

Wpłynęło 28.10.2011 r.
Zrecenzowano 27.03.2012 r.
Zaakceptowano 16.04.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

OCENA STRUKTURY CZASOWO-PRZESTRZENNEJ OPADÓW Z WYKORZYSTANIEM WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW DO IDENTYFIKACJI ZDARZEŃ EKSTREMALNYCH

Wiwiana SZALIŃSKA^{ACE}, Irena OTOP^{BDF}

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, Oddział we Wrocławiu

Streszczenie

Intensywne opady mogą powodować zagrożenie oraz poważne skutki hydrologiczne (powodzie, wezbrania), zarówno lokalnie, jak i w skali regionalnej. Stopień zagrożenia powodowanego opadami zależy od wielu czynników, m.in. od wysokości opadów, czasu trwania, zasięgu przestrzennego oraz sposobu zagospodarowania danego obszaru. Celem badań było opracowanie zbioru wartości wskaźnikowych dobowych sum opadów, umożliwiających ocenę struktury czasowo-przestrzennej opadów pod kątem identyfikacji zdarzeń ekstremalnych, wpływających na zagrożenie hydrologiczne. Opracowany zbiór wskaźników obejmował wskaźniki aprioryczne i statystyczne. Wartości progowe wskaźników statystycznych wyznaczono na podstawie wieloletnich danych obserwacyjnych, analizując sumy, czas trwania i rozkład przestrzenny opadów. Wybrany zbiór wskaźników wykorzystano do oceny struktury czasowo-przestrzennej opadów w dorzeczu górnej i środkowej Odry w okresie czerwiec-lipiec 2009 oraz maj-czerwiec 2010 r. Wyznaczone wskaźniki mogą być wykorzystane w bieżącej ocenie warunków opadowych, a wraz z uwzględnieniem morfologii terenu i zagospodarowania danego obszaru – do oceny stopnia zagrożenia hydrometeorologicznego.

Słowa kluczowe: opad, wartości wskaźnikowe, zdarzenia ekstremalne

WSTĘP

Zdarzenia opadowe o charakterze ekstremalnym powodują poważne skutki hydrologiczne (powodzie, wezbrania), które stanowią zagrożenie dla ludzi oraz wielu dziedzin gospodarki. Stopień zagrożenia jest uzależniony od wysokości, czasu

Adres do korespondencji: dr inż. W. Szalińska, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB Oddział we Wrocławiu, ul. Parkowa 30, 51-616 Wrocław; tel. +48 71 320-02-33, e-mail: Wiwiana.Szalińska@imgw.pl

trwania i zasięgu obszarowego opadów oraz uwarunkowań hydrologicznych, geomorfologicznych, jak też zagospodarowania danego obszaru. Zagrożenie hydrologiczne mogą wywołać zarówno opady ulewne, charakteryzujące się dużym natężeniem o lokalnym zasięgu i krótkim czasie trwania, jak również opady rozlewne o mniejszej intensywności, ale długotrwałe, o znacznym zasięgu obszarowym.

Identyfikacja ekstremalnych zdarzeń opadowych stanowi ważny element w ocenie wielkości zagrożenia hydrologicznego i jego potencjalnych skutków. W literaturze polskiej i światowej proponowanych jest wiele wskaźników do identyfikacji i oceny zjawisk ekstremalnych [KLEIN TANK i in. 2009; LORENC, OLECKA 2006; MOBERG, JONES 2005; NICHOLLS, MURRAY 1999; SOBIK, BŁAŚ 2010; STACH 2007; USTRNUL, CZEKIERDA 2009]. Najczęściej stosowane metody określania zjawisk ekstremalnych można podzielić na dwie grupy. W pierwszym przypadku wartości ekstremalne są określane w sposób arbitralny, na podstawie z góry przyjętych wartości granicznych, w drugim wartości ekstremalne wyznacza się na podstawie charakterystyk probabilistycznych wieloletnich ciągów obserwacyjnych. Stosowanie poszczególnych charakterystyk do identyfikacji zjawisk ekstremalnych zależy od wielu czynników, a przede wszystkim od celu i zakresu badań oraz dostępności danych. W identyfikacji ekstremalnych zdarzeń opadowych pod kątem wielkości zagrożenia hydrologicznego powinno się uwzględniać wysokość, częstość wystąpienia opadów powyżej określonych progów oraz czas trwania i zasięg przestrzenny opadów.

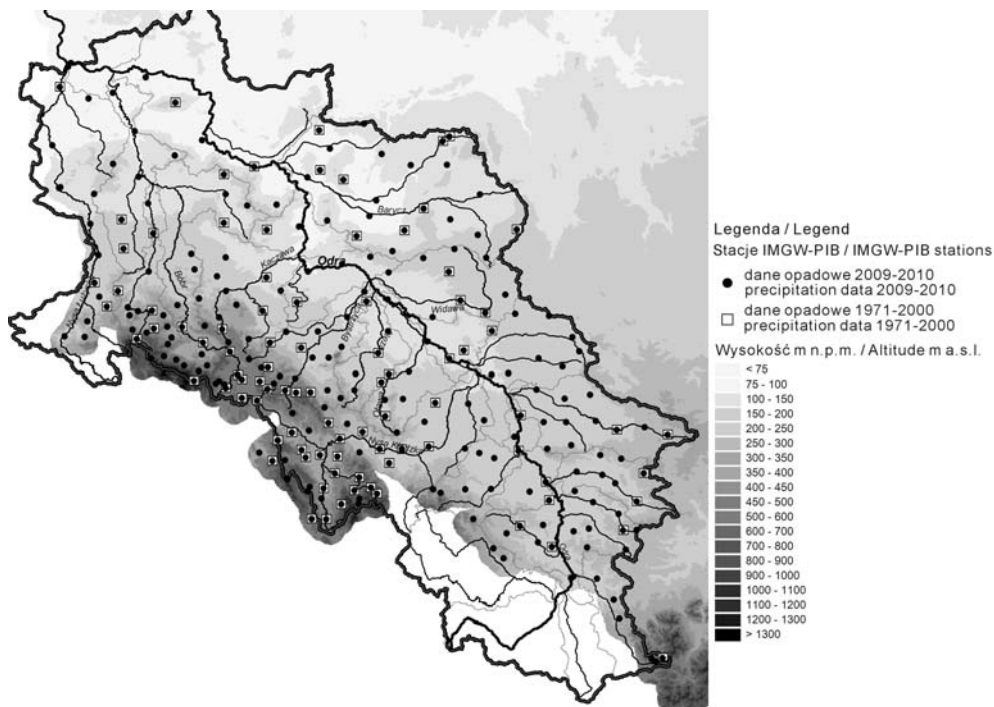
Celem badań było opracowanie zbioru wartości wskaźnikowych dobowych sum opadów, umożliwiających ocenę struktury czasowo-przestrzennej opadów pod kątem identyfikacji zdarzeń ekstremalnych, wpływających na zagrożenie hydrologiczne. Wartości progowe wskaźników opadowych przyjęto na podstawie literatury lub praktyki operacyjnej IMGW-PIB oraz opracowano na podstawie wieloletnich danych pomiarowych.

Na podstawie opracowanego zbioru wskaźników przedstawiono ocenę struktury czasowo-przestrzennej opadów dla epizodów zaobserwowanych w czerwcu i lipcu 2009 r. oraz w okresie maj–czerwiec 2010 r. na obszarze dorzecza górnej i środkowej Odry. W czerwcu i lipcu 2009 r. w dorzeczu górnej i środkowej Odry występowały opady nawalne, które spowodowały wezbrania oraz znaczne straty w infrastrukturze i uprawach polowych. W maju i w I dekadzie czerwca 2010 r. występowały natomiast intensywne opady, które w II dekadzie maja przybierały charakter rozlewny i wywołały powódź w dorzeczu Odry oraz Wisły. W obu przypadkach część epizodów opadowych obserwowano na przełomie miesięcy kalendarzowych, dlatego jako podstawowy okres badawczy przyjęto 2 miesiące.

OBSZAR BADAWCZY I DANE ŹRÓDŁOWE

Obszar badań obejmował dorzecze górnej i środkowej Odry, charakteryzujące się znacznym zróżnicowaniem fizycznogeograficznym i krajobrazowym. Dane

źródłowe stanowiły dobowe sumy opadów z okresów czerwiec–lipiec 2009 r. oraz maj–czerwiec 2010 r. z 260 stacji pomiarowych IMGW-PIB (rys. 1). Dla wybranych 92 stacji pomiarowych zgromadzono wieloletnie ciągi danych z lat 1971–2000, które były podstawą wyznaczenia wartości progowych wskaźników statystycznych.



Rys. 1. Rozmieszczenie analizowanych stacji pomiarowych w dorzeczu górnej i środkowej Odry z wydzieleniem stacji dysponujących wieloletnimi seriami pomiarowymi; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Location of analysed precipitation stations in the upper and middle Odra River basin with the distinction of stations having long-term measurement series; source: own studies

Wynikowe rozkłady przestrzenne wybranych wskaźników opadowych analizowano dla zlewni dopływów górnej i środkowej Odry, położonych na obszarze Polski.

METODY BADAŃ

Wskaźnikową ocenę struktury czasowo-przestrzennej opadów w badanych okresach przeprowadzono, poddając ocenie wysokość i częstość wystąpienia opa-

dów zagrażających oraz sumę opadów w obserwowanych ciągach opadowych i czas ich trwania. Punktowy charakter informacji uzyskiwanych na podstawie danych pomiarowych opadów wymagał przeprowadzenia kolejno analizy przestrzennego rozkładu zidentyfikowanych zdarzeń ekstremalnych w warunkach konkretnych zlewni. Wyniki przedstawiono w postaci przestrzennych rozkładów wartości wybranych wskaźników, wskazując zlewnie o potencjalnie największym zagrożeniu hydrologicznym.

Do oceny struktury czasowo-przestrzennej opadów pod kątem identyfikacji zdarzeń ekstremalnych wybrano zbiór pięciu wskaźników (tab. 1). Podstawowym kryterium wyboru proponowanego zbioru wskaźników była możliwość oceny analizowanych zdarzeń opadowych w kontekście zagrożenia hydrologicznego na podstawie danych dobowych. Wybrane wartości wskaźnikowe obejmują analizy sum, częstości opadów, długości ciągów opadowych oraz frakcji (procentowego udziału

Tabela 1. Wskaźniki wybrane do analizy

Table 1. Indicators selected for analyses

Nazwa wskaźnika Indicator	Definicja Definition	Jednostka Unit
Wskaźniki aprioryczne <i>A priori</i> indicators		
	liczba dni z opadem ≥ 30 mm	
Częstość opadów zagrażających (CZ)	no of days with precipitation ≥ 30 mm	
	liczba dni z opadem ≥ 50 mm	dzień
Frequency of severe precipitation events (CZ)	no of days with precipitation ≥ 50 mm	day
	liczba dni z opadem ≥ 70 mm	
	no of days with precipitation ≥ 70 mm	
Wskaźniki statystyczne <i>Statistical</i> indicators		
Suma opadów (P)	maksymalna suma 1-dniowa	mm
Sum of precipitation (P)	the maximum daily sum of precipitation	
	liczba dni z opadem $\geq pp = 10\%$	
Częstość opadów ekstremalnych (CE)	no of days with precipitation $\geq pp = 10\%$	
	liczba dni z opadem $\geq pp = 5\%$	dzień
Frequency of extreme precipitation events (CE)	no of days with precipitation $\geq pp = 5\%$	day
	liczba dni z opadem $\geq pp = 1\%$	
	no of days with precipitation $\geq pp = 1\%$	
	maksymalny ciąg opadowy (opad $\geq 0,1$ mm)	dzień
Ciąg opadowy (CO)	maximum rainfall sequence ($P \geq 0.1$ mm)	day
Rainfal sequence (CO)	suma opadów w ciągu opadowym	
	precipitation total of maximum no of consecutive wet days	mm
	suma opadów $\geq pp = 10\%$ do całkowitej sumy opadów	
Frakcja opadów silnych (FS)	sum of precipitation $\geq pp = 10\%$ in relation to the sum of precipitation	%
Fraction of intensive precipitation (FS)		

Źródło: zestawienie własne. Source: own selection.

łu) opadów o intensywnym charakterze. Analizowane wskaźniki podzielono na wskaźniki aprioryczne, które odnoszą się do wartości progowych, przyjętych za źródłami literaturowymi, oraz wskaźniki statystyczne. Wskaźniki aprioryczne umożliwiają szacunkową, wstępną ocenę zagrożenia wywoływanego opadami i mają szczególne zastosowanie w praktyce prognostycznej. Ze względu na zwiększającą się na obszarach o urozmaiconej rzeźbie terenu zmienność czasową oraz przestrzenną wysokości opadów do oceny opadów ekstremalnych potrzebne są wskaźniki, uwzględniające te zależności. Takimi wskaźnikami są miary statystyczne, wyznaczane na podstawie wieloletnich serii pomiarowych.

W kontekście zagrożenia hydrologicznego istotne znaczenie mają opady dobowe o wysokości ≥ 30 mm, klasyfikowane jako opady zagrażające, które mogą powodować lokalne wezbrania rzek lub podtopienia. Kolejnym progiem opadowym, w skali zagrożenia powodziowego, jest opad, którego suma dobową przekracza 50 mm, często określany jako opad groźny. Największe potencjalne zagrożenie stanowią opady o sumie dobowej przekraczającej 70 mm, nazywane również opadem powodziowym [KOSIERB 2011]. Określenie frekwencji opadów o podanych sumach stanowi ważny element wstępnej oceny zagrożenia hydrologicznego określonej zlewni.

Podstawowym wskaźnikiem statystycznym, charakteryzującym ekstremalne zdarzenia opadowe, jest maksymalny opad dobowy. Największe wartości tego wskaźnika najczęściej są związane z krótkotrwałymi opadami nawalnymi. Na stacji w Wałbrzychu (w dniu 17.06.1979 r.) zanotowano sumę dobową równą 205,6 mm, która wystąpiła podczas 5-godzinnej ulewy [GŁOWICKI i in. 2006].

Wartości progowe do identyfikacji opadów ekstremalnych określono w toku analizy wieloletnich danych pomiarowych jako wartości o empirycznym prawdopodobieństwie przewyższenia 10, 5 i 1%. Rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych sum opadów był wyznaczony dla sum $\geq 0,1$ mm. Na podstawie przyjętych wartości progowych opad kwalifikuje się odpowiednio jako silny, bardzo silny i ekstremalny. Poprzez takie określenie wartości progowych uwzględniono zróżnicowanie opadów atmosferycznych w zależności od wysokości nad poziomem morza w poszczególnych okresach roku. Frekwencja dni z opadem silnym, bardzo silnym i ekstremalnym może świadczyć o wielkości zagrożenia hydrologicznego w stosunku do uwarunkowań lokalnych danego obszaru i pory roku. Wykorzystując wyznaczone wartości progowe, obliczono procentowy udział opadów silnych w stosunku do całkowitej sumy opadów. Tak zdefiniowany wskaźnik stanowi ocenę frakcji opadów silnych w badanym okresie.

Zagrożenie hydrologiczne mogą stanowić długotrwałe opady rozlewne o dużym zasięgu obszarowym. Sumy kilkudniowe takich opadów mogą osiągać bardzo duże wartości, przekraczające nawet znacznie normy miesięczne opadów. W lipcu 1997 r. w zlewni Nysy Kłodzkiej sumy 5-dniowe opadów (5–9 lipca) przekraczały 400 mm [DUBICKI, MALINOWSKA-MAŁEK 1999]. W odniesieniu do oceny zagrożenia hydrologicznego istotne znaczenie ma długość obserwowanych ciągów opa-

dowych oraz suma opadów w tych ciągach. Do oceny tych zdarzeń przyjęto wskaźnik, określający liczbę kolejnych dni z opadem ($\geq 0,1$ mm) wraz z osiąganą wysokością opadów. Ekstremalne ciągi opadowe wyznaczono, analizując zarówno czas trwania danego ciągu, jak i osiąganą sumę opadów. Progowe wartości, definiujące ekstremalnie długi ciąg opadowy oraz ekstremalną sumę opadów, wyznaczono jako wartości o prawdopodobieństwie przewyższenia 10%. To kryterium oceny ciągów opadowych umożliwiło wyróżnienie czterech klas. Ze względu na zagrożenie hydrologiczne istotne znaczenie miały ciągi opadowe o dużym natężeniu (ekstremalnie wysokie sumy opadów oraz stosunkowo krótki czas trwania – klasa 1) oraz długotrwałe opady (długie ciągi o wysokich sumach opadów, ale umiarkowanym natężeniu – klasa 2).

Z opracowanego zbioru wybrano cztery wskaźniki, które zostały wykorzystane do przeprowadzenia oceny wskaźnikowej zagrożenia, wywoływanego ekstremalnymi opadami w skali zlewni. W proponowanej ocenie uwzględniono w warunkach konkretnej zlewni: maksymalną sumę dobową opadów względem najwyższej sumy dobowej z wielolecia, udział procentowy stacji z ciągami opadowymi w klasie 1 lub 2, udział procentowy stacji z opadem ekstremalnym oraz procent frakcji opadów silnych.

WYNIKI BADAŃ

Wskaźniki aprioryczne

Częstość opadów zagrażających. W okresie czerwiec–lipiec 2009 r. w wielu zlewniach dorzecza górnej i środkowej Odry dobowe sumy opadów przekraczające 30 mm występowały kilkakrotnie (rys. 2). W zlewniach Słęzy, Bystrzycy, Oławy, oraz Stobrawy, Małej Panwi i Kłodnicy lokalnie nawet trzykrotnie wystąpił opad groźny (≥ 50 mm), a w zlewni Nysy Kłodzkiej na wielu stacjach co najmniej raz wystąpił opad powodziowy (≥ 70 mm). W roku 2010 r. (maj–czerwiec) największa frekwencja opadów zagrażających obserwowana była w zlewni Olzy, Kłodnicy, Stobrawy i Małej Panwi. W zlewniach prawostronnych dopływów górnej Odry opady przybierały charakter opadu groźnego lub nawet powodziowego dwukrotnie na stacjach: Cieszyn i Kaczyce oraz jednokrotnie na stacjach: Istebna Stecówka i Istebna Młoda Góra.

Wskaźniki statystyczne

Maksymalna dobową sumą opadów. W dorzeczu górnej i środkowej Odry, w analizowanym okresie 2009 i 2010 r. maksymalne sumy dobowe opadów przyjmowały wartości w bardzo szerokim zakresie od kilkunastu do ponad 120 mm. W okresie czerwiec–lipiec 2009 r. najwyższa maksymalna suma dobową wyniosła 123,6 mm i zanotowano została 2 lipca na stacji Zwonowice (dorzecze górnej Odry). Maksymalne sumy dobowe, przekraczające 100 mm, wystąpiły w zlewni Nysy Kłodzkiej (Nowy Gieraltów – 117,8 mm, Łądek Zdrój – 114,1

mm). Wysokie maksima dobowe opadów powyżej 60 mm obserwowano również w zlewniach: Olawy, Bystrzycy i Ślęzy oraz prawostronnych dopływów Odry: Olzy, Kłodnicy, Małej Panwi, Stobrawy, Baryczy i Widawy (rys. 3a).

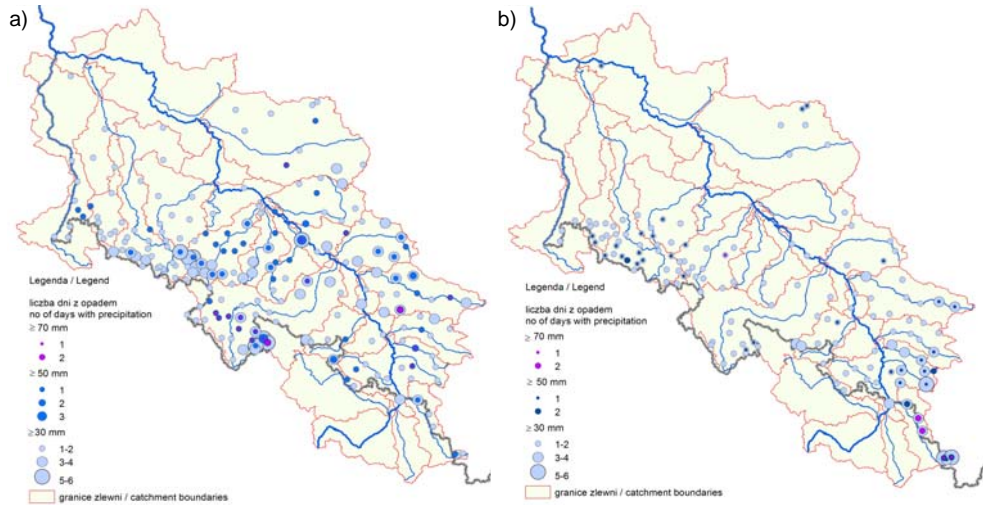
W okresie maj–czerwiec 2010 r. najwyższa maksymalna suma dobowa wystąpiła 16 maja na stacji Cieszyn i wyniosła 129,5 mm, co stanowi 136% średniej sumy miesięcznej maja. W dorzeczu górnej i środkowej Odry najwyższe maksymalne sumy dobowe opadów obserwowano na stacjach położonych w zlewni Olzy (rys. 3b), gdzie przekraczały 70 mm (Istebna Młoda Góra – 79,5 mm, Istebna-Stecówka – 73,7 mm, Kaczyce – 76,7 mm). Nieco niższe maksima dobowe, powyżej 60 mm, notowano również w zlewniach górnej Odry (Stanowice – 65 mm, Orzesze – 64 mm) oraz Bobru (Kowary – 65,2 mm), Baryczy (Skałów – 65,2 mm) i Bystrzycy (Mysłaków – 70,6 mm).

Częstość opadów ekstremalnych. Znaczne zróżnicowanie rzeźby terenu i wysokości bezwzględnych dorzecza górnej i środkowej Odry wpływa na zmienność przestrzenną sum opadów oraz na ich wartości ekstremalne [SZALIŃSKA i in. 2008]. Wyznaczone, na podstawie ciągów empirycznych $\geq 0,1$ mm, dobowe sumy opadów o 1-procentowym prawdopodobieństwie przewyższenia mieszczą się, w zależności od wysokości nad poziomem morza, w zakresie od 25 do 56 mm w okresie maj–czerwiec oraz od 32 do 67 mm w okresie czerwiec–lipiec.

W roku 2009 r. (czerwiec–lipiec) na całym analizowanym obszarze wielokrotnie występowały opady silne (o prawdopodobieństwie przewyższenia 10%), bardzo silne (o prawdopodobieństwie przewyższenia 5%) i ekstremalne (o prawdopodobieństwie przewyższenia 1%). Najwięcej dni z opadem bardzo silnym (6 dni) zaobserwowano w zlewni Bystrzycy, a z opadem ekstremalnym (9 dni) w zlewni Nysy Kłodzkiej (rys. 4a).

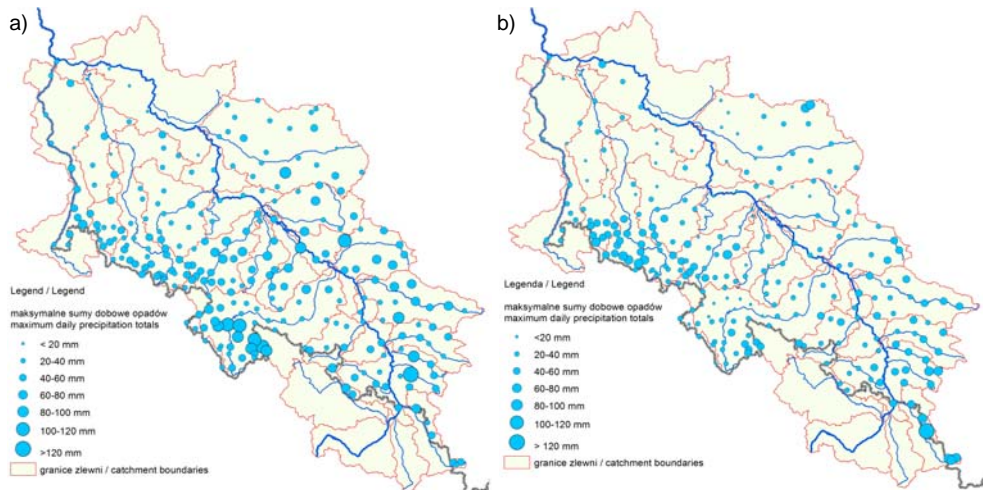
W okresie maj–czerwiec 2010 r. na większości stacji odnotowano kilkukrotne (miejscami nawet 8-krotne) wystąpienia opadów silnych (rys. 4b). Na stacjach położonych wzdłuż górnego biegu Odry i jej prawostronnych dopływów ponad 6-krotnie wystąpiły opady bardzo silne. Najczęściej (3-krotnie) ekstremalne wartości dobowych sum opadów wystąpiły w zlewni Olzy, Kłodnicy i Małej Panwi. Przypadki wystąpienia takich opadów zaobserwowano również w zlewni Bobru, Bystrzycy oraz lokalnie w zlewni Baryczy i Nysy Kłodzkiej.

Ciągi opadowe. Ocenę zagrożenia hydrologicznego, wywołanego długotrwałymi opadami, przeprowadzono na podstawie analizy maksymalnych ciągów opadowych oraz odpowiadających ich sum opadów. W 2009 r. największa suma opadów wyniosła na stacji Nowy Gierałtów 378,2 mm w ciągu 12 dni (od 21 czerwca do 2 lipca). W 2010 r. maksymalna suma opadów osiągnęła w Cieszynie wysokość 392,6 mm w ciągu opadowym, trwającym nieprzerwanie od 1 do 27 maja. Zależność między maksymalną długością ciągu kolejnych dni z opadem zaobserwowanym na danej stacji pomiarowej a sumą opadów w tym okresie (ciągu) przedstawiono na rysunku 5. Kryterium wyboru maksymalnego w danym okresie ciągu opadowego była liczba kolejnych dni z opadem ($\geq 0,1$ mm). Do wyznaczenia wartości



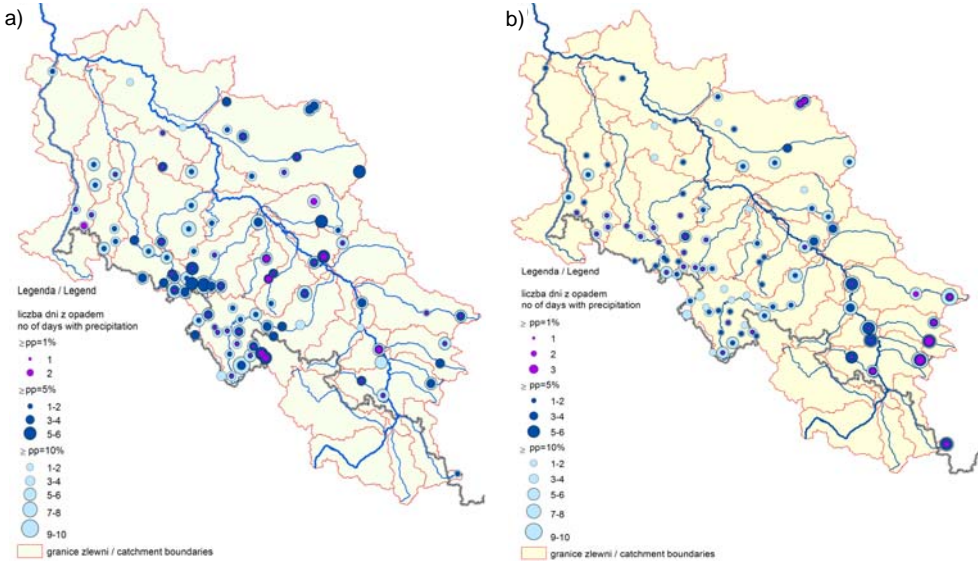
Rys. 2. Częstość wystąpienia dobowych sum opadów ≥ 30 mm, ≥ 50 mm i ≥ 70 mm w dorzeczu górnej i środkowej Odry w okresie: a) czerwiec–lipiec 2009 r., b) maj–czerwiec 2010 r.; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. The frequency of daily sums of precipitation ≥ 30 mm, ≥ 50 mm and ≥ 70 mm in the upper and middle Odra River basin in: a) June–July 2009, b) May–June 2010; source: own studies



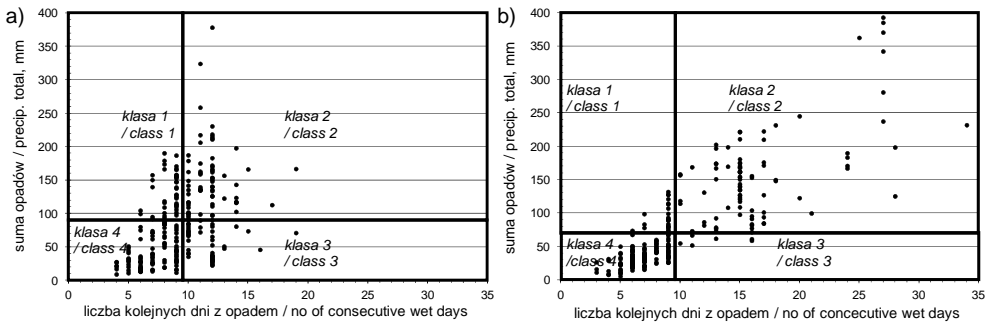
Rys. 3. Maksymalne dobowe sumy opadów w dorzeczu górnej i środkowej Odry w okresie: a) czerwiec–lipiec 2009, b) maj–czerwiec 2010; źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Maximum daily sums of precipitation in the upper and middle Odra River basin in: a) June–July 2009, b) May–June 2010; source: own studies



Rys. 4. Częstość wystąpienia opadów silnych ($\geq pp = 1\%$), bardzo silnych ($\geq pp = 5\%$) i ekstremalnych ($\geq pp = 10\%$) w dorzeczu górnej i środkowej Odry w okresie: a) czerwiec–lipiec 2009r., b) maj–czerwiec 2010 r.; źródło: opracowanie własne

Fig. 4. The frequency of intensive ($\geq pp = 1\%$), very intensive ($\geq pp = 5\%$) and extreme ($\geq pp = 10\%$) precipitation in the upper and middle Odra River basin in: a) June–July 2009, b) May–June 2010; source: own studies



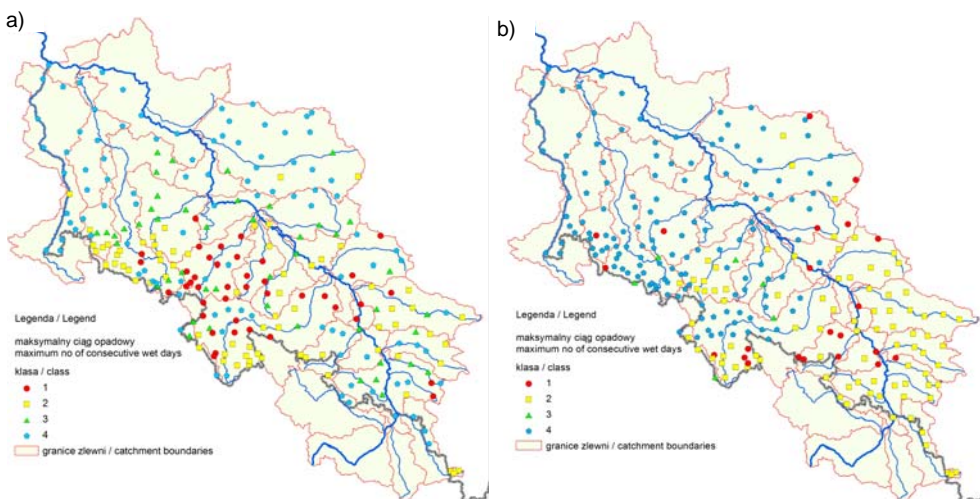
Rys. 5. Zależność między najdłuższym ciągiem dni z opadem zaobserwowanym na danej stacji pomiarowej w dorzeczu górnej i środkowej Odry a sumą opadów w tym ciągu z podziałem na klasy w miesiącach: a) czerwiec–lipiec 2009 r., b) maj–czerwiec 2010 r.; źródło: opracowanie własne

Fig. 5. The relationship between the longest rainfall sequence and the sum of precipitation in this sequence divided into classes in: a) June–July 2009, b) May–June 2010; source: own studies

progowych, umożliwiającących oznaczenie ekstremalnych wartości, przeprowadzono analizę danych z wielolecia 1971–2000. W badanym wieloleciu zarówno w okresie maj–czerwiec jak również w okresie czerwiec–lipiec w 90% przypadków maksy-

malne ciągi opadowe trwały do 10 dni. Percentyl 90 sum opadów w tych ciągach wynosił 70 mm w okresie maj–czerwiec oraz 90 mm w okresie czerwiec–lipiec. Na podstawie powyższych wartości progowych wyznaczono cztery klasy, które charakteryzują najdłuższe ciągi opadowe w okresie od 1 czerwca do 31 lipca 2009 r. oraz od 1 maja do 30 czerwca 2010 r. W 2009 r. (czerwiec–lipiec) w 16% stacji odnotowano wystąpienie intensywnych ciągów opadowych z wysokimi sumami opadów, osiąganymi w stosunkowo krótkim czasie, do 9 dni (klasa 1). Sumy opadów dochodziły do 200 mm. Takich przypadków było w 2010 r. (maj–czerwiec) blisko dwukrotnie mniej i maksymalne sumy opadów dochodziły do 140 mm. W 2010 r. blisko 27%, a w 2009 r. 34% przypadków ciągów opadowych cechował długi czas trwania i bardzo wysokie sumy opadów (klasa 2). W 2009 r. na 10 stacjach suma opadów w ciągu przekroczyła 200 mm, natomiast w 2010 r. na 16 stacjach.

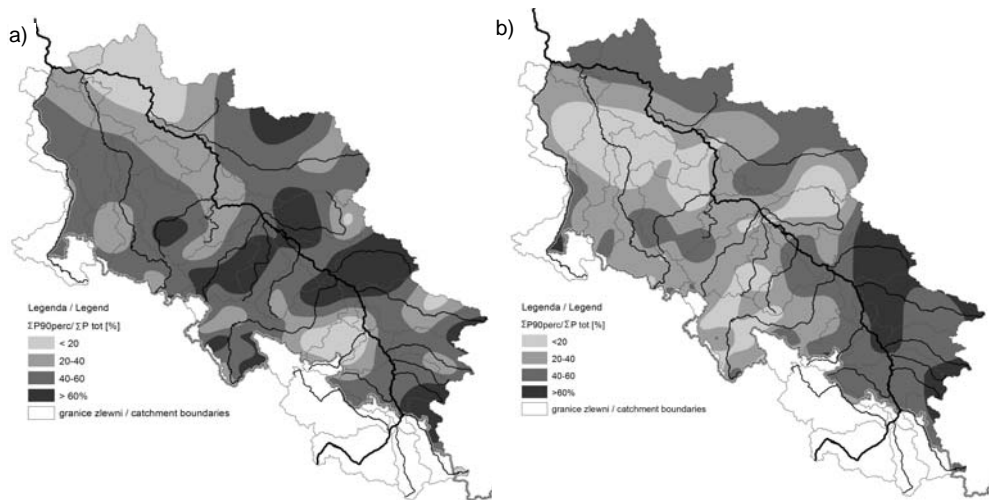
W 2009 r. (czerwiec–lipiec) zaobserwowano duże zróżnicowanie przestrzenne poszczególnych klas ciągów opadowych (rys. 6). Najwięcej przypadków wystąpienia krótkich ciągów opadowych o dużej intensywności zanotowano w zlewniach: Bystrzycy, Oławy, Nysy Kłodzkiej i Stobrawy. Długie ciągi opadowe o wysokich sumach wystąpiły w zlewniach: Kwisy, Kaczawy i Bobru. W 2010 r. (maj–czerwiec) przypadki wystąpienia opadów o długim czasie trwania i wysokiej sumie wystąpiły na większości obszarów prawostronnych dopływów górnej Odry, w zlewniach: Kłodnicy, Olzy, Osobłogi, Stobrawy i Małej Panwi. Lokalnie na obszarze tych zlewni ciągi opadowe były krótsze, lecz o dużej intensywności.



Rys. 6. Rozkład przestrzenny poszczególnych klas charakteryzujących najdłuższe ciągi opadowe zaobserwowane w dorzeczu górnej i środkowej Odry w okresie: a) czerwiec–lipiec 2009 r., b) maj–czerwiec 2010 r., źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Spatial distribution of particular classes defining the longest rainfall sequence in the upper and middle Odra River basin in: a) June–July 2009, b) May–June 2010; source: own studies

Fracja opadów silnych. Wskaźnik frakcji opadów silnych oznacza procentowy udział opadów silnych o wysokości powyżej 90 percentyla w stosunku do całkowitej sumy opadów w badanym okresie. Duże wartości tego wskaźnika wskazują, że większość opadów, które wystąpiły na danym obszarze, miała co najmniej charakter opadów silnych, stanowiących potencjalne zagrożenie hydrologiczne. Obszarowe zróżnicowanie wartości tego wskaźnika (rys. 7) pokazuje, że w 2009 r. największe (>60%) wartości frakcji opadów silnych zaobserwowano w zlewni Nysy Kłodzkiej, Bystrzycy i Ślęzy oraz w zlewni Baryczy, Widawy i Stobrawy. W 2010 r. największy udział (>60%) opadów silnych wystąpił w zlewniach prawostronnych dopływów górnej Odry (rys. 7).



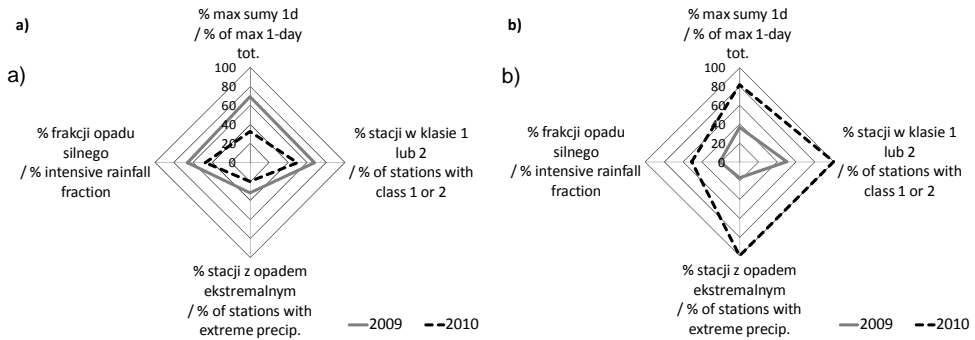
Rys. 7. Rozkład przestrzenny frakcji opadów silnych w dorzeczu górnej i środkowej Odry w okresie: a) czerwiec–lipiec 2009 r., b) maj–czerwiec 2010 r.; źródło: opracowanie własne

Fig. 7. Spatial distribution of the fraction of heavy rainfalls in the upper and middle Odra River basin in: a) June–July 2009, b) May–June 2010; source: own studies

Ocena wskaźnikowa dla zlewni

Ocenę wskaźnikową zagrożenia opadami o charakterze ekstremalnym w okresie czerwiec–lipiec 2009 r. oraz maj–czerwiec 2010 r. przeprowadzono dla wybranych zlewni na obszarze górnej i środkowej Odry. Zastosowanie czterech wskaźników statystycznych umożliwiło dokonanie ocen porównawczych wielkości zagrożenia, powodowanego intensywnymi opadami, zarówno między zlewniami, jak i poszczególnymi epizodami opadowymi.

Na podstawie wyników oceny wskaźnikowej dla zlewni Nysy Kłodzkiej i Olzy w analizowanych okresach czasu 2009 i 2010 r. (rys. 8) stwierdzono, że w 2009 r. (czerwiec–lipiec) w zlewni Nysy Kłodzkiej źródłem największego zagrożenia hydrologicznego były silne opady (przekraczającej wartość 90 percentyla sum dobo-



Rys. 8. Ocena wskaźnikowa zagrożenia opadami o charakterze ekstremalnym w okresie czerwiec–lipiec 2009 r. i maj–czerwiec 2010 r. dla zlewni: a) Nysy Kłodzkiej, b) Olzy; źródło: opracowanie własne

Fig. 8. Indicative evaluation of the extreme rainfall hazards in June–July 2009 and May–June 2010 for: a) the Nysa Kłodzka River catchment, b) the Olza River catchment; source: own studies

wych), których wysokość w całkowitej sumie wynosiła ok. 60%. Występowanie opadów ekstremalnych miało charakter lokalny, notowane one były na ok. 40% stacji położonych w tej zlewni. W przypadku ok. 70% stacji najdłuższe ciągi opadowe w 2009 r. występowały łącznie z ekstremalnymi sumami (klasa 1 i 2). W roku 2010 r. (maj–czerwiec) źródłem zagrożenia i obserwowanych skutków hydrologicznych w zlewni Olzy i na obszarze zlewni prawostronnych dopływów górnej Odry były długotrwałe opady, przybierające okresowo dużą intensywność, co wykazują notowane maksima dobowe. Występujące opady o charakterze ekstremalnym obejmowały całą zlewnię, a obserwowane najdłuższe ciągi opadowe na wszystkich stacjach mieściły się w klasie 2, czyli były długotrwałe i o ekstremalnie wysokich sumach.

PODSUMOWANIE

W ocenie zagrożenia hydrologicznego, wywołanego intensywnymi opadami deszczu o charakterze ekstremalnym, kluczowe znaczenie ma wysokość, czas trwania oraz zasięg przestrzenny opadów. W pracy zaproponowano zbiór wskaźników, umożliwiających identyfikację opadów ekstremalnych w zakresie wysokości, miejsca oraz czasu ich występowania.

Opracowany zbiór wskaźników obejmował wskaźniki aprioryczne i statystyczne. Wartości progowe wskaźników apriorycznych mają zastosowanie w praktyce operacyjnej do szacunkowej, wstępnej oceny stopnia zagrożenia. Szczegółowe analizy charakteru opadów i identyfikacja opadów ekstremalnych wymagają zastosowania wskaźników statystycznych i opracowania progowych wartości na podstawie wieloletnich danych pomiarowych. Zastosowanie wyznaczonych wartości pro-

gowych wskaźników statystycznych do identyfikacji ekstremalnych dobowych sum opadów umożliwiło zweryfikowanie obszarów wystąpienia opadów ekstremalnych wskazanych za pomocą wskaźników apriorycznych oraz na ilościowe określenie stopnia anomalności opadów w zależności od obszaru i czasu ich występowania.

Przestrzenne zobrazowanie wartości wybranych wskaźników z uwzględnieniem obszarów poszczególnych zlewni pozwoliło na analizę zasięgu obszarowego zagrożenia, wywołanego ekstremalnymi opadami.

Wskaźnikową ocenę zagrożenia, wywołanego intensywnymi opadami, przeprowadzono dla dwóch okresów opadowych: czerwiec–lipiec 2009 r. oraz maj–czerwiec 2010 r.

Wybrane elementy opracowanego zbioru wskaźników wykorzystano do przeprowadzenia oceny wskaźnikowej zagrożenia, powodowanego intensywnymi opadami w skali zlewni. W skład oceny wchodziły wskaźniki, charakteryzujące wysokość, czas trwania oraz przestrzenny zasięg opadów ekstremalnych. W skali poszczególnych zlewni ocena ta umożliwiła zbiorczą prezentację oraz porównanie czynników, powodujących zagrożenia hydrologiczne w poszczególnych analizowanych epizodach opadowych.

Określenie poszczególnych poziomów zagrożenia hydrologicznego i identyfikacja potencjalnych skutków, wywołanych intensywnymi opadami deszczu na podstawie opracowanych wartości wskaźnikowych, wymaga uwzględnienia, w toku dalszych analiz, pozostałych czynników, takich jak: warunki środowiska geograficznego, reżim hydrologiczny czy zagospodarowanie przestrzenne zlewni.

Wskaźnikowe podejście w analizie wysokości opadów stanowi podstawę do tworzenia systemów, wspomagających podejmowanie decyzji, w których wykorzystuje się sieci monitoringu parametrów meteorologicznych. Zaproponowana metodyka umożliwi przetworzenie aktualnych informacji ilościowych opadu na ocenę stopnia zagrożenia, co w połączeniu z odpowiednimi technikami informacyjnymi i decyzyjnymi może mieć zastosowanie w osłonie przeciwpowodziowej wybranych obszarów.

LITERATURA

- DUBICKI A., MALINOWSKA-MALEK A. 1999. Wysokość, natężenie i przestrzenny rozkład opadów atmosferycznych. W: Dorzecze Odry. Monografia powodzi. Lipiec 1997. Pr. zbior. Red. A. Dubicki, H. Słota, J. Zieliński. Warszawa. IMGW s. 23–44.
- GŁOWICKI B., DANCEWICZ A., OTOP I. 2006. Katalog maksymalnych opadów dobowych w Polsce południowo-zachodniej w latach 1971–2000. W: Współczesne problemy klimatu Polski – fakty i niepewności. Seria: Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa. IMGW s. 7–22.
- KLEIN TANK A., ZWIERS F., ZHANG X. 2009. Guidelines on analysis of extreme in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. Climate Data and Monitoring WCDMP. No. 72. WMO-TD. No. 1500 ss. 56.

- KOSIĘB R. 2011. Gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych Otmuchów–Nysa podczas wezbrania w czerwcu 2009 r. *Gospodarka Wodna*. Nr 7 s. 274–277.
- LORENC H., OLECKA A. 2006. Tendencje występowania opadów o dużym natężeniu w Polsce. W: *Współczesne problemy klimatu Polski – fakty i niepewności*. Seria: Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa. IMGW s. 23–36.
- MOBERG A., JONES P.D. 2005. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe. *International Journal of Climatology*. Vol. 25 s. 1149–1171.
- NICHOLLS N., MURRAY W. 1999. Workshop on indices and indicators for climate extremes: Asheville, NC, USA, 3–6 June 1997. Breakout Group B: Precipitation. *Climatic Change*. Vol. 42 s. 23–29.
- SOBIK M., BŁAŚ M. 2010. Wyjątkowe zdarzenia meteorologiczne. W: *Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki*. Pr. zbior. Red. P. Migoń. Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego. Nr 14. Wrocław. UWr. s. 35–80.
- STACH A. 2007. Estymacja i symulacja pola prawdopodobieństwa maksymalnych opadów dobowych. W: *Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych*. 4. Procesy ekstremalne w środowisku geograficznym. Pr. zbior. Red. A. Kostrzewski, J. Szpikowski. Poznań. Bogucki Wydaw. Nauk. s. 51–65.
- SZALIŃSKA W., URBAN G., OTOP I. 2008. Próba oszacowania wysokości opadów wywołujących wezbrania letnie w dorzeczu Środkowej Odry. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 9 s. 227–238.
- USTRNUL Z., CZEKIERDA D. 2009. Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce. Warszawa. IMGW ss. 182.

Wiwiana SZALIŃSKA, Irena OTOP

EVALUATION OF SPATIO-TEMPORAL RAINFALL PATTERNS WITH SELECTED INDICATORS FOR EXTREME EVENT IDENTIFICATION

Key words: extreme events, indicators, rainfall

Summary

Intensive rainfall events can cause severe hydrological threats and flooding. The scale of hydrological impact depends on the amount of precipitation, duration and spatial range. The aim of this work was to develop a set of indicators for the evaluation of daily sums of rainfall in order to identify extreme events triggering hydrological hazards. Indicator threshold values were assumed *a priori* or estimated from long-term observation dataset. A selected set of indicators was used to evaluate spatial and temporal structure of two precipitation events: June–July 2009 and May–June 2010. The obtained results showed the magnitude of extreme rainfall, frequency and duration as well as location of extreme events forming hydrological hazard in 2009 and 2010 in the upper and middle Odra River basin. Developed set of indicators can be used operationally to evaluate current rainfall situation and, in combination with the information on hydrological and catchment conditions, to assess hydrological risk.