

ZMIENNOŚĆ PRZEBIEGU ZJAWISK LODOWYCH NA BUGU W LATACH 1903–2012

Anna Bączyk¹, Jarosław Suchożebrski²

¹ Katedra Inżynierii Wodnej, Zakład Hydrologii i Zasobów Wodnych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: a.baczyk@levis.sggw.pl

² Zakład Hydrologii, Instytut Geografii Fizycznej, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa, e-mail: jsuch@uw.edu.pl

STRESZCZENIE

W artykule dokonano analizy wyników obserwacji przebiegu zjawisk lodowych na Bugu, prowadzonych w latach 1903–1960 oraz 2001–2012 w przekrojach wodowskazowych Dorohusk, Włodawa, Frankopol i Wyszaków. Ustalono, że czas trwania zjawisk lodowych uległ skróceniu. Wyraźne są fluktuacje czasu trwania zjawisk lodowych i zlodzenia rzeki związane przede wszystkim ze zróżnicowaniem warunków termicznych w sezonach zimowych. Artykuł jest wprowadzeniem do tematyki zjawisk lodowych występujących na rzekach we wschodniej części Polski, a także przyczynkiem do prowadzenia dalszych badań związanych ze zlodzeniem rzek oraz do poznawania procesów je kształtujących.

Słowa kluczowe: Bug, zjawiska lodowe, zmiany klimatu

VARIABILITY OF ICE PHENOMENA ON THE BUG RIVER (1903–2012)

ABSTRACT

The article describes an analysis of observations of ice phenomena on the Bug River, conducted between 1903–1960 and 2001–2012, on representative gauge stations – Dorohusk, Włodawa, Frankopol and Włodawa. It has been concluded that the length of the period of ice phenomena has decreased. Fluctuations of duration of ice phenomena and ice cover, which are related to differentiation of temperature conditions in winter season, are well-marked. The article is an introduction to the subject of ice phenomena on the rivers in eastern part of Poland, as well as, the cause to pursue further research related to the ice cover of rivers and to explore the processes shaping them.

Keywords: Bug River, ice phenomena, climate changes

WPROWADZENIE

Rzeka i procesy w niej zachodzące są dobrym obiektem służącym do wyjaśniania współczesnych zmian klimatu, które między innymi uwiadcniają się w zmianach przebiegu zjawisk lodowych [Borsch i in. 2001]. Zjawiska te są wrażliwe na zmienność klimatyczną i mogą służyć za wskaźnik tempa zmian klimatu [Takács i in. 2014, Lind 2015]. Zlodzenie rzek, a co za tym idzie tempo tworzenia się i czas trwania pokrywy lodowej, zależy od charakterystyki termicznej wód rzecznych, na którą wpływają m.in.: udział wód podziemnych w zasilaniu rzeki, temperatura

wód dopływów, prędkość płynięcia wody, kształt koryta, rzuty wód podgrzanych i zanieczyszczonych, istnienie stopni i zbiorników wodnych oraz zabudowa hydrotechniczna. Tworzeniu się zjawisk lodowych sprzyja obniżenie się temperatury wody poniżej 0°C, a co za tym idzie – strata ciepła pochodząca z ruchu turbulentnego oraz wyrównanie temperatur w przekroju poprzecznym, a także występowanie w masie wody rumowiska rzeczno, a zwłaszcza zawieszin stanowiących jądra krystalizacji lodu [Wołoszyn 2006, Lambor 1948]. W pierwszej fazie zamarzania rzek, wzdłuż brzegów, gdzie prędkość przepływu jest niższa, tworzy się lód brzegowy. Tworzy on pio-

nowe, zwiększające swoją grubość warstwy i rozprzestrzenia się poprzecznie w kierunku środka rzeki [Devik 1964]. W pozostałych częściach ciekę tworzą się drobne kryształki lodu, zwane lodem prądowym. Proces formowania się lodu prądowego zależy od cech charakterystycznych ciekę oraz uwarunkowań środowiskowych [Report on stream ice processes, 1992, Richard i in. 2015, Ashton 1978]. Duże ilości kryształów lodu powstają również przy dnie, tworząc lód denny [Wołoszyn 2006, Svensson i in. 1989].

Zjawiska lodowe stanowią niewielką część kriosfery, jednak mają szerokie spektrum oddziaływania: wywołują skutki hydrologiczne (zmniejszają prędkość przepływu, podwyższają stan wody, wpływają na ukształtowanie dna i brzegów koryta rzeki), ekologiczne (czas ich trwania wpływa na rozwój roślinności i fauny wodnej, a także na obecność osadów dennych i składników pokarmowych) i socjoekonomiczne (utrudniają transport i eksploatację urządzeń hydrotechnicznych) [Prowse i in. 2011, Lind 2015]. W ciągu ostatnich stu lat długość trwania pokrywy lodowej i ogółu zjawisk lodowych uległa skróceniu [Mygland i Vaganow 2008, Pawłowski 2009, Šarauskienė i Jurgelėnaitė 2008]. Może to mieć znaczące konsekwencje w przyszłości, ponieważ zlodzenie jest ważnym komponentem systemu hydrologicznego rzek w regionach o klimacie umiarkowanym i zimnym [Beltaos i Prowse 2009, Chu i in. 2015, Gorączko i Pawłowski 2014]. Skrócenie czasu utrzymywania się zjawisk lodowych wskazuje na ocieplenie klimatu [Choiński i in. 2010, Michalska 2011, Kożuchowski i Żmudzka 2001].

Celem artykułu jest scharakteryzowanie przebiegu zjawisk lodowych w ciągu ostatniego stulecia na środkowym i dolnym odcinku Bugu od Dorohuska do Wyszki.

Bug jest najdalej na wschód wysuniętą dużą rzeką Polski, co wpływa na intensywne i długotrwałe jej zlodzenie. Rzeka jest w niewielkim stopniu przekształcona przez człowieka, a na znacznej długości posiada naturalny kształt koryta i nieznacznie zmienioną dolinę. Pozwala to przyjąć, że zjawiska lodowe kształtowane są przede wszystkim w wyniku procesów naturalnych i tylko w nieznacznym stopniu ma na nie wpływ działalność człowieka.

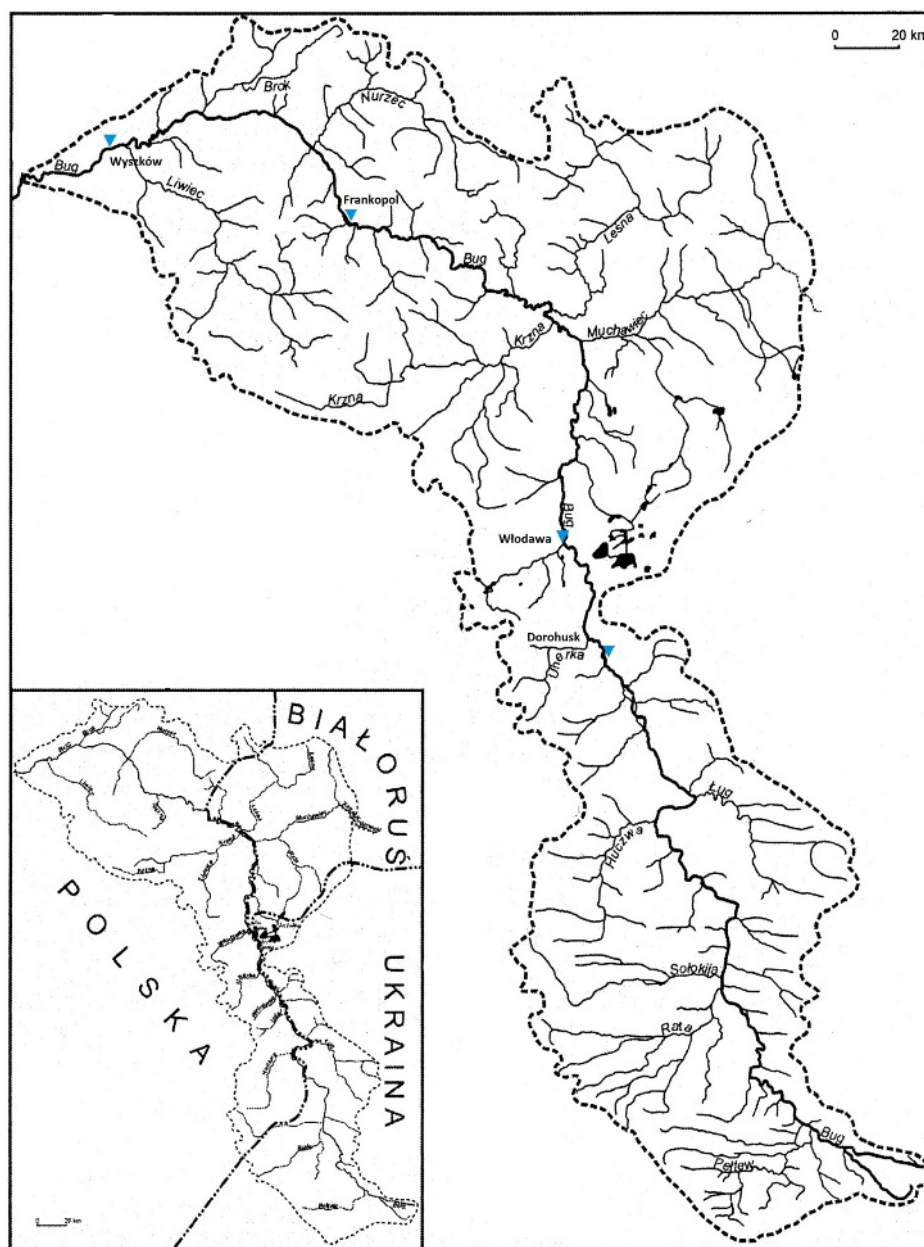
Poniższy tekst stanowi wprowadzenie do opisu zjawisk lodowych na Bugu i jest przyczynkiem do dalszych, bardziej zgłębnionych, badań związanych ze zlodzeniem rzek oraz do poznawania procesów je kształtujących.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

W pracy posłużono się danymi udostępnionymi przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie. Pozyskano wyniki obserwacji zjawisk lodowych na Bugu w latach 2001–2012, w posterunkach wodowskazowych: Dorohusk, Włodawa, Frankopol i Wyszki (rys. 1). Dane obejmowały informacje o czasie pojawienia się i zaniku zlodzenia częściowego (śryż, lód brzegowy) i zlodzenia całkowitego (pokrywa lodowa). Wykorzystano też wykresy przebiegu zlodzenia z lat 1903–1960 opracowane przez Gołka (1957, 1964) oraz wyniki codziennych obserwacji zjawisk lodowych z lat 1954–1973, zestawionych w Rocznikach hydrologicznych wód powierzchniowych [Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych, PIHM, IMGW]. Wzięto pod uwagę przeciętne daty pojawienia się i zaniku zjawisk lodowych oraz liczbę dni z pokrywą lodową. Zestawienie czasu trwania określonych form zlodzenia pozwoliło na ustalenie tendencji zmian przebiegu zjawisk lodowych w rozpatrywanym okresie. Dokonano także ilościowego opisu zjawisk lodowych uwzględniając czas trwania zjawisk lodowych i strukturę zlodzenia [Grześ 1991].

WYNIKI BADAŃ

Na podstawie analizy danych z posterunków położonych w dolnej (Wyszki i Frankopol) i środkowej (Włodawa i Dorohusk) części dorzecza Bugu (rys. 1) można stwierdzić, że struktura zlodzenia dolnego i środkowego Bugu w latach 1903–1960 prezentowała się następująco: faza formowania pokrywy lodowej stanowiła od 6 do 28% całkowitego czasu trwania zjawisk lodowych, faza zalegania pokrywy lodowej od 70 do 82%, a faza jej rozpadu od 0 do 12%. W latach 2001–2012 proporcje kształtowały się nieco inaczej: faza formowania pokrywy lodowej stanowiła 6–25% całkowitego czasu trwania zjawisk lodowych, faza zalegania pokrywy lodowej 58–73%, a faza jej rozpadu 16–22% (tab. 1). Z powyższych danych wnioskować można, że czas trwania fazy formowania się pokrywy lodowej w dziesięcioleciu 2001–2012 kształtował się na podobnym poziomie, jak i w latach 1903–1960. Znacznie skróciła się za to faza zalegania pokrywy lodowej oraz faza jej rozpadu, co wynika prawdopodobnie ze wzrostu średniej temperatury powietrza



Rys. 1. Sieć rzeczna dorzecza Bugu z zaznaczonymi posterunkami wodowskazowymi (na podstawie Mapy Polski 1:1000000 z 1934 r. z późn. zm.)

Fig. 1. River network of the Bug River basin with selected gauging station (according to Map of Poland 1:1000000 from 1934 as subsequently amended)

Tabela 1. Zestawienie procentowego udziału trzech podstawowych faz ustroju lodowego Bugu w latach 1903–1960 oraz 2001–2012

Table 1. Comparison of three essential phases's duration of ice regime of Bug River (1903–1960 and 2001–2012)

Posterunek wodowskazowy	Faza formowania pokrywy lodowej [%]		Faza zalegania pokrywy lodowej [%]		Faza rozpadu pokrywy lodowej [%]	
	1903–1960	2001–2012	1903–1960	2001–2012	1903–1960	2001–2012
Dorohusk	6	16	82	68	12	16
Włodawa	11	25	82	58	7	17
Frankopol	20	17	70	61	10	22
Wyszków	28	6	72	73	0	21

w okresie zimowym, na który wskazują badania Kożuchowskiego i Degirmendżicia [2005] oraz Przybylaka [2011]

W latach 1903–1960 początek zjawisk lodowych przypadał najczęściej na III dekadę listopada, przy czym wcześniej pojawiały się one w środkowym biegu rzeki. Oznacza to, że pojawienie się pokrywy lodowej opóźniało się wraz z biegiem rzeki. Zjawiska lodowe zanikały zwykle pod koniec lutego w biegu środkowym, w biegu dolnym zazwyczaj w II dekadzie marca. Okres przeciętnego utrzymywania się zjawisk lodowych wynosił średnio ok. 70 dni, przy czym najdłużej utrzymywały się one w dolnym biegu rzeki (92 dni w Wyszku i 87 dni we Frankopolu). Pokrywa lodowa najdłużej utrzymywała się w Wyszku – średnio 65 dni.

W latach 2001–2012 zlodzenie wystąpiło najwcześniej w pierwszej połowie grudnia. Pierwsza pokrywa lodowa w Wyszku pojawiła się 3 grudnia (2010 r.), we Włodawie – 9 grudnia (2002 r.), a we Frankopolu – 10 grudnia (2001 r.). Pierwsza pokrywa lodowa w środkowym biegu rzeki (wodowskaz Dorohusk) uformowała się 8 grudnia (2002 r.). Najpóźniejszy zanik pokrywy lodowej odnotowano 31 marca w Wyszku, Włodawie i Dorohusku. Wynika z tego, że zakończenie procesu zlodzenia następowało równomiernie w całym biegu rzeki. Moment pojawienia się pokrywy lodowej jest również bardzo zbliżony na całej analizowanej długości rzeki, z tym, że najwcześniej odnotowuje się ją w dolnym odcinku. Pokrywa lodowa utrzymywała się najdłużej w Wyszku – średnio 53 dni, najkrócej zaś we Włodawie – tylko 36 dni. Okres zalegania pokrywy lodowej we Frankopolu i Dorohusku wynosił odpowiednio 45 i 42 dni. Z danych wynika więc, że pokrywa lodowa krócej utrzymywała się w środkowym biegu rzeki, dłużej zaś w odcinku dolnym.

Śrzyż pojawia podczas całego okresu zlodzenia Bugu. Może formować się przed pojawieniem się stałej pokrywy lodowej, czasem zaś oddziela dwa okresy zlodzenia. Zdarza się też, że występuje przed zakończeniem zjawisk lodowych. W okresie 1903–1960 śrzyż najwcześniej tworzył się w dolnym biegu Bugu, najczęściej jednak pojawiał się na początku grudnia na całym analizowanym odcinku rzeki. Długość trwania śrzyżu wynosiła średnio 20–30 dni. Najkrótszy czas utrzymywania się śrzyżu w latach 2001–2012 odnotowano w dolnym odcinku Bugu (4 dni na posterunku wodowskazowym w Wyszku).

Przed pojawieniem się pokrywy lodowej, śrzyż w Wyszku zazwyczaj nie występował, a jeśli się pojawiał, to utrzymywał się 1–2 dni. Na dłużej (4–6 dni) pojawiał się w okresach między zlodzeniami rzeki. Dłużej utrzymywał się w odcinku środkowym: we Włodawie średnio 16 dni, we Frankopolu – 13 dni, od początku grudnia do końca lutego.

Lód brzegowy w korycie Bugu najczęściej tworzy się dookoła piaszczystych łach i kęp, a także przy brzegu [Dong 2011]. Powstaje w pierwszej kolejności w miejscach o małej głębokości, w których prędkość przepływu oscyluje ok. $0,2\text{--}0,3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [Grześ i Pałowski 2011]. Częściowo odpowiada to warunkom występującym w środkowym biegu rzeki (wodowskaz Dorohusk), gdzie średnia prędkość wynosi $0,22\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zaś średnia głębokość rzeki wynosi ok. 2,5 m. [Wyniki pomiarów hydrometrycznych, IMGW]. Lód brzegowy pojawia się i formuje się przy zadrzewionych brzegach rzeki oraz na odsypach meandrowych, przy wypukłych brzegach. Podobnie sytuacja wygląda we Włodawie. Średnia prędkość przepływu wynosi tu $0,60\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a głębokość zmienia się w granicach 1,3–1,9 m [Wyniki pomiarów hydrometrycznych, IMGW]. Lód brzegowy tworzy się tam, ponieważ na wysokości Włodawy koryto rzeki rozdziela się; znajdują się tam dwie duże, zalesione wyspy, które stwarzają dogodne warunki do tworzenia się lodu [Dobrowolski 1987].

W Wyszku formowaniu się lodu brzegowego sprzyja kształt koryta rzeki. Brzeg prawy jest stromy, opada prawie pionowo w dół, zaś brzeg lewy jest płaski i przechodzi w równię zalewową. Prędkości przepływu są tam zatem mniejsze ($0,37\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), dzięki czemu lód brzegowy tworzy się tam wcześniej [Wyniki pomiarów hydrometrycznych, IMGW].

Inną przyczyną wczesnego formowania się lodu brzegowego na wysokości Wyszku mogą być ostrogi występujące na lewym brzegu, wybudowane w latach 60. XX w., które obecnie są zakolmatowane, tzn. pokryte piaskiem rzeczny w wyniku procesów korytowych oraz dwie przeprawy drogowe [Zieliński i Narowski 2003].

W omówionych przekrojach wodowskazowych lód brzegowy występuje zarówno na początku, jak i na końcu zjawisk lodowych. Średnia liczba dni z lodem brzegowym wynosi w Dorohusku 5 dni w latach 1903–1960 i 10 dni w latach 2001–2012, we Włodawie – kolejno 6 i 11 dni, we Frankopolu 5 i 16 dni, a w Wyszku 3 i 15 dni.

We Frankopolu średni czas występowania lodu brzegowego w dziesięcioleciu 2001–2012 wynosi 16 dni. Średnia ta może być nieco myląca, ponieważ przez pierwszych siedem sezonów zimowych lód brzegowy nie występował w ogóle, a w sezonie 2008/2009 występował bez przerwy przez 31 dni w fazie zamarzania. W Wyszkanie w okresie 2001–2012 lód brzegowy wystąpił tylko raz w fazie rozpadu pokrywy lodowej i utrzymywał się przez 15 dni.

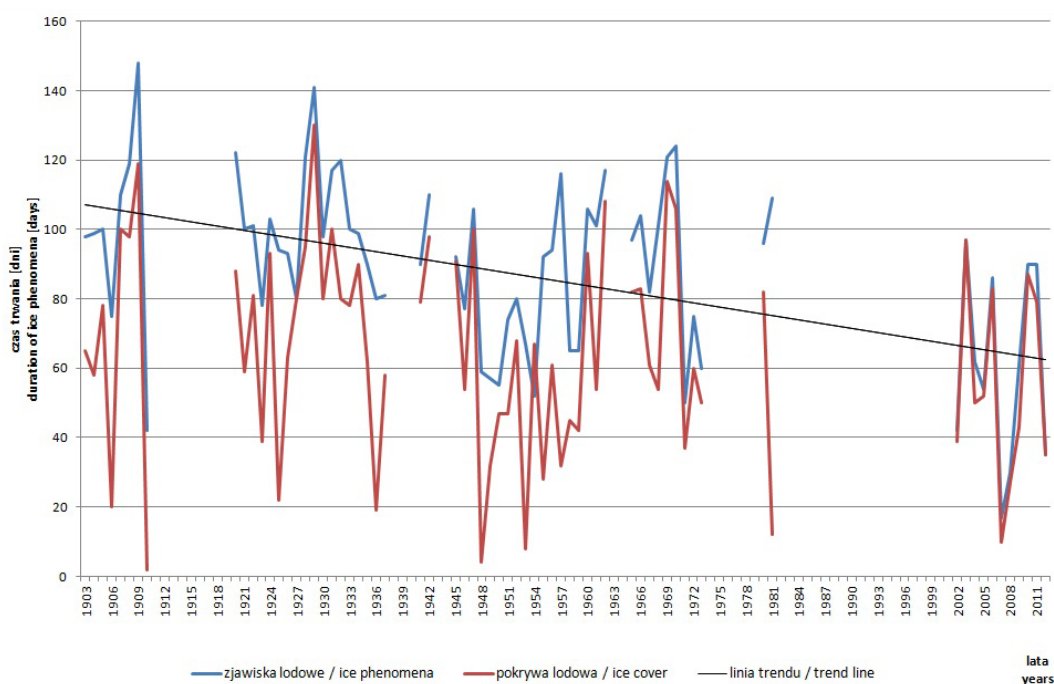
Analizując przebieg zjawisk lodowych w czterech profilach wodowskazowych Bugu, można stwierdzić, pokrywa lodowa występowała najczęściej w styczniu. W latach 1903–1960 pokrywa lodowa najczęściej utrzymywała się stale w okresie od grudnia do marca, co wskazuje na niskie temperatury powietrza, a co za tym idzie, na niskie temperatury wody (średnie temperatury wody w grudniu: 1°C , w styczniu: $0,4^{\circ}\text{C}$, w lutym: $0,3^{\circ}\text{C}$, w marcu: $1,1^{\circ}\text{C}$) utrzymujące się przez długi czas [Gołek 1961]. W środkowym odcinku rzeki w latach 2001–2012 wyróżnić można dwa okresy: pierwszy (zimy 2001/2002–2005/2006) z dłuższym czasem trwania pokrywy lodowej (średnio 52 dni) i drugi (zimy 2006/2007–2010/2011) z czasem krótszym (średnio 26 dni). W odcinku dolnym przez całą dekadę pokrywa lodowa utrzymywała się stale. W okresie zimowym 2006/2007–2010/2011 na początku i na końcu tego okresu zjawiska lodowe pojawia-

ły się wcześniej, zaś w środku okresu – później. Wynika to prawdopodobnie z warunków pogodowych na początku XXI w. Można zauważyć, że często po spadkach temperatury w grudniu (co powoduje pojawienie się pokrywy lodowej), występowało ocieplenie w styczniu lub lutym, a następnie, na początku marca temperatura obniżała się i zjawiska lodowe pojawiały się ponownie [Marszelewski i Skowron 2006].

Zjawiska lodowe na Bugu monitorowane są od początku XX wieku [Gołek 1957]. W tym okresie dynamika zjawisk lodowych na Bugu ulegała znacznym zmianom (rys. 2).

W środkowym biegu rzeki (wodowskaz Dorohusk) długość czasu trwania pokrywy lodowej zmniejszyła się ze średnio 57 dni w latach 1903–1960 do 42 dni w latach 2001–2012. Czas występowania śryżu i lodu brzegowego zwiększył się. We Włodawie, w środkowym biegu Bugu, skrócenie czasu trwania pokrywy lodowej jest jeszcze wyraźniejsze. Czas zalegania pokrywy lodowej zmniejszył się prawie dwukrotnie, zaś tu również wzrósł udział śryżu i lodu brzegowego w całości zjawisk lodowych występujących na tym odcinku Bugu.

We Frankopolu, w dolnym biegu Bugu, pokrywa lodowa w latach 2001–2012 utrzymywała się o 20 dni krócej niż w latach 1903–1960. Pochód śryżu także trwał prawie o tydzień krócej. Zwiększył się jedynie czas występowania lodu



Rys. 2. Czas trwania zjawisk lodowych na Bugu w Wyszkanie w latach 1903–2012
Fig. 2. Duration of ice phenomena on the Bug River in the Wyszkanie gauge station from 1903 till 2012

brzegowego. Wyszków jest jedynym miejscem, w którym czas trwania pokrywy lodowej od początku pomiarów nie uległ zmianie. W znacznym stopniu zmniejszył się udział śryżu w ogóle zjawisk lodowych, zaś zwiększył się – lodu brzegowego. Trzeba jednak podkreślić, że lód brzegowy w latach 2001–2012 wystąpił tylko w zimie 2008/2009.

Na początku XX w. zjawiska lodowe trwały ok. 100 dni, zaś na początku wieku XXI czas ich trwania skrócił się do ok. 60 dni (rys. 2). Liczba dni ze stałą pokrywą lodową zmniejszyła się z ok. 70 do średnio 60 dni. Zaznacza się więc trend spadku liczby dni ze zjawiskami lodowymi i stałą pokrywą lodową. Oprócz tego, coraz częściej pojawiają się wartości minimalne i maksymalne czasu trwania pokrywy lodowej, i innych zjawisk lodowych, wynikające z występowania zim bardzo łagodnych, jak i surowych. Przykładem może być zima 2006/2007, kiedy zjawiska lodowe w Wyszkowie trwały łącznie 15 dni, w tym stała pokrywa lodowa utrzymywała się tylko przez 10 dni. Sytuacja odwrotna miała miejsce w sezonie 2002/2003, kiedy niska temperatura powietrza utrzymująca się przez długi czas, spowodowała, że pokrywa lodowa występowała przez 97 dni. Związane jest to z dość dużą zmiennością warunków termicznych w sezonach zimowych. Zimy o temperaturach powietrza znacznie niższych niż średnia wieloletnia często następują po zimach ciepłych i odwrotnie [Gorączko i Pawłowski 2014].

PODSUMOWANIE

W analizowanych okresach (1903–1960 oraz 2001–2012) odnotowano zmiany w przebiegu zjawisk lodowych w dorzeczu Bugu. Przeważającym i trwającym najdłużej zjawiskiem lodowym występującym na Bugu jest pokrywa lodowa. Występuje ona najczęściej jednokrotnie w czasie całego okresu zlodzenia rzeki. Czas jej zalegania w analizowanym okresie zmniejszył się z ok. 100 do średnio 60 dni. Powodem tak długiego i trwałego zlodzenia jest położenie dorzecza Bugu we wschodniej części Polski, gdzie temperatury powietrza w ciągu zimy przez długi czas utrzymują się poniżej 0°C. Najdłużej pokrywa lodowa utrzymuje się w dolnym biegu rzeki.

Kolejnym procesem jaki analizowano jest tworzenie się krążków śryżowych i występowanie śryżu. Zazwyczaj śryż pojawia się w fazie formowania pokrywy lodowej, tzn. przed jej

całkowitym powstaniem. Zdarza się również, że śryż tworzy się na rzece między dwoma okresami zlodzenia. Sytuacja taka zdarza się wtedy, gdy na przełomie stycznia i lutego temperatura powietrza podnosi się wskutek napływu ciepłych mas powietrza polarno-morskiego [Biuletyn PSHM, 2011]. Zjawiskiem, które również występuje podczas fazy tworzenia się pokrywy lodowej jest lód brzegowy. Czas jego trwania i miejsca występowania są zróżnicowane na całej długości rzeki.

Współcześnie zjawiska lodowe pojawiają się coraz później i trwają krócej. Wyraźne są też fluktuacje czasu trwania zjawisk lodowych i zlodzenia rzeki związane ze zróżnicowaniem warunków termicznych w sezonach zimowych. Przebieg zlodzenia Bugu jest uzależniony od czynników meteorologicznych, ukształtowania koryta i prędkości płynięcia wody, a także wielu innych czynników.

LITERATURA

1. Ashton G. 1978. River ice. *Annual Review of Fluid Mechanics* 10, 369–392.
2. Beltaos P. Prowse T. 2009. River- ice hydrology in a shrinking cryosphere. *Hydrological Processes* 23/1, 122–144.
3. Borshsh S., Ginzburg B., Soldatova I. 2001. Modeling the development of ice phenomena in rivers as applied to the assessment of probable changes in ice conditions at various scenarios of the future climate. *Water Resources* 28/2, 194–200.
4. Choński A., Kolendowicz L., Pociask- Karteczka J. 2010. Zjawiska lodowe na Morskim Oku w latach 1971–2010 i ich związek z temperaturą powietrza oraz cyrkulacją atmosferyczną. *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem. Materiały IV Konferencji “Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek”, Zakopane 14–16 października 2010.*
5. Chu T., Das A., Lindenschmidt K.E. 2015. Monitoring the variation in ice-cover characteristics of the Slave River, Canada using RADARSAT-2 data – a case study. *Remote Sensing* 7/10, 13664–13691.
6. Devik O. 1964. Present experience on ice problems connected with the utilization of water power in Norway. *Journal of Hydraulic Research* 2/1, 25–40.
7. Dobrowolski A. 1987. Metody oceny warunków termiczno- lodowych w obszarze zrzutu wód podorzanych. *Sprawozdanie przejściowe za rok 1987.* Warszawa: IMGW.
8. Dong N. 2011. Border ice processes on the Saint Lawrence River (master thesis). Quebec: Universi-

- te Laval, Departement de Genie Civil, Faculte des Sciences et Genie.
9. Gołek J. 1957. Zjawiska lodowe na rzekach polskich. Warszawa: WKiŁ.
10. Gołek J. 1961. Termika rzek polskich. WKiŁ, Warszawa.
11. Gołek J. 1964. Zlodzenie rzek polskich. WKiŁ, Warszawa.
12. Gorączko M., Pawłowski B. 2014. Przebieg zjawisk lodowych na Warcie w rejonie Uniejowa. *Biuletyn Uniejowski* 3, 23–33.
13. Grześ M. 1991. Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle. Mechanizmy i warunki. Warszawa: Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk.
14. Grześ M., Pawłowski B. 2011. Lotniczy atlas zlodzenia rzek. II Warsztaty Lodowe problemy rzek. "Zatory i powódzie zatorowe." Dobiegniewo, 3–4 lutego 2011.
15. IMGW 2011. Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno- Meteorologicznej.
16. IPCC 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I,II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
17. Kożuchowski K., Degirmendzić J. 2005. Contemporary changes of climate in Poland: trends and variation in thermal and solar conditions related to plant vegetation. *Polish Journal of Ecology* 53/3, 283–297.
18. Kożuchowski K., Żmudzka E. 2001. Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX w. *Przegląd Geograficzny* 46/1–2, 81–90.
19. Lambor J. 1948. Geneza lodu prądowego i jego pojawienie się na rzekach środkowoeuropejskich zlewiska Morza Bałtyckiego. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej* 3, 213–244.
20. Lind L. 2015. Breaking the ice: effects of ice formation and winter floods on vegetation along streams (doctor thesis). Umeå University, Faculty of Science and Technology, Department of Ecology and Environmental Sciences.
21. Marszelewski W., Skowron R. 2006. Ice cover as an indicator of winter air temperature changes: case study of the Polish Lowland lakes. *Hydrological Sciences Journal* 51/2, 336–349.
22. Michalska B. 2011. Tendencje zmian temperatury powietrza w Polsce. *Prace i Studia Geograficzne* 47, 67–75.
23. Myglan V., Vaganow E. 2008. Ice phenomena of the Middle Siberia Rivers for the period of the last 300 years (according to historical data) as a reflection of the climate change. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences* 1/3, 361–372.
24. Pawłowski B. 2009. Long- term variability in the course of ice phenomena on the Vistula River in Toruń. *Bulletin of Geography: Physical Geography Series* 1/2009, 91–102.
25. Prowse T., Beltaos S., Alfredsen A., Weyhenmeyer G. 2011. Effects of changes in arctic lake and river ice. *Journal of the Human Environment* 40 (sp1), 63–74.
26. Przybylak R. 2011. Changes in Poland's climate over the last millenium. *Czasopismo Geograficzne* 82/1–2, 23–48.
27. Report on ice stream processes. Physical and Biological Effects and Relationship to Hydroelectric Projects. 1992. Federal Energy Regulatory Commission Office of Hydropower Licensing. Paper no. DPR-5.
28. Richard M., Morse B., Daly S.F. 2015. Modelling frazil ice growth in the St. Lawrence River. *Canadian Journal of Civil Engineering* 42/9, 592–608.
29. Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych. Dorzecze Wisły i rzeki Przymorza na wschód od Wisły 1954–1973. Warszawa: PIHM, IMGW, WKiŁ.
30. Šarauskienė D., Jurgelėnaitė A. 2008. Impact of climate change on river ice phenology in Lithuania. *Environmental Research, Engineering and Management* 4/46, 13–22.
31. Svensson U., Billfalk, L., Hammar L. 1989. A mathematical model of border-ice formation in rivers. *Cold Regions Science and Technology* 16, 179–189.
32. Takács K., Nagy B., Kern Z. 2014. Human impacts on river ice regime in the Carpathian Basin. *Geophysical Research Abstracts* 16. EGU General Assembly 2014–981.
33. Wołoszyn, E. 2006. Wezbrania zimowe zatorowe i roztopowe. *Vademecum ochrony przeciwpowodziowej*. Gdańsk: KZGW.
34. Wyniki pomiarów hydrometrycznych 1961, 1970, 1980. Warszawa: Wyd. Łączności i Komunikacji.
35. Zieliński J., Narowski S. 2003. Zabudowa regulacyjna. W J. Dojlido, W. Kowalczewski, i. R. Miłaszewski, & J. Ostrowski, *Rzeka Bug. Zasoby wodne i przyrodnicze*. Warszawa: IMGW, WSEiZ.