

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 551.482.6

НАВОДНЕНИЯ В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ВИСЛЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЕЛЬТЫ¹

© 2023 г. М. В. Михайлова*

Институт водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

**e-mail: mv.mikhailova@gmail.com*

Поступила в редакцию 13.02.2023 г.

После доработки 19.05.2023 г.

Принята к публикации 01.06.2023 г.

Дана общая географическая характеристика бассейна Вислы и ее устьевой области, приведены краткие сведения о современном гидрологическом режиме устья реки. Подробно рассмотрена история наводнений в дельте Вислы и их исследований, а также эволюция дельты и динамика ее гидрографической сети.

Ключевые слова: река, дельта, рукав, половодье, ледяной затор, наводнение, Вислянские Жулавы, Канал Висла, Гданьский и Вислинский заливы.

DOI: 10.31857/S0321059623600175, **EDN:** TNBCCW

Висла (польск. “Wisła”, нем. “Weichsel”) – крупнейшая река Польши. Среди рек, впадающих в Балтийское море, по водоносности уступает лишь Неве, но превосходит такие реки, как Нямунас и Одра. Висла поставляет в Балтийское море ~7% пресной воды. В устье реки сформировалась самая большая на побережье Балтийского моря дельта.

Гидрологический режим устьевой области Вислы, включая дельту, довольно сложен. Он многократно подвергался изменениям, вызванным перераспределением стока воды по пространству дельты и переформированием ее гидрографической сети. Причины переформирования гидрографической сети дельты были как естественными, связанными с прорывами русловых валов, защитных дамб и вдольбереговых волноприбойных валов во время опасных гидрологических событий (наводнений и ледяных заторов), так и антропогенными (углубление или перекрытие рукавов, сооружение каналов и прорезей и т. п.).

Задача статьи – аналитический обзор результатов исторических и современных гидрологических исследований дельты Вислы, выявление особенностей эволюции дельты и динамики ее гидрографической сети под влиянием опасных гидрологических событий, в частности разрушительных наводнений.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве теоретической основы при написании статьи использованы положения теории гидролого-морфологических процессов в устьях рек [2].

Типизация опасных гидрологических процессов и событий в устьях рек пока отсутствует. Причина – сложность строения и гидрологического режима устьевых областей. В России и за рубежом нет и общепринятых классификаций наводнений. Российские ученые, занимающиеся исследованием устьев рек, пока придерживаются разработанной в [1, 5] типизации наводнений по генетическому признаку, т. е. по происхождению и определяющим факторам. Так, наводнения можно подразделить на речные (стоковые, заторные и зазорные, стоково-заторные и стоково-зазорные, морфодинамические, стоково-морфодинамические, стоково-дождевые) и морские (нагонные, стоково-нагонные и пр.). Стоковые наводнения вызываются максимальными расходами воды и критически высокими уровнями в реке во время половодья и паводков. Заторные и зазорные наводнения возникают из-за препятствий, создаваемых ледяными заторами и зазорами, движению речных вод. Масштабные наводнения возможны при сочетании больших расходов воды и мощных заторов и зазоров льда (стоково-заторные и стоково-зазорные наводнения). К морфодинамическим наводнениям приводит размыв берегов, прорыв прирусловых валов или защитных дамб, искусственные прокопы и прораны в берегах. Эти наводнения часто совпадают с пери-

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема FMWZ-2022-0001).

одом половодья или паводков. Дополнительным фактором могут быть заторы льда и интенсивный ледоход, поэтому, за редким исключением, их часто сложно отделить от стоковых и стоково-заторных наводнений (стоково-морфодинамические и стоково-заторно-морфодинамические наводнения). К нагонным наводнениям приводят ветровые нагоны на устьевом взморье (нагонные колебания уровня воды в устье могут иметь большой размах и проникать на значительные расстояния вверх по течению). Масштабы и последствия нагонных наводнений возрастают при сложении стокового и нагонного повышения уровней воды, т. е. при стоково-нагонном наводнении.

В устьевой области Вислы бывают наводнения следующих типов: стоковые, заторные, морфодинамические. Иногда на урбанизированных территориях в результате сильных ливней бывают внезапные и разрушительные наводнения (типа “flash floods”). Наиболее масштабные наводнения происходят при сочетании половодий и паводков, заторов льда, интенсивного ледохода и русловых деформаций. Итогом этих стоково-заторно-морфодинамических наводнений (за редким исключением их сложно разделить по типу) может быть рождение и развитие новых рукавов и протоков, отмирание старых, изменения гидрографической сети дельты.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВИСЛЕ И ЕЕ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ

Длина Вислы, по разным данным, составляет 1022 [18], 1024 [8], 1047 [22, 24, 25], 1068 км [27]; площадь бассейна — 193.9 [8], 194.0 [22, 24, 25], 194.4 [18], 199.5 [27], 199.8 [21] тыс. км². Большая часть бассейна (по разным оценкам, от 168.8 до 173.9 тыс. км²) находится в Польше, незначительные участки — в Словакии, Украине и Белоруссии. Висла берет начало в Силезских Бескидах (Карпаты) при слиянии рек Белая Виселка и Черная Виселка, впадает в Гданьский и Вислинский заливы Балтийского моря. Крупные правобережные притоки — Сола, Скава, Раба, Ушвица, Дунаец, Брень, Вислока, Ленг, Сан, Выжница, Коделька, Вепш, Окшейка, Вильга, Свицер, Нарев, Скрва и Дрвенца; левобережные — Гостыня, Пшешма, Шренява, Нидзица, Нида, Чарна, Копшияннка, Опатувка, Каменна, Илжанка, Зволенька, Радомка, Пилица, Бзура, Брда, Вда и Вежица. В зарубежной литературе Вислу делят на Верхнюю (от истока до места впадения р. Сан), Среднюю (между местами впадения притоков Сан и Нарев) и Нижнюю (ниже впадения р. Нарев).

Климат бассейна Вислы умеренный, переходный от морского к континентальному. В низменной части бассейна температура воздуха в самый

холодный месяц (январь) от -5 до 0°C , в самый теплый (июль) $17-19^{\circ}\text{C}$ [4]. Годовое количество осадков возрастает от 550 мм на равнинах в центральной части Польши до 1100 мм в горах верхней части бассейна; в устьевой области ежегодно выпадает 600 мм [25]. В бассейне реки произрастают еловые, смешанные, широколиственные леса (средняя лесистость бассейна 31.5%). Сельскохозяйственные угодья занимают 61% площади речного бассейна (из них пахотные земли — 42%), реки, озера водно-болотные угодья — 1.7%, застроенные территории — 5.8% [18].

Водные ресурсы Вислы используются для орошения земель, водоснабжения промышленных предприятий, городов и населенных пунктов, выработки электроэнергии. На Нижней Висле между городами Плоцк и Влоцавек (618–675-й км) в 1970 г. сооружено водохранилище многоцелевого назначения (выработка электроэнергии, водоснабжение, защита от наводнений) [25]. Площадь водохранилища Влоцавек 75 км², полный и полезный объем 0.400 и 0.055 км³ соответственно [28].

Висла судоходна на расстоянии 941 км (от моря до впадения притока Пшешма) [24]. Висла соединена Днепровско-Бугским каналом с Днестром, Августовским каналом — с Неманом, Быдгошским каналом — с Одрой. На Висле расположены города Краков, Тарнобжег, Варшава, Плоцк, Влоцлавек, Торунь, Выдгощ, Грудзёндз, в дельте — Тчев, Гданьск, Мальборк, Эльблонг. На территории бассейна реки живет ~20 млн чел. [25].

Висла имеет обширную устьевую область (рис. 1, 2), включающую дельту и устьевое взморье. Дельта имеет форму треугольника высотой 50 км и длиной основания 45 км [4]. Площадь дельты, по [14], составляет >1000 км², по расчетам В.И. Кравцовой (МГУ), 1222 км².

Гидрографическая сеть дельты очень сложна. В естественных условиях Висла ветвилась на множество рукавов, конфигурация русел которых постоянно изменялась из-за прорывов и наводнений. Первое дельтовое разветвление (вершина дельты) находится около г. Бяла-Гура; здесь река делится на Ленивку, текущую на С через г. Тчев, и Ногат. Рукав Ногат (длина 62 км [10]) следует на СВ через города Мальборк и Эльблонг и впадает в Вислинский залив. Ленивка начинает делиться на рукава вблизи полосы береговых волноприбойных валов в местечке под названием Гданьска-Глова: вправо уходит рук. Шкарпава (в прошлом Эльблонгская Висла), влево ответвляется Гданьская (Данцигская) Висла, которая ниже по течению разветвляется на Смелую Вислу и Мертвую Вислу. Шкарпава (длина 25.4 км [10]) около дер. Рыбина делится на два рукава — собственно Шкарпаву и Вислу-Кролевицка, впадающих в Вислинский залив. Смелая Висла и Мертвая Висла впадают в Гданьский залив. В 1895 г. около Свиб-

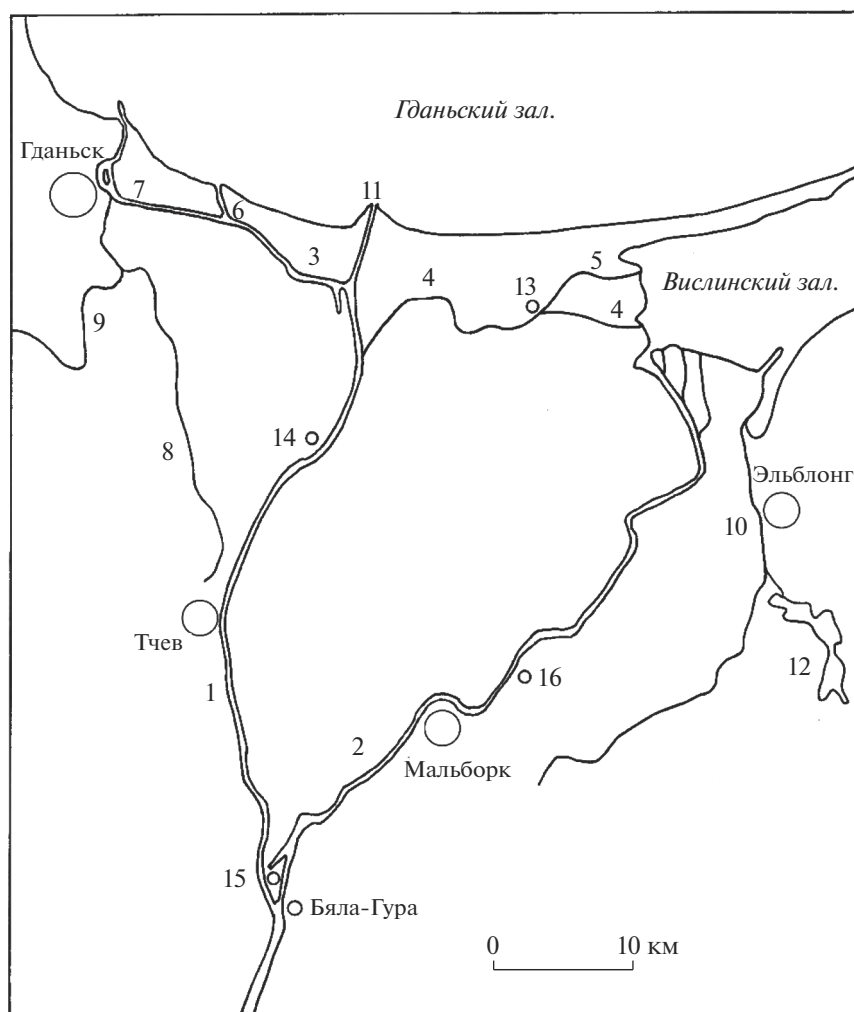


Рис. 1. Схема устьевой области Вислы. Рукава дельты и реки: 1 – Ленивка, 2 – Ногат, 3 – Гданьская (Данцигская) Висла, 4 – Шкарпава (Эльблонгская Висла), 5 – Висла-Кролевицка, 6 – Смелая Висла, 7 – Мертвая Висла, 8 – Мотлава, 9 – Радуня, 10 – Яблонг; 11 – Канал Висла; 12 – оз. Дружно. Населенные пункты: 13 – Рыбина, 14 – Гемлиц, 15 – Пекло, 16 – Янувка (Йонасдорф).

но через береговые волноприбойные валы была сооружена прорезь, соединившая основное русло Вислы с Гданьским заливом. Это русло получило название Канал Висла (польск. “Przekop Wisły”). Сток реки был сосредоточен в едином обвалованном русле; рукава Ногат, Шкарпава и Мертвая Висла перекрыты и зарегулированы.

Дельтовую равнину (собственно дельту) Вислы называют Вислянскими Жулавами. По одной версии, название Жулавы происходит от прусского “solov” (остров) или польского “żuł” (ил); по другой – от литовских “sala” (остров) и “žolė” (травы). Жулавы в свою очередь делят на следующие части: Гданьские Жулавы – западную часть дельтовой равнины между окраиной Кашубского поозерья и Вислой; Мальборские Жулавы, или Великие Жулавы, между Вислой и Ногатом; Эльблонгские Жулавы – часть дельтовой равнины к

В от Ногата. Ландшафт Жулав практически полностью преобразован (в естественных условиях 28% площади Жулав находилось бы ниже уровня моря); здесь сооружены многочисленные шлюзы, дамбы, валы, плотины и каналы, построены насосные станции, поддерживающие безопасные уровни воды в водотоках.

На рук. Ногат расположены основные порты – Эльблонг и Мальборк, на Мертвой Висле – Гданьск, на основном русле Вислы – Тчев. 17 сентября 2022 г. открыт судоходный канал Новы Свят (польск. “Kanał żeglugowy Nowy Świat”) через Вислинскую косу, соединяющий Вислинский и Гданьский заливы. В регионе развиты судостроительная и судоремонтная отрасли (верфи в Гданьске и Гдыне), рыболовство и переработка рыбы. Жулавы – важнейший сельскохозяйственный регион Польши. Здесь возделывают пшени-

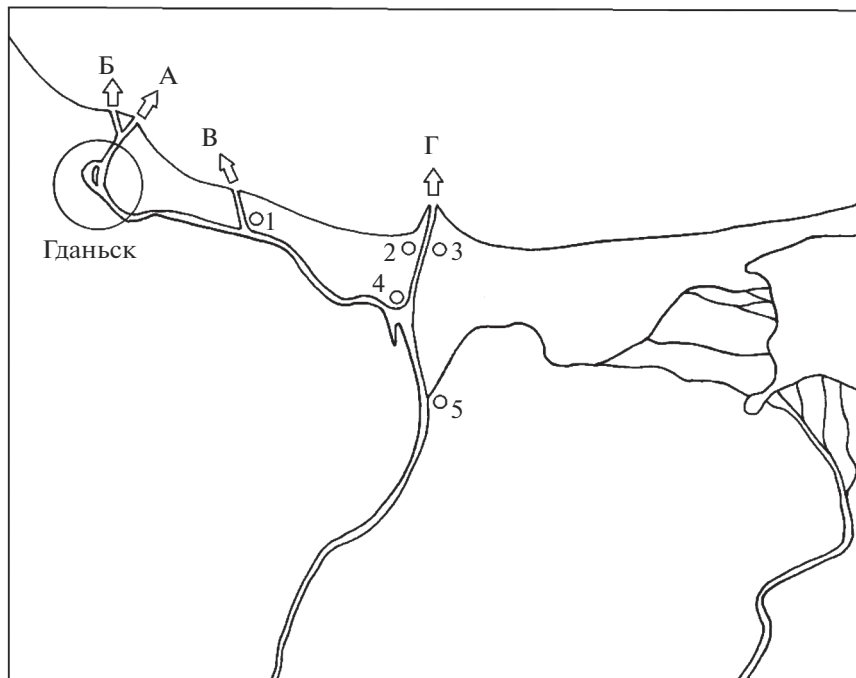


Рис. 2. Схема изменения положения устьев рукавов в дельте Вислы. Места выходов рук. Гданьская Висла: до 1724 г. (А), после прорыва в 1724 г. (Б), после Нойферского прорыва в 1840 г. и Канала Висла с 1985 г. (Г). Населенные пункты: 1 — Гурки-Всходне (Эстлих-Нойфер), 2 — Свибно, 3 — Микошево, 4 — Пшегалина, 5 — Гданьска-Глова.

цу, сахарную свеклу, масличные культуры, овощи; развито животноводство.

СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ ВИСЛЫ

Сток воды и наносов Вислы

Водное питание реки смешанное — снеговое и дождевое. Для водного режима реки характерно весеннее половодье. Подъем уровней воды начинается уже в конце января — начале февраля. Сначала наблюдается медленный подъем уровней, затем следует их скачкообразное повышение. Главная волна весеннего половодья проходит в марте—апреле. После периода половодья наступает летняя межень. Продолжительные и полноводные летне-осенние паводки, по объему водного стока часто превосходящие половодье, — отличительная черта водного режима реки. Висла имеет низкую зимнюю межень, иногда прерывающуюся паводками, обусловленными оттепелями. Половодья и паводки на Висле часто сопровождаются наводнениями.

По литературным данным, обобщенным в [4], среднеегодульный водный сток Вислы в устье оценивается от 32.9 до 34.7 км³/год. По более новым данным [22], среднеегодульный расход воды на гидрологическом посту (г/п) Тчев (площадь водосбора 193.9 км²) за период с 1921 по 2016 г. составил 1026 м³/с (объем стока 32.4 км³/год).

По расчетам [18], среднеегодульный расход воды на г/п Тчев за 1951—2015 гг. равен 1020 м³/с (32.2 км³/год). Причем период 1951—1980 гг. отличался большей водностью (1072 м³/с, или 33.8 км³/год), чем 1981—2015 гг. (1044 м³/с, или 32.9 км³/год). Наиболее многоводные месяцы — март и апрель (2600—2800 м³/с), самые маловодные — август, сентябрь и октябрь (500—600 м³/с) [11]. Наибольший среднесуточный расход воды (9530 м³/с) был зафиксирован во время половодья в 1924 г. [22].

По оценкам [11], сток взвешенных наносов составляет 1.5—2.2 млн т/год, влекомых — 0.4—1.4 млн т/год; по [21], сток взвешенных наносов за 1946—1995 гг. был равен 0.833 млн т/год.

Ледовый режим на Нижней Висле отличается неустойчивостью и отсутствием типичной для многих рек зоны умеренного климата последовательности ледовых явлений, во многом связанных с сооружением водохранилища Вроцлавек. В дельте реки вследствие раздробленности русловой сети, морфологически сложных узлов разветвления рукавов при поступлениях больших объемов речного льда из бассейна реки во время ледохода часто возникают заторы льда. Среднеегодульные даты начала и окончания ледовых явлений — 5 декабря и 9 марта [23]. В последние десятилетия проявились признаки заметного потепления климата и смягчения ледовых условий. Анализ дан-

ных наблюдений за ледовыми явлениями на Нижней Висле на г/п Торунь начиная с 1860 г. показал сокращение числа дней с ледовыми явлениями и ледоставом. Если во второй половине XIX в. период с ледовыми явлениями составлял ~100 дней, то к началу XX в он сократился до 50 дней, а продолжительность ледостава уменьшилась с ~70 дней до 0 [23].

Гидрологический режим Гданьского и Вислинского заливов

Южную часть Гданьского залива и вершину Вислинского залива можно рассматривать как части устьевого взморья Вислы.

Средняя отметка уровня воды в Гданьском заливе –0.13 м БС. Современное повышение уровня всего Балтийского моря составляет ~3 мм/год [19]. Среднемесячные уровни воды наименьшие – ранней весной, наибольшие – летом и осенью; при этом годовой размах колебаний уровня – в среднем 10–15 см [4]. Нагонное повышение уровня – до 1.5 м, дальность его распространения вверх по течению достигает 30 км (почти до г/п Тчев) [24]. В последние годы изменилась атмосферная циркуляция над Балтийским морем, что привело к увеличению интенсивности и повторяемости северо-западных штормов вдоль всего польского побережья [19]. Волнение в Гданьском заливе играет важную роль в формировании морского края дельты Вислы; под его воздействием сформировался относительно выровненный аккумулятивный берег дельты, продолжением которого служит ориентированная в восточном направлении Вислинская (Балтийская) коса длиной ~65 км, отделяющая от Балтийского моря Вислинский залив [30].

Вислинский залив расположен в восточной части Гданьского залива и представляет собой узкую, длинную и мелкую лагуну, вытянутую с ЮЗ на СВ. Вислинский залив соединен с Балтийским морем прол. Балтийским и каналом Новы Свят [31]. Средняя отметка уровня воды составляет –0.10 м БС. Размах сезонных колебаний уровня ~0.25 м [4]. При северо-восточном нагонном ветре со скоростью 10 и 20 м/с уровень в вершине залива повышается на 40 и 120 см соответственно (это создает угрозу затопления польдеров в Эльблонгских Жулавах). Связь дельты Вислы с Вислинским заливом сложнее и изменчивее, чем с Гданьским. Поступление стока реки в залив ранее в основном зависело от доли стока рук. Ногат. С перекрытием Ногата ежегодный сток вислинских вод уменьшился с 8–9 до 0.7 км³.

В настоящее время суммарный расход воды всех рукавов и рек, впадающих в залив (Ногата, Шкарпавы, Эльблонга, Пасленки в Поль-

ше и Преголи в России), составляет ~180 м³/с (5.68 км³/год) [30].

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ И ДЕЛЬТЕ ВИСЛЫ

С раннего Средневековья до конца XVI в. данные о наводнениях на Висле были доступны только в виде рукописных документальных записей, в основном на латыни. Эти описания включали самые драматичные стихийные бедствия и нередко основывались на случайных источниках. Чаще всего упоминались последствия наводнений: “огромный ущерб и разрушение”, “затопление полей, неурожай”. Реже указывались уровень воды и масштабы затопления. Более подробные сведения о наводнениях на Висле содержались в городских архивах, летописях, хрониках, а также в дневниках жителей Кракова, Торунь, Гданьска.

В XVI–XVII вв. с распространением печатных изданий увеличилось число свидетельств о наводнениях, зафиксированных непосредственными очевидцами событий в своих дневниках и заметках. На стенах костелов и светских зданий горожане стали отмечать уровни наводнений. Самая старая аутентичная табличка, показывающая максимальный уровень при наводнении на Висле, датируется 1671 г. и находится на территории монастыря костела Св. Агнессы в Кракове [8].

К началу XIX в. стали проводиться систематические наблюдения за уровнем воды в австрийской части Польши. Начались наблюдения гидрологических служб и в тех частях Польши, которые относились к Прусскому королевству и Российской империи. Однако достоверность и точность информации о наводнениях различались, так как три страны, разделившие Польшу (и бассейн Вислы), имели разные единицы измерения (например, в Российской империи использовались уникальные единицы длины и юлианский календарь) и вели наблюдения собственными гидрологическими службами. В конце XIX в. незаменимым источником информации о наводнениях и величине наносимого ими ущерба стали фотографические и картографические документы.

После восстановления независимости Польши (1918 г.) в Варшаве в 1919 г. был основан Государственный метеорологический институт, прекративший работу во время Второй мировой войны. В 1945 г. гидрологическая и метеорологическая службы были объединены в Национальный гидрологический и метеорологический институт, преобразованный в 1971 г. в Институт метеорологии и водного хозяйства. Точность, однородность и единообразие данных стали достаточными для объективного анализа наводнений только начиная с 1950-х гг.

*Общие сведения о наводнениях
в бассейне и дельте Вислы*

В бассейне Вислы можно выделить [8, 19] два основных периода наводнений: март–апрель (наводнения, связанные с прохождением пика половодья и заторными явлениями) и июнь–август (наводнения, вызванные паводками в результате ливневых осадков).

Угрозу крупномасштабных наводнений на Верхней Висле, а часто и во всем бассейне, создает одновременное прохождение половодья на Верхней Висле и правобережных карпатских притоках. В [9] отмечено, что в верховьях Вислы в XIX в. произошло 16, а в XX в. – 23 катастрофических наводнения. Одним из крупнейших наводнений на Верхней Висле было стоковое наводнение в июле 1934 г., когда совпали волны дождевых паводков в верхнем течении Вислы и на притоке Дунаец. Хронология наводнений на Верхней Висле с X в. до 1960 г. отражена во многих документальных источниках и представлена в монографии А.К. Белянски *“Materiały do historii powodzi w dorzeczu Górnej Wisły”* (1997 г.), по [8].

Наводнения на Средней и Нижней Висле происходят в результате интенсивного снеготаяния (64% всех наводнений), дождевых паводков и ледяных заторов. Историческое наводнение на Средней и Нижней Висле случилось во время летнего дождевого паводка в августе 1813 г., когда уровень воды в г. Пулавы достиг исторического максимума (848 см) и когда были затоплены две левобережные террасы между дер. Вилянув и г. Казунь-Польский. Катастрофическое наводнение в июле 1884 г. в районе Варшавы послужило толчком к строительству противопаводковых дамб [8].

Нижняя Висла зарегулирована водохранилищем Влоцлавек. Около 685 км² долины реки защищено дамбами обвалования, высота гребня которых выше уровня половодья 1%-й обеспеченности и составляет от 0.5 до 3.0 м. Общая длина дамб обвалования от впадения притока Нарев до ответвления рук. Ногат – 642 км. Тем не менее 607 км² остаются под угрозой затопления [8].

Сильные и продолжительные дожди с 4 по 10 июля 1997 г. привели к катастрофическому стоковому наводнению, охватившему бассейны Вислы и Одры. Это событие достаточно подробно описано в [20].

На Нижней Висле наибольшую опасность представляют ледяные заторы. В [8] представлен график, демонстрирующий количество наводнений заторного и незаторного происхождения на Нижней Висле, наблюдаемых с 988 по 2000 г. Отмечается, что хронология опасных гидрологических событий до XIV в., безусловно, неполная. Увеличение числа наводнений с середины XIV до середины XVI в., когда наводнения происходили

раз в два года или даже чаще, могло быть связано с прорывами первых ненадежных защитных дамб. Когда стали сооружаться более прочные дамбы, количество наводнений уменьшилось. Увеличение числа наводнений в середине XVII и начале XVIII вв., особенно заторных, объясняется похолоданием климата во время малого ледникового периода.

В первой половине XIX в. интенсивное землепользование, в частности крупномасштабное сведение лесов в верховьях Вислы, привело к увеличению водного стока реки и числа наводнений.

С XVI по XIX в. в дельте Вислы произошло ~150 опасных наводнений [8]. В [8] также отмечено, что в 1328–1896 гг. в дельте зарегистрировано 174 случая прорыва защитных дамб в результате заторных наводнений. Первые (неудачные) попытки регулировать ледоход на Висле были предприняты в конце XVIII в.; они были основаны на перенаправлении дрейфа льда в рук. Ногат. Заторные наводнения на одних и тех же участках Нижней Вислы случались каждые 3–5 лет.

Истории систематических наблюдений за заторными явлениями на Висле более 110 лет. После серии катастрофических наводнений, повторяющихся почти каждую зиму в пределах верхнего участка Нижней Вислы, была создана Российская императорская комиссия под руководством польского инженера М. Путятты, призванная провести исследования состояния дамб и разработать меры по смягчению последствий наводнений. Была создана система предупреждения о заторном затоплении; данные измерений сообщались в Варшаву по телеграфу. В своем докладе М. Путятта (1894 г.) представил первую в мире классификацию ледяных заторов льда с учетом времени образования затора, его продолжительности; многие выводы инженера остаются актуальными и по сей день [8].

В зарубежной научной литературе изучению наводнений в бассейне Вислы разного происхождения посвящено множество работ. Список публикаций, приведенный автором настоящей статьи для своего обзора, безусловно, неполный и содержит в основном ключевые работы по наводнениям на Нижней Висле и в дельте Вислы [8, 9, 19, 20, 26].

Данные о наиболее крупных наводнениях в дельте Вислы приведены в табл. 1. Она составлена на основе таблицы в [10] и дополнена данными из других источников [15–17, 22, 26, 33].

Подробнее об наводнениях, повлиявших на эволюцию дельты и изменение ее гидрографической сети, – в следующем разделе статьи.

Таблица 1. Наиболее крупные наводнения в дельте Вислы с 1328 по 2010 г.

Год	Наводнение, его причины и последствия
1328	Прорыв в левой дамбе обвалования ниже Бяла-Гуры. Затопление Гданьских Жулав и части Гданьска
1540, 1543	Катастрофические наводнения; сокращение численности населения в Жулавах; последующее прибытие новых поселенцев-меннонитов, толчок к экономическому развитию региона
1611	Сильное наводнение в Мальборке. Мальборкский воевода предлагает регулировать водный сток Вислы
1655–1660	Польско-шведская война. Заселение дельты Вислы прекращено. Преднамеренный прорыв насыпей по приказу шведского короля Карла Густава и затопление Жулав
1747	Катастрофическое наводнение, во время которого Висла вышла из берегов, затопила земли между Вислой и рук. Ногат
1813–1815	Прорыв вдольбереговых дамб обвалования и затопление Жулав во время осады Гданьска русскими и прусскими войсками
1829	Катастрофическое весеннее (апрель) заторное наводнение. Огромный ледяной затор у выхода Вислы в залив возле крепости Вислоустье. Прорыв дамб обвалования у дер. Стеблево. Вода, хлынувшая через полукилометровую брешь, затопила Гданьские Жулавы и Гданьск. Погибли сотни человек, 12 тыс. жителей Жулав остались без крова
1840	31 января – 1 февраля. Массивный ледяной затор в устье реки, сильный шторм на Балтике и подъем уровня воды в Гданьском заливе. Прорыв вод в залив около дер. Гурки-Всходне и образование нового рукава – Смелая Висла
1855	Март. Катастрофическое заторное наводнение на Нижней Висле и в Мальборских Жулавах. В результате прорыва дамбы обвалования в районе Тчева затоплены 126 деревень и земли площадью 440 км ² . Погибло ~100 человек. Усиление работ по регулированию стока
1888	Конец марта. Образование затора на рук. Ногат. Порыв правых противопаводковых дамб у Йонасдорфа и затопление Эльблонгских Жулав. Затоплены 77 сел, тысячи домовладений, дороги, мосты, шлюзы, дамбы. 30 тыс. чел. остались без крова, многие погибли. Принято решение о сооружении искусственного канала через волноприбойный вал у Свибно
1924	Март. Самое сильное наводнение на Висле в XX в., вызванное таянием снега и дождями. Среднесуточный расход воды в устье достигал 9530 м ³ /с
1945	27 марта немецкой армией взорваны дамбы на Висле, повреждена самая большая насосная станция в Хлоднево на Шкарпае. Затоплена территория площадью 450 км ² , разрушена инфраструктура многих польдеров. Пониженные участки дельты оставались затопленными более четырех лет. Восстановление дренажной системы и противопаводковых защитных сооружения поляками заняло более 10 лет
1955	Сильный штормовой нагон в устье
1956	Март. Во время ледяного затора уровень воды у Свибно составил 772 см (для сравнения – средний уровень половодья здесь 680 см) и стал самым высоким в дельте после начала эксплуатации Канала Висла
1983	Катастрофическое наводнение. Повреждена насыпь у дер. Новаково, отделяющая польдер от Вислинского залива
2001	Разрушительное наводнение 9–10 июля в Гданьске. Интенсивные осадки на водосборах Мотлавы, Радун и Радунского канала, вместе с Мертвой Вислой входящих в Гданьский водный узел. 9 июля в Гданьске за час выпало 80 мм осадков; за сутки – 110–120 мм. Радунский канал не справился с пропуском воды, его вдольбереговая насыпь была прорвана в пяти местах. В результате затоплена расположенная на правой стороне канала часть Гданьска, пострадал главный железнодорожный вокзал, повреждены дома, затоплены подвалы. Общий ущерб от наводнения городской инфраструктуры оценивается в ~40 млн евро
2010	Одно из самых масштабных и разрушительных наводнений за последние 100 лет. Наводнение продолжалось несколько недель, к 25–26 мая волна половодья достигла устья реки. Максимальный расход воды на г/п Тчев 25 мая составил 6838 м ³ /с

ЭВОЛЮЦИЯ ДЕЛЬТЫ ВИСЛЫ И ДИНАМИКА ЕЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ

Согласно некоторым научным гипотезам [29], ~13 тыс. лет назад Пра-Висла, протекающая через послеледниковую долину Торн-Эберсваль, изменила направление течения вблизи г. Фордон (район современного г. Быдгощ) и разделилась на два рукава: один направлялся на С к Гданьскому заливу, а второй следовал по долинам Нотеца и Варты. Современная дельта Вислы, по геологическим и палеогеографическим данным, начала формироваться во время литориновой трансгрессии, ~7 тыс. лет назад. В результате повышения уровня моря береговая линия сместилась в южную часть Гданьского залива. Именно в конце литориновой трансгрессии возникла система вдольбереговых волноприбойных валов, отчленивших от моря большую лагуну в районе современного берега залива. Рукава дельты долгое время впадали в эту лагуну; со временем большая часть лагуны заполнилась речными наносами. Современный Вислинский залив — остаток этой лагуны.

Изменения гидрографической сети дельты в XIII–XVII вв. Искусственное перераспределение стока между основными рукавами дельты

Самое первое упоминание об устье Вислы относится к середине VI в.: готский историк Иордан в своем исследовании упоминает три рукава реки. Однако неясно, о каких рукавах рек идет речь; по наиболее распространенной версии, это были Гданьская Висла, Эльблонгская Висла и Ногат [29].

Следующие исторические сведения относятся к концу XI в.: нормандский моряк, рассказывающий о своей экспедиции в Гданьский залив, сообщает о трех рукавах Вислы, впадающих в лагуну, и одном — выходящем прямо в Гданьский залив [29]. Некоторые краткие письменные документы о дельте Вислы относятся к XIII в.; в частности, было известно, что в 1242 г. Висла прорезала выход к морю через волноприбойный вал у г. Микошево (приблизительно там, где сейчас находится Канал Висла); позже этот проран был перекрыт естественным или искусственным путем. Рукав Ногат, ранее существовавший как отдельная река (на картах часто называется Старый Ногат), в XIII или XIV в. через перемычку присоединился к Висле к Ю от г. Квидзын, а ниже ответвился уже как рукав, текущий на СВ и впадающий в Вислинский залив.

В начале XIV в. в дельте Вислы начались гидротехнические работы. К 1380 г. тевтонские рыцари построили насыпи и дамбы в районе Гданьских Жулав.

К XIV в. в дельте уже были три судоходных рукава [4]: Гданьская (Данцигская) Висла, Эль-

блонгская (Эльбинская) Висла и Ногат. Гданьская Висла шла, как и сейчас, параллельно береговым волноприбойным валам на З в сторону Гданьска (Данцига), Эльблонгская — на В и впадала в Вислинский залив, формируя небольшую дельту выполнения. По рук. Ногат проходил основной сток реки; сначала воды Ногата поступали в р. Эльбинг (ныне р. Эльблонг), а затем в Вислинский залив, также формируя дельту выполнения.

До конца XIV в. главным судоходным рукавом была Эльблонгская Висла [4]. В 1371 г. произошел прорыв вод реки в сторону Гданьской Вислы, сток реки переключился в этот рукав. Эльблонгская Висла утратила свою роль в судоходстве и стала называться Старой Вислой; сейчас остатки этого рукава называют Шкарпава.

Дальнейшие изменения гидрографической сети дельты были в основном связаны с перераспределением стока Вислы между двумя главными рукавами — Ногатом и Ленивкой. Это распределение определялось соперничеством за право владением судоходным речным торговым путем между городами Гданьск (Данциг), с одной стороны, и Эльблонг (Эльбинг) и Мальборк (Мариенбург) — с другой.

После разрушительных наводнений 1540 и 1543 гг. (табл. 1) по инициативе городов Гданьск и Эльблонг в 1553 г. ниже г. Бяла-Гура (бывший Вайссенберг) был прорыт канал между Вислой и Ногатом. В результате этих работ большая часть стока Вислы устремилась в рук. Ногат, что привело к снижению уровня воды в рук. Ленивка, ухудшению условий судоходства по рукавам Ленивка и Гданьская Висла и выходу к порту Гданьск. Это вновь вызвало долгие споры о перераспределении вод Вислы между соперничающими городами.

После наводнения 1611 г. (табл. 1) в Мальборке в 1613 г. королем Сигизмундом III был издан указ о строительстве плотины у г. Бяла-Гура, перераспределяющей сток между Ленивкой и Ногатом и отводящей треть воды Вислы в Ногат и две трети — в Ленивку. Это успешно действующее вододелительное сооружение было разрушено во время Тридцатилетней войны и Второй Северной войны со Швецией. К концу XVIII в. в Ногат уходил почти весь сток Вислы.

Следующие попытки регулирования стока реки были предприняты в 1830 г., вскоре после катастрофического заторного наводнения 1829 г. [29].

По проекту 1848 г. ответвление Ногата было перенесено на 4 км вниз по течению ниже г. Бяла-Гура, и Ногат стал получать пятую часть стока Вислы [29].

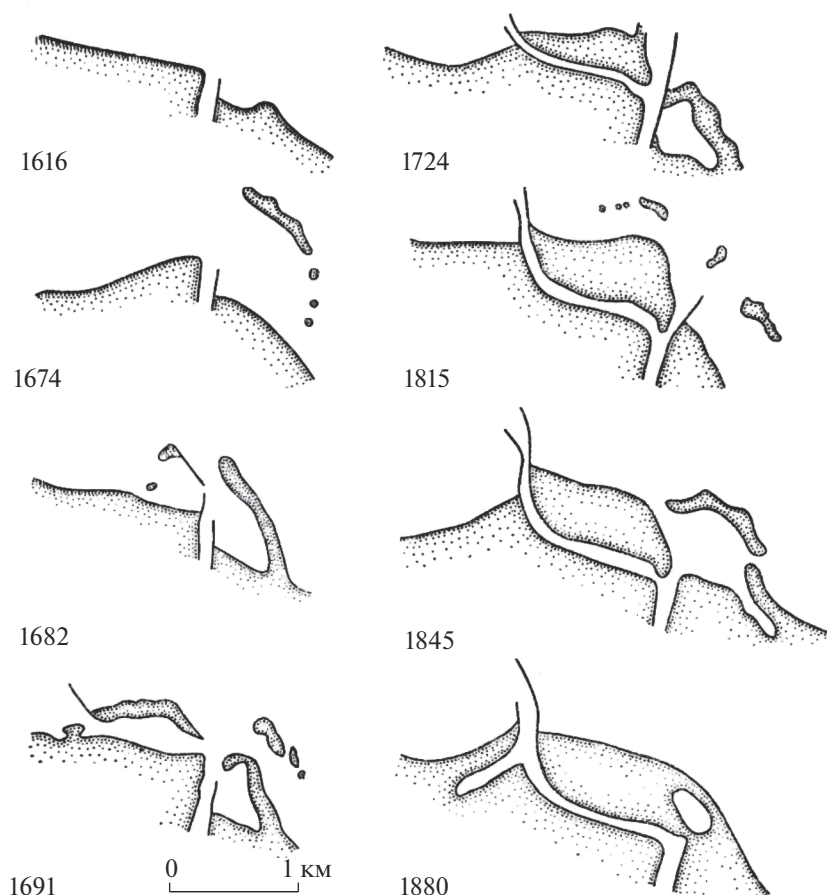


Рис. 3. Схема изменения устья Гданьской (Данцигской) Вислы в XVII–XIX вв., по [4, 7].

Изменения гидрографической сети дельты в XVII – XIX вв. Устье Гданьской Вислы

В XVII–XIX вв. существенные изменения происходили в устье Гданьской Вислы [4] (рис. 2). Эти изменения были обусловлены как изменениями водоносности самого рукава, так и русловыми работами в самом устье. В монографии И.В. Самойлова [7] на основе книги Рихарда Винкеля (R. Winkel) “Die Weichsel: ihre bedeutung als strom und schiffahrtstrasse und ihre kulturaufgaben” (1939 г.) приведены схемы изменения устья Гданьской Вислы с 1616 по 1880 г. и реконструировано формирование первого из трех рукавов Вислы начиная с XVI в. (рис. 3) [4, 7, 29].

В конце XVI в. баровых отмелей в устье реки еще не было. Они появились почти столетие спустя в восточной и западной частях устьевого взморья и со временем объединились в систему островов, названных Вестплаате и Остплаате. Естественный канал, образовавшийся между Вестплаате и морским краем, стал использоваться для судоходства. Под влиянием вдольберегового потока речные наносы смещались на В и заносили выход из Гданьской Вислы. Был прорыт новый

судоходный канал в западном направлении, который углублялся, удлинялся молами и в 1716 г. был оснащен шлюзом. С 1724 г. Гданьская Висла имела два выхода в море. В 1840 г. сток Гданьской Вислы полностью переключился в новый западный канал. Старый выход Гданьской Вислы был перекрыт шлюзом, сток воды и наносов через него прекратился.

Изменения гидрографической сети дельты в 1840 г. Нойферский прорыв во время заторного наводнения

Одно из самых известных наводнений, вызванных ледяным затором, случилось в районе дер. Гурки-Всходне (нем. Эстлих-Нойфер) в январе 1840 г. На Верхней Висле уже началось таяние снега и льда, на Нижней Висле еще присутствовал лед, а Ногат и Шкарпава были полностью скованы льдом. Речной поток воды со льдом устремился к морю через рук. Гданьская Висла и заблокировал его. Затор распространился на 947.5 км вверх по течению. В результате подпора уровень воды повысился, что привело к прорыву волноприбойного вала на правом берегу. У Гур-

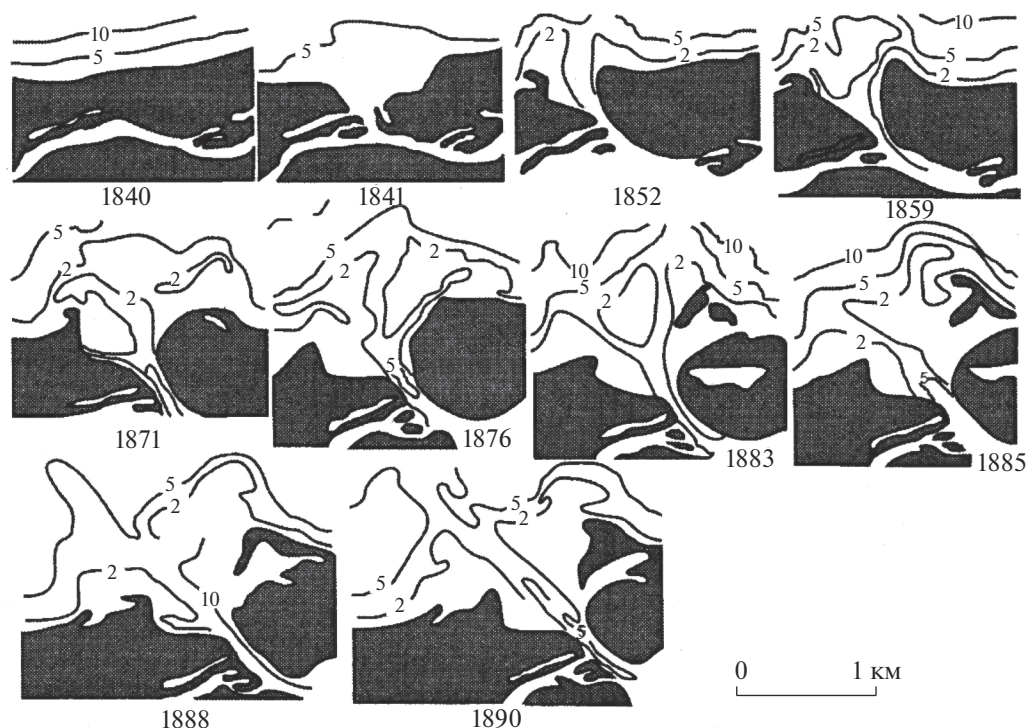


Рис. 4. Схема образования рук. Смелая Висла после Нойферского прорыва в 1840 г., по [4, 7].

ки-Всходне, в месте, где вал был наиболее узким, образовалась брешь, в которую устремились воды Гданьской Вислы (рис. 2, 4). В ночь с 31 января на 1 февраля ширина речного потока увеличилась до 200–300 м [4, 29], а в течение первого месяца — до 600–750 м [4, 29]. В результате прорыва, который в литературе часто называется Нойферским, вскоре возник новый рукав. В 1851 г. польский географ Винценты Поль назвал его Смелая Висла (польск. “Wisła Smiała”). Нижняя часть рукава Гданьская Висла между старым и новым устьями, позднее перекрытая шлюзами, получила название Мертвая Висла (польск. “Martwa Wisła”) [29].

История развития Смелой Вислы (рис. 4) достаточно хорошо исследована, так как каждый год проводились батиметрические съемки. Сокращение длины реки на 13,8 км вызвало повышение уровня воды. Перепад уровней воды в начале и конце рукава в межень достигал 0,75 м, во время половодья — 2,50 м. Это способствовало увеличению скоростей течения, стока воды и наносов. Процессы возникновения крупного бара в устье Мертвой Вислы, его переформирования под влиянием стока наносов, морского волнения, дноуглубительных и выправительных работ для улучшения условий судоходства по Смелой Висле подробно изложены в [4, 7]. Смелая Висла была активным рукавом сравнительно недолгое время: через 55 лет был открыт новый искусственно созданный выход в море.

Изменения гидрографической сети дельты после 1895 г. Канал Висла

Катастрофическое наводнение 1888 г., крупнейшее в XIX в., с прорывами водами половодья берегов Ногата у дер. Йонасдорф (ныне Янувка) и затоплением большей части Эльблонгских Жулав снова потребовало вернуться к регулированию стока Вислы. В целях улучшения условий судоходства, а также для пропуска в Гданьский залив вод половодья и льда во время заторов в 1888 г. прусский парламент утвердил проект Вислинского канала. Проект включал три этапа: 1 — сооружение прорези через вдольбереговой волноприбойный вал между Вислой и морем (рис. 2), перекрытие рукавов Гданьская Висла и Шкарпава, строительство шлюзов для обеспечения судоходства между Мертвой Вислой и Смелой Вислой и рук. Шкарпава; 2 — регулирование стока Вислы в половодье на участке от дер. Пекло (889 км) до Гемлице (922,5 км); 3 — перекрытие канала Висла-Ногат, соединение Вислы с Ногатом шлюзом в Бяла-Гуре (884,4 км). История сооружения канала подробно и интересно описана в [12, 13].

Работы начались в 1891 г. Была сооружена прорезь длиной 7,1 км, шириной 250–400 м и глубиной от 3 до 6 м на 1,3–1,93 м ниже среднего уровня моря [17]. В ноябре 1894 г. канал был готов и соединен с Вислой. Его открытие было отложено до весны 1895 г. Основная идея заключалась в том,

что воды весеннего половодья прорвут перемычку с мористой стороны волноприбойного вала и река сама вымоет песок из канала в момент его раскрытия. Для этого через волноприбойный вал между Свибно и Микошево был вырыт узкий ров шириной <1 м и длиной 1400 м.

Огромный затор на Нижней Висле (на участке от 909-го до 939-го км) зимой 1895 г. осложнил ситуацию; угроза затопления Гданьских и Эльблонгских Жулав ускорила принятие решения об открытии канала. Канал был открыт 31 марта 1895 г. в 15 : 45 [17]. В течение первого часа после открытия ширина канала увеличилась до 100 м, а через 16 ч — до 300 м; глубина составляла 3 м. В течение первых 16 ч ~ 2 млн м³ песка было вынесено в море. За полгода этот объем увеличился до 9 млн м³, а в конце 1895 г. достиг 17 млн м³.

На открытом устьевом взморье стал формироваться устьевой бар, похожий на тот, что возник после Нойферского прорыва. История его развития достаточно хорошо описана в зарубежной и отечественной литературе [3, 6, 32].

По расчетам автора [6], общий прирост объема бара с момента его возникновения в 1895 г. к 1953 г. составил 94.09 млн м³ (в среднем 1.59 млн м³/год). По [11, 16], к 1933 г. объем бара достиг 71.17 млн, к 1970 г. — 112 млн, к 2000 г. — 133.39 млн м³. Таким образом, за 105-летний период существования бар ежегодно увеличивал свой объем на 1.27 млн м³.

В 1914–1917 гг. Эльблонгская Висла (Шкарпава) и Гданьская Висла (Мертвая Висла) были отрезаны от основной реки. Шлюзы Гданьска-Глова и Пшегалина действуют и сегодня, хотя и имеют статус инженерных памятников. Формирование дельты выполнения Вислинского залива прекратилось.

ВЫВОДЫ

Гидрографическая сеть дельты Вислы сложна и за всю историю своего развития претерпевала значительные изменения. В естественных условиях Висла в устье ветвилась на множество рукавов, конфигурация русел которых постоянно изменялась из-за прорывов и наводнений. Большинство наводнений происходило во время значительных весенних половодий или в результате ледяных заторов; по типу эти наводнения можно отнести к стоковым, заторным, стоково-заторным. Наиболее масштабные наводнения (стоково-заторно-морфодинамические) происходили при сочетании половодий и паводков, заторов льда, интенсивного ледохода и русловых деформаций. Итогом этих наводнений было рождение и развитие новых рукавов и протоков, отмирание старых, изменения гидрографической сети дельты. Одно из самых известных наводнений, вызванное ледяным затором в районе дер. Гурки-Всходне

(нем. Эстлих-Нойфер) в январе 1840 г., дало начало новому дельтовому рукаву — Смелой Висле.

Изменения гидрографической сети дельты Вислы на протяжении многих столетий также были связаны с процессами перераспределения стока воды по ее пространству — не только с естественными, но и с антропогенными (искусственным углублением рукавов, их перекрытием, строительством вододельительных сооружений, каналов и прорезей). В 1890–1895 гг. около Свибно была сооружена прорезь. Образовавшийся новый рукав (или Канал Висла) стал продолжением основного русла реки. Канал Висла по прошествии 128 лет с момента открытия по-прежнему служит надежной защитой Вислянских Жулав от наводнений. Этому способствуют постоянные дноуглубительные работы, дробление льда ледоколами в зимне-весенний период и т. д., но мастерство прусских строителей до сих пор восхищает строителей, инженеров, гидрологов.

В литературе упоминается наводнение во время штормового нагона в 1955 г., но подробных сведений о нем получить не удалось. По-видимому, если на устьевом взморье случались штормовые нагоны, то они не создавали наводнений в дельте, поскольку дельта Вислы почти на протяжении всего своего развития была отгорожена от Гданьского залива волноприбойным береговым валом и долгое время имела один выход в море (Гданьская Висла). Однако прогнозируемое повышение уровня Балтийского моря, увеличение частоты и силы штормов и штормовых нагонов, по оценкам польских специалистов, в будущем повлияет на все побережье Польши, особенно на его западные и восточные части — дельты Одры и Вислы. Под угрозой затопления окажутся не только берега и дюны побережья Гданьского залива, польдеры Эльблонгских Жулав, но и городские агломерации Гданьска, Сопота и Гдыни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магрицкий Д.В. Опасные гидрологические явления и процессы в устьях рек: вопросы терминологии и классификации // Наука. Техника. Технологическая (политех. вестн.). 2016. № 2. С. 35–61.
2. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ, 1998. 175 с.
3. Михайлов В.Н. Некоторые закономерности формирования бара в устье реки в условиях значительной роли речных факторов (на примере устья Вислы) // Тр. ГОИНа. 1967. Вып. 89. С. 175–190.
4. Михайлов В.Н., Киреева М.Б. Гидролого-морфологические процессы в устьевой области р. Вислы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, География. 2007. № 5. С. 52–59.
5. Михайлов В.Н., Михайлова М.В., Магрицкий Д.В. Основы гидрологии устьев рек. М.: Триумф, 2018. 313 с.

6. Михайлова М.В. Динамика устьевых баров и методы расчета их морфометрических характеристик // Вод. ресурсы. 1999. Т. 26. № 4. С. 427–437.
7. Самойлов И.В. Устья рек. М.: Географгиз, 1952. 526 с.
8. Cyberski J., Grześ M., Gutry-Kopycka M., Nachlik E., Kundzewicz Z.W. History of floods on the River Vistula // Hydrological Sci. J. 2006. V. 51. № 5. P. 799–817.
9. Czaja S.W., Machowski R., Rzętała M. Floods in the upper part of Vistula and Odra River basins in the 19th and 20th centuries // Chem.–Didactics–Ecol.–Meteorol. 2014. V. № 1–2. P. 127–134.
10. Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A. Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use. Moscow: Exlibris Press, 2015. 106 p.
11. Graniczny M., Janicki T., Kowalski Z., Koszka-Maróń D., Jegliński W., Uścińowicz S., Zachowicz J. Recent development of the Vistula River outlet // Proc. Conf. “Rapid transgressions into semi-enclosed basins”. Polish Geol. Ins. Special Papers. 2004. № 11. P. 103–108.
12. <https://nowydworgdanski.naszemiasto.pl/historia-przekopu-wisly-duma-i-nowoczesnosc-czasow-pruskich/ar/c1-8199147>
13. <https://weekly.tvp.pl/62836998/vistula-dugthrough-first-such-great-river-regulation-accomplished-by-human-hand>
14. Kannen A., Jedrasik J., Kowalewski M., Oldakowski B., Nowack J. Assessing catchment-coast interactions for the Bay of Gdansk managing the Baltic Sea // Coastline Rep. 2. 2004. P. 155–165.
15. Kolerski T. Modeling of ice phenomena in the mouth of the Vistula River // Acta Geophysica. 2014. V. 62. № 4. P. 893–914.
16. Koszka-Maróń D., Jegliński W. Development of the Vistula river mouth fan // Z. dt. Ges. Geowiss. 2009. V. 160. № 2. P. 137–141.
17. Kowalik P.J. Water management in the Vistula delta (Poland) // Meteorology Hydrology and Water Management. 2016. V. 4. № 1. P. 47–52.
18. Kubiak-Wójcicka K. Variability of air temperature, precipitation and outflows in the Vistula basin (Poland) // Resour. 2020. V. 9. № 103. P. 1–26.
19. Kundzewicz Z.W. Adapting flood preparedness tools to changing flood risk conditions: the situation in Poland // Oceanologia. 2014. V. 56 № 2. P. 385–407.
20. Kundzewicz Z.W., Szamalek K., Kowalczyk P. The Great Flood of 1997 in Poland // Hydrol. Sci. J. 1999. V. 44. № 6. P. 855–870.
21. Lajczak A. Contemporary transport of suspended material and its deposition in the Vistula River, Poland // Hydrobiologia. 2003. V. 494. № 1–3. P. 43–49.
22. Lisimenka A., Kubicki A. Bedload transport in the Vistula River mouth derived from dune migration rates, southern Baltic Sea // Oceanologia. 2019. V. 61. № 3. P. 384–394.
23. Majewski W. Ice phenomena on the Lower Vistula // Geophysica. 2011. V. 47. № 1–2. P. 57–67.
24. Majewski W. Sustainable development of the Lower Vistula // Meteorol. Hydrol. Water Management. 2013. V. 1. № 1. P. 33–37.
25. Majewski W. Vistula River, its characteristics and management // Int. J. Hydro. 2018. V. 2 (4). P. 493–496.
26. Majewski W. Urban flash flood in Gdańsk – 2001. Case study // Meteorol. Hydrol. Water Management. 2016. V. 4. № 2. P. 41–49.
27. Manthey T. Vistula River: General data, regime formulae, field surveys of the estuary // Adv. Sed. Transp. Conf. Jablonna, 1978. Wrocław, 1981. P. 323–350.
28. Mimier D., Żbikowska E., Żbikowski J. Water residence time in the Włocławek dam reservoir (the Vistula river, Poland) affects its macrozoobenthos structure // Ann. Limnol. – Int. J. Lim. 2018. V. 54. № 24. 1–10 p.
29. Robakiewicz M. Vistula River mouth – History and recent problems // Archives Hydro-Engineering Environ. Mechanics. 2010. V. 57. № 2. P. 155–166.
30. Szydlowski M., Artichowicz W., Zima P. Analysis of the water level variation in the Polish part of the Vistula Lagoon (Baltic Sea) and estimation of water inflow and outflow transport through the strait of Baltiysk in the years 2008–2017 // Water. 2021. V. 13. № 10. P. 1–15.
31. Szydlowski M., Kolerski T., Zima P. Impact of the artificial strait in the Vistula Spit on the hydrodynamics of the Vistula Lagoon (Baltic Sea) // Water. 2019. V. 11. № 5. P. 1–19.
32. Wróblewski R., Rudowski S., Gajewski Ł., Sitkiewicz P., Szeffler K., Kałas M., Koszałka J. Changes of the Vistula River external delta in the period of 2009–2014 // Bull. Maritime Inst. Gdańsk. 2015. V. 30. № 1. P. 16–22.
33. Zajączkowski M., Darecki M., Szczuciński W. Report on the development of the Vistula river plume in the coastal waters of the Gulf of Gdańsk during the May 2010 flood // Oceanologia. 2010. V. 52. № 2. P. 311–317.