

DYNAMIKA ODPLYWU ZE ZLADOWACONEJ ZLEWNI RZEKI WALDEMARA (NW SPITSBERGEN) W SEZONACH LETNICH 2009-2011

DYNAMICS OF THE OUTFLOW FROM THE GLACIERIZED WALDEMAR RIVER CATCHMENT (NW SPITSBERGEN) IN SUMMER SEASONS 2009-2011

Ireneusz Sobota, Marcin Nowak

Zakład Kriologii i Badań Polarnych, Instytut Geografii UMK,
ul. Gagarina 9, 87-100 Toruń,
irso@umk.pl, m.nowak@doktorant.umk.pl

Zarys treści. Jednym z ważnych zagadnień hydrologii obszarów zlodowaconych jest ustrój rzek proglałacjalnych, rozumiany jako charakter zmienności ich odpływu w czasie. W pracy przedstawiono wyniki badań odpływu ze zlewni Rzeki Waldemara przeprowadzonych w sezonach letnich 2009, 2010 i 2011. Były one kontynuacją badań odpływu ze zlewni Lodowca Waldemara prowadzonych w sezonach letnich od 1977 oraz nieprzerwanie od 1996 roku. Dokonano analizy jego zmienności w oparciu o wybrane skale czasowe. Wybrane elementy odpływu odniesiono do przebiegu warunków meteorologicznych. W okresie objętym analizą wystąpiły znaczące różnice w charakterystyce odpływu Rzeką Waldemara. Średni przepływ w sezonach letnich 2009, 2010 i 2011 wyniósł odpowiednio: $0,84 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $0,55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ oraz $1,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Rzeką Waldemara w różnych skalach czasowych charakteryzuje się specyficznymi warunkami odpływu, które kształtowane są przede wszystkim warunkami pogodowymi wpływającymi na intensywność ablacji lodowcowej, jak również warunkami śniegowymi na lodowcu. Istotną rolę w reżimie rzeki odgrywają zdarzenia niecykliczne, do których należą zjawiska fenowe oraz udrożnienie systemu drenażu lodowca.

Słowa kluczowe: rzeka lodowcowa, odpływ, zlewnia zlodowacona, zmienność odpływu.

1. Wstęp

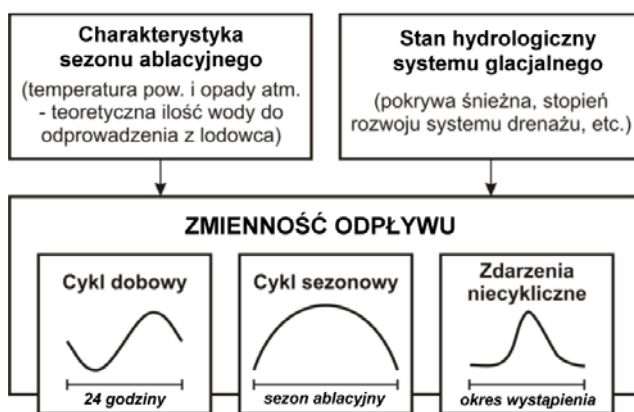
Lodowce stanowią jedną z form retencji wody w przyrodzie. Ważnym zagadnieniem hydrologii obszarów zlodowaconych jest ustrój rzek proglałacjalnych, rozumiany jako charakter zmienności ich odpływu w czasie. Klasyczne typologie reżimów rzecznych, w tym klasyfikacja Pardego (1957), wydzielają zasilanie lodowcowe jako jedno z podstawowych źródeł alimentacji rzek. Ponadto, autor ten uważa, że lodowce odgrywają dominującą rolę w kształtowaniu ustroju hydrologicznego rzeki wszędzie tam, gdzie zajmują powyżej 20% powierzchni zlewni. Charakterystyczną cechą zlewni zlodowaconych jest to, że 80-90% wartości rocznego odpływu przypada na okres letni (m.in. Østrem 1973, Leszkiewicz 1987, Bartoszewski 1998, Rachlewicz 2007, 2009).

Na odpływ rzeką lodowcową składają się odpływ proglałacjalny oraz inne źródła zasilania (opady atmosferyczne, woda pochodząca z topnienia płatów śniegu na niezlodowaconych stokach otoczenia lodowca, wytapiania brył martwego lodu i wieloletniej zmarzliny). Stosunki pomiędzy tymi składowymi

są różne, zależnie od siły oddziaływania warunków wewnętrznych i zewnętrznych panujących w zlewni. Do warunków wewnętrznych należy zaliczyć m.in. stopień zlodowacenia zlewni, charakterystykę hydrologiczną lodowca (stopień rozwoju systemu drenażu, ilość, wielkość i układ szczelin, występowanie pokrywy śnieżnej, termika lodu), orografię zlewni oraz jej warunki litologiczne. Elementami zewnętrznymi są warunki pogodowe panujące w trakcie sezonu ablacyjnego – czynnik termiczny wpływający na wielkość ablacji oraz wielkość opadów atmosferycznych. W porze zimowej odpływ ogranicza się do epizodycznych wypływów zgromadzonej in- i subglacialnie wody. Stanowią one źródło powstawania płatów nalodzi na przedpolu lodowca (Grześ i Sobota 2000, Hodgkins i in. 2004, Sobota 2009, 2011). Topnienie ich pozostałości w czasie sezonu ablacyjnego stanowi dodatkowe źródło zasilania rzek tych regionów.

Dla rzek odwadniających zlodowacone obszary Spitsbergenu wyróżniono kilka genetycznych typów wezbrań: najwcześniej w skali sezonu występujące wiosenne wezbrania roztopów śnieżnych, letnie wezbrania z ablacji lodowca oraz epizodyczne wezbrania powodowane wysokimi opadami deszczu czy efektem fenowym (Rachlewicz 2007). Przy analizie parametrów danych wezbrań należy pamiętać o niejednorodnych warunkach ich generowania. Wezbrania występujące podczas zjawisk fenowych są bowiem powodowane bezpośrednio wzrostem wartości ablacji, zaś w trakcie wezbrań opadowych odprowadzana może być zarówno woda pochodząca z deszczu, jak z podniesienia ablacji wskutek oddziaływania jego ciepła utajonego.

Grupę rzek o zasilaniu lodowcowym cechują charakterystyczne, niespotykane w zlewniach niezlodowaconych, zmienności odpływu (ryc. 1), które nawiązują do zmian tempa ablacji lodowca i drożności systemu glacialnego. Najwyraźniej zaznaczają się one w przypadku rzek odwadniających niewielkie, silnie zlodowacone zlewnie.



Ryc. 1. Uproszczony schemat kształtowania odpływu rzeką lodowcową

Fig. 1. Simplified scheme of shape variability of proglacial river runoff.

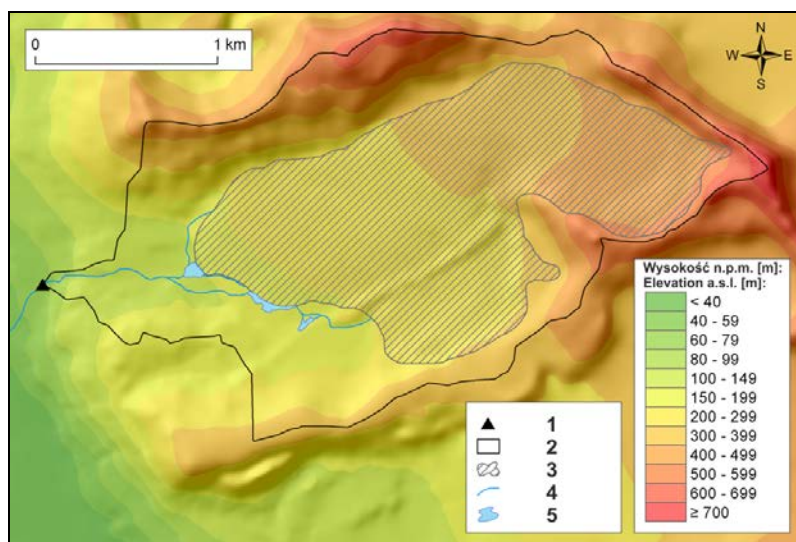
2. Cel i zakres badań

Badania przeprowadzone w latach 2009-2011 objęły wybrane elementy ustroju hydrologicznego Rzeki Waldemara. Ich celem było określenie niektórych cech dynamiki odpływu ze zlewni. Były one kontynuacją badań prowadzonych w sezonach letnich 1977, 1979 i 1980 roku (Szczepanik 1993) oraz

nieprzerwanie od 1996 roku (Sobota 1998, 1999, 2000, 2005, 2007; Sobota i in. 2010). Warto nadmienić, że stanowią one cenne uzupełnienie monitoringu bilansu masy Lodowca Waldemara oraz wybranych cech jego dynamiki i hydrologii (Sobota 1998, 1999, 2000, 2007, 2009). Badania Rzeki Waldemara są realizacją prac mających na celu określenie kierunków i tempa ewolucji zlewni zlodowaczonej w świetle współczesnych przemian kriosfery.

3. Obszar i metody badań

Badaniami objęto Rzekę Waldemara leżącą na NW Spitsbergenie. Wypływa ona z niewielkiego lodowca o tej samej nazwie. Od początku prowadzenia pomiarów, tj. od 1977 roku, profil zamykający badaną zlewnię usytuowany jest w tym samym miejscu (ryc. 2-3), poniżej przełomu wyciętego w wale morenowym nałożonym na podniesiony próg skalny (Szczepanik 1993, Sobota i in. 2010). W tym punkcie Rzeką Waldemara płynie jednym, zwartym korytem. Jest to jedyne miejsce, w którym obserwuje się odpływ powierzchniowy ze zlewni. Wyklucza to problem niedoszacowania tej składowej jej bilansu wodnego oraz eliminuje wystąpienie genetycznej niejednorodności eksperymentu w ciągu pomiarowym (Ozga-Zielińska i Brzeziński 1997).



Ryc. 2. Zlewnia Rzeki Waldemara (1 – profil pomiarowy; 2 – zlewnia; 3 – lodowiec; 4 – ciek; 5 – jeziora)

Fig. 2. Waldemar River catchment (1 – gauging profile; 2 – catchment; 3 – glacier; 4 – rivers; 5 – lakes).

Zlewnia Rzeki Waldemara zamknięta wskazanym profilem zajmuje powierzchnię 4,95 km², z czego na Lodowiec Waldemara przypada 2,50 km². Jest to niewielki lodowiec dolinny typu alpejskiego (ryc. 4). Jego czoło znajduje się na wysokości około 150 m n.p.m., zaś strefa akumulacyjna sięga wysokości około 550 m n.p.m. Dział wodny przebiega w większości wzdłuż szczytów pasm Prins Heinrichfjella oraz Gråfjellet, zaś w strefie marginalnej lodowca stanowią go kulminacje wału morenowego, będącego pozostałością po transgresji z okresu Małej Epoki Lodowej. Skrajnymi punktami wysokościowymi zlewni są szczyt Prinsen (770 m n.p.m.) oraz profil pomiarowy (90 m n.p.m.).



Ryc. 3. Przekrój hydrometryczny zamykający zlewnię
Fig. 3. Gauging profile which closes the catchment.

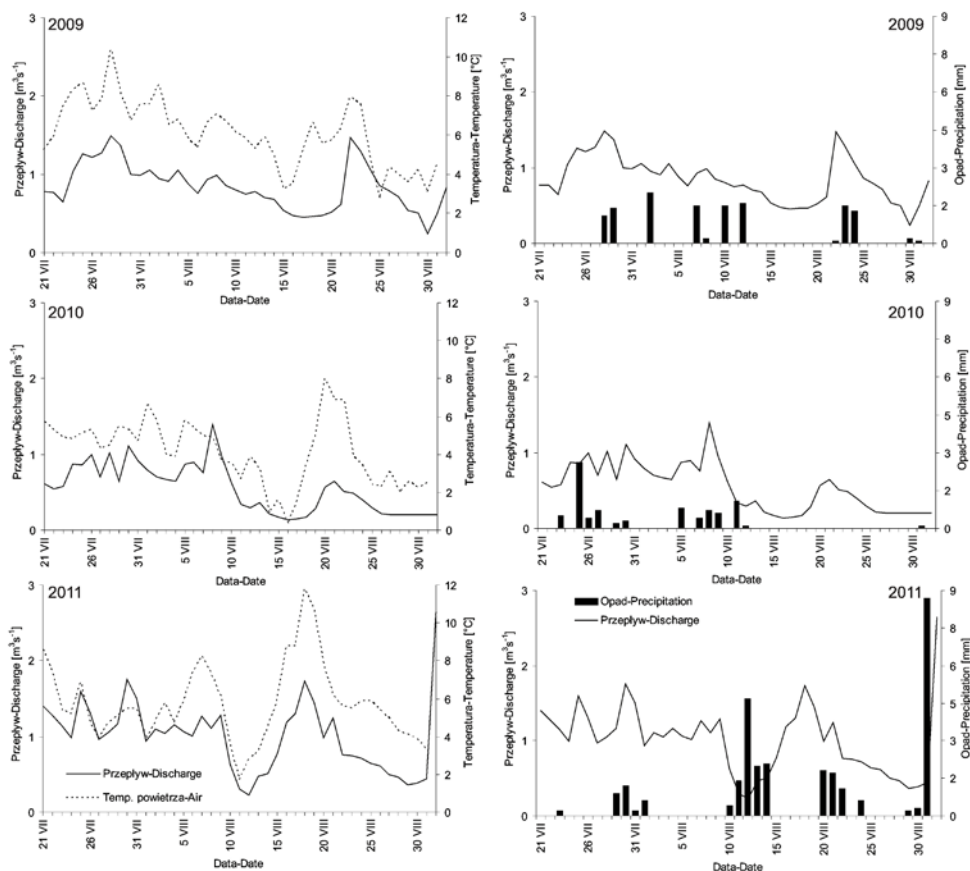


Ryc. 4. Czoło Lodowca Waldemara w 2010 roku
Fig. 4. Waldemar Glacier terminus in 2010.

W trakcie prowadzenia badań, w profilu pomiarowym zainstalowany był limnimetr OTT Thalimedes. Dokładność pomiaru urządzenia wynosi 1 cm, zaś rozdzielczość czasowa pracy wynosiła 15 minut. W odstępach 1-2 dniowych za pomocą młynka hydrometrycznego typu Hega-II prowadzono pomiary prędkości płynięcia wody, każdorazowo dokonując sondowania głębokości koryta celem wyeliminowania wpływu jego ewolucji na dokładność pomiarów. Przepływ obliczano następnie w m^3s^{-1} . Analizie poddano wspólny okres pomiarowy dla wszystkich trzech lat – od 21 lipca do 1 września. Dane meteorologiczne pochodzą ze stacji zlokalizowanej w odległości 3 km od punktu pomiaru przepływu.

4. Wyniki

Rzeka Waldemara reprezentuje grupę ustrojów lodowcowych, w której warunki odpływu kształtowane są głównie poprzez oddziaływanie czynnika termicznego, opadów atmosferycznych i zmian w retencji zlewni. Średnia temperatura okresu pomiarowego w sezonach letnich 2009, 2010 i 2011 wyniosła kolejno: 6,1°C, 4,1°C oraz 5,8°C. Sumy opadu atmosferycznego wyniosły zaś odpowiednio: 12,5 mm, 8,5 mm oraz 28,1 mm (Przybylak i in. 2012). Znalazło to swoje odzwierciedlenie w charakterze odpływu (ryc. 5) i jego wartościach (tab. 1).



Ryc. 5. Średnie dobowe wartości przepływu Rzeki Waldemara w sezonach letnich 2009-2011 na tle temperatury powietrza i sum opadu atmosferycznego (dane meteorologiczne: Przybylak i in. 2012)

Fig. 5. Mean daily discharge values of the Waldemar River in summer seasons 2009-2011 on the background of daily air temperature and precipitation sums (meteorological data after: Przybylak i in. 2012).

We wszystkich analizowanych latach odpływ nawiązywał przede wszystkim do warunków termicznych. Współczynnik korelacji średniego dobowego przepływu i średniej dobowej temperatury powietrza w latach 2009, 2010 i 2011 wyniósł odpowiednio: 0,74, 0,64 oraz 0,69, co świadczy o ścisłej zależności między wielkością ablacji lodowca oraz czynnikiem termicznym. Zaobserwowano wystąpienie analogii w sezonowym rytmie odpływu. Początkowo następował zauważalny, stopniowy spadek jego

wartości. Było to odzwierciedleniem ogólnej tendencji zmian temperatury powietrza oraz zanikaniem efektu odprowadzania wody zretencjonowanej wcześniej głównie w obrębie papki wodno-śnieżnej na powierzchni lodowca. Zjawisko to, wraz z jego wpływem na charakter odpływu ze zlewni lodowcowych opisywali między innymi Stenborg (1970), Elliston (1973), Jansson i in. (2003). W poszczególnych latach obserwowano różną powierzchnię zalegania i miąższość pozostałości pokrywy śnieżnej na Lodowcu Waldemara. Szczególnie dużą rolę odegrało ono w roku 2009. Na początku okresu pomiarowego lodowiec pokryty był w całości papką wodno-śnieżną i śniegiem, w obrębie których obserwowano wytworzenie warstwy wodonośnej. Odpływ w tej strefie odbywał się stopniowo i nie wykazywał dużej zmienności. Dobrze uwidacznia się to w hydrogramie odpływu, gdzie znaczne niekiedy zmiany temperatury powietrza nie powodowały wyraźnych zmian przepływu, jak miało to miejsce w latach 2010 i 2011, kiedy warstwa papki i śniegu występowała jedynie w środkowej i górnej części lodowca.

Tabela 1. Wybrane parametry odpływu Rzeki Waldemara w sezonach letnich 2009-2011

Table 1. Selected runoff parameters of the Waldemar River in summer seasons 2009-2011.

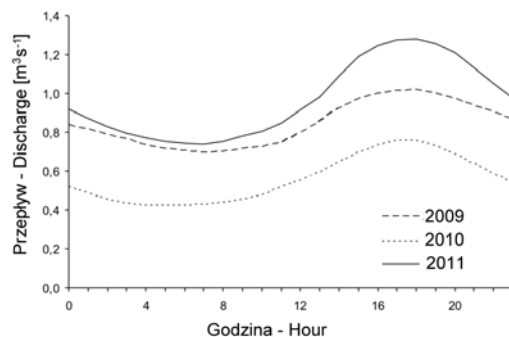
Miara odpływu – Runoff parameter	Jednostka – Unit	Rok – Year		
		2009	2010	2011
Średni przepływ – Mean discharge	[m ³ s ⁻¹]	0,84	0,55	1,01
Odpływ całkowity – Total runoff	[tys. m ³]	3 120,8	2 043,4	3 752,4
Śr. odpływ jednostkowy – Mean specific runoff	[dm ³ s ⁻¹ km ⁻²]	170	111	202
Warstwa odpływu – Runoff layer	[mm]	630	413	758

Wpływ opadu atmosferycznego w postaci deszczu na przebieg odpływu obserwowano jedynie w przypadkach wystąpienia okresów o jego większych sumach. Poza nielicznymi zdarzeniami o charakterze wezbrań opadowych (głównie okres początku września 2011) czynnik ten odgrywał rolę elementu nieznacznie modyfikującego wielkość przepływu.

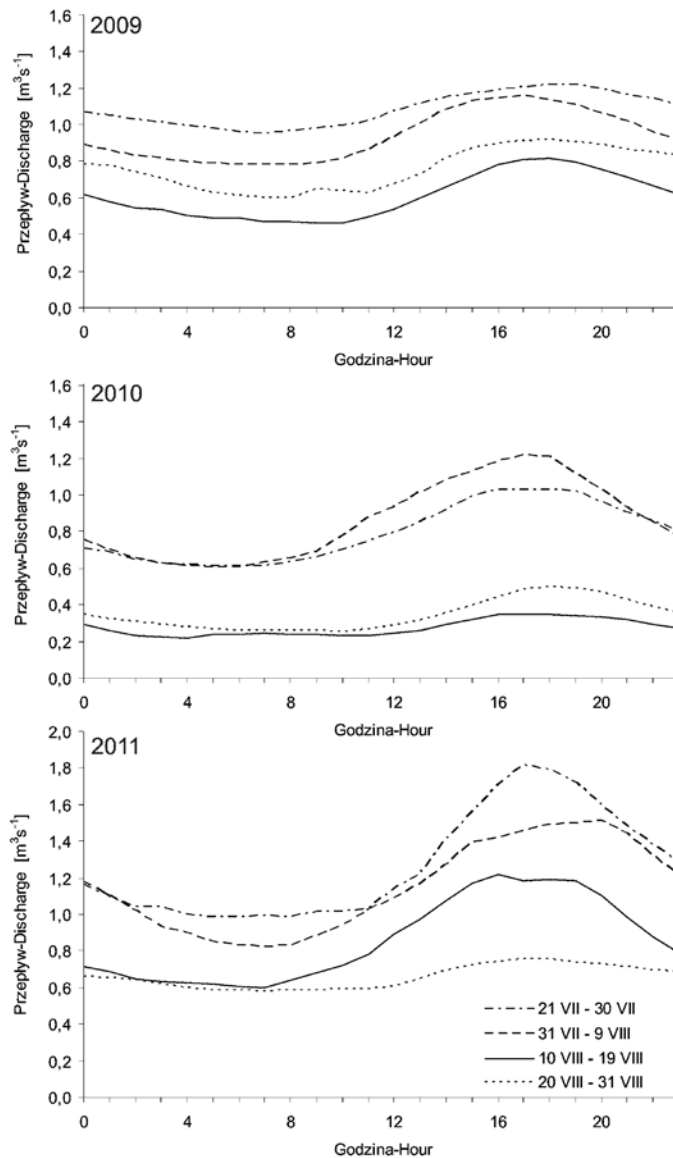
Kolejnym wymiarem zmienności odpływu rzek lodowcowych jest zmienność dobowa. Poddano ją analizie na podstawie średnich godzinowych wielkości odpływu. W ujęciu wartości uśrednionych dla całego okresu pomiarowego we wszystkich latach obserwowano maksimum przepływu w godzinach popołudniowych i jego minimum w godzinach porannych (ryc. 6). Było to związane z dobowym przebiegiem temperatury powietrza. Średnie opóźnienie wartości odpływu względem tego parametru wynosiło około 3 godzin, co wynikało z czasu, jaki woda powstała na lodowcu potrzebowała do migracji w systemie lodowcowym i opuszczenia zlewni.

Ryc. 6. Średni dobowy rytm odpływu Rzeką Waldemara w sezonach letnich 2009-2011

Fig. 6. Mean daily course of Waldemar River discharge in summer seasons 2009-2011.



Najmniejsze zróżnicowanie odpływu występuje pod koniec sezonu letniego (ryc. 7), co wynika z niskich wartości ablacji lodowca. W takich warunkach silnie zaznacza się wyrównany odpływ wewnętrzny i podlodowcowy. Na początku okresu pomiarowego w 2009 roku uwidoczniło się opisaną powyżej zjawisko wpływu retencji wody w warstwie pokrywy śnieżnej na złagodzenie zmienności odpływu. Wraz z topnieniem śniegu i zanikaniem jego funkcji retencyjnej wzrastała wartość średniej dobowej względnej amplitudy przepływu (tab. 2).



Ryc. 7. Średni dobowy rytm natężenia wielkości przepływu Rzeki Waldemara w sezonach letnich 2009-2011 w okresach kilkudniowych

Fig. 7. Mean daily discharge course of the Waldemar River in multi-day intervals in summer seasons 2009-2011.

Tabela 2. Średnia względna amplituda odpływu Rzeki Waldemara w sezonach letnich 2009-2011 w okresach kilkudniowych

Table 2. Mean relative runoff amplitude of the Waldemar River in multi-day intervals in summer seasons 2009-2011.

Okres – Period	Rok – Year		
	2009	2010	2011
21 VII - 30 VII	0,24	0,61	0,98
31 VII - 9 VIII	0,40	0,61	0,82
10 VIII - 19 VIII	0,59	0,22	0,62
20 VIII - 31 VIII	0,43	0,25	0,58

Oprócz opisanych powyżej zmienności odpływu o charakterze cyklicznym obserwowano również zmienność niecykliczną, a wpływającą znacząco na warunki odpływu ze zlewni. W tym ujęciu wyróżniono wezbrania Rzeki Waldemara, które wystąpiły w trakcie prowadzenia pomiarów. Za przepływ graniczny uznano przekroczenie średniego sezonowego przepływu powyżej 24 godzin. Hydrogramy tak określonych wezbrań przedstawia ryc. 8, zaś ich liczbowe charakterystyki zestawia tabela 3.

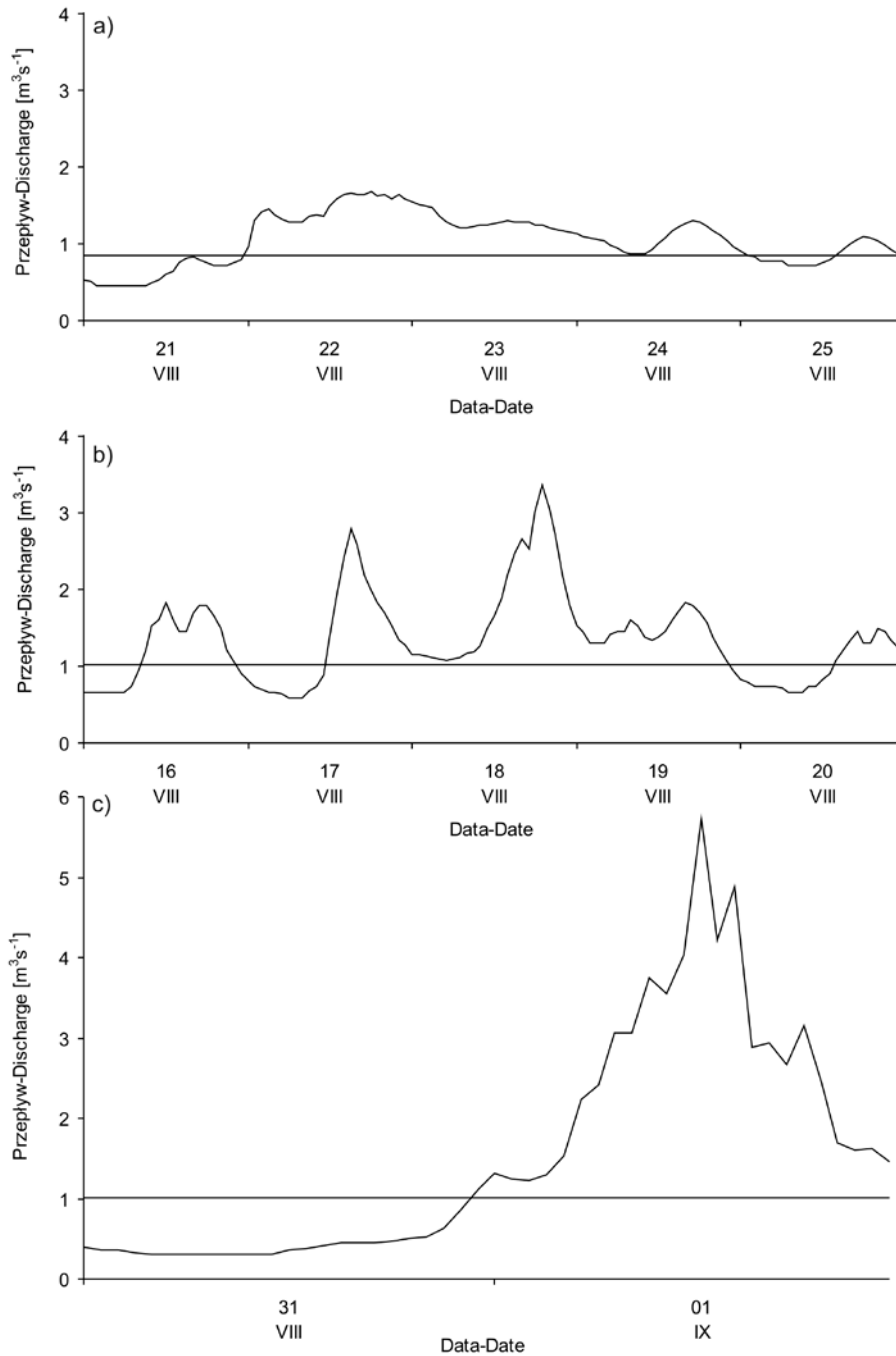
Tabela 3. Wybrane parametry wezbrań Rzeki Waldemara w sezonach letnich 2009-2011

Table 3. Selected parameters of the Waldemar River floods in summer seasons 2009-2011

Parametry – Parameters	Wezbrania roztopowe podczas fenów – Fohn floods		Wezbranie opadowe – Rain flood
	2009	2011	2011
Okres wystąpienia – Period of occurrence	22 VIII - 24 VIII	17 VIII - 19 VIII	31 VIII - 01 IX
Czas trwania [h] – Duration time [h]	73	60	26
Czas koncentracji [h] – Time to peak [h]	16	32	13
Przepływ kulminacyjny [m^3s^{-1}] – Peak discharge [m^3s^{-1}]	1,66	3,36	5,73
Stosunek wartości przepływu kulminacyjnego wezbrania do średniego przepływu sezonu – Peak discharge to mean seasonal discharge ratio	1,98	3,33	5,67
Średni przepływ wezbrania [m^3s^{-1}] – Mean flood discharge [m^3s^{-1}]	1,27	1,70	2,61
Stosunek średniego przepływu wezbrania do średniego przepływu sezonu – Mean flood discharge to mean seasonal discharge ratio	1,51	1,68	2,58
Objętość wezbrania [tys. m^3] – Flood volume [tys. m^3]	333,8	367,2	234,5
Udział objętości wezbrania w odpływie w sezonie letnim [%] – Flood volume share in summer season outflow sum [%]	10,7	9,8	6,2

5. Wnioski

W okresie objętym analizą wystąpiły znaczące różnice w charakterystyce odpływu ze zlewni Rzeki Waldemara. Średni przepływ w sezonach letnich 2009, 2010 i 2011 wyniósł odpowiednio: 0,84 m^3s^{-1} , 0,55 m^3s^{-1} oraz 1,01 m^3s^{-1} . W trakcie sezonów letnich obserwowano stopniowy spadek wartości przepływu. Odpływ kształtowany był głównie wskutek zmienności warunków meteorologicznych.



Ryc. 8. Hydrogramy wezbrań Rzeki Waldemara, wezbranie ablacyjne podczas fenu z 2009 r. (a); wezbranie ablacyjne podczas fenu z 2011 r. (b); wezbranie opadowe z 2011 r. (c)

Fig. 8. Hydrographs of the Waldemar River foods, fohn flood in 2009 (a); fohn flood in 2011 (b); rain flood in 2011 (c).

Zarówno w skali sezonowej, jak i dobowej natężenie przepływu było efektem przede wszystkim zmian wartości temperatury powietrza, która w istotny sposób determinowała wielkość ablacji lodowca. W ujęciu wartości uśrednionych dla całego okresu pomiarowego we wszystkich latach obserwowano maksimum przepływu w godzinach popołudniowych i jego minimum w godzinach porannych.

Oprócz zmienności odpływu o charakterze cyklicznym obserwowano również zmienność niecykliczną, a wpływającą znacząco na warunki odpływu ze zlewni. W trakcie sezonów pomiarowych 2009-2011 odnotowano trzy wezbrania, z czego dwa wystąpiły podczas efektu fenowego, zaś jedno wywołane zostało najwyższą w skali opisywanego okresu dobową sumą opadu atmosferycznego. Spowodowało ono wzrost wartości natężenia przepływu do poziomu nienotowanych wcześniej wartości. Intensywne opady deszczu rozpoczęły się 31 sierpnia około godziny 21. Dało to natychmiastowy efekt w postaci zwiększonego odpływu ze zlewni. Następnego dnia odpłynęło około 235 tys. m³ wody, co stanowiło ponad 6% całości sezonowego odpływu. Gwałtowny przebieg tego wezbrania został również wzmocniony odpowiednią sytuacją hydrologiczną lodowca. W końcu sezonu nie zalegała już pokrywa śnieżna, ponadto kanały wewnętrz- i podlodowcowe w tym czasie były już udrożnione. Porównując to z opisaną powyżej sezonową i dobową ewolucją zmienności odpływu można wnioskować, że opady deszczu o takim nasileniu występujące na początku sezonu ablacyjnego wywołałyby wezbranie o łagodniejszym i dłuższym przebiegu.

Opady atmosferyczne nie odgrywały znacznej roli w kształtowaniu wielkości przepływu. Wyraźny wpływ tego czynnika zaobserwowano tylko w jednym przypadku, po rekordowej w skali analizowanych sezonów letnich dobowej sumie opadu z dnia 31 VIII (8,7 mm).

Stwierdzono, że pokrywa śnieżna oraz strefy glacialne tworzące się na lodowcu w ciągu sezonu ablacyjnego w wyraźny sposób modyfikują zmienność odpływu Rzeką Waldemara. Dobrze uwidacznia się to w hydrogramie jej odpływu, gdzie duże niekiedy zmiany temperatury powietrza nie wiązały się ze znacznymi zmianami natężenia przepływu, jak miało to miejsce w latach 2010 i 2011, kiedy warstwa papki i śniegu występowała jedynie w środkowej i górnej części lodowca.

Odpływ ze zlewni Rzeki Waldemara charakteryzuje się specyficznymi warunkami, które kształtowane są przede wszystkim czynnikami pogodowymi, intensywnością ablacji lodowcowej, jak również warunkami śniegowymi na lodowcu. Istotną rolę w reżimie rzeki odgrywają zjawiska niecykliczne, do których należy wiatr fenowy oraz udrożnienie systemu drenażu.

Literatura

- Bartoszewski S., 1998. Reżim odpływu rzek Ziemi Wedel Jarlsberga. Wyd. UMCS, Lublin: 1-167.
- Elliston G.R., 1973. Water movement through the Gornergletscher. [w:] Symposium on the Hydrology of Glaciers, Proceedings of the Cambridge Symposium, 7-13 September 1969, IAHS Publ. 95: 79-84.
- Grześ M., Sobota I., 2000. Winter snow accumulation and discharge from the Waldemar Glacier, northwestern Spitsbergen in 1996-1998. Polish Polar Research, 21(1): 19-32.
- Hodgkins R., Tranter M., Dowdeswell J.A., 2004. The characteristics and formation of a High-Arctic proglacial icing. Geografiska Annaler, 86A (3): 265-275.
- Jansson P., Hock R., Schneider T., 2003. The concept of glacier storage: a review. Journal of Hydrology. 282: 116-129.
- Leszkiewicz J., 1987. Charakterystyczne cechy zlewni polarnych oraz próba modelowania statystycznego topnienia śniegu i odpływu ablacyjnego w zachodniej części Spitsbergenu. Prace Naukowe UŚ, 920: 1-84.

- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 1-324.
- Østrem G., 1973. Runoff forecasts for highly glacierized basins. The Role of Snow and Ice in Hydrology, IAHS Publ. 107: 1111-1129.
- Parde M., 1957. *Rzeki*. Wyd. PWN, Warszawa: 1-233.
- Przybylak R., Araźny A., Kejna M., 2012. Topoclimatic diversity in Forlandsundet region (NW Spitsbergen) in global warming conditions. Toruń: 1-174.
- Rachlewicz G., 2007. Mechanizmy wezbrań rzecznych w zlewniach zlodowaconych (przykłady z doliny Ebba, Spitsbergen Środkowy). [w:] *Funkcjonowanie geosystemów rzecznych*, 4: 197-207.
- Rachlewicz G. 2009. Contemporary sediment fluxes and relief changes in high Arctic glacierized valley systems (Billefjorden, Central Spitsbergen). *Seria Geograficzna nr 87*, Wyd. UAM, Poznań: 1-203.
- Sobota I., 1998. Ablacja i odpływ z Lodowca Waldemara w sezonie letnim 1997. [w:] *Relief, Quaternary Paleogeography and Changes of the Polar Environment Polar Session, Spitsbergen Geographical Expeditions, UMCS*: 149-168.
- Sobota I., 1999. Ablation of Waldemar Glacier in summer 1996, 1997 and 1998. *Polish Polar Studies, XXVI Polar Symposium, Lublin*: 257-274.
- Sobota I., 2000. Ablation and discharge of the Waldemar Glacier, north-western Spitsbergen, in summer 1998. *Polish Polar Research*, 21 (1): 3-18.
- Sobota I., 2005. *Zarys hydrografii Kaffiøyry*. [w:] Grześ M., Sobota I. (red.), *Kaffiøyra. Zarys środowiska geograficznego Kaffiøyry (NW Spitsbergen)*, Oficyna Wyd. TURPRESS, Toruń: 13-16.
- Sobota I., 2007. Ablation and outflow from Kaffiøyra glaciers in 1996-2006, Svalbard. The Dynamic and Mass Budget of Arctic Glaciers. Extended abstracts, Workshop and GLACIODYN (IPY) Meeting, IASC Working Group on Arctic Glaciology, Utrecht University: 104-107.
- Sobota I., 2009. The near-surface ice thermal structure of the Waldemarbreen, Svalbard. *Polish Polar Research*, 30 (4): 317-338.
- Sobota I., 2011. Snow accumulation, melt, mass loss, and the near-surface ice temperature structure of Irenebreen, Svalbard. *Polar Science*, 5 (3): 321-336.
- Sobota I., Ćmielewski M., Nowak M., 2010. Charakterystyka i przyczyny zmienności natężenia przepływu rzeki lodowcowej w sezonie letnim na przykładzie Rzeki Waldemara, Svalbard. [w:] *Problemy Klimatologii Polarnej*, 20: 161-170.
- Stenborg T., 1970. Delay of run-off from a glacier basin. *Geografiska Annaler*, 52A (1): 1-30.
- Szczepanik W., 1993. Reżym wybranych rzek Kaffiøyry (Ziemia Oscara II, NW Spitsbergen) w okresie lata polarnego. *Acta Univ. N. Copernici, Geografia XXIV*, 82: 55-146.

Wpłynęło: 13 lipca 2012 r., poprawiono: 12 października 2012 r.

Summary

This paper presents the results of the research of runoff from the basin of the Waldemar Glacier conducted in summer seasons 2009, 2010 and 2011. The catchment area is about 5 km², 50% out of which is covered by glacier. The main measurements point was located in the area of the leakage of the river onto the outwash plain. These investigations were a continuation of runoff research from the catchment conducted from the summer seasons of 1977 and continuously since 1996.

An analysis of runoff changeability based on selected time scales was performed. Selected elements of the runoff were related to meteorological conditions. In the period under study there were significant differences in the characteristics of the outflow of Waldemar River runoff. The average discharge for the summer seasons 2009, 2010 and 2011 was $0.84 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, $0.55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ and $1.01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ respectively. The Waldemar River at different time scales is characterized by specific conditions of the runoff, which are shaped primarily by weather conditions, the intensity of glacier ablation, and snow conditions on the glacier. Important role in the regime of the river plays a non-cyclical phenomenon, like a fohn, or sudden unblocking in- and/or subglacial drainage system.

Key words: glacial river, runoff, glacial catchment, runoff changes.