптического анализа использовались также приземные и кольцевые карты погоды. Для анализа направлений переноса воздушных масс, поступавших в район исследования, применялась модель обратных траекторий HYSPLIT (<http://ready.arl.noaa.gov/hypub-bin/trajsrc.pl>) [11, 12]. Строились 120-часовые обратные траектории для трех уровней, соответствующих: приземному слою — 500 м, нижней тропосфере — 1500 м, средней тропосфере — 5500 м. В качестве исходного пункта выбрана точка с координатами ($\varphi = 53^{\circ}$ с. ш., $\lambda = 100^{\circ}$ в. д.), соответствующая центру района исследований. Обратные траектории показывали, откуда перемещались воздушные массы в течение пяти суток, предшествующих выбранной дате. В качестве метеорологического архива модели использовались данные реанализа NCEP/NCAR [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности синоптической ситуации в июне 2019 г. (первый паводок). В первых двух декадах июня 2019 г. над Восточной Сибирью наблюдался активный циклогенез. Через район исследований прошли два циклона, принесшие большое количество осадков, которые вызвали подъем уровня воды до 2 м в Тулуне и Нижнеудинске. В третьей декаде в результате взаимодействия приполярных и тихоокеанских антициклонов формировались блоки высокого давления. В средней тропосфере положение планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) отклонялось от нормы к северу на 10° [14].

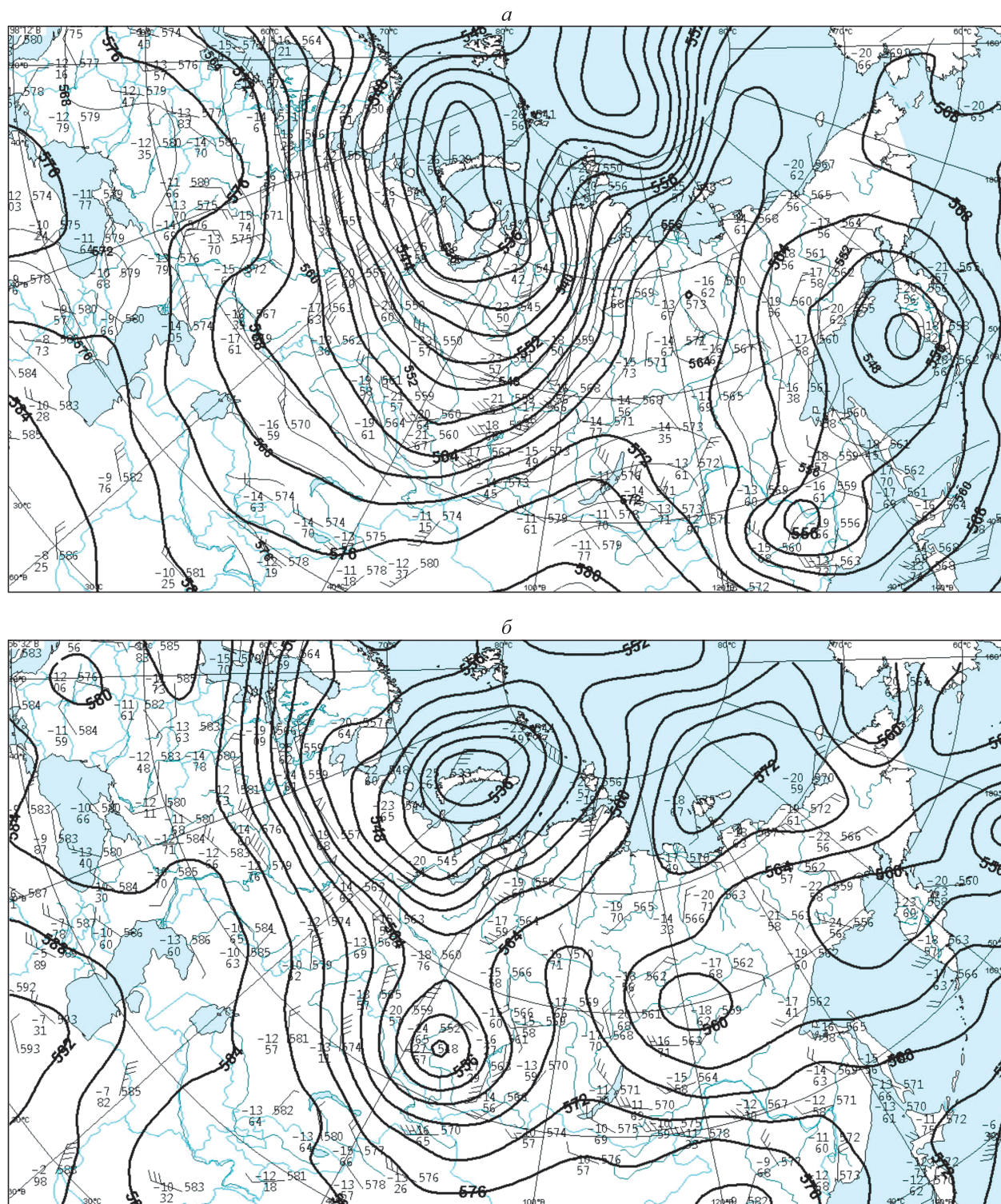


Рис. 1. Карта барической топографии АТ-500. 00 ч ВСВ.

a — 20.06.2019, *b* — 24.06.2019.

В средней тропосфере 20 июня 2019 г. поле давления над Восточной Сибирью было представлено высотным меридиональным гребнем большой амплитуды, со слабыми градиентами давления вдоль оси, простирающимся от южных районов Монголии до побережья Северного Ледовитого океана (Восточно-Сибирского моря). Над Уралом и Западной Сибирью наблюдалась такая же протяженная ложбина от циклона с центром над Новой Землей (рис. 1, *a*). На картах используется аббревиатура ВСВ (всемирное согласованное время, совпадающее со временем по Гринвичу).

Используя синоптические критерии блокирования, можно предположить, что меридиональный высотный гребень над Восточной Сибирью имел характер блокирующего [15, 16]. Во-первых, он был теплым в верхних слоях тропосферы; во-вторых, обладал большой пространственной амплитудой; в-третьих, имел точку расщепления потока, которая находилась над Западным Саяном. Вследствие последнего фактора, над районом паводка сформировалась дельта ВФЗ (высотной фронтальной зоны), что привело к падению давления у поверхности земли и формированию циклонического поля. В последующие два дня наблюдалось смещение высотного гребня из района Байкала к юго-востоку и распространение на исследуемую территорию циклонической циркуляции в нижней половине тропосферы.

На изобарической поверхности 850 гПа с 20 по 23 июня над Восточной Сибирью стационарировала теплая сухая воздушная масса. К западу от высотного гребня наблюдалась активная циклоническая деятельность в средней тропосфере, при этом обширная высотная, холодная ложбина была ориентирована на юг Восточной Сибири и Казахстан, что способствовало проникновению холодных и влажных воздушных масс в район исследования.

У поверхности земли 21–22 июня сохранялось малоградиентное поле повышенного давления, однако уже в конце суток 23 июня произошла перестройка приземного поля, связанная с распространением ложбины с юга. В средней тропосфере 24 июня сохранялся высотный гребень небольшой амплитуды, ориентированный на Байкал, а над югом Западной Сибири в очаге холода образовался отсеченный высотный циклон (см. рис. 1, *b*). Процесс отсечения был спровоцирован двусторонней адвекцией тепла в нижней и средней тропосфере при одновременном ослаблении градиентов в высотной ложбине, в которой формировался очаг холода. Процесс отсеченного циклогенеза не является редким, и в летний период над различными частями Евразии может формироваться несколько высотных циклонов, связанных с отсечением очага холода в средней тропосфере [17]. Период жизни высотных циклонов в среднем трое суток, в течение которых происходит выравнивание температуры в очаге холода с окружением, но в особо интенсивных случаях, при активной циклонической деятельности у поверхности земли, высотный циклон может развиваться по площади, превратившись в центральный циклон, период жизни которого достигает 5–7 сут.

В нижних слоях тропосферы (850 гПа) сформировался обширный циклон с центром над севером Монголии. Территория, где расположены Тулун и Нижнеудинск, оказалась на северной периферии циклона под влиянием восточных, северо-восточных, а потом и северных воздушных потоков. Воздушные потоки были ориентированы почти под прямым углом к горной гряде Восточных Саян, что способствовало усилению восходящих вертикальных движений в системе циклона за счет влияния орOGRAPHии, а также могло вызвать вынужденную конвекцию в потоках, натекающих на горные склоны.

В это же время в тылу ложбины на Западную Сибирь с Баренцева моря смещался влажный холодный воздух, и днем 24 июня холодный атмосферный фронт с температурными контрастами 8–11°/500 км подошел к западу Иркутской области. Через исследуемый район 25–26 июня у поверхности земли в глубокой ложбине, ориентированной с юго-востока, проходил малоподвижный холодный атмосферный фронт с волной в районе Тулуна (рис. 2), который также испытывал интенсификацию за счет орографических восходящих вертикальных токов.

Сочетание динамических процессов сформировало в условиях циклонической циркуляции обширную зону интенсивных восходящих движений во всей тропосфере, центр которой находился в районе бассейна рек Уды и Ии 24–26 июня и ослабел только 27 июня.

На изобарической поверхности 850 гПа термическое поле над Байкалом претерпело значительное изменение. После прохождения холодного атмосферного фронта на территории исследования наблюдался сильный заток холодного воздуха. Большую роль в интенсификации осадков играет конвективная неустойчивость, для реализации которой существуют благоприятные условия именно в очагах тропосферного холода. Для формирования интенсивных осадков, кроме восходящих движений, необходимо также значительное влагосодержание атмосферы. В исследуемом районе уже в начале периода за счет предшествующих синоптических процессов образовался очаг высокого содержания

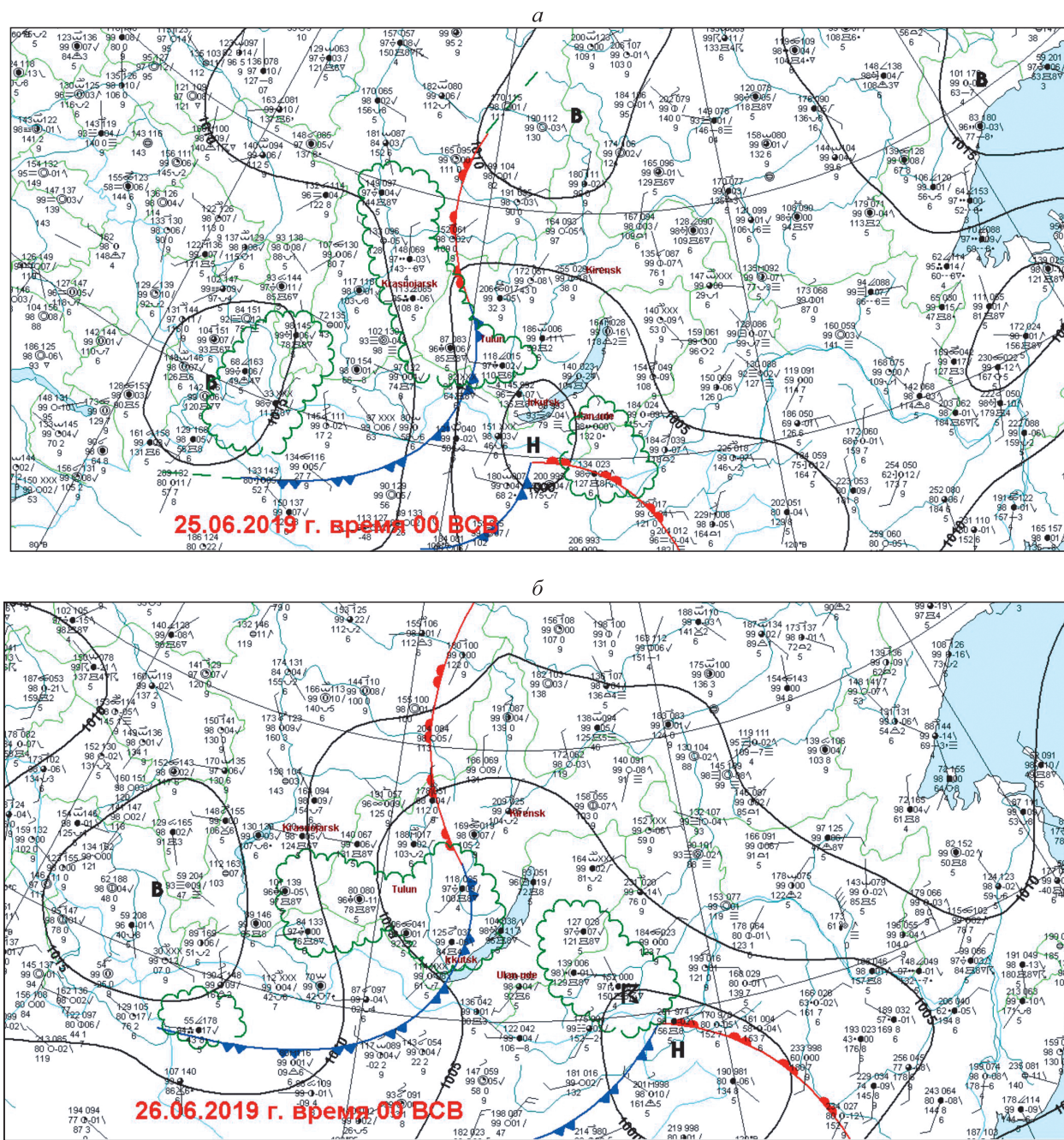


Рис. 2. Приземный анализ (кольцевые карты погоды). 00 ч ВСВ.

а — 25.06.2019, б — 26.06.2019. Н — низкое атмосферное давление (циклон), В — высокое атмосферное давление (антициклон).

потенциально накопленной влаги (PW), с максимумом свыше 33 мм. Потенциально накопленная влага при благоприятных условиях (восходящих вертикальных движениях) выпала в виде сильных осадков. В западных, центральных и южных районах области с 25 по 29 июня отмечались сильные, очень сильные (31–81 мм за 12 ч), продолжительные сильные осадки (136 мм за 36 ч). 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. Осадки были фронтальные, они спровоцировали катастрофический дождевой паводок.

27 июня фронтальные системы отсутствовали, на изобарической поверхности 850 гПа над районом исследования сохранялся очаг холода. Смещение высотного циклона к юго-востоку и развитие высотного гребня 27–28 июня привело к формированию нисходящих вертикальных движений, размыванию облачности и прекращению осадков.

Таким образом, основные особенности синоптических процессов, приведших к катастрофическому дождевому паводку 28–30 июня, следующие.

1. Развитие высотного циклона за счет отсечения тропосферного очага холода в предшествующий осадкам период.

2. Блокирующий малоподвижный высотный меридиональный гребень над Восточной Сибирью, который сформировал условия для меридионального переноса и накопления холодного и влажного воздуха на юге Западной Сибири.

3. Малоподвижный холодный атмосферный фронт с волной в районе Тулуна (скорость фронта в приземном слое атмосферы 20–25 км/ч). Фронтальный раздел, четко разделивший воздушные массы (холодные и с температурой выше 30 °С).

4. Формирование в предшествующий период у поверхности земли в исследуемом районе поля пониженного давления под дельтой ВФЗ, которое впоследствии взаимодействовало с высотным циклоном с образованием обширной зоны восходящих вертикальных движений.

5. Формирование над районом исследований за счет предшествующих синоптических процессов очага высокого содержания потенциально накопленной влаги — осажденной воды (PW), которая при взаимодействии с восходящими вертикальными движениями выпала в виде сильных осадков.

6. Местные особенности рельефа, способствовавшие формированию орографических восходящих вертикальных токов в нижнем (1,5–2 км) слое в натекающем под большим углом к горной гряде северо-восточном потоке, что привело к развитию вынужденной конвекции в предгорьях, обострению фронта и усилению осадков.

Обзор синоптических процессов 25–30 июля 2019 г. (второй паводок). С 25 июля в средней тропосфере над Иркутской областью стационарировал антициклон. Он был заполнен теплым воздухом на высотах, однако в нижней тропосфере отмечалось распространение барической и термической ложбины с запада. Этот процесс способствовал усилению неустойчивости воздушной массы в области ложбины холода в поле пониженного давления в районе исследования, о чем свидетельствуют грозы и ливневые дожди разной интенсивности, отмеченные на кольцевой карте погоды (рис. 3, а). 26 июля происходило развитие глубокой высотной ложбины, ориентированной с севера на юг Красноярского края, над Республикой Тыва и Тункинской долиной (Республики Бурятия). Ложбина распространялась к югу и юго-востоку с одновременной изоляцией тропосферного очага холода, что привело к образованию высотного циклона малого диаметра. Распространение холодной воздушной массы у поверхности земли проявилось в обострении холодного фронта, который переместился с запада в область малоградиентного циклонического поля над Байкалом, что привело к его регенерации, углублению и оформлению в циклон (см. рис. 3, б).

В области циклона при объединении приземного и высотного циклонических полей сформировался очаг интенсивных восходящих вертикальных движений, который в течение рассматриваемого периода смещался с запада на восток и непосредственно над районом исследования оказался 27–29 июля. Холодный атмосферный фронт с температурными контрастами на изобарической поверхности 850 гПа 8–10°/500 км с 26 по 29 июля смещался медленно (скорость 12–18 км/ч). На скорость смещения влияли блокирующие барический и термический гребни в средней тропосфере, над севером Иркутской области и Забайкальским краем. Что касается влагосодержания атмосферы, то очаг высокого содержания осажденной влаги в течение всего периода располагался несколько севернее территории исследования, однако 26–29 июля над бассейнами рек общее количество влаги в столбе воздуха достигало 26–30 мм (рис. 4), что реализовалось при восходящих движениях в интенсивные осадки.

В этот период в западных, южных и центральных районах области выпадали сильные (15–43 мм), очень сильные (30–150 мм за 12 ч), продолжительные сильные (103–123 мм за 24–35 ч) дожди. На территории Тулунского района выпало 122–136 мм (106–143 % от месячной нормы), в Нижнеудинске — 112 мм осадков (108 % от месячной нормы).

В отличие от синоптического процесса в июне, отсеченный очаг холода в июле не был интенсивным, а к западу от рассматриваемой территории осуществлялся активный антициклогенез: приземный

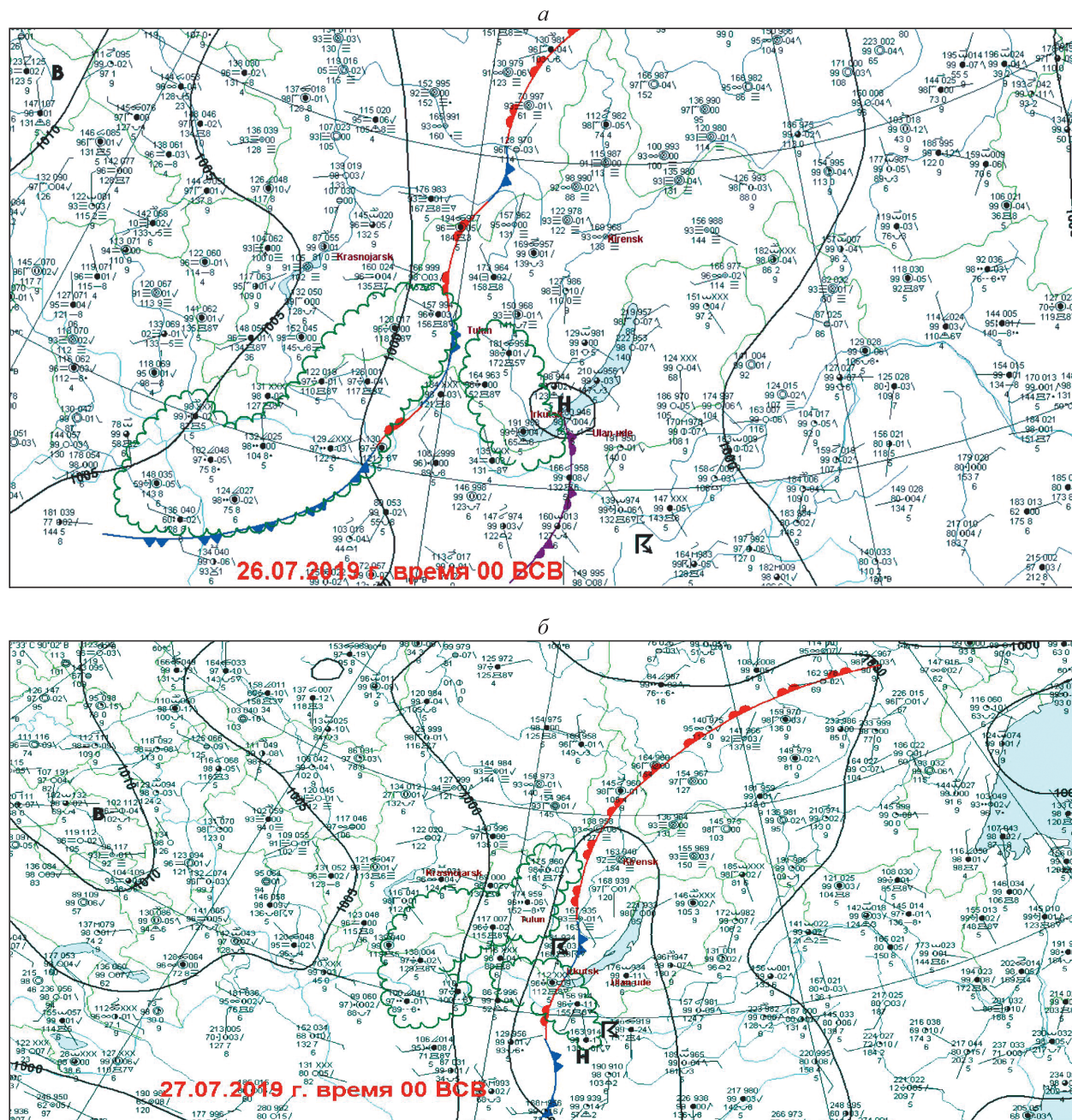


Рис. 3. Приземный анализ (кольцевые карты погоды). 00 ч ВСВ.

а – 26.07.2019, б – 27.07.2019.

антициклон и соответствующий ему высотный гребень развивались над югом Западной Сибири. В результате высотный циклон быстро сместился к востоку и 28 июля находился над Южным Забайкалем. Заток холода в высотный циклон окончательно прекратился 29 июля, когда высотный гребень вытянулся с юга Западной Сибири на бассейн р. Лены и отсек высотный циклон термическим гребнем. У поверхности земли и в пограничном слое атмосферы 28–29 июля район бассейнов рек Уды и Ии находился под влиянием переходной зоны повышенных градиентов между усиливающимся антициклоном на западе и циклоном над Байкалом. Переходная зона обычно характеризуется конвективной неустойчивостью за счет адвекции холода. Облачный вихрь в этот период начал распадаться на от-

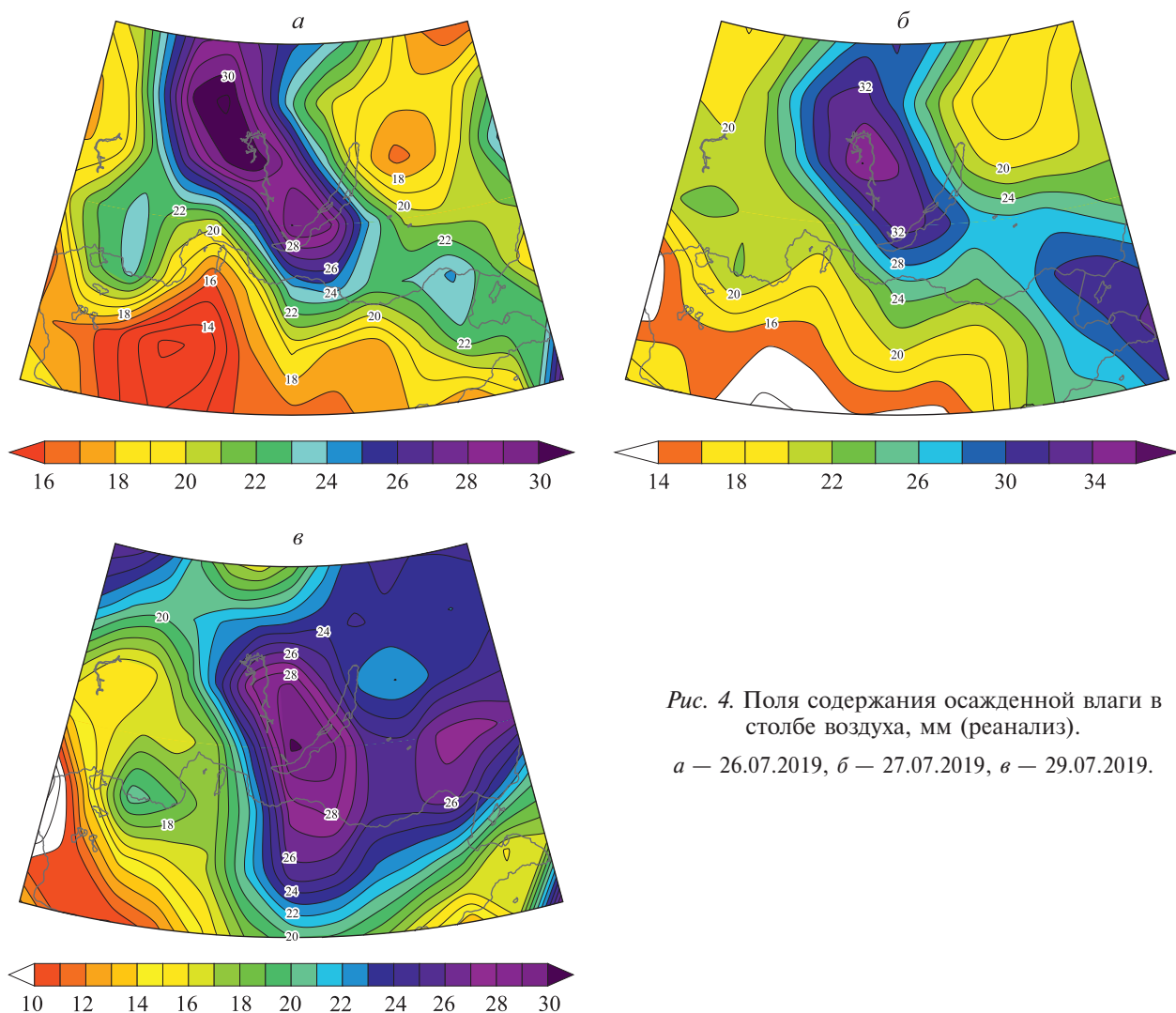


Рис. 4. Поля содержания осажденной влаги в столбе воздуха, мм (реанализ).
 а — 26.07.2019, б — 27.07.2019, в — 29.07.2019.

дельные элементы, в которых прослеживались отдельные очаги конвекции. 30 июля над югом Восточной Сибири и Байкалом наблюдались формирование высотного гребня и рост давления у поверхности земли, что привело к заполнению циклона и смещению его на Хабаровский край и Дальний Восток.

HYSPPLIT-анализ траекторий воздушных масс. Для определения преобладающих направлений осадкоформирующих воздушных потоков, поступающих в район исследований, использовалась модель обратных траекторий HYSPPLIT. Для июня траектории построены для даты 25.06.2019, а для июля — 27.07.2019 (рис. 5). В предшествующие сильным осадкам пять суток воздушные массы в нижней и средней тропосфере перемещались в район исследования с юго-запада, в том числе из субтропических районов Средней Азии, тогда как в приземном слое — из районов юга Западной Сибири (см. рис. 5, а). Такое направление перемещения воздушных масс соответствует высотному полю давления — передней части высотного гребня, располагавшегося над Восточной Сибирью.

Для июля ситуация с переносом воздушных масс несколько иная: их перемещение происходило на разных уровнях из разных районов (см. рис. 5, б). В предшествующие 27 июля 2019 г. пять суток в приземном слое воздух перемещался с востока, с побережья Охотского моря. В нижней тропосфере воздушная масса циркулировала в районе исследования с небольшими скоростями (не преобразовывалась за счет адвекции), а в средней тропосфере присутствовал интенсивный западно-восточный перенос, с которым поступал трансформированный над континентом воздух.

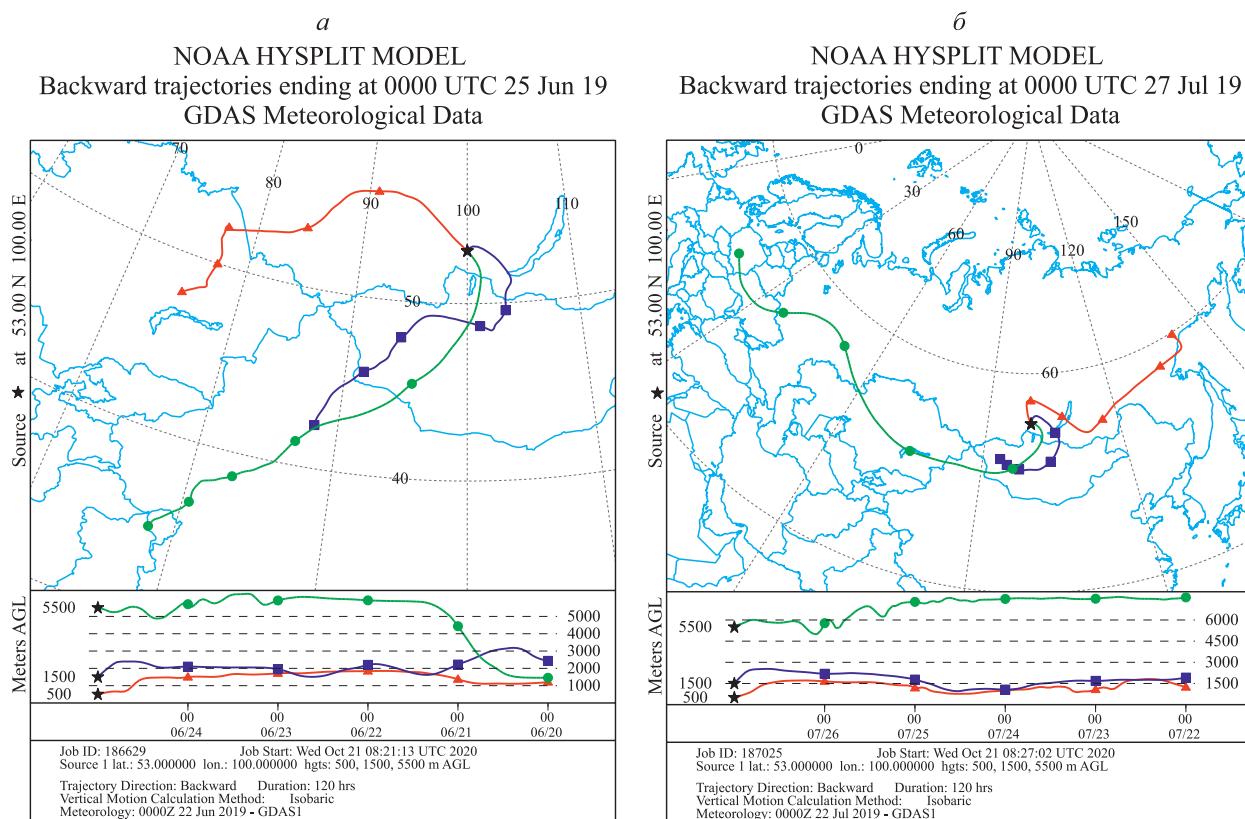


Рис. 5. Обратные траектории перемещения воздушных масс на уровнях 5500 м (зеленая линия), 1500 м (синяя), 500 м (красная). 00 ч ВСВ.

a — 25.06.2019, *б* — 27.07.2019.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из основных причин экстремально высоких значений осадков на юге Иркутской области летом 2019 г. стали особенности развития синоптических процессов. Интенсификация осадков в первом паводке связана с активным участием во фронтальных процессах термически контрастных воздушных масс. И в июньском, и в июльском периодах катастрофических паводков осадки были фронтальные, связанные с высотным циклоном, сформировавшимся в меридионально ориентированной глубокой ложбине. В обоих случаях это был малоподвижный холодный атмосферный фронт, который медленно смещался в приземном слое над территорией исследования (скорость 20–25 км/ч — первый паводок, 12–18 км/ч — второй паводок). В течение обоих периодов над районом исследований за счет предшествующих синоптических процессов наблюдалось формирование очага высокого содержания потенциально накопленной влаги (до 33 мм) и упорядоченных восходящих вертикальных движений, которые в тандеме реализовались в виде сильных осадков.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института географии СО РАН (FUGS-2019-0003, АААА-А17-117041910172-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононова Н.К. Особенности циркуляции атмосферы Северного полушария в конце XX—начале XXI века и их отражение в климате // Сложные системы. — 2014. — № 2 (11). — С. 13–41.
2. Садоков В.П. Распределение блокирующих образований в средней тропосфере Северного полушария // Метеорология и гидрология. — 2011. — № 4. — С. 42–47.

3. **Мохов И.И., Тимажаев А.В.** Атмосферные блокирования и изменения их повторяемости в XXI веке по расчетам с ансамблем климатических моделей // Метеорология и гидрология. — 2019. — № 6. — С. 5–17.
4. **Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Martynova Yu.V., Mordvinov V.I.** The impact of atmospheric blocking on spatial distributions of summertime precipitation over Eurasia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2016. — Vol. 48 [Электронный ресурс]. — <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/48/1/012035> (дата обращения 10.02.2020).
5. **Антохина О.Ю.** Атмосферные осадки в бассейне реки Селенга и крупномасштабная циркуляция атмосферы над Евразией в июле // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 4. — С. 104–115.
6. **Второй** оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М.: Росгидромет, 2014 [Электронный ресурс]. — <http://climatechange.igce.ru> (дата обращения 10.02.2020).
7. **Osipova O.P., Osipov E.Y.** Relationship between recent climate change, ablation conditions of glaciers of the East Sayan Range, Southeastern Siberia, and atmospheric circulation patterns // Environmental Earth Science. — 2015. — Vol. 74 (3). — P. 1947–1956.
8. **Osipova O.P., Osipov E.Y.** Relationship between glacier melting and atmospheric circulation in the southeast Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017. — Vol. 107 [Электронный ресурс]. — <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/107/1/012039/pdf> (дата обращения 05.02.2020).
9. **Osipova O.P., Osipov E.Y.** Meteorological regime of the glacier N 18 (the Peak Topografov massiv, East Sayan range) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — Vol. 381 [Электронный ресурс]. — <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/381/1/012071> (дата обращения 10.02.2020).
10. **Кичигина Н.В.** Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природ. ресурсы. — 2018. — № 2. — С. 41–51.
11. **Rolph G., Stein A., Stunder B.** Real-time Environmental Applications and Display system: READY // Environmental Modelling & Software. — 2017. — Vol. 95. — P. 210–228.
12. **Stein A., Draxler R., Rolph G., Cohen M.** NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 2015. — Vol. 96. — P. 2059–2077.
13. **Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D.** The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bull. Am. Meteorol. Soc. — 1996. — Vol. 77. — P. 437–471.
14. **Бережная Т.В., Голубев А.Д.** Аномальные гидрометеорологические явления на территории Российской Федерации в июне 2019 г. // Метеорология и гидрология. — 2019. — № 9. — С. 125–136.
15. **Barriopedro D., Garcia-Herrera R.** A Climatology of Northern Hemisphere Blocking // Journ. of Climate. — 2006. — Vol. 19, N 6. — P. 1042–1063.
16. **Masato G., Hoskins B.J., Woollings T.J.** Wave-breaking characteristics of midlatitude blocking // Quarterly Journ. of the Royal Meteorological Society. — 2011. — Vol. 138, N 666. — P. 1285–1296.
17. **Билялов Р.Б.** О движении замкнутых областей тепла и холода в тропосфере и нижней стратосфере // Труды Среднеазиат. регион. науч.-исслед. гидромет. ин-та. — 1975. — Вып. 24 (105). — С. 175–181.

Поступила в редакцию 20.02.2020

После доработки 20.03.2020

Принята к публикации 25.06.2020