
**ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

УДК 556.54(282.243.7)

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В БАССЕЙНЕ ДУНАЯ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

© 2012 г. М. В. Михайлова*, В. Н. Михайлов**, В. Н. Морозов***

*Институт водных проблем РАН, Россия
119333 Москва, ул. Губкина, 3

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия
119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы

***Дунайская гидрометеорологическая обсерватория, Украина
68600 Измаил, ул. Героев Сталинграда, 36

Поступила в редакцию 03.02.2011 г.

Рассмотрены существенные изменения гидрометеорологических условий в бассейне р. Дуная в последней трети XX—начале XXI вв. Отмечены повышение температуры воздуха и воды, смягчение ледовых условий и, главное, заметное увеличение стока воды реки. Особое внимание уделено недавним экстремальным гидрологическим явлениям в бассейне Дуная: катастрофическому паводку в августе 2002 г., исключительно высоким весенне-летним половодьям в 2006 и 2010 гг. и чрезвычайно низкой межени летом 2003 г. Проанализированы метеорологические причины этих явлений. Детально рассмотрены особенности развития и трансформации волн паводка и половодья вдоль Дуная, отражено влияние на эти процессы водохранилища Железные Ворота-I.

Ключевые слова: Дунай, сток, уровень воды, паводок, половодье, наводнения, засуха, межень.

В последнее время как в научной литературе, так и в средствах массовой информации, ведется широкая дискуссия по поводу современного глобального потепления климата и его последствий. В недавнем отчете Международной группы экспертов по изменению климата [8] приведены данные о заметном повышении температуры воздуха на Земле во второй половине XX в., ожидаемом ускорении потепления климата в XXI в. и его возможных гидрологических и социально-экономических последствиях. Вместе с тем, в научных и общественных кругах высказываются сомнения в приведенных в [8] выводах, а в некоторых случаях вообще оспаривается сам факт произошедших и происходящих изменений состояния атмосферы и гидросферы. Причем часто ни сторонники гипотезы глобального потепления, ни ее противники не приводят конкретных доказательств своей правоты на основе данных наблюдений.

Авторы настоящей статьи считают, что единственным критерием достоверности той или иной научной гипотезы может служить лишь ее подтверждение на фактическом материале. Именно такую возможность, в частности, предоставляют данные надежных многолетних гидрометеорологических наблюдений в бассейне Дуная.

Гидрологический режим Дуная изучен достаточно хорошо [1, 3–5, 9, 10]. Однако эти публикации характеризуют режим Дуная в основном до

1970–1980 гг., поэтому тенденции в изменениях режима, особенно ярко проявившиеся в последние десятилетия, в них не были отражены. В перечисленных работах также не было оценено влияние на режим Дуная водохранилищ Железные Ворота-I и Железные Ворота-II, построенных в месте прорыва реки между Карпатами и Балканами на границе Сербии и Румынии на расстоянии соответственно 943 и 863 км от впадения Дуная в Черное море (порт Сулина). Первое водохранилище заполнено в 1971 г. и имеет полезный объем 2.55 км³, второе введено в строй в 1985 г. и имеет полезный объем 0.868 км³ [15].

Некоторые недавние изменения режима Дуная, касающиеся в основном его нижнего течения и дельты, освещены в работах с участием авторов статьи [2, 6, 7, 14].

Длительные совместные исследования сотрудников географического факультета МГУ, Института водных проблем РАН и Дунайской гидрометеорологической обсерватории (ДГМО) в г. Измаиле (Украина) позволили на обширном новом материале наблюдений выявить существенные современные направленные изменения климатических и гидрологических характеристик в бассейне Дуная.

Цель статьи — обзор результатов, полученных в итоге этих исследований. При этом особое внимание уделено произошедшим в последние десяти-

летия экстремальным гидрологическим явлениям в бассейне Дуная. Также оценено влияние на эти явления водохранилищ Железные Ворота-I и II.

В статье использованы данные по сети гидрологических постов (г/п) вдоль Дуная с уникальными рядами наблюдений до 120–150 лет. Сведения об основных гидрологических постах приведены в табл. 1, а их положение показано на рис. 1. Данные по всем гидрологическим постам Дуная находятся в архиве ДГМО и включают материалы, полученные в результате обмена гидрометеорологической информацией с другими придунайскими странами в рамках международного сотрудничества в области гидрометеорологии Дуная.

ОБЩИЕ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В БАССЕЙНЕ ДУНАЯ

Недавние исследования авторов статьи позволили получить следующие выводы. Температура воздуха на многих метеостанциях в бассейне Дуная заметно повысилась. Так, средняя температура января за 1945–2003 гг. в Измаиле возросла на 1.4, в Вилково – на 2.0°C. Средняя температура июля за 1974–2003 гг. увеличилась в этих же пунктах соответственно на 3.6 и 3.2°C. Минимальная годовая температура за 1945–2003 гг. в Измаиле увеличилась на 0.9°C, в Вилково – на 3.1°C. Максимальная годовая температура за 1945–2003 гг. повысилась на 1.8 и 2.3°C соответственно. В 1974–2003 гг. рост температуры оказался еще больше – 4.4°C в Измаиле и 4.3°C в Вилково [2]. Схожие данные получены также по румынской части дельты [11] и многим пунктам в бассейне Дуная [13].

Увеличились также и годовые суммы осадков, хотя и не так сильно, как температура воздуха. Это касается как низовьев Дуная, так и ряда районов в бассейне реки [5, 13].

Отмеченные изменения температуры воздуха привели к заметным гидрологическим последствиям. Увеличилась температура воды в реках и озерах не только в низовьях Дуная (например, средняя температура воды в рукавах дельты возросла за 1961–2003 гг. на 1.0°C, а максимальная годовая – на 1.9°C [2]), но и в других частях бассейна реки [5]. Зимы стали более мягкими. Существенно сократился в году период с ледовыми явлениями. В дельте вероятность ледостава уменьшилась за последние полвека в 3 раза [2]. Наблюдения Дунайской ГМО показали, что тенденция повышения температуры воздуха и воды и смягчения ледового режима сохранилась и в последние годы.

Отсутствие надежных и осредненных за отдельные периоды данных об осадках и испарении

Таблица 1. Гидрологические посты на Дунае. *L* – Расстояние от Черного моря (порта Сулина) и от устья рук. Прорва в Килийской дельтовой системе (цифры в скобках)

Гидрологический пост и его номер	Страна	<i>L</i> , км
Ингольштадт, 1	Германия	2458 (2494)
Регенсбург, 2	»	2376 (2412)
Пассау, 3	»	2225 (2261)
Линц, 4	Австрия	2135 (2171)
Киншток, 5	»	2015 (2051)
Братислава, 6	Словакия	1869 (1905)
Надьмарош, 7	Венгрия	1695 (1731)
Будапешт, 8	»	1647 (1683)
Мохач, 9	»	1447 (1483)
Бездан, 10	Хорватия	1425 (1461)
Богоево, 11	»	1367 (1403)
Нови-Сад, 12	Сербия	1255 (1291)
Земун, 13	»	1173 (1209)
Базиаш, 14	Румыния	1072 (1108)
Оршова, 15	»	955 (991)
Турну-Северин, 16	»	931 (967)
Ново-Село, 17	Болгария	834 (870)
Калафат, 18	Румыния	795 (831)
Лом, 19	Болгария	743 (779)
Зимнича, 20	Румыния	554 (590)
Джурджу, 21	»	493 (529)
Олтеница, 22	»	430 (466)
Хыршова, 23	»	253 (289)
Браила, 24	»	170 (206)
Рени, 25	Украина	127 (163)
Измаил, 26	»	(94)
Килия, 27	»	(47)
Вилково, 28	»	(18)
Приморское, 29	»	0

не позволяет оценить многолетние изменения составляющих водного баланса не только для всего бассейна Дуная, но и для его отдельных частей. Поэтому о тенденции изменения водного баланса в бассейне Дуная можно судить лишь по результирующему элементу этого баланса – водному стоку реки, рассчитываемому по более надежным гидрометрическим данным.

Такую возможность дают данные многолетних наблюдений в вершине дельты Дуная. Эти данные были уточнены авторами статьи в монографии [2]. Данные по стоку воды Дуная на гидростворе 54 миля (немного выше вершины дельты), рассчитанные по уровням воды на г/п Рени, позволи-

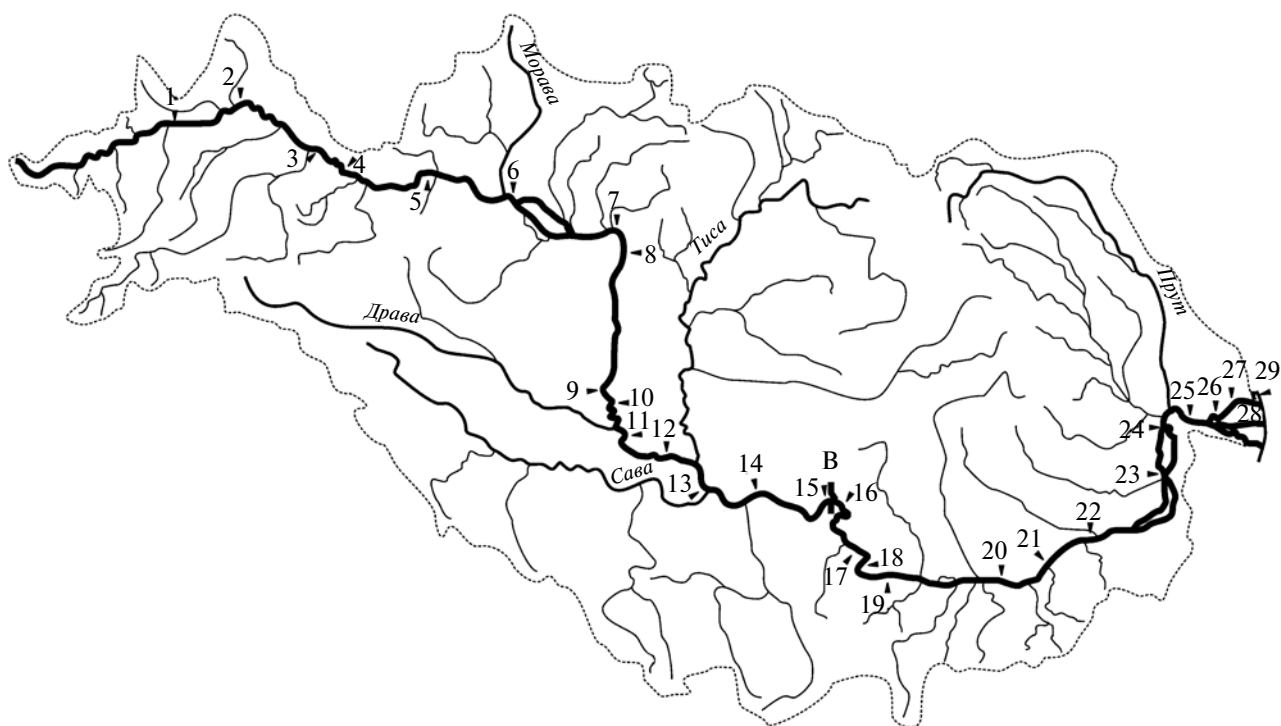


Рис. 1. Карта-схема бассейна Дуная и местоположение гидрологических постов (номера и названия приведены в табл. 1). В – плотина водохранилища Железные Ворота-1.

ли установить, что в течение более чем полутора веков сток воды Дуная постепенно возрастал (табл. 2). Это свидетельствует, во-первых, о том, что разность между осадками и испарением неуклонно увеличивалась, а во-вторых, что влияние климатических факторов на сток реки, возможно, оказалось сильнее, чем воздействие разных антропогенных факторов.

По оценкам, сделанным в 1960–1970 гг., в бассейне Дуная безвозвратные потери стока, связанные с водозабором, составляли 13–15 км³/год [2] (возможно, эти цифры завышены). С тех пор в бассейне Дуная (особенно на его притоках) построено большое количество водохранилищ и водозаборных сооружений [15], которые могли привести к увеличению безвозвратных потерь стока (таких оценок в литературе нет). Однако несмотря на возможные потери, водный сток Дуная заметно возрос.

Данные табл. 2 и результаты исследований авторов [2] позволили установить:

среднемноголетняя величина водного стока Дуная за весь период наблюдений с 1840 по 2010 г. (условная норма стока) составила 6352 м³/с (200.5 км³/год);

согласно нормированной разностной интегральной кривой расходов воды [2], увеличение

водного стока Дуная началось приблизительно с 1910–1920 гг. и особенно сильно проявилось с начала 1970-х гг.;

быстрое возрастание водного стока Дуная сгладило циклические изменения водности реки, основные периоды которых составляют 32 и 13 лет, что установлено с помощью спектрального анализа [2];

наиболее многоводными оказались последние 90 лет (206.2 км³/год) и особенно 2003–2010 гг. (220.7 км³/год), когда сток был значительно выше упомянутой нормы. В последние 15 лет (1996–2010 гг.) в 13 случаях норма стока была превышена, причем в пяти случаях значительно (в эти годы среднегодовой расход воды реки $Q_{\text{ср}}$ в вершине дельты был >8000 м³/с). 2010 г. ($Q_{\text{ср}} = 9473$ м³/с) оказался в числе четырех наиболее многоводных лет за весь период наблюдений с 1840 г. (в 1940, 1941 и 1970 гг. величина $Q_{\text{ср}}$ составляла 9520, 9950 и 9620 м³/с соответственно [2]);

водоносность Дуная возросла в основном за счет стока воды в половодье. Уже давно было замечено, что доля стока воды в период весенне-летнего половодья (март–июль) в многоводные годы составляет 50–55% годового стока, а в маловодные годы снижается до 40–45% [2]. Эти выводы подтверждены данными недавних наблюдений

Таблица 2. Внутригодовое распределение стока воды Дуная в вершине дельты (числитель – м³/с, знаменатель – %)

Годы	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2002	<u>5560</u> 6.7	<u>7020</u> 8.5	<u>7930</u> 9.6	<u>7950</u> 9.7	<u>7140</u> 8.6	<u>6060</u> 7.3	<u>4090</u> 4.9	<u>6290</u> 7.6	<u>5890</u> 7.1	<u>7270</u> 8.8	<u>8900</u> 10.9	<u>8530</u> 10.3	<u>6886</u> 100.0
2003	<u>8550</u> 14.2	<u>7720</u> 12.8	<u>6510</u> 10.8	<u>7210</u> 11.9	<u>5810</u> 9.6	<u>4520</u> 7.5	<u>3040</u> 5.0	<u>2780</u> 4.6	<u>2510</u> 4.2	<u>3310</u> 5.5	<u>4790</u> 7.9	<u>3640</u> 6.0	<u>5032</u> 100.0
2004	<u>4710</u> 5.9	<u>6440</u> 8.1	<u>7560</u> 9.5	<u>10900</u> 13.7	<u>10300</u> 12.9	<u>7500</u> 9.4	<u>5920</u> 7.4	<u>5070</u> 6.4	<u>3950</u> 5.0	<u>4550</u> 5.7	<u>6000</u> 7.5	<u>6740</u> 8.5	<u>6637</u> 100.0
2005	<u>5610</u> 5.5	<u>5480</u> 5.4	<u>8510</u> 8.3	<u>12800</u> 12.5	<u>12800</u> 12.5	<u>10200</u> 10.0	<u>9210</u> 9.0	<u>9020</u> 8.8	<u>9660</u> 9.4	<u>7560</u> 7.4	<u>4640</u> 4.5	<u>6810</u> 6.7	<u>8525</u> 100.0
2006	<u>8570</u> 8.7	<u>6950</u> 7.0	<u>11100</u> 11.2	<u>14100</u> 14.2	<u>13700</u> 13.8	<u>12500</u> 12.6	<u>8920</u> 9.0	<u>5700</u> 5.8	<u>5490</u> 5.6	<u>4130</u> 4.2	<u>3810</u> 3.9	<u>3950</u> 4.0	<u>8243</u> 100.0
2007	<u>4460</u> 6.6	<u>6350</u> 9.4	<u>7820</u> 11.6	<u>6910</u> 10.3	<u>4660</u> 6.9	<u>4880</u> 7.3	<u>3910</u> 5.8	<u>3300</u> 4.9	<u>4820</u> 7.2	<u>4920</u> 7.3	<u>6870</u> 10.2	<u>8380</u> 12.5	<u>5606</u> 100.0
2008	<u>5620</u> 7.9	<u>5870</u> 8.2	<u>6580</u> 9.2	<u>9520</u> 13.3	<u>8490</u> 11.9	<u>6780</u> 9.5	<u>5030</u> 7.0	<u>5890</u> 8.2	<u>3890</u> 5.4	<u>3970</u> 5.6	<u>3660</u> 5.1	<u>6230</u> 8.7	<u>5961</u> 100.0
2009	<u>5480</u> 7.0	<u>7920</u> 10.2	<u>9350</u> 12.0	<u>10800</u> 14.0	<u>7570</u> 9.7	<u>5940</u> 7.6	<u>8150</u> 10.5	<u>5020</u> 6.5	<u>3800</u> 4.9	<u>3430</u> 4.4	<u>5220</u> 6.7	<u>5070</u> 6.5	<u>6479</u> 100.0
2010	<u>10400</u> 9.1	<u>7360</u> 6.5	<u>11900</u> 10.5	<u>10500</u> 9.2	<u>9320</u> 8.2	<u>13200</u> 11.6	<u>12400</u> 10.9	<u>8050</u> 7.1	<u>6620</u> 5.8	<u>7010</u> 6.2	<u>6220</u> 5.5	<u>10700</u> 9.4	<u>9473</u> 100.0
1840–1920	<u>5240</u> 7.1	<u>5930</u> 8.1	<u>6690</u> 9.1	<u>7710</u> 10.5	<u>8220</u> 11.1	<u>8180</u> 11.1	<u>7430</u> 10.1	<u>5620</u> 7.6	<u>4550</u> 6.1	<u>4390</u> 5.9	<u>4590</u> 6.2	<u>5250</u> 7.1	<u>6140</u> 100.0
1921–2002	<u>6096</u> 7.8	<u>6347</u> 8.1	<u>7460</u> 9.6	<u>8830</u> 11.3	<u>9097</u> 11.6	<u>8249</u> 10.6	<u>6908</u> 8.9	<u>5332</u> 6.8	<u>4551</u> 5.8	<u>4390</u> 5.6	<u>4988</u> 6.4	<u>5880</u> 7.5	<u>6510</u> 100.0
2003–2010	<u>6675</u> 8.0	<u>6761</u> 8.1	<u>8666</u> 10.3	<u>10342</u> 12.3	<u>9081</u> 10.8	<u>8190</u> 9.7	<u>7072</u> 8.4	<u>5604</u> 6.7	<u>5092</u> 6.1	<u>4860</u> 5.8	<u>5151</u> 6.1	<u>6440</u> 7.7	<u>6995</u> 100.0

(табл. 2). В самые многоводные годы доля стока половодья в годовом стоке составила 52.3 (2005), 60.8 (2006) и 50.4% (2010 г.). В маловодные годы доля стока в половодье составляла лишь 44.8 (2003), 41.9% (2007 г.) годового;

пик весенне-летнего половодья стал наступать в последние десятилетия в среднем на 10–15 сут раньше, чем в предыдущие годы [2]. Это связано с более ранним снеготаянием в бассейне Дуная, обусловленным общим потеплением климата.

Вследствие увеличения водного стока Дуная изменился и водный баланс Черного моря (сток Дуная дает >60% суммарного стока всех рек и 35% пресноводного притока к этому морю). Увеличение объема вод в море привело к ускорению роста

его уровня. Анализ данных наблюдений за уровнем воды на г/п Приморское (устьевое взморье Дуная) и Прорва (в рук. Прорва в 3.6 км от моря) показал, что в 1958–1984 гг. уровень воды на этих гидрологических постах рос со скоростью 1.9 и 2.2 мм/год соответственно (рис. 2), а в 1985–2010 гг. – уже с интенсивностью 6.9 и 9.8 мм/год. Эти величины роста уровня почти в 1.5–2 раза превышают данные за аналогичные периоды для всего Мирового океана [8]. Это свидетельствует о том, что, во-первых, водный баланс Черного моря мало зависит от изменения уровня воды в океане, а во-вторых, что в режиме Черного моря очень велика роль водного стока Дуная.

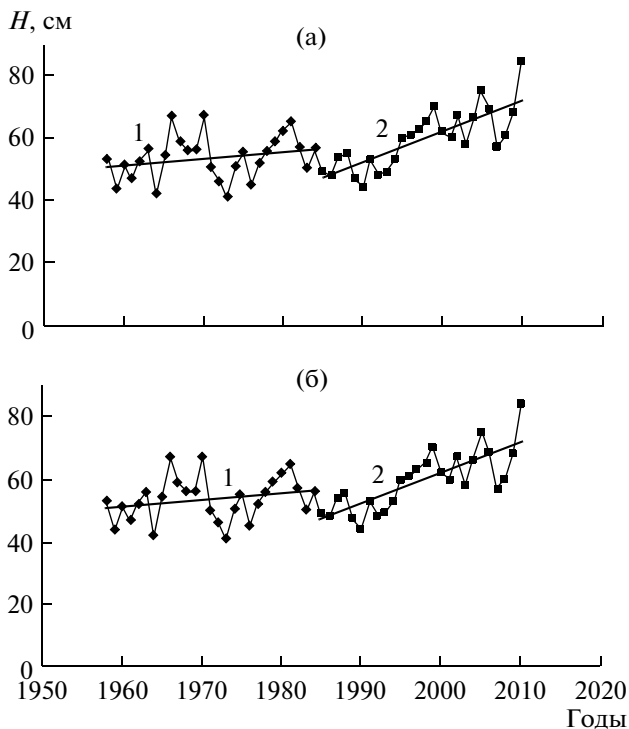


Рис. 2. Графики изменения среднегодовых уровней воды на гидрологических постах Приморское (а) и Прорва (б) в 1958–1984 (1) и 1985–2010 гг. (2).

Если данные по г/п Приморское принять за величину среднего эвстатического повышения уровня Черного моря, то получим, что объем вод в Черном море в два рассматриваемых периода (при площади моря 422 тыс. км²) ежегодно увеличивался на ~0.8 и 2.9 км³. Подпор от поднявшегося уровня моря за 1985–2003 гг. распространился в дельту на ~50 км [2]. На участках рукавов дельты и самой реки, расположенных выше по течению, многолетнее повышение уровней воды связано уже не с подпором со стороны моря, а с увеличением водного стока реки [2].

С конца XX в. во всей Европе и над бассейном Дуная, в частности, возросла циклоническая активность. Участились сильные ливни, на морских побережьях усилились волнение и штормовые нагоны [2].

В последние десятилетия в бассейне Дуная стали более частыми экстремальные гидрологические явления, проявившиеся как в крупных паводках, половодьях и наводнениях, так и в суровых засухах и маловодьях. К числу таких экстремальных гидрологических явлений относятся катастрофический дождевой паводок в августе 2002 г., экстремальные весенне-летние половодья 2006 и 2010 гг., выдающееся маловодье в 2003 г. Особенности этих явлений, отражающие процессы не только регионального, но и глобаль-

ного характера, заслуживают более детального рассмотрения.

КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ПАВОДОК В АВГУСТЕ 2002 г.

Метеорологические процессы, вызвавшие паводок

Интенсивные шквалы, ливни и последовавшее за ними наводнение в первой половине августа 2002 г. возникли в результате усиления меридионального переноса воздушных масс, когда создались условия для проникновения холодного арктического воздуха из Северной Атлантики в Западную Европу [6]. В результате здесь образовалась высотная фронтальная зона. В зоне фронта взаимодействовали атлантический влажный тропический воздух с температурой 28–35°C и арктический воздух, максимальная температура которого не превышала 18–23°C. Первые сильные дожди на юге Франции, в Северной Италии и в Швейцарии выпали 6 августа, когда сюда сместился циклонический вихрь. Очень активным был также процесс циклогенеза 12–13 августа.

В первой половине августа 2002 г. зона дождей охватила южную и восточную части Германии, Австрию, Чехию, Словакию и смежные территории. На Верхнем Дунае и в верховьях Эльбы особенно сильные дожди отмечались 6–7 и 11–12 августа. Первая волна ливней вызвала наводнения на реках Германии (в землях Саксония и Бавария) и в южной и западной частях Чехии. Когда последовала вторая волна ливней, почвы уже были насыщены влагой, а уровень воды в реках был достаточно высок. Поэтому уровни воды во всех реках быстро поднялись и в ряде случаев достигли исторического максимума [6].

Развитие и трансформация паводка вдоль Дуная

Первая волна паводка на Верхнем Дунае (на участке от истока до впадения р. Моравы) начала формироваться 6 августа. Первый пик паводка на гидрологических постах Ингольштадт, Регенсбург, Пассау, Линц, Киншток (80 км выше Вены) и Братислава наступил 8–9 августа (рис. 3, табл. 3). Ниже Братиславы первая волна паводка не распространилась.

Вторая волна паводка начала формироваться после 11 августа (рис. 3). Поскольку сильные дожди одновременно охватили весь бассейн Верхнего Дуная и его притоков, пик второй волны паводка на участке от Ингольштадта до Кинштока наблюдался практически одновременно: 13–16 августа. И только ниже Кинштока паводок приобрел характер хорошо выраженной волны, движущейся вниз по реке. На австрийском участке Дуная максимум уровня наступил 13 и 14 августа.

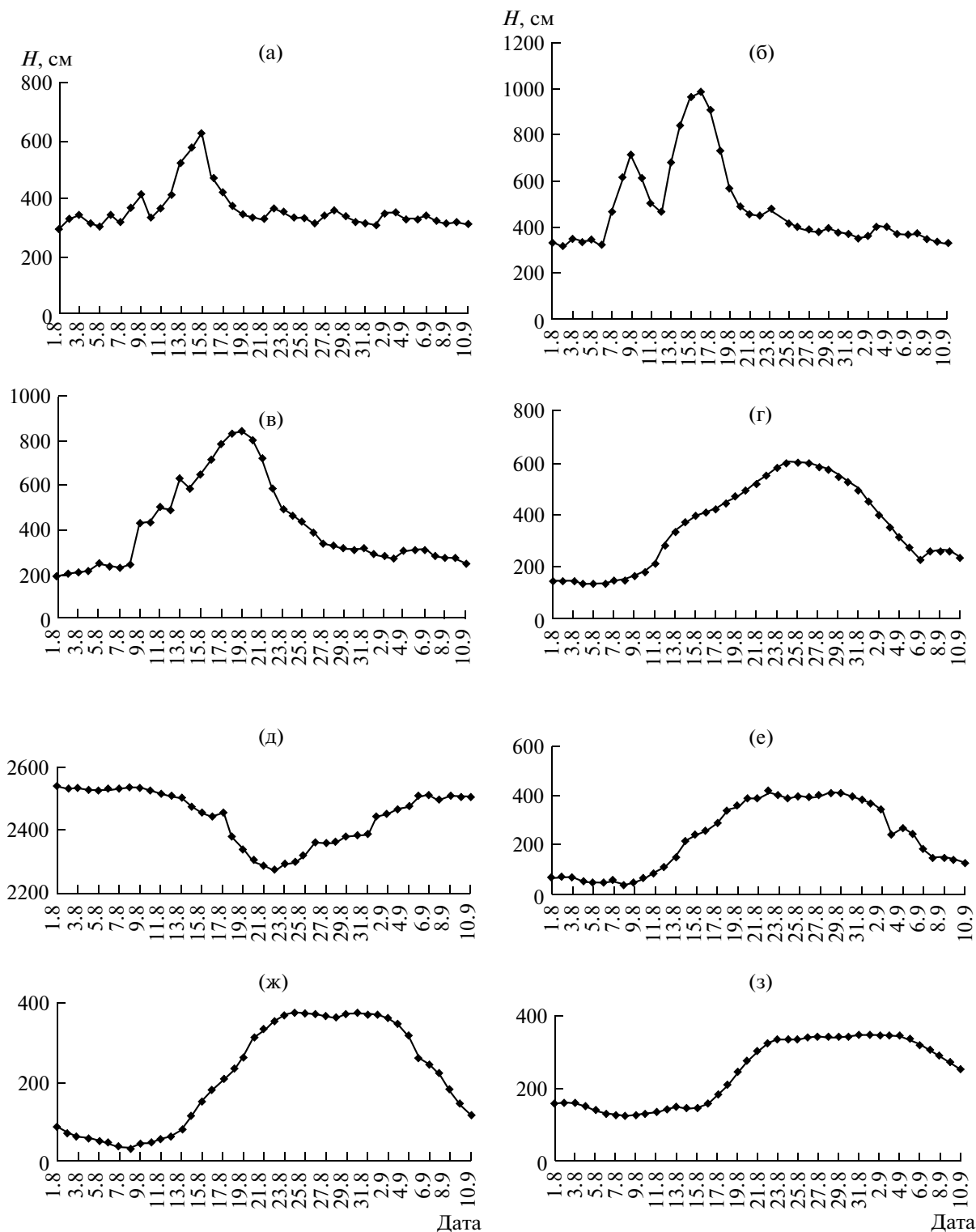


Рис. 3. Графики изменения уровней воды Дуная в августе–сентябре 2002 г. на гидрологических постах Регенсбург (а), Братислава (б), Будапешт (в), Нови-Сад (г), Оршова (д), Калафат (е), Джурджу (ж), Рени (з).

Максимальный уровень воды в Братиславе (в начале Среднего Дуная) был отмечен 16 августа (рис. 3). Такой резкий подъем уровня воды на Ду-

нае около Братиславы может быть объяснен также и тем, что немного выше по течению, около г. Девин, в Дунай впадает крупный левый приток Мо-

Таблица 3. Наивысшие уровни воды на гидрологических постах вдоль Дуная во время паводка в августе–сентябре 2002 г. и за весь период наблюдений

Гидрологический пост и его номер	Паводок в августе 2002 г.			Исторические максимумы до 2002 г. (в период без ледовых явлений)		
	уровень над "0" поста, см	дата	превышение над уровнем, предшествовавшим паводку, см	период наблюдений	уровень, см	дата
Ингольштадт, 1	642	14.08	390	1827–1970	778	18.06.1910
Регенсбург, 2	627	15.08	280	1884–2001	666	28.03.1988
Пассау, 3	1083	13.08	550	1877–2001	1230	10.07.1954
Линц, 4	799	13.08	420	1893–2001	963	11.07.1954
Киншток, 5	1085*	14.08	780	1830–2001	896	13.07.1954
Братислава, 6	986*	16.08	650	1823–2001	984	15.07.1954
Надьмарош, 7	707*	18.08	600	1876–2001	682	17.06.1965
Будапешт, 8	844	19.08	630	1876–2001	845	17.06.1965
Мохач, 9	924	22.08	650	1876–2001	984	19.06.1965
Бездан, 10	712	22.08	600	1876–2001	776	24.06.1965
Богоево, 11	727	23.08	600	1890–2001	817	15.06.1965
Нови-Сад, 12	602	25.08	460	1888–2001	778	30.06.1965
Земун, 13	470	27.08	240	1876–2001	757	26.03.1981
Базиаш, 14	628	28.08	50	1874–1970	795	06.04.1942
Оршова, 15	2540	01.08		1888–2001	2568	17.10.1994
Турну-Северин, 16	831	27.08	150	1879–2001	906	28.03.1981
Ново-Село, 17	513	28.08	360	1941–2001	900	28.03.1981
Калафат, 18	415	22, 28.08	360	1879–2001	801	29.03.1981
Лом, 19	558	28–29.08	360	1921–2001	934	29.03.1981
Зимнич, 20	411	30.08	310	1879–2001	800	02.06.1970
Джурджу, 21	376	24, 30.08	320	1879–2001	795	02.03.1970
Олтеница, 22	393	31.08	320	1879–2001	784	1897
Хыршова, 23	413	02–03.09	320	1898–2001	727	04–06.06.1970
Браила, 24	431	02–03.09	270	1874–2001	639	28.05.1970
Рени, 25	350	02.09	267	1921–2001	555	28.05.1970
Измаил, 26	238	01.09	166	1921–2001	420	22.05.1970
Килия, 27	142	31.08	92	1921–2001	282	02.04.1942
Вилково, 28	128	31.08	59	1921–2001	191	19.02.1979
Приморское, 29	519	12.09	45	1951–2001	599	19.02.1979

* Здесь и в табл. 4–5 – на данных гидрологических постах превышен исторический максимум.

рава, на котором также сформировался дождевой паводок. От Кинштока до Братиславы (146 км) пик паводочной волны дошел за 2 сут со скоростью 73 км/сут.

В Будапеште уровень воды начал повышаться приблизительно 8 августа. Вторая волна паводка от Братиславы до Будапешта (222 км) дошла за 3 сут (со скоростью 74 км/сут). Пик паводка был зафиксирован 19 августа.

Паводочная волна к 22 августа дошла до г/п Мохач (на границе Венгрии и Хорватии). От Будапешта до Мохача (200 км) волна паводка рас-

пространилась за 3 сут со скоростью 67 км/сут. На территории Хорватии максимальные уровни воды были отмечены на г/п Бездан – 22 августа, г/п Богоево – 23 августа.

От г/п Мохач в Венгрии до г/п Нови-Сад в Сербии (192 км) паводочная волна распространилась за 3 сут со скоростью 64 км/сут, а от г/п Нови-Сад до г/п Земун (82 км) за 2 сут со скоростью 41 км/сут. Здесь максимальные уровни были зафиксированы 25 и 27 августа.

На г/п Базиаш в Румынии пик паводка наступил 28 августа. Таким образом, на Среднем Дунае

(от Братиславы до водохранилища Железные Ворота-I) паводочная волна распространилась приблизительно за 12 дней. На этом участке волна паводка распласталась и ее высота уменьшилась с 6.0 до 0.5 м (рис. 4).

На Нижнем Дунае уровни воды начали повышаться 9 августа с началом сброса воды из водохранилищ Железные Ворота-I и II. Сброс был заблаговременно осуществлен для того, чтобы принять воды паводка и по возможности погасить его на участке ниже водохранилищ. С 9 по 16 августа уровень воды в верхнем бьефе водохранилища был сработан на 90 см, а с 17 по 22 августа – еще на 170 см. К моменту, когда паводок достиг Железных Ворот (26–27 августа), уровень в водохранилище был понижен на 260 см. Это дало возможность аккумулировать в водохранилище основной объем паводка и предотвратить дальнейшее повышение уровней воды на Нижнем Дунае.

На Нижнем Дунае (от г/п Турну-Северин до моря) сформировался уже не дождевой паводок, а попуск из водохранилища Железные Ворота-I.

На румынском участке Дуная, на г/п Калафат подъем уровня начался 9 августа (во время начала сброса воды из водохранилища). К 22 августа уровень воды достиг своего максимума. На гидрологических постах Зимница, Джуржду и Олтеница изменение уровня происходило аналогично (рис. 3, табл. 3). Подъем уровня на первых двух постах начался 9 августа, достиг максимума 30 августа. В Олтенице наивысший уровень пришелся на 31 августа. На румынских гидрологических постах Хыршова, Браила и на украинском г/п Рени подъем уровня начался 10–11 августа. Максимумы были достигнуты 2 сентября.

Волна попуска от г/п Калафат до г/п Рени (668 км) распространилась за 11 дней со скоростью 61 км/сут. Вдоль Нижнего Дуная волна попуска быстро распласталась (табл. 3, рис. 4). Ниже г/п Хыршова ее величина составила <3 м, а к устью Килийского рук. дельта снизилась до 1–0.5 м (табл. 3).

Таким образом, на Нижнем Дунае катастрофического паводка не произошло благодаря регулирующей роли водохранилища Железные Ворота-I.

Особенности и последствия паводка

Вторая (большая по величине) волна паводка, пришедшая на вторую половину августа 2002 г., привела к катастрофическому подъему уровней воды на участке Пассау–Будапешт протяженностью ~600 км. На гидрологических постах Киншток, Братислава, Надьмарош уровни воды превысили исторические максимумы, на г/п Будапешт уровень воды был ниже исторического максимума лишь на 1 см (табл. 3). Паводок вызвал сильное наводнение. В Регенсбурге оказались за-

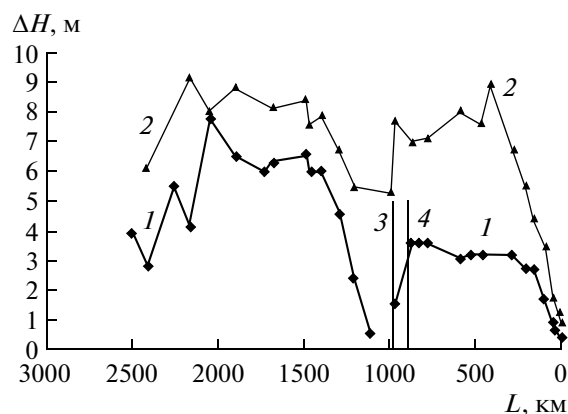


Рис. 4. Изменение вдоль Дуная высоты волн паводка в августе 2002 г. (1) и половодья в июле 1954 г. (2) (здесь и на рис. 6 местоположение плотин Железные Ворота-I и Железные Ворота-II – 3 и 4 соответственно; L – расстояние гидрологического поста от устья рук. Прорва).

топленными некоторые районы города. Больше всего пострадал г. Пассау. Многие населенные пункты между Веной и австро-венгерской границей оказались затопленными. Однако Вена пострадала мало: защитные дамбы сдержали напор воды. Из-за резкого подъема воды 12 августа началась срочная эвакуация жителей г. Девин (пригород Братиславы). На венгерском участке Дуная наводнение угрожало памятникам старины и крупным курортным зонам. В Будапеште от стихийного бедствия пострадала низменная часть района Пешт, находящаяся на левом берегу.

Катастрофические последствия паводка на Верхнем и Среднем Дунае в августе 2002 г. обострили вопрос о мерах по борьбе с наводнениями. Наводнения, наносящие существенный ущерб населению и экономике в бассейне Дуная, – частые события. По оценкам [12] при максимальных расходах воды 1%-ной обеспеченности потенциальному затоплению могут быть подвержены 60 тыс. км² низменных земель вдоль Дуная и его притоков, что составляет >7% площади всего бассейна реки. Сильные наводнения во время паводков и половодий отмечались в бассейне Дуная в 1897, 1902, 1924, 1926, 1940, 1941, 1942, 1954, 1965, 1970, 1980, 1991, 2002, 2006, 2010 гг. [2, 3, 6, 7, 9, 10, 12, 14]. В бассейне реки, в том числе вдоль самого Дуная, уже с XIX в. предпринимались меры по защите земель от наводнений. Построены тысячи километров защитных дамб [3, 9, 12, 15]. Но только после катастрофического паводка в августе 2002 г. разработана комплексная программа по защите бассейна Дуная от наводнений. В ноябре 2002 г. Международная комиссия по охране р. Дунай решила учредить Программу действий по устойчивой защите бассейна Дуная от наводнений. Эта Программа утверждена на уровне мини-

стров придунайских стран в декабре 2004 г. [12]. Программа включает в себя такие меры, как усовершенствование системы наблюдений за наводнениями, прогноза и оповещения, а также комплекс гидротехнических и водохозяйственных мероприятий.

Сравнение данных наблюдений за изменениями уровней воды во время паводка в августе 2002 г. и в периоды паводков до 1970 г. позволяет оценить роль водохранилища Железные Ворота-I в трансформации этих явлений вдоль Дуная. На рис. 4 приведены данные об изменении вдоль реки высот волн паводка (август 2002 г.) и крупного половодья (июль 1954 г.).

На порожистом участке Дуная длиной ~120 км (950–1070 км от г. Сулина), называемом катарактами или Железными Воротами, до сооружения водохранилища резко выклинивались волны паводков и половодий. Это объясняется гидравлическими особенностями движения водного потока на участке русла с очень большими уклонами водной поверхности (в среднем 0.245 и до 4‰ в низкую межень [4]) и значительными скоростями течения. Согласно [9] участки катарактов на расстояниях 945–950 и 990–1100 км от г. Сулина до сооружения водохранилища действовали как огромные водосливы, где на участках быстротоков сезонные колебания уровней не превышали 2–3 м. Снижение же высот волн половодья началось немного выше участка катарактов, ниже г/п Боевое (рис. 4).

После заполнения водохранилища Железные Ворота-I в 1971 г. гидравлические условия выше плотины существенно изменились. Напор у плотины при нормальном подпорном уровне (НПУ) составил 32 м, а во время паводков и половодий полезный объем водохранилища срабатывали и снижали напор у плотины на величину до 6.5 м [3], т.е. до уровня мертвого объема (УМО).

В итоге, как видно на рис. 4, благодаря подпору, распространившемуся вверх по течению на 270 км, и сработке полезного объема водохранилища, распластывание волн паводка (и, как будет показано ниже, половодий) стало начинаться еще выше по течению, чем до 1970 г., т.е. от г/п Мохач. В зоне переменного подпора (гидрологические посты Земун, Базиаш) высота волн паводков и половодий уменьшается до 2.4–0.5 м, а в пределах самого водохранилища (г/п Оршова) даже приобретает отрицательные значения.

Приведенные выше данные о скорости распространения волны паводка вдоль Дуная указывают на постепенное замедление его перемещения на участке Будапешт – водохранилище Железные Ворота-I (с 74 до 41 км/сут). Это замедление скорости распространения характерно и для волн половодья, что объясняется подпорным влиянием водохранилища.

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ПОЛОВОДЬЕ В 2006 г.

Метеорологическая обстановка до и во время половодья

Экстремальное половодье 2006 г. в целом (по срокам и продолжительности) было схожим с аналогичными весенне-летними половодьями в другие многоводные годы, но более мощным, и его формирование в бассейне Дуная имело некоторые особенности, обусловленные метеорологическими факторами.

В декабре 2005 г. в бассейне Дуная в результате активной циклонической деятельности выпало большое количество осадков, почти на 20% превысившее норму [7]. Это предопределило накопление больших запасов снега еще в конце предшествовавшего половодья года.

С середины февраля 2006 г. вследствие поступления тепла в южные районы Европы началась перестройка высотного барического поля: меридиональный перенос воздушных масс сменился зональным, и вновь активизировалась циклоническая деятельность. Влажные атлантические воздушные массы принесли значительные осадки в бассейн Дуная.

Весна 2006 г. в бассейне Дуная была умеренно теплой и влажной. В верхних слоях атмосферы наблюдался в основном зональный перенос воздушных масс, а у земли циклоническая деятельность сменялась малоградиентными барическими полями. Количество осадков за три весенних месяца значительно превысило месячные нормы: в марте на 55, апреле на 35, в мае на 6% [7]. Среднемесячные температуры воздуха были близкими к норме, а в некоторых районах на 0.2–0.8°C выше нормы.

В начале лета погода на Верхнем и Среднем Дунае характеризовалась циклонической деятельностью с обильными ливневыми осадками.

Суммы осадков на ряде метеостанций в бассейне Дуная за период с ноября 2005 по июнь 2006 г. сопоставлены с их среднемноголетними значениями за те же месяцы. Хотя количество осадков за рассматриваемый период 2005–2006 гг. в целом для бассейна Дуная было близким к норме (101%), на многих метеостанциях (например, в бассейнах Верхнего Дуная, Моравы, Тисы и Савы) суммы осадков оказались выше нормы, особенно в декабре 2005 г. и в марте–мае 2006 г. [7].

Таким образом, основными причинами значительного половодья, начавшегося в марте и продолжавшегося по июль 2006 г. (т.е. в течение пяти месяцев), были, во-первых, большие запасы снега, накопившиеся к началу марта как в горных районах, так и на равнине; во-вторых, теплая погода в начале весны (март–апрель), способствовавшая активному снеготаянию, и в-третьих, обильные дожди в весенние месяцы.

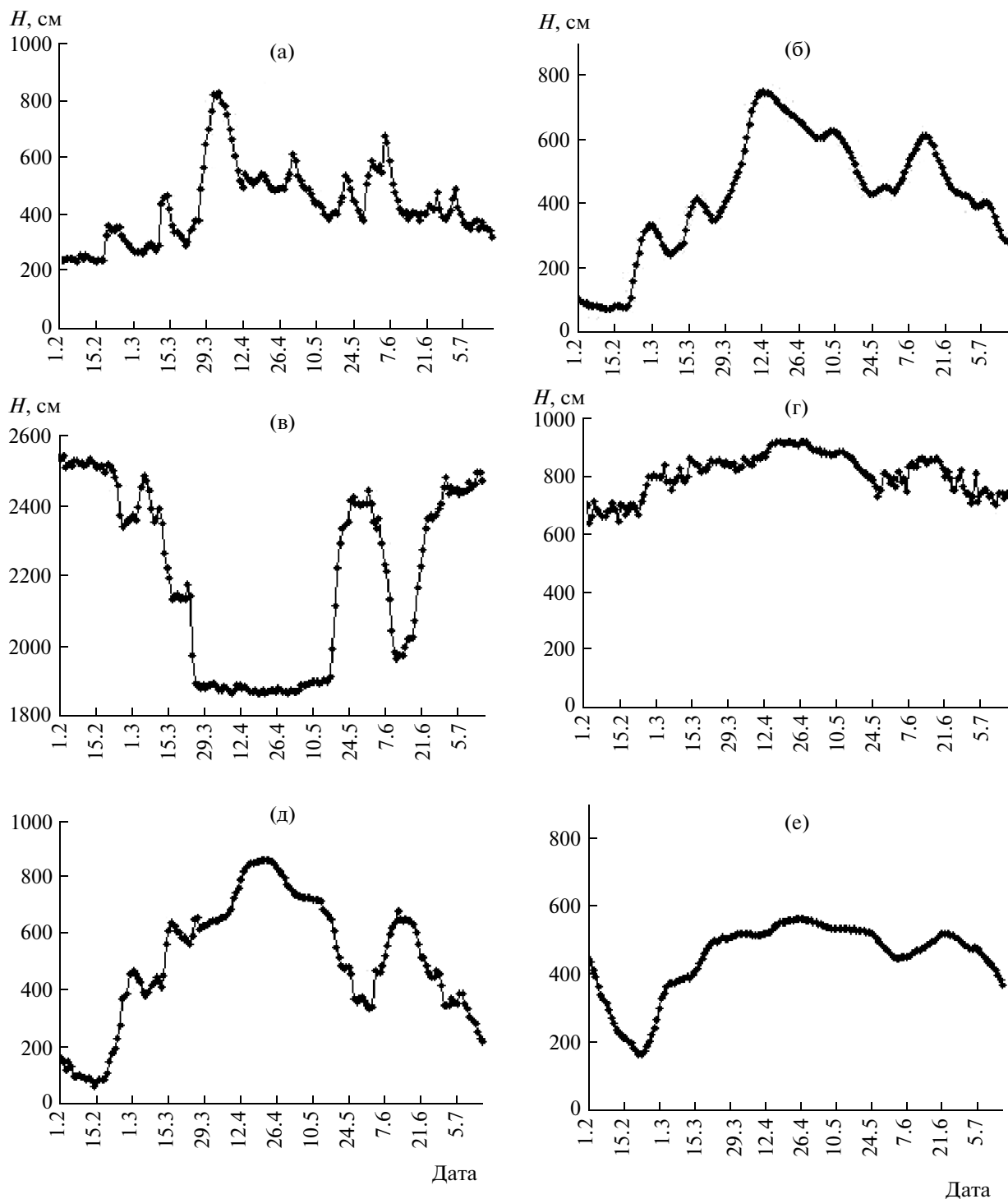


Рис. 5. Графики изменения уровней воды Дуная в марте–июле 2006 г. на гидрологических постах Братислава (а), Нови-Сад (б), Оршова (в), Турну-Северин (г), Калафат (д), Рени (е).

Развитие и трансформация волны половодья вдоль Дуная

На гидрологических постах Верхнего Дуная от Ингольштадта до Кинштока включительно в 2006 г. четко проявились кратковременные дожде-

вые паводки в конце февраля, первой половине марта, начале мая, конце мая – начале июня, а также более длительный подъем уровней воды вследствие снеготаяния и дождей в конце марта – первой половине апреля (рис. 5). В результате этого сложного воздействия снегового и дождевого

Таблица 4. Наивысшие уровни воды на гидрологических постах вдоль Дуная во время половодья 2006 г. и за весь период наблюдений

Гидрологический пост и его номер	Пик половодья 2006 г.			Исторические максимумы до 2006 г. (в период без ледовых явлений)	
	уровень над "0" поста, см	дата	период наблюдений	уровень, см	дата
Ингольштадт, 1	476	11.03	1827–2005	778	18.06.1910
Регенсбург, 2	523	30.03	1884–2005	666	28.03.1988
Пассау, 3	863	29.03	1877–2005	1230	10.07.1954
Линц, 4	613	29.03	1893–2005	963	11.07.1954
Киншток, 5	789	30.03	1830–2005	1085	14.08.2002
Братислава, 6	829	02.04	1823–2005	986	16.08.2002
Надьмарош, 7	713*	04.04	1876–2005	707	18.08.2002
Будапешт, 8	856*	04.04	1876–2005	845	17.06.1965
Мохач, 9	931	08–09.04	1876–2005	984	19.06.1965
Бездан, 10	734	10.04	1876–2005	776	24.06.1965
Богоево, 11	791	10.04	1890–2005	817	15.06.1965
Нови-Сад, 12	745	12.04	1888–2005	778	30.06.1965
Земун, 13	783*	17.04	1876–2005	757	26.03.1981
Базиаш, 14	807*	15–17.04	1874–2005	795	06.04.1942
Оршова, 15	2450	01.06	1971–2005	2568	17.10.1994
Турну-Северин, 16	928*	27.04	1879–2005	906	28.03.1981
Ново-Село, 17	922*	20.04	1941–2005	900	28.03.1981
Калафат, 18	861*	22–23.04	1879–2005	801	29.03.1981
Лом, 19	985*	23.04	1921–2005	934	29.03.1981
Зимнича, 20	839*	24.04	1879–2005	800	02.06.1970
Джурджу, 21	822*	24.04	1879–2005	795	02.06.1970
Олтеница, 22	809	24.04	1879–2005	784	1897
Хыршова, 23	764*	25.04	1898–2005	727	04–06.06.1970
Браила, 24	699*	26.04	1874–2005	639	28.05.1970
Рени, 25	562*	26.04	1921–2005	555	28.05.1970
Измаил, 26	400	25.04	1921–2005	420	22.05.1970
Килия, 27	249	02.05	1921–2005	282	02.04.1942
Вилково, 28	189	01.05	1921–2005	191	19.02.1979
Приморское, 29	538	01.05	1951–2005	599	19.02.1979

питания сформировались две волны весенне–летнего половодья – в марте–апреле и конце мая – начале июня. На гидрологических постах Верхнего Дуная наивысшие уровни воды отмечены в конце марта–самом начале апреля (табл. 4), т.е. во время прохождения первой волны половодья (вы-

сота волны половодья возросла с 3–3.5 (Ингольштадт, Регенсбург) до 4.5–5.5 м (Пассау, Киншток) (рис. 6).

На гидрологических постах Среднего Дуная от Братиславы до Базиаша включительно также хорошо проявились две волны половодья: с середи-

ны марта по начало мая и в первой половине июня (рис. 5). Дождевые паводки постепенно слились с двумя волнами половодья, а сами волны к концу участка немного распластались. Экстремальные уровни на Среднем Дунае наблюдались позже, чем на Верхнем Дунае, — с начала до середины апреля, т.е. также во время первой волны половодья. Наиболее значительный подъем уровней воды, превышающих исторические максимумы, отмечен в верхней части Среднего Дуная на гидрологических постах Надьмарош и Будапешт. На рост уровней здесь повлиял дополнительный приток вод крупного левого притока Моравы. Были превышены исторические максимумы и на гидрологических постах Земун и Базиаш ниже впадения в Дунай полноводных притоков Сава и Тиса (табл. 4).

Вдоль Среднего Дуная высота половодья быстро нарастала от 5.5 (Братислава) до 6.5–7.0 м (Надьмарош, Будапешт). Ниже по течению величина подъема уровня снизилась до 6.0 м. На г/п Базиаш в зоне влияния водохранилища Железные Ворота-I подъем уровня составил ~2.5 м. Сброс воды привел к снижению уровня в водохранилище в период половодья на ~6 м, т.е. почти до УМО (табл. 4, рис. 5, 6). Г/п Оршова на водохранилище отражает регулируемый режим наполнения и сработки этого искусственного водоема (рис. 5). После 1971 г. (начала эксплуатации водохранилища) уровни на г/п Оршова совершенно не характеризуют режим Дуная: они принимают максимальные значения осенью в период наполнения водохранилища и минимальные — весной в предшествующий половодью период наибольшей сработки полезного объема водоема. Регулирующая способность водохранилища во время пропуска максимальных расходов крупного весенне-летнего половодья бывает почти полностью исчерпанной, как в 2006 г. Аналогичная ситуация отмечалась и в другие многоводные годы.

Наиболее экстремальный характер половодья 2006 г. приобрело на Нижнем Дунае (особенно на участке между гидрологическими постами Калафат и Браила). Режим уровней на Нижнем Дунае в 2006 г. был трансформирован сбросом воды из водохранилищ (рис. 5, 6).

Экстремальные уровни воды на участке от г/п Турну-Северин до г/п Рени отмечались в первую волну половодья в конце апреля. На всем протяжении этого участка уровни воды превысили исторические максимумы (табл. 4). Ниже плотины водохранилища Железные Ворота-I величина повышения уровня на подъеме половодья составила всего 2.5 м (г/п Турну-Северин). Небольшие колебания уровня на этом гидрологическом посту, возможно, объясняются влиянием расположенного ниже небольшого водохранилища Железные Ворота-II. Ниже по течению высота

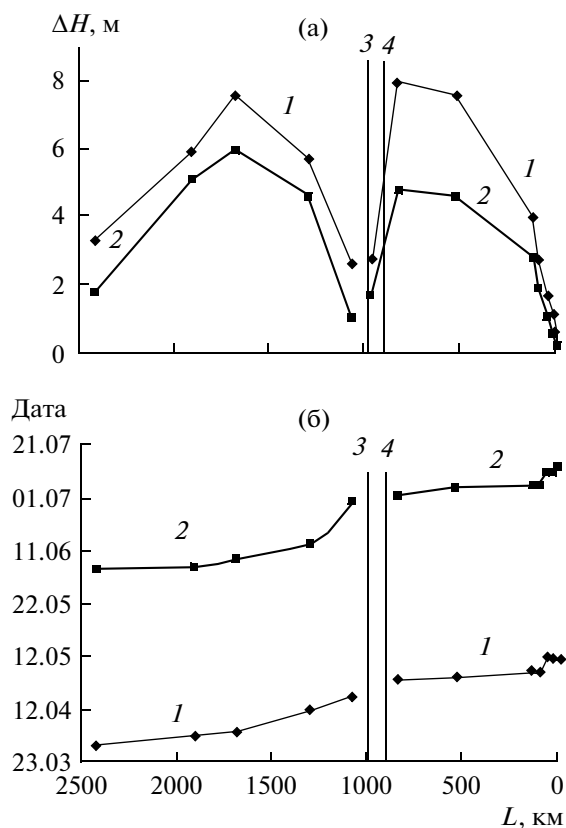


Рис. 6. Изменение вдоль Дуная высоты волн половодья (а) и дат пика половодья (б) в 2006 (1) и 2010 гг. (2).

половодья быстро возросла до 7.0–7.5 м (гидрологические посты Ново-Село, Калафат, Лом, Зимнич, Джурджу, Олтеница) (рис. 5, 6). Далее начался процесс распластывания волны половодья: ее высота уменьшилась приблизительно до 6 м (г/п Хыршова), 5 м (г/п Браила) и 4 м (г/п Рени).

На украинском участке дельты Дуная наибольшие уровни во время половодья 2006 г. (рис. 5, 6, табл. 4) наблюдались в самом конце апреля — начале мая и не превысили исторических максимумов. Это объясняется типичным для всех устьевых участков и дельт распластыванием волны половодья по направлению к морю, где сезонные колебания уровня минимальны, и произошедшим в последние десятилетия перераспределением стока воды из Килийского рук. в смежные рукава, находящиеся на территории Румынии [2]. Величина подъема уровней воды во время половодья 2006 г. постоянно снижалась к Черному морю: от 4.0 м (г/п Рени) до 2.7 м (г/п Измаил), 1.7 м (г/п Килия) и 1.0 м (г/п Вилково) (табл. 4, рис. 5, 6). Повышение уровней воды на устьевом взморье (г/п Приморское) не превысило 0.3 м. На гидрологических постах Вилково и Приморское заметное влияние на уровни воды оказали сгонно-нагонные явления.

Особенности и последствия половодья

Весенне-летнее половодье на Нижнем Дунае, где оно проявилось в наибольшей степени, продолжалось с начала марта по конец июля 2006 г. В целом формирование комплексного талого и дождевого половодья на Дунае и его трансформация вдоль реки в 2006 г. были похожи на развитие этой фазы водного режима в другие многоводные годы, причем и до сооружения водохранилища Железные Ворота-I (рис. 4). Из-за малой величины полезного объема ($<3 \text{ км}^3$) это водохранилище не может оказать регулирующее влияние на огромный сток Дуная во время крупного половодья (не менее 100 км^3).

Отличия половодья 2006 г. — большие запасы снега к началу более раннего, чем обычно, снеготаяния, его активное развитие, обильные дождевые осадки и одновременное формирование половодья на всей территории бассейна с участием крупных притоков.

Экстремальные уровни и расходы воды на г/п Рени во время половодья 2006 г. отмечались по перечисленным выше причинам раньше, чем в среднем за многолетний период: не в конце мая, а в конце апреля. 20 и 21 апреля 2006 г. на гидропосте 54 миля (немного выше вершины дельты) Дунайской ГМО были измерены наибольшие расходы воды за весь период наблюдений с 1921 г.: 15800 и $15900 \text{ м}^3/\text{с}$ при уровнях воды на г/п Рени 553 и 555 см. При уровне 562 см на пике половодья 26 апреля расход воды Дуная в соответствии с кривой $Q = f(H)$ должен был составить $\sim 16000 \text{ м}^3/\text{с}$. Согласно кривой обеспеченности максимальных расходов воды [2] обеспеченность такого расхода должна быть близка к 1%.

Особенности трансформации волны половодья 2006 г. вдоль Дуная отражены на рис. 6. Этот рисунок показывает, что характер изменения высоты половодья на Верхнем и Среднем Дунае очень похож на изменение волны паводка в августе 2002 г. (рис. 4). В 2006 г. резкое распластывание волны половодья также четко проявилось ниже г/п Мохач. Вблизи водохранилища Железные Ворота-I высота волны половодья снизилась до $\sim 3 \text{ м}$. В отличие от паводка, ниже водохранилища отмечен заметный рост высоты волны половодья, а ее распластывание начиналось ниже г/п Джурджу, наиболее сильное — ниже г/п Рени. На рис. 6 проявилась еще одна характерная черта половодий на Среднем Дунае после сооружения водохранилищ: заметное замедление скорости перемещения волны половодья ниже г/п Мохач.

Половодье на Нижнем Дунае в 2006 г. вызвало сильное наводнение. Только в Румынии было затоплено ~ 90 тыс. га сельскохозяйственных угодий, 1000 км дорог, в зону бедствия попали 147 населенных пунктов, полностью разрушено 227 домов, 800 повреждено, эвакуировано 12 тыс. жителей.

Во время половодья 2006 г. уровни воды на украинском участке Дуная превысили опасные и особо опасные отметки. В результате были затоплены грузовые причалы в порту Рени, ряд промышленных предприятий в Измаиле, а также более половины территории г. Вилково. При этом в Вилково повышение уровней до особо опасной отметки было усугублено воздействием нагонного ветра во время прохождения волны весенне-летнего половодья. Защитные дамбы на участке ниже Рени во время половодья работали в напорном режиме и подверглись очень серьезной проверке на прочность. Своевременно принятыми мерами по укреплению дамб удалось избежать их прорыва и затопления прилегающих территорий. Проведенные Дунайской ГМО обследования зон затопления позволили уточнить значения опасных уровней воды для ряда хозяйственных объектов.

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ ПОЛОВОДЬЕ В 2010 г.

Метеорологическая обстановка до и во время половодья

В начале февраля 2010 г. запасы снега в бассейне Дуная были больше средних многолетних. Во второй декаде февраля в придунайских странах установилась теплая и дождливая погода, что привело к интенсивному таянию снега и формированию первой волны весенне-летнего половодья. К середине марта запасы снега в бассейне Дуная вновь пополнились. Образование второй волны весенне-летнего половодья произошло значительно позже: в начале третьей декады мая в результате очень сильных дождей.

Развитие и трансформация волны половодья вдоль Дуная

В бассейне реки сформировались две волны весенне-летнего половодья — в марте и июне—июле (рис. 7). На гидрологических постах Верхнего Дуная наивысшие уровни воды отмечены в первой половине марта, т.е. во время прохождения первой волны половодья. На гидрологических постах Среднего Дуная от Братиславы до Базиаша включительно также хорошо проявились две волны половодья: первая — с 3 по 9 марта и вторая, более высокая, — с 5 по 14 июня (рис. 7, табл. 5).

Половодье 2010 г. приобрело наиболее выраженный характер практически на всем протяжении Нижнего Дуная (особенно между гидрологическими постами Калафат и Килия). Режим уровней воды на Нижнем Дунае в 2010 г. был трансформирован сбросом воды из водохранилища Железные Ворота-I (рис. 7, табл. 5). На Нижнем Дунае на волну половодья наложились вызванные сильными дождями паводки на Сирете и Пруте. Вторая волна половодья на Нижнем Дунае

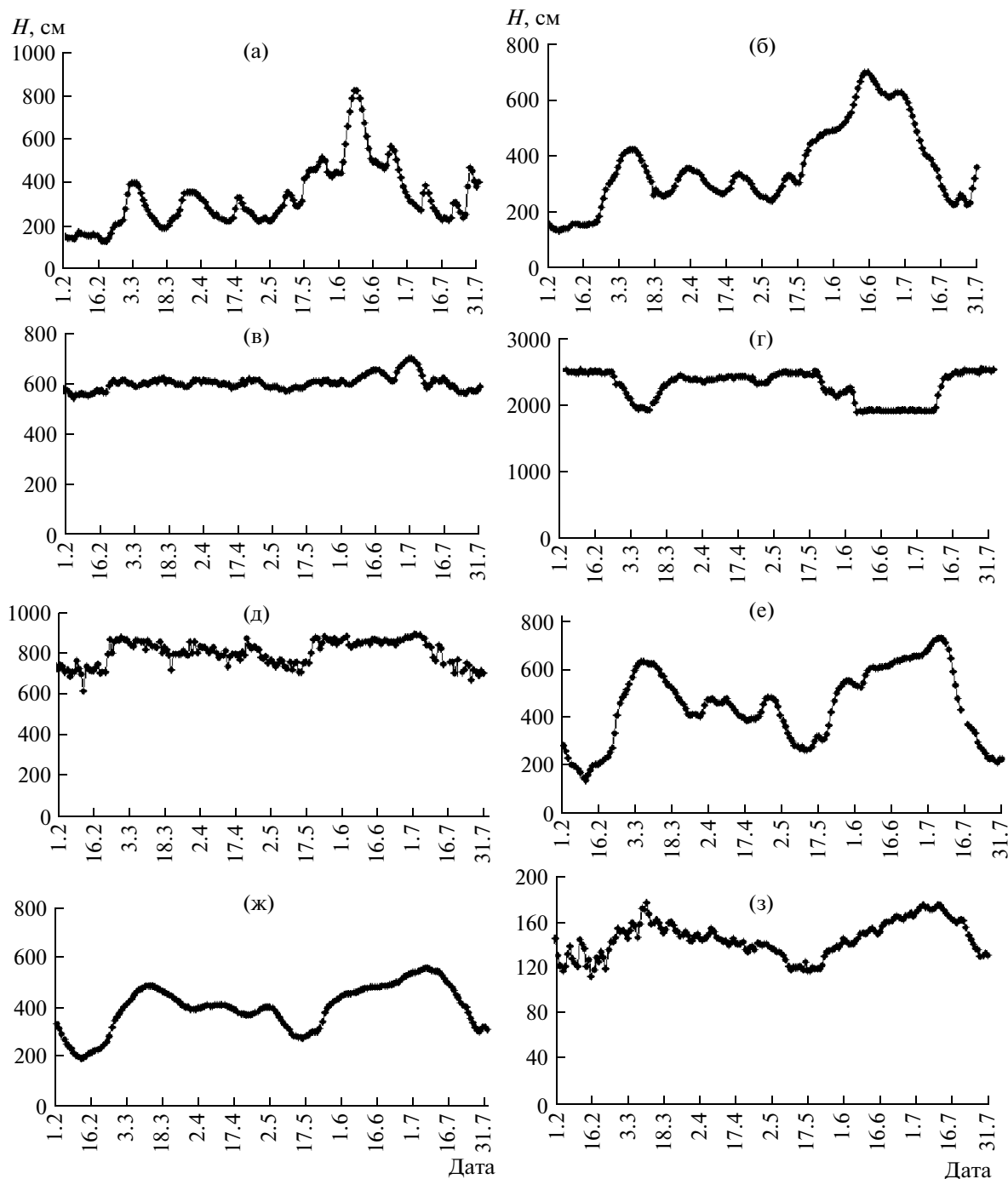


Рис. 7. Графики изменения уровней воды Дуная в марте—июле 2010 г. на гидрологических постах Будапешт (а), Нови-Сад (б), Базиаш (в), Оршова (г), Турну-Северин (д), Калафат (д), Джурджу (е) Рени (ж), Вилково (з).

пришлась на первую декаду июля. На г/п Калафат максимальный уровень был отмечен 2 июля (его подъем был равен 4.8 м), на г/п Джурджу – 5 июля (4.7 м). На г/п Браила 6 июля был зафиксирован уровень 713 см, превысивший исторический максимум 2006 г. на 14 см. На румынском участке Нижнего Дуная исторические максимумы были превышены также на гидрологических постах Га-

лац, Исакча, Тульча, на украинском – 5–6 июля на г/п Рени (581 см).

Особенности и последствия половодья

Во время половодья в 2010 г., так же как и в 2006 г., проявилось влияние водохранилища Железные Ворота-I (рис. 6). Распластывание второй

Таблица 5. Наивысшие уровни воды на гидрологических постах вдоль Дуная во время половодья 2010 г. и за весь период наблюдений

Гидрологический пост и его номер	Половодье 2010 г.		Исторические максимумы до 2010 г. (в период без ледовых явлений)		
	уровень над "0" поста, см	дата	период наблюдений	уровень, см	дата
Ингольштадт, 1	485	04.06	1827–2009	778	18.06.1910
Регенсбург, 2	497	04.06	1884–2009	666	28.03.1988
Пассау, 3	861	03.06	1877–2009	1230	10.07.1954
Линц, 4	497	04.06	1893–2009	963	11.07.1954
Киншток, 5	821	04.06	1830–2009	1085	14.08.2002
Братислава, 6	832	05.06	1823–2009	986	16.08.2002
Надьмарош, 7	683	07.06	1876–2009	713	4.04.2006
Будапешт, 8	827	08.06	1876–2009	856	4.04.2006
Мохач, 9	923	11.06	1876–2009	984	19.06.1965
Бездан, 10	723	11.06	1876–2009	776	24.06.1965
Богоево, 11	765	13.06	1890–2009	817	15.06.1965
Нови-Сад, 12	694	14–15.06	1888–2009	778	30.06.1965
Земун, 13	662	14.06	1876–2009	783	17.04.2006
Базиаш, 14	702	30.06–01.07	1874–2009	807	15–17.04.2006
Оршова, 15	2520	19.07	1971–2009	2568	17.10.1994
Турну-Северин, 16	895	02.07	1879–2009	928	27.04.2006
Ново-Село, 17	805	01.07	1941–2009	922	20.04.2006
Калафат, 18	710	02.07	1879–2009	861	22–23.04.2006
Лом, 19	869	02.07	1921–2009	985	23.04.2006
Зимнича, 20	710	04–05.07	1879–2009	839	24.04.2006
Джурджу, 21	727	05.07	1879–2009	822	24.04.2006
Олтеница, 22	722	10.07	1879–2009	809	24.04.2006
Хыршова, 23	746	07.07	1898–2009	764	25.04.2006
Браила, 24	713*	06.07	1874–2009	699	26.04.2006
Рени, 25	581*	06.07	1921–2009	562	26.04.2006
Измаил, 26	399	06–07.07	1921–2009	420	22.05.1970
Килия, 27	241	11.07	1921–2009	282	02.04.1942
Вилково, 28	177	10–11.07	1921–2009	191	19.02.1979
Приморское, 29	531	10.07	1951–2009	599	19.02.1979

волны половодья началось ниже г/п Мохач. В зоне подпора также отмечено замедление скорости движения волны половодья. Как и в 2006 г., ниже водохранилища Железные Ворота-II произошло сложение волн половодья и попуска, а ниже гидрологических постов Калафат и Джурджу началось быстрое распластывание волны половодья.

Отличие половодья 2010 г. от половодья 2006 г. заключалось в наличии хорошо выраженных на

всем протяжении Дуная двух волн. Это иллюстрируют графики на рис. 7 и данные о стоке воды в табл. 2. Распределение стока воды в период половодья в 2010 г. было более неравномерным, чем в 2006 г.: отмечены два наиболее многоводных месяца – март (10.5% годового стока) и июнь (11.6%).

Во время половодья в 2010 г. на украинском участке Дуная прошел максимальный расход воды за весь период наблюдений с 1840 г. Уровню воды

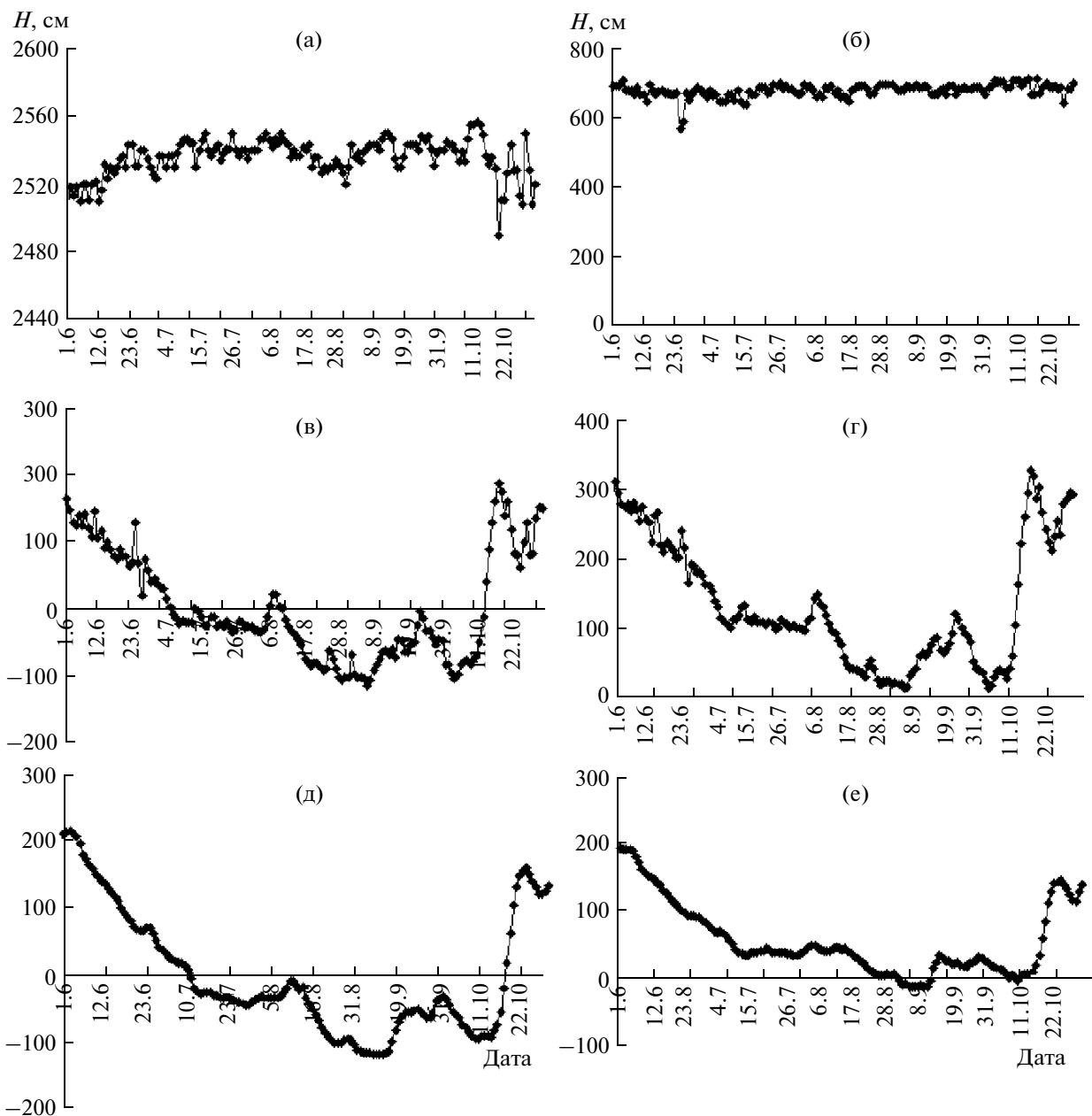


Рис. 8. Графики изменения уровней воды Дуная в августе–октябре 2003 г. на гидрологических постах Оршова (а), Турну-Северин (б), Калафат (в), Лом (г), Хыршова (д), Рени (е).

на г/п Рени, превысившему на 19 см исторический максимум, достигнутый в предыдущее значительное половодье 2006 г., соответствует, согласно кривой расходов [2], расход воды ~17000 м³/с. По ориентировочным расчетам обеспеченность этого расхода составляет 0.7–0.8%, а повторяемость – 1 раз в 125–140 лет (для расчета использовалась кривая обеспеченности максимального стока для 1970–2002 гг. [2]).

Несмотря на экстремальные уровни и расходы воды на Нижнем Дунае и охватывающее пойму реки наводнение, больших ущербов населению и

хозяйству нанесено не было. На украинском участке Дуная и в дельте отмечено подтопление грузовых причалов в городах Рени и Измаиле и низменных мест в г. Вилково.

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ МЕЖЕНЬ В 2003 г.

Метеорологические процессы, вызвавшие засуху и маловодье

В 2003 г. в бассейне Дуная был отмечен значительный дефицит осадков в виде дождя и снега. В Германии продолжительная засуха в феврале–сен-

Таблица 6. Наинизшие уровни воды на гидрологических постах вдоль Нижнего Дуная во время межени 2003 г. и за весь период наблюдений (прочерк – отсутствие данных)

Гидрологический пост и его номер	Межень 2003		Исторические минимумы до 2003 г. (в период без ледовых явлений)		
	уровень над "0" поста, см	дата	период наблюдений	уровень, см	дата
Ново-Село, 17	–37	05.09	1941–2002	–52	22.01.1985
Калафат, 18	–116*	05.09	1921–2002	–87	04.01.1954
Лом, 19	12	05.09	1921–2002	9	23.01.1985
Зимнича, 20	–66	07.09	–	–	–
Джурджу, 21	–144*	08.09	1921–2002	–126	12.09.1990
Олтеница, 22	–59	08.09	1921–2002	–110	24.10.1947
Хыршова, 23	–125*	06–08.09	1921–2002	–123	10–11.10.1992
Браила, 24	–1	05–06.09	1921–2002	–61	14.01.1954
Рении, 25	–13	10.09	1921–2002	–66	28.10.1921
Измаил, 26	6	04.09	1921–2002	–30	31.10–01.11.1921
Килия, 27	5	04.09	1921–2002	–23	31.10.1929
Вилково, 28	43	01.09	1922–2002	–20	11.03.1929

* На данных гидрологических постах уровень упал ниже исторического минимума.

тябре была вызвана устойчивым антициклоном. Общие потери воды на транспирацию растениями и испарение с поверхности почвы в некоторых частях бассейна Дуная были значительными и даже могли превысить количество осадков. Многие метеостанции в Германии зарегистрировали в 2003 г. самое жаркое лето за всю историю наблюдений. В других странах в верхней части бассейна Дуная в 2003 г. были также зарегистрированы очень малые величины осадков и крайне высокие температуры воздуха. В нижней части бассейна Дуная погода была также жарче обычной, соответствующей климатической норме.

Развитие и трансформация межени вдоль Нижнего Дуная

Сток воды в 2003 г. был намного меньше нормы – всего 159 км³. На долю марта–июля пришлось всего 44.8% годового стока (табл. 2). Летом уровни воды, особенно на Нижнем Дунае, упали до наинизших отметок. Однако на гидрологических постах Оршова и Турну-Северин, находящихся в зоне влияния водохранилищ, не было отмечено ярко выраженной межени и минимальных уровней. Данные о межени в 2003 г. и исторических минимумах уровня воды на некоторых гид-

рологических постах на Нижнем Дунае представлены на рис. 8 и в табл. 6.

На румынском участке Дуная уровни воды на гидрологических постах Калафат и Лом достигли минимальных отметок 5 сентября. С 1 июня по 5 сентября уровни на этих постах упали соответственно на 280 и 297 см. Аналогично изменялись уровни на гидрологических постах Зимнич, Джурджу и Хыршова. На гидрологических постах Джурджу и Хыршова с 1 июня по 8 сентября уровень упал на 315 и 337 см соответственно.

На украинском г/п Рени уровень изменялся подобным образом. За период с 1 июня до 4 сентября уровень упал на 209 см. Минимальной отметки он достиг 10 сентября. Этот уровень воды соответствует расходу воды 2130 м³/с, что намного меньше среднегодового минимального расхода воды Дуная в вершине дельты (3010 м³/с) [2].

В Килийском рук. дельты Дуная падение уровня в августе–октябре 2003 г. было менее значительным, чем на устьевом участке реки (г/п Рени). Это может объясняться влиянием подпора со стороны Черного моря [2].

Подъем уровня воды 14 сентября, зафиксированный на некоторых постах в дельте, был вызван штормовым нагоном в устье Дуная.

ВЫВОДЫ

Повышение температуры воздуха и воды, смягчение ледовых условий, рост количества осадков, увеличение среднего водного стока Дуная со второй половины XX в., участвовавшие крупные половодья в последней его четверти и, особенно, рассмотренные в статье экстремальные паводок в августе 2002 г. и весенне-летние половодья в 2006 и 2010 гг. свидетельствуют о явных направленных изменениях климатических и гидрологических условий в бассейне реки.

Основными причинами трех упомянутых экстремальных гидрологических явлений стали аномальные дожди в большей части бассейна Дуная, а в 2006 и 2010 гг. — также большие запасы снега, накопившиеся к началу снеготаяния в верхней и средней частях бассейна. В период весенне-летнего половодья обычно формируются две волны: более ранняя (в основном в результате снеготаяния) и более поздняя (в результате дождей). В половодье 2006 г. преобладал вклад талого стока, в половодье 2010 г. — дождевого. В первом случае более мощной была первая волна половодья, во втором — вторая.

Во время трех рассматриваемых событий исторические максимумы уровней воды в совокупно-

сти были превышены на протяжении более 2 тыс. км (от г/п Киншток в Австрии до вершины дельты). Поскольку ряды наблюдений на многих гидрологических постах начинаются с 1830–1880 гг., повторяемость рассматриваемых явлений составляет один раз не менее чем в 130 лет.

Своевременная сработка полезного объема водохранилища Железные Ворота-I в августе 2002 г. заметно уменьшила подъем уровней на вышележащем участке (г/п Базиаш) и срезала высоту паводка ниже плотины, где он трансформировался в попуск. Однако в 2006 и 2010 гг. небольшой полезный объем водохранилища в сравнении с объемом половодья в эти годы не позволил осуществлять его регулирование на Нижнем Дунае. Более того, сложение волны половодья и попуска привело к заметному увеличению высоты волны половодья (гидрологические посты Калафат, Джурджу). Ниже по течению вплоть до Черного моря, особенно в пределах дельты, волны паводка и половодья быстро распластывались.

Экстремальные гидрологические явления в 2002, 2006 и 2010 гг. сопровождалось сильными наводнениями на многих участках Дуная, особенно в пределах Австрии, Словакии, Венгрии, Румынии. Населению и хозяйству был нанесен заметный ущерб. На украинских участках Дуная и дельты были превышены опасные и особо опасные уровни, но значительных наводнений не было.

Засуха и чрезвычайно низкая межень в июле–октябре 2003 г. также может быть отнесена к экстремальным гидрологическим явлениям. В этом году половодья на Дунае практически не было.

Отмеченные в последние десятилетия экстремально большие и малые расходы воды и соответствующие им чрезвычайно высокие и низкие уровни воды свидетельствуют о климатически обусловленном увеличении изменчивости гидрологических процессов в бассейне Дуная.

Во время описанных событий хорошо действовали гидрометеорологические службы придунайских стран, осуществлявшие наблюдения, обмен информацией и оповещение населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрологический справочник реки Дунай. 1921–1990. Будапешт: Издание Дунайской комиссии, 1995. 166 с.
2. Гидрология дельты Дуная. М.: ГЕОС, 2004. 448 с.
3. Гидрология реки Дунай. Братислава: Priroda, 1988. 351 с.
4. Дунай и его бассейн. Гидрологическая монография. Таблицы. Кобленц: Региональное сотрудничество придунайских стран, 1986. 228 с.

5. Дунай и его бассейн. Гидрологическая монография. Термический и ледовый режим Дуная и его основных притоков. Братислава: Priroda, 1993. Т. 2. 116 с.
6. Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Морозов В.Н. и др. Катастрофический паводок на Дунае в августе 2002 г. // Метеорология и гидрология. 2004. № 1. С. 81–88.
7. Михайлов В.Н., Морозов В.Н., Черой Н.И. и др. Экстремальное половодье на Дунае в 2006 г. // Метеорология и гидрология. 2008. № 1. С. 80–86.
8. Climate Change 2007. Synthesis report. Summary for policymakers // www.ipcc.ch
9. Die Donau und ihr Einzugsgebiet. Eine hydrologische Monographie. Texte. Koblenz: Regionale Zusammenarbeit der Donauländer, 1986. 377 s.
10. Dunărea între Bazia și Ceatal Izmail. Monografie Hidrologică. București, 1967. 369 p.
11. Ecological gradients in the Danube delta lakes. RIZA report. 2000. 167 p.
12. Flood action programme. Action programme for sustainable flood protection in the Danube River basin // www.icpdr.org/icpdr-pages/floods.htm
13. Global and regional climate changes. Conference abstracts. Intern. conf. Kyiv, 2010. 87 p.
14. Mikhailova M., Morozov V., Cheroy N. Extreme hydrological events on the Lower Danube and in the mouth area during recent decades // XXIV Conf. Danubian Countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. E-papers. Bled. 2008. 10 p.
15. The Danube and its cathment. A hydrological monograph. Inventory of the main hydraulic structures in the Danube basin. Koblenz, 2004. V. IX/1. 62 p.