

УДК 551.50

Т.А. Матвеева<sup>1</sup>, Д.Ю. Гущина<sup>2</sup>, К.П. Колтерманн<sup>3</sup>

## ФАКТОРЫ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ В УСТЬЯХ РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ<sup>4</sup>

Рассмотрены синоптические ситуации и метеорологические условия, сопровождающие нагонные, стоковые и заторные наводнения в устьях рек в Балтийской, Беломорской, Баренцевоморской, Каспийской и Черноморской природно-экономических зонах побережья. Выявлены синоптические предикторы, сопровождающие каждый тип наводнений: для нагонных — устойчивое длительное ветровое воздействие, направление ветра, перпендикулярное к руслу реки, расположение устья реки на периферии интенсивной циклонической депрессии; для стоковых — наличие интенсивной фронтальной зоны, выпадение обильных осадков, резкие скачки температуры; для заторных — наличие интенсивной зонально расположенной фронтальной зоны со значительным градиентом температуры в направлении юга на север. Оценены изменения повторяемости стоковых наводнений в Черноморской зоне Кавказа в условиях потепления климата. Показано, что в этом регионе в зимний период вероятность возникновения интенсивной фронтальной зоны, а следовательно, и вероятность выпадения обильных осадков, приводящих к наводнению, уменьшается. В летний период, напротив, риск возникновения стоковых наводнений при более теплом климате растет.

*Ключевые слова:* наводнения в устьях рек, синоптическая ситуация, изменения климата.

**Введение.** Наводнения известны с древних времен, по мере развития общества размеры причиняемого ими ущерба стремительно увеличиваются. Наводнения в устьях рек наносят огромный ущерб экономике и сельскому хозяйству, представляют серьезную опасность для населения, поэтому вопрос о прогнозировании этих опасных гидрологических явлений представляет собой актуальную научную задачу. Так как в большинстве случаев к наводнениям приводят аномальные погодные явления, необходимы анализ и обобщение синоптических ситуаций, сопровождающих наводнения в устьях рек.

**Постановка проблемы.** Выделяется несколько типов наводнений в устьях рек: нагонные, стоковые и заторные. Нагонные наводнения связаны с действием ветра, запирающим течение реки и тем самым вызывающим подъем уровня воды в ней. Наиболее изучены из них невские наводнения — классический пример нагонных наводнений, им посвящено множество работ, в которых описан механизм образования этого типа наводнений [1, 4, 7, 13]. Наводнения на р. Преголя в Калининградской области — другой реке Северо-Западного региона — изучены сравнительно мало, поэтому их рассмотрение представляет интерес для исследования. Характеристики нагонных наводнений на реках южной части России отражены в работах [12, 16] и др.

Под стоковыми наводнениями подразумевают несколько принципиально разных по механизму формирования типов наводнения. Достаточно часто встречающийся вид стокового наводнения — наводнение, возникающее вследствие половодья — возрастающего притока воды в речное русло при весеннем таянии снега на равнинных водохранилищах в умеренном поясе, а также таяния снегов и ледников в горах в весенне-летний период. На формирование и прохождение половодья значительно влияют резкое и стабильное повышение температуры воздуха весной и запас воды в снежном покрове перед началом весеннего таяния [6, 11].

Не менее распространенный вид стокового наводнения — паводковое, возникающее вследствие обильных дождей. Подробно наводнения этого типа в устьях рек южной части России рассмотрены в работах [5, 10].

Еще один тип наводнений в устьях рек — заторные наводнения. Затор представляет собой многослойное скопление льдин в русле реки, образовавшееся во время подвижки или ледохода и вызывающее стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды. Работ, посвященных этому типу наводнений, достаточно много (например, [3]), но метеорологические условия возникновения этого типа опасных гидрологических явлений изучены очень слабо. В статье классифицированы синоптические ситуации

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, студентка; e-mail: matania\_777@mail.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, вед. науч. с., доцент, канд. геогр. н.; e-mail: dasha155@mail.ru

<sup>3</sup> Beisitzer für das Fachgebiet Physikalische Ozeanographie; e-mail: peter.koltermann@gmail.com

<sup>4</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ для поддержки научных исследований, проводящихся под руководством ведущих ученых (договор № 11.G.34.31.0007 от 30.11.2010 “Мегагрант”).

и дана оценка метеорологических условий, сопровождающих наводнения в устьях рек.

В связи с постоянно меняющимся климатом изменяются и метеорологические условия в устьях рек на европейской территории России, что в свою очередь может приводить к изменению повторяемости наводнений. Нами выполнены первые оценки таких изменений для рек Черноморского побережья Кавказа.

**Материалы и методы исследований.** Для решения поставленных задач использован метод синоптико-фронтологического анализа по данным системы ГИС-Метео (доступны с 1997 г.). База ГИС-Метео включает информацию обо всем комплексе метеопараметров с временной дискретностью 3 ч. Для более раннего периода использован архив станционных данных, подготовленный П.А. Тороповым и охватывающий период с 1936 г., а также данные реанализа NCEP/NCAR, разработанного в Климатическом диагностическом центре NOAA—ESRL на основе данных наблюдений с 1948 г. по настоящее время ([URL: http://www.esrl.noaa.gov](http://www.esrl.noaa.gov)). Календарь наводнений предоставлен Д.В. Магрицким, сотрудником кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ.

Для всех случаев наводнений построены синоптические карты, как для приземного слоя, так и для свободной атмосферы. Исследовано распределение давления на уровне моря и температуры на изобарической поверхности 850 гПа, высоты геопотенциала для изобарической поверхности 500 гПа, а также данные метеорологического локатора (по данным ГИС-Метео). Для наводнений разного типа дополнительно проанализированы метеорологические параметры, определяющие механизм их формирования: для нагонных — скорость и направление ветра на высоте 10 м, для стоковых — распределение осадков, облачности и температуры, для наводнений с ледниковым питанием — карты полей распределения температуры воздуха у поверхности. В зависимости от типа наводнения карты построены с разным времененным интервалом: от 3 до 24 ч.

Для оценки изменения повторяемости наводнений в условиях меняющегося климата использованы данные немецкой климатической модели ECHAM5/MPI-OM (Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany) по двум экспериментам:

1) Climate of the 20th Century Experiment (20C3M) — данные для периодов 1961—1980 и 1981—2000 гг., максимально приближенные к реальным климатическим условиям за это время;

2) SRES A2 experiment — данные для периода 2046—2065 гг., рассчитанные в случае реализации климатического сценария A2, соответствующего удвоению концентрации углекислого газа к концу XXI в.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Рассмотрим синоптические ситуации и метеорологические условия, сопровождающие основные типы наводнений в устьях рек.

**Нагонные наводнения.** Случаи катастрофических нагонных наводнений изучены для Балтийской, Бе-

ломорской, Каспийской и Азовской природно-экономических зон побережья. Наиболее сильные и частые нагонные наводнения отмечаются в устье Невы (28—29 сентября 1975 г., 30 ноября 1999 г., 8 января 2005, 28 октября 2006 г., 10 января 2007 г.). Их механизм достаточно хорошо изучен. Основной метеорологической причиной считается прохождение циклонов над акваторией Балтийского моря, центры которых находились северо-западнее Санкт-Петербурга [15]. На южной периферии таких циклонов возникают западные ветры, которые выводят из равновесия водные массы Балтийского моря и формируют длинную волну, движущуюся в направлении устья Невы, где она сталкивается с естественным течением реки [1, 7]. Длинная волна пробегает залив за 7—9 ч. Если в течение этого времени нет ветра или он очень слабый, то волна распространяется только под действием силы тяжести, т.е. как свободная волна. За счет свободной длинной волны в устье Невы возможен подъем воды до 200—250 см. Значительный подъем может иметь место и без длинной волны, а только за счет сильного и устойчивого западного ветра в Финском заливе. Длинноволновая и сгонно-нагонная форма денивелиации поверхности моря после прекращения действия вынуждающей силы трансформируется в постепенно затухающее сейшебразное движение водных масс.

На основании подробного синоптического анализа с использованием наиболее полной на настоящий момент базы данных наблюдений по России системы ГИС-Метео получены результаты, в целом согласующиеся с предыдущими исследованиями [1], выявлены следующие общие черты синоптической ситуации, приводящей к нагону в устье Невы (рис. 1, а):

- наличие обширной, иногда многоцентровой депрессии с основным центром, локализованным на севере и северо-западе от Санкт-Петербурга;
- преобладание зонального циклонического процесса, по классификации Клименко [9, 14];
- нахождение устья Невы на южной периферии циклона, вследствие чего преобладают западные и северо-западные ветры, т.е. ориентация воздушных потоков вдоль русла, что и обеспечивает значительный нагон воды;
- сохранение нагонного воздействия ветра более 9 ч.

Для случаев нагонных наводнений в устье р. Преголя, другой реки в Балтийской зоне, протекающей по Калининградской области, выявить единую циркуляционную схему, приводящую к формированию нагонного наводнения, достаточно сложно, что в первую очередь связано с малым числом рассмотренных случаев (3—7 декабря 1999 г. и 29 января — 4 февраля 2002 г.). Для двух исследованных наводнений синоптическая ситуация различна: в первом случае преобладал зональный циклонический процесс, во втором — “ныряющий” циклон, по классификации Клименко [9]. Несмотря на отсутствие единой схемы атмосферной циркуляции, можно отметить общие для двух навод-

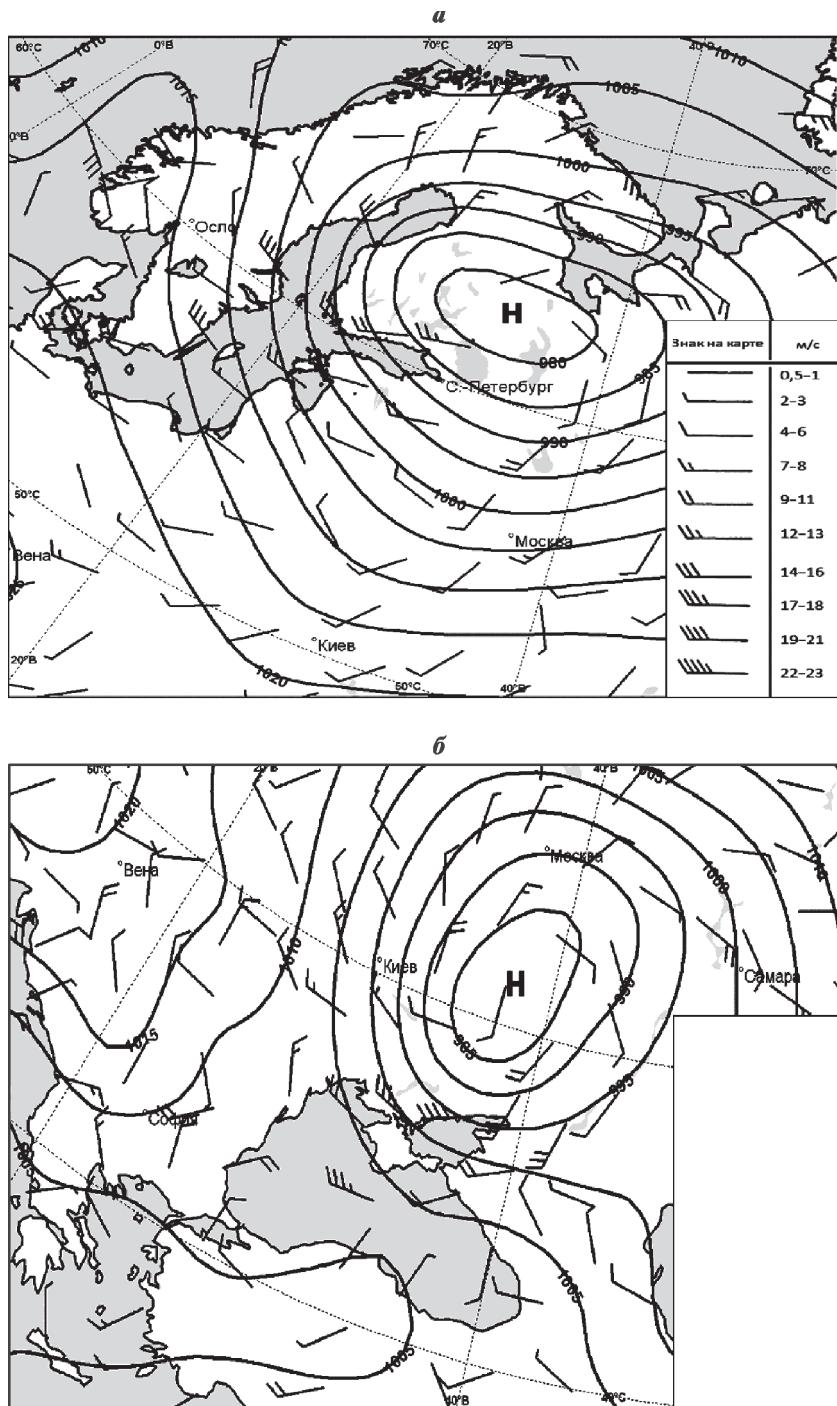


Рис. 1. Приземный синоптический анализ случаев нагонных наводнений. Изолиниями показано распределение давления на уровне моря (сечение изолиний 5 гПа); скорость и направление ветра — см. легенду: *a* — нагонное наводнение в устье р. Нева 28.10.2006, 12 UTC; *б* — нагонное наводнение в устье р. Дон 28.02.2005, 12 UTC

нений черты: нахождение устья р. Преголя на южной периферии циклона, а также наличие интенсивной фронтальной зоны (связанные с ней обильные осадки вносят весомый вклад в подъем уровня реки).

В Беломорской зоне побережья отмечено одно катастрофическое нагонное наводнение в устье р. Северная Двина (22 октября 1965 г.). Таким образом, сравнивать и выделить его характерные черты невозможно, поэтому ограничимся характеристикой синоптической ситуации, сопровождавшей этот случай.

Ветровой нагон и возникновение длинной волны обеспечивало формирование обширного циклонического вихря, прослеживавшегося до высоты 500 гПа, на юго-западной периферии которого находилось устье Северной Двины.

Нагонные наводнения отмечены также и в южных природно-экономических зонах — Азовской и Каспийской. Анализ синоптических условий наводнений в устьях рек Ея (30 августа 2006 г.), Дон (11—13 апреля 1997 г., 28 февраля — 1 марта 2005 г.) и Кубани (27—

29 октября 1969 г.) позволяет заключить, что при выходе южных циклонов на Черное море над Азовским морем возникают восточные и северо-восточные ветры, нагоняющие воду к западным берегам. Если эти циклоны перемещаются на северо-восток, то ветры в их тыловых частях принимают северо-западное направление, перегоняя скопившиеся на западе Азовского моря массы воды на восток.

Таким образом, в качестве общей черты синоптической ситуации, сопровождающей наводнения в устьях рек Дон, Ея и Кубань, можно выделить положение этого региона на южной периферии циклонических образований, характеризующихся значительными значениями градиента давления и, следовательно, ураганными ветрами юго-западного направления (рис. 1, б). Однако происхождение циклонов может быть разным (циклоны южного или “ныряющего” типа с центрами над Украиной, югом России, Белоруссией).

Данные о нагонных наводнениях на побережье Дагестана (катастрофические наводнения представлены здесь единственным случаем — 25 ноября 1992 г.) не позволяют сделать вывод об их основном механизме образования и сопровождающих их метеорологических условиях. Таким образом, ограничимся лишь анализом синоптической ситуации, которая благоприятствовала наводнению: территория оказалась на северо-западной периферии южного циклона.

Случаи нагонных наводнений на Калмыцком побережье Каспийского моря (10–13 ноября 1952 г., 12–14 марта 1995 г.) сильно отличаются от рассмотренных выше. Так, ураганные ветры здесь возникают на юго-западной периферии мощного устойчивого антициклона, что обеспечивает нагон воды на северо-западное побережье интенсивными юго-восточными потоками. Отметим, что эта территория имеет низкие абсолютные отметки (ниже уровня моря), а также очень малый уклон, что позволяет распространяться нагонной волне на большое расстояние и затапливать прибрежные районы.

Таким образом, несмотря на различие синоптической ситуации, сопровождающей нагонные наводнения в разных регионах ЕТР, можно выделить несколько синоптических предикторов, которые сопровождают все наводнения: во-первых, длительное устойчивое ветровое воздействие, причем потоки должны иметь перпендикулярное течению воды в русле направление; во-вторых, прохождение над рассматриваемой территорией и прилегающей акваторией циклонов (в подавляющем большинстве случаев).

**Стоковые наводнения.** Рассмотрены случаи катастрофических стоковых наводнений в Балтийской, Беломорской, Черноморской и Каспийской природно-экономических зонах побережья.

В Балтийской зоне стоковые наводнение на р. Преголя произошли 11–19 апреля 1996 г. и 9–10 августа 2005 г. Единый циркуляционный процесс для анализируемых наводнений не выявлен (зональный и ме-

риональный типы циркуляции), однако в обоих случаях над рассматриваемым регионом была ярко выражена фронтальная зона (в первом случае — на южной периферии антициклона с центром над Скандинавией, во втором — на юго-западной периферии циклона с центром над Прибалтикой), в пределах которой наблюдались интенсивные осадки (в том числе в бассейне р. Преголя), вызвавшие сильнейший паводок, послуживший причиной наводнения.

Наибольшее число случаев рассмотренных стоковых наводнений отмечено в Черноморской природно-экономической зоне (31 июля — 1 августа 1991 г., 16–18 декабря 1996 г., 26 октября 1997 г., 5–9 августа 2002 г., 18 августа 2011 г.). Все эти наводнения можно отнести к паводковым, причиной которых стали интенсивные осадки в бассейне реки. В случае наводнения 26 октября 1997 г., синоптическая ситуация для которого представлена на рис. 2, а, количество осадков за 26–25 октября на станциях в городах Сочи, Туапсе, Анапа составило 58, 50 и 30 мм соответственно. Во всех случаях над рассматриваемым регионом отмечалась интенсивная фронтальная зона (в барической ложбине циклонов с центрами над севером ЕТР и Скандинавией, на периферии гребня антициклона, на юго-западной периферии циклона с центром над ЕТР).

Стоковые наводнения в Каспийской зоне побережья на реках Тerek (16–23 июня 2002 г.) и Сулак (19–24 июня 2002 г., 18–22 июля 1997 г.) — следствие наложения сильного дождевого паводка (осадки в зоне активного фронта на южной периферии циклонов с центрами над югом ЕТР) на значительную высоту половодья, причиной которого послужило интенсивное таяние снега и ледников в горах (как правило, связанное с резким подъемом температуры воздуха).

Стоковое наводнение в Беломорской зоне на р. Северная Двина (май 1997 г.) представляет собой типичный пример половодья, однако значительный вклад в подъем уровня воды в реке внесли осадки. Синоптическая ситуация играет немалую роль в формировании условий потерь снегозапасов: наличие обширного циклона с центром над Восточно-Европейской равниной, с одной стороны, обеспечивает интенсивную адвекцию тепла (вследствие чего происходит более интенсивное таяние льда и снега, т.е. создаются условия для усиления половодья), а с другой — служит причиной интенсивных облако- и осадкообразования, также способствующих возникновению наводнения.

Таким образом, можно выделить следующие основные предикторы возникновения стоковых наводнений:

- для наводнений, происходящих в период половодья, необходимы адвекция тепла, обуславливающая более быстрое таяние снега, а также обильные осадки, выпадающие в бассейне реки;

- основное метеорологическое условие для возникновения паводковых наводнений — наличие интенсивной фронтальной зоны, в пределах которой выпадают обильные осадки;

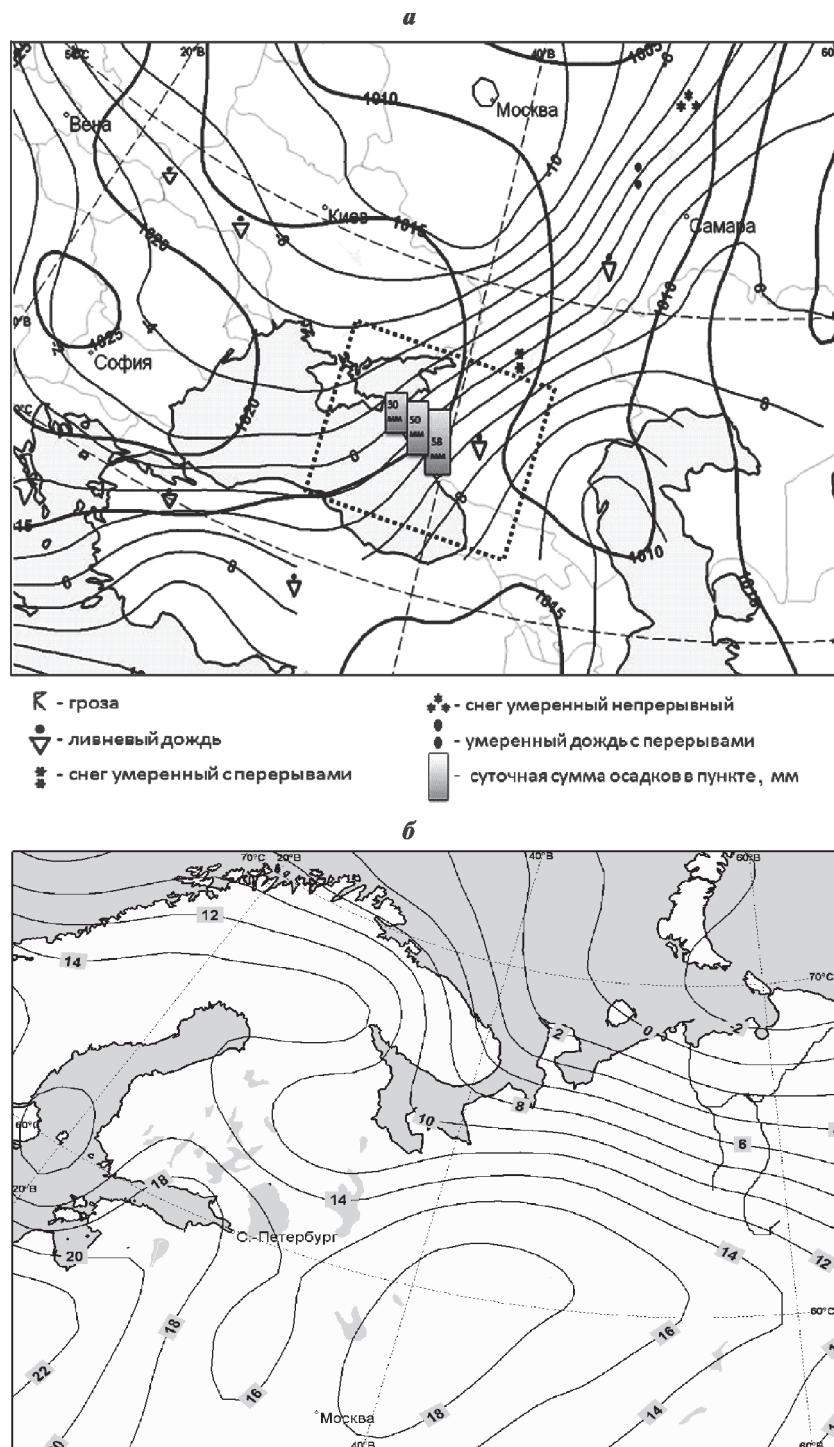


Рис. 2. Синоптический анализ: *а* — стокового наводнения в устье р. Мзынта 26.10.1997, 00 UTC. Изолиниями (полужирные линии) показано давление на уровне моря (сечение изолиний 5 гПа), а также температура на поверхности 850 гПа (тонкие линии, сечение изолиний 2 °C), приведены характеристики осадков, пунктирной линией ограничена расчетная область; *б* — заторное наводнение в устье р. Печора 02.06.2008, 12 UTC, показана приземная температура воздуха (черные линии, сечение изолиний 2 °C)

— для горных рек при возникновении наводнений в летний сезон на большое количество осадков накладывается эффект от таяния льда и снега в горах в бассейне реки при продолжительном действии положительных температур (вследствие чего резко поднимается уровень воды в устье).

**Заторные наводнения.** Охарактеризуем заторные наводнения в Балтийской, Беломорской, Баренцево-

морской и Азовской зонах побережья. Единой синоптической ситуации, сопровождающей этот тип наводнения (периферия депрессии с центрами над Норвежским морем и ЕТР, ложбина циклона с центром над Карским морем, западная периферия циклона с центром над севером Западной Сибири, периферия антициклона с центром над северной частью ЕТР), выявить не удалось, но в качестве общего метеороло-

гического фактора для рек, текущих с юга на север, можно отметить такое распределение приземной температуры, при котором выше по течению реки температура воздуха у поверхности выше нуля, что создает условие для интенсивного таяния льда, а в устье температура еще отрицательная, т.е. создаются условия для затора в самом устье и приусьеевой области. Таковы случаи наводнений в устьях р. Преголя (5–8 февраля 2011 г.), р. Северная Двина (середина апреля 1961 г.) и р. Печора (1–10 июня 2008 г., 5–12 июня 1998 г.) (рис. 2, б). Но заторы происходят и на реках, текущих с севера на юг. Так, в случае заторного наводнения на р. Кубань (19 декабря 2001 г.–11 января 2002 г.) в качестве основной причины можно назвать совпадение сразу нескольких природных явлений: превышение в 2–3 раза запасов снега, сильнейший ветер, направленный в устье реки, и резкое похолодание, что повлекло за собой образование ледяного поля на р. Кубань.

Отметим, что на изменение интенсивности процесса заторообразования по длине реки влияет множество факторов: боковой приток, последовательность вскрытия главной реки и ее притоков, наличие на вышерасположенном участке сохранившихся до весны зажоров и др. Таким образом, из-за действия разнообразных факторов, формирующих заторные наводнения, задача их прогноза представляется крайне сложной.

**Оценка изменения повторяемости синоптических предикторов наводнений.** Как показано выше, для каждого типа наводнений можно выделить набор синоптических предикторов, т.е. определенных характеристик метеопараметров, которые сопровождают случаи катастрофических наводнений. В условиях меняющегося климата можно ожидать, что повторяемость некоторых значений метеохарактеристик также будет изменяться. В связи с этим интересно оценить возможные изменения повторяемости синоптических предикторов наводнений в условиях более теплого климата.

На первом этапе анализ проводился только для стоковых паводковых наводнений в Черноморской природно-экономической зоне. Это объясняется тем, что основное условие этого типа наводнений – наличие интенсивной фронтальной зоны над районом наводнения, которая служит косвенным показателем возможности выпадения обильных осадков. Известно, что температурное поле воспроизводится климатическими моделями с высокой степенью точности. Второе условие – непосредственно осадки, они хуже воспроизводятся в моделях, особенно случаи с их экстремальными значениями, однако осадки также были включены в анализ. Для нагонных наводнений набор синоптических предикторов также можно воспроизвести климатическими моделями с большей или меньшей точностью (оценка изменения повторяемости нагонных наводнений – задача следующего этапа исследований). Что касается заторных наводнений, то очень большое число факторов, обуславлива-

ющих наводнение, затрудняет возможность оценить изменения их повторяемости с помощью современных климатических моделей.

Для анализа использованы данные немецкой климатической модели ECHAM5/MPI-OM. По данным модели для эксперимента, воспроизводящего реальный климат, и эксперимента, воспроизводящего климат в XXI в. (по сценарию A2, самому “жесткому” из всех сценариев IPCC), выполнены расчеты повторяемости формирования интенсивной фронтальной зоны над районом наводнения. В качестве характеристики фронтальной зоны использованы значения градиента приземной температуры воздуха над районом наводнения (рис. 2, а). В качестве порогового значения для наличия интенсивной фронтальной зоны на основе проведенного анализа для летнего сезона было принято значение градиента температуры, равное  $12^{\circ}\text{C}/1000 \text{ км}$ , для зимнего сезона –  $18^{\circ}\text{C}/1000 \text{ км}$ , учитывая увеличение контраста температуры воздуха в зимний период.

Полученные результаты представлены в таблице. Из ее данных видно, что в летний сезон в условиях потепления климата (период 2046–2065 гг.) интенсивная фронтальная зона возникала почти в 2 раза чаще, чем в период 1981–2000 гг. Для зимнего периода выявлена обратная закономерность: в зимний период в условиях потепления климата число случаев с интенсивной фронтальной зоной снижается почти на 1/4 по сравнению с экспериментом, в котором концентрации парниковых газов приняты на доиндустриальном уровне. Возможно, что такое уменьшение связано с ослаблением межширотного контраста экватор–полюс в связи с потеплением Арктики в условиях меняющегося климата.

#### Повторяемость формирования интенсивной фронтальной зоны над районом наводнения

Число случаев	Период			Grad T
	1961–1980 гг.	1981–2000 гг.	2046–2065 гг.	
Зима	303	381	217	grad T> $18^{\circ}\text{C}/1000 \text{ км}$
	13	17	13	grad T> $18^{\circ}\text{C}/1000 \text{ км}$ осадки >20 мм/сут.
Лето	20	38	75	grad T> $12^{\circ}\text{C}/1000 \text{ км}$
	1	1	2	grad T> $12^{\circ}\text{C}/1000 \text{ км}$ осадки >20 мм/сут.

Отметим, что период 1961–1980 гг. также отличается от периода 1981–2000 гг., как и период “теплого климата”, причем в летний сезон число случаев интенсивной фронтальной зоны еще меньше, чем в 1981–2000 гг. В период 1961–1980 гг. зимой повторяемость больших значений градиента температуры была ниже по сравнению с концом XX в., однако по-прежнему существенно больше, чем в условиях потепления климата.

При учете второго предиктора — количества осадков, превышающего 20 мм/сут., число случаев превышения пороговых значений резко уменьшается, однако тенденции, отмеченные выше, сохраняются. Подчеркнем, что учет случаев экстремального количества осадков — чрезвычайно сложная задача как с точки воспроизведения в модели, так и с точки зрения учета их распределения по площади (это задача будущих исследований).

Дополнительно проанализировано изменение повторяемости случаев интенсивной фронтальной зоны в отдельные годы (рис. 3, а, б), на рисунке видно, что подтверждаются полученные ранее выводы: в условиях потепления климата число случаев в летний сезон растет, в зимний — уменьшается. Так, среднее число случаев интенсивной фронтальной зоны в “теплом климате” в летний сезон увеличивается по сравнению с периодом 1981—2000 гг. почти в 2 раза. В то же время число таких случаев в зимний период уменьшается почти в 1,5 раза. Однако видно, что дисперсия достаточно велика: число случаев в отдельные летние сезоны XXI в. может быть меньше, а зимой больше, чем при реальном климате.

Таким образом, можно сделать вывод, что в условиях потепления климата в летний период вероятность

формирования интенсивной фронтальной зоны и выпадения интенсивных осадков увеличивается. Следовательно, повышается риск возникновения наводнений в районе Черноморского побережья Кавказа. Учитывая, что максимум наводнений приходится на теплый период, можно заключить, что потепление климата будет способствовать увеличению рисков, связанных с наводнениями в прибрежной зоне Черноморского побережья Кавказа.

**Выводы.** На основе анализа синоптических ситуаций, сопровождающих различные типы наводнений в устьях рек в пределах ЕТР, выявлены следующие метеорологические предикторы:

— для нагонных наводнений: а) длительное устойчивое ветровое воздействие с направлением потоков, перпендикулярным течению воды в русле; б) прохождение циклонов над рассматриваемой территорией и прилегающей акваторией;

— для стоковых наводнений: а) для наводнений, происходящих в период половодья, необходима адvection тепла, обуславливающая более быстрое таяние снега, а также обильные осадки, выпадающие в бассейне реки; б) основное метеорологическое условие для возникновения паводковых наводнений — наличие интенсивной фронтальной зоны, в пределах

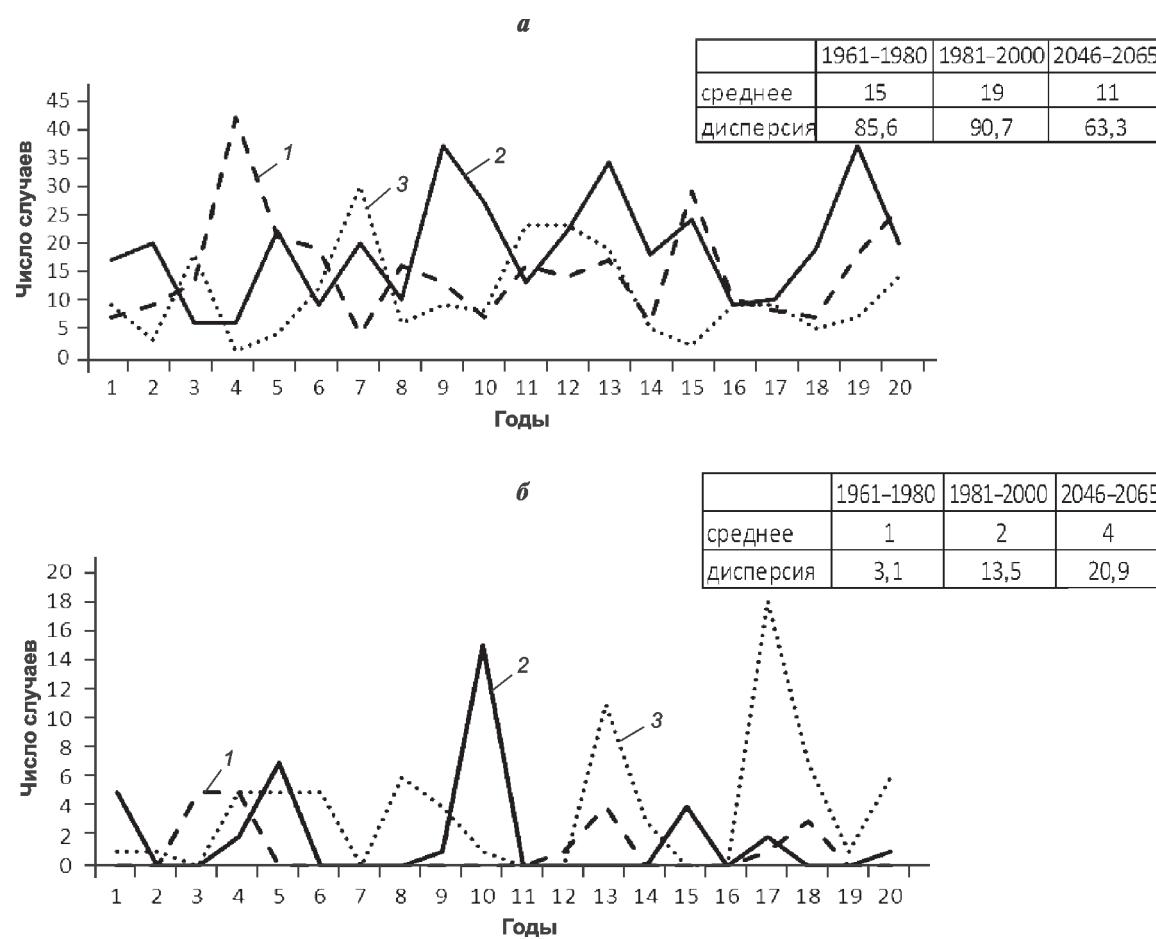


Рис. 3. Число случаев, когда наблюдалась интенсивная фронтальная зона: а — зимний период ( $\text{grad } T = 18^{\circ}\text{C}$ ); б — летний период ( $\text{grad } T = 12^{\circ}\text{C}$ ); 1 — 1961–1980; 2 — 1981–2000; 3 — прогноз на 2046–2065 гг.

которой выпадают обильные осадки; в) для горных рек при возникновении наводнений в летний сезон на фактор количества осадков накладывается эффект от таяния льда и снега в горах в бассейне реки при продолжительном действии положительной температуры (вследствие чего резко поднимается уровень воды в устье);

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.Е. Климатология экстраординарных невских наводнений и их прогнозирование. Л.: Гидрометеоиздат, 2001. 96 с.
2. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. 204 с.
3. Бузин В.А. О наводнениях на реках, вызванных заторами льда // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 5. С. 524—530.
4. Бузин В.А. Опасные гидрологические явления: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 228 с.
5. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2003. 352 с.
6. Гинко С.С. Катастрофы на берегах рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 127 с.
7. Ефимова Ю.В. Условия возникновения сильных невских наводнений: Автoref. канд. дисс. СПб.: РГГМУ, 2003.
8. Зверев А.С. Синоптическая метеорология: Учеб. пособие. 3-е изд. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
9. Клименко А.В. Атмосферные процессы на Восточно-Европейской равнине за последние 100 лет. М., 1999. 128 с.
10. Лукьянов В.А. Опыт расчета катастрофического превышения уровня кубанских берегов в октябре 1969 г. // Вопросы гидрологии морей. 1972. Вып. 115. С. 71—82.
11. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 183 с.
12. Овсиенко С.Н. Расчет сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря // Тр. ГМЦ СССР. 1972. Вып. 60. С. 55—58.
13. Померанец К.С. Три века петербургских наводнений // Сер. Три века Петербурга. СПб.: Искусство, 2005. 214 с.
14. Торопов П.А. Усовершенствование типизации Клименко для условий современной циркуляции атмосферы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2001. № 5. С. 14—22.
15. Хандожко Л.А. Типовые траектории штормовых циклонов для северо-запада ЕТС // Тр. ЛГМИ. 1964. Вып. 22. С. 54—61.
16. Шереметьевская О.И. Сгонно-нагонные колебания уровня Азовского моря, методы их расчетов и прогнозов. Обнинск: Информ. центр, 1977. 39 с.

Поступила в редакцию  
04.07.2012

**T.A. Matveeva, D.Yu. Gushchina, K.P. Koltermann**

## FACTORS OF CATASTROPHIC FLOODING IN RIVER MOUTHS OF THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA

Synoptic situations and meteorological conditions accompanying wind-induced, discharge and ice-dam flooding events in river mouths are discussed. Natural economic coastal zones of the Baltic, Barents, Caspian and Black seas are analyzed. Synoptic predictors accompanying each type of flooding are revealed: stable and long-term wind influence, orthogonal direction of wind in relation to river channel and location of a river mouth at the periphery of pronounced cyclonic depression — for wind-induced one; active front zone, abundant precipitation and sharp temperature shifts — for discharge one; active front zone with high temperature gradient in the south-north direction — for ice-dam one. Changes in the number of discharge flooding events within the Caucasian part of the Black Sea coast under climate warming were evaluated. In winter the probability of active front zone development in the region and, thus, of the abundant precipitation becomes lower. In summer, by contrast, the danger of discharge flooding events increases in the region along with climate warming.

*Key words:* flooding, river mouths, synoptic situation, European part of Russia.