

Wybrane zjawiska ekstremalne pojezierzy polskich

Zbigniew Zwoliński*

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Instytut Paleogeografii i Geoekologii, ul. Dziejelowa 27, 61-680 Poznań

Wprowadzenie

W ramach grantu zamawianego PBZ-KBN-086/P04/2003 pt. „Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce (ocena zdarzeń oraz prognozowanie ich skutków dla środowiska życia człowieka)” realizowane jest m.in. zadanie nr 5 pt. „Zbadanie prawidłowości przebiegu zdarzeń ekstremalnych w poszczególnych regionach Polski (na przykładzie obszarów wzorcowych)”, w obrębie którego wyodrębnione jest podzadanie 5.5 pt. „Pojezierza”. Ogólnym celem podzadania 5.5 „Pojezierza” jest przedstawienie współczesnego przebiegu procesów ekstremalnych w charakterystycznych geosystemach pojezierzy polskich, a mianowicie na pojeziernych obszarach:

- wysoczyznowych i równinnych,
- stokowych,
- den dolinnych,
- bezodpływowych i jeziornych.

Cele szczegółowe obejmują następujące zagadnienia:

- a) zdefiniowanie i typologia zdarzeń ekstremalnych na obszarach pojeziernych (w nawiązaniu do podzadania nr 1.1 „Zdefiniowanie ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych, hydrologicznych oraz geomorfologicznych”),
- b) analiza uwarunkowań przyrodniczych występowania procesów ekstremalnych na pojezierzach Polski (w tym uwarunkowania inne niż tylko meteorologiczne i hydrologiczne, analiza w ujęciu systemowym),
- c) holoceński zapis zdarzeń ekstremalnych w osadach i rzeźbie pojezierzy Polski,
- d) wpływ procesów ekstremalnych na przekształcenia powierzchni stokowych na obszarach pojezierzy Polski (np. erozja gleb i wąwozowa, procesy

spłukiwania, a także rozwiązania koncepcyjne i modelowe),

- e) dynamika koryt rzecznych i kształtowanie den dolinnych pod wpływem procesów ekstremalnych na pojezierzach Polski (przebieg wezbrań na ciekach różnego rzędu, np. od Chwalimskiego Potoku, przez Kludę, Młyński Potok, Szeszupę, Czarną Hańczę, Parsętę i inne rzeki Przymorza i Mazur po Odrę i Wisłę, a także procesy zlodzenia rzek i piętrzenia zatorowe),
- f) wpływ procesów ekstremalnych na rozwój jezior, zagłębień bezodpływowych, obszarów podmokłych i torfowisk na obszarach pojezierzy Polski (w tym zmienność stanów i termiki wody),
- g) wpływ długoterminowych procesów ekstremalnych na powierzchnie użytkowane rolniczo na obszarach pojeziernych Polski (susze, obniżanie poziomu wód gruntowych, procesy stepowienia, erozja eoliczna),
- h) wpływ działalności człowieka jako impulsu procesów ekstremalnych na przekształcenia rzeźby obszarów pojeziernych Polski (w tym także zmiany pokrycia terenu i użytkowania ziemi),
- i) znaczenie procesów ekstremalnych we współczesnym funkcjonowaniu wybranych geosystemów pojezierzy Polski,
- j) rozkład, zasięg, częstotliwość i konsekwencje procesów ekstremalnych oraz ich rola w funkcjonowaniu geosystemów pojezierzy Polski.

Terytorialnie zadanie 5.5. obejmuje obszary dwóch podprowincji wg podziału regionalnego Kondrackiego (1994), a mianowicie Pojezierza Południowobałtyckie (Poj. Zachodniopomorskie, Poj. Wschodniopomorskie, Poj. Południowopomorskie, Dolina Dolnej Wisły, Poj. Iławskie, Poj. Chełmińsko-Dobrzyńskie, Pradolina Toruńsko-Eberswaldzka, Poj. Lubuskie, Poj. Wielkopolskie,

* e-mail: zbw@amu.edu.pl

Pradolina Warciańsko-Odrzańska, Wzniesienia Zielonogórskie, Poj. Leszczyńskie) oraz Pojezierza Wschodniobałtyckie (Poj. Litewskie, Poj. Mazurskie). W realizacji tego zadania biorą udział wszystkie ośrodki akademickie i naukowe z obszaru pojezierzy (Gdańsk, Olsztyn, Poznań, Słupsk, Szczecin, Toruń, również Warszawa).

Definicje

Na potrzeby niniejszego zadania 5.5 „Pojezierza” zostały zdefiniowane główne pojęcia terminologiczne, które są przedmiotem badań grantu:

1. Zjawisko ekstremalne jest to *niezwykły* fakt empiryczny rzeczywistości, podlegający obserwacji za pomocą dostępnych metod i środków. Niezwykłość zjawiska ekstremalnego odnosi się do pojęć podanych przez Niedźwiedzia i in. (2004):

- Ekstrema absolutne (absolutne maksimum; absolutne minimum): wartość najwyższa lub najniższa, jaka do tej pory została stwierdzona w charakterystyce danego zjawiska.
- Zjawiska ekstremalne: zjawiska lub wartości bliskie ekstremom absolutnym danej charakterystyki (klimatu, hydrologicznej, geomorfologicznej), których prawdopodobieństwo przekroczenia jest mniejsze od 10%, czyli szansa ich wystąpienia (tzw. okres powtarzalności) wynosi raz na 10 lat.
- Zjawiska ekstremalne wyjątkowe: zjawiska lub wartości bliskie ekstremom absolutnym danej charakterystyki (klimatu, hydrologicznej, geomorfologicznej), których prawdopodobieństwo przekroczenia jest mniejsze od 1%, czyli szansa ich wystąpienia (tzw. okres powtarzalności) wynosi raz na 100 lat.
- Klęska żywiołowa: katastrofa naturalna lub spowodowana ingerencją człowieka, zdarzająca się losowo i wywołująca duże zniszczenia, niekiedy nawet liczne ofiary śmiertelne.

2. Zdarzenie ekstremalne jest to zjawisko ekstremalne, które można *umieścić* w *czasoprzestrzeni* przez podanie 4 wymiarów: trzech określających położenie: poziome – x, y i pionowe – z oraz czwartego: czasu – t.

Przez czasoprzestrzeń należy rozumieć:

- system, geosystem, ekosystem, geoekosystem,
- środowisko: geograficzne, przyrodnicze, naturalne,
- jednostkę: regionalną, geomorfologiczną, hydrograficzną, klimatyczną, taksonomiczną,
- zlewnię rzeczną, wysoczyznę, pasmo górskie, krajobraz.

Z kolei umiejscowienie należy interpretować jako:

- różnicowanie przestrzenne:
 - i. układ współrzędnych geograficznych – zasięg:
 1. x – szerokość geograficzna,
 2. y – długość geograficzna,
 - ii. położenie – zakres:
 1. z – głębokość p.p.g. lub wysokość n.p.m.,
- zmienność czasowa to:
 - iii. t – data, godzina i/lub czas trwania.

3. Proces ekstremalny jest to ukierunkowany ciąg następujących po sobie w czasoprzestrzeni i powiązanych przyczynowo określonych *zmian*, przetwarzających stan wejściowy w stan wyjściowy poprzez stadia rozwojowe zdarzenia ekstremalnego.

Zmiany w procesie ekstremalnym należy rozpa- trywać w następujących kontekstach:

- przyczyna: geosygnały,
- wejście: uwarunkowania, relacje, sprzężenia, okoliczności,
- ciąg (przebieg): stadia, fazy, etapy, okresy,
- wyjście: skutki, konsekwencje, zagrożenia.

Poniżej zestawiono wybrane, najważniejsze charakterystyki ekstremalne elementów meteorologicznych, hydrologicznych i geomorfologicznych, które zostały zaproponowane przez Niedźwiedzia i in. (2004), a na potrzeby obszarów pojeziernych częściowo zmienione bądź uzupełnione:

M – Ekstremalne charakterystyki meteorologiczne

M-1. Opady deszczu:

M-1.1. Maksymalny opad godzinny.

M-1.2. Maksymalny opad dobowy, zwłaszcza o prawdopodobieństwie $p < 10\%$ (przy charakterystyce tych opadów należy uwzględnić liczbę dni z opadem $\geq 10,0$ mm, $\geq 30,0$ mm, $\geq 50,0$ mm i $\geq 100,0$ mm).

M-1.3. Długotrwały opad rozlewny $\geq 100,0$ mm/3 doby.

M-1.4. Maksymalna suma miesięczna opadu o prawdopodobieństwie $p < 10\%$ (zwłaszcza opady przekraczające 200 mm).

M-1.5. Deszcz nawalny (wg skali Chomicza (1951)). Maksymalne natężenie opadu w mm/min i czas trwania.

M-1.6. Susza (brak opadów przez co najmniej 15 dni). Zaleca się także uwzględnienie sum miesięcznych opadu mniejszych od 10 mm.

M-1.7. Inne ekstremalne zjawiska opadowe.

M-2. Wiatr:

M-2.1. Wiatr bardzo silny (prędkość średnia 10-minutowa ≥ 10 m/s). Liczba dni z wiatrem bardzo silnym o prawdopodobieństwie 10%.

M-2.2. Maksymalny poryw wiatru QNT w granicach 21–28 m/s – wichura (lub na morzu sztorm 9–10B). Liczba dni z porywami wiatru QNT > 20 m/s.

M-2.3. Gwałtowna wichura lub huragan o innej genezie niż trąby powietrzne (np. wiatry na linii szkwałów) powodujące szkody gospodarcze (porywy QNT > 28 m/s lub silny sztorm $> 10B$).

M-2.5. Trąba powietrzna.

M-2.6. Długotrwałe cisze (lub słabe wiatry <2 m/s), trwające powyżej 10 dni.

M-2.7. Inne ekstremalne charakterystyki wiatru.

M-3. Burza i grad:

M-3.1. Burza wywołująca pożar w wyniku wyładowań atmosferycznych oraz która spowodowała wypadki śmiertelne lub porażenia ludzi. Oszacowanie liczby dni z burzą o prawdopodobieństwie 10%.

M-3.2. Gradobicie powodujące szkody gospodarcze.

M-4. Pokrywa śnieżna:

M-4.1. Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej. Do najważniejszych wskaźników należą: maksymalna grubość pokrywy śnieżnej o prawdopodobieństwie 10% oraz liczba dni z pokrywą śnieżną o prawdopodobieństwie 10%.

M-4.2. Przyrost dobowy pokrywy śnieżnej o 10 cm. Jako wskaźnik może być wyznaczona liczba dni z przyrostem dobowym pokrywy śnieżnej >10 cm o prawdopodobieństwie 10%.

M-4.3. Zanikanie pokrywy śnieżnej (roztopy): zmniejszenie grubości o ponad 10 cm na dobę.

M-4.4. Zawieja lub zamieć śnieżna powodująca poważne utrudnienia w komunikacji.

M-4.6. Inne ekstremalne charakterystyki pokrywy śnieżnej.

M-5. Ciśnienie atmosferyczne:

M-5.1. Gwałtowne zmiany ciśnienia atmosferycznego ($\geq +10,0$ hPa/3h; $\leq -10,0$ hPa/3h; także zmiany średniej dobowej o ± 24 hPa/dobę).

M-5.2. Niż o $P_0 \leq 985$ hPa.

M-5.3. Wyż o $P_0 \geq 1050$ hPa.

M-5.4. Ekstremalne wartości wskaźnika cyrkulacji zachodniej nad Polską.

M-5.5. Ekstremalne wartości wskaźnika cyrkulacji południowej nad Polską.

M-5.6. Inne ekstremalne charakterystyki ciśnienia i cyrkulacji atmosfery.

M-6. Temperatura powietrza:

M-6.1. Dzień ekstremalnie upalny ($t_{\max} \geq 35,0^\circ\text{C}$). Maksymalna liczba dni ekstremalnie upalnych oraz o prawdopodobieństwie 10%.

M-6.2. Dzień ekstremalnie mroźny ($t_{\min} \leq -30,0^\circ\text{C}$). Maksymalna liczba dni ekstremalnie mroźnych oraz o prawdopodobieństwie 10%.

M-6.3. Noc tropikalna ($t_{\min} \geq 20,0^\circ\text{C}$). Maksymalna liczba nocy tropikalnych oraz o prawdopodobieństwie 10%.

M-6.4. Absolutne maksimum temperatury (ewentualnie także wartości o prawdopodobieństwie 10%).

M-6.5. Absolutne minimum temperatury (ewentualnie także wartości o prawdopodobieństwie 10%).

M-6.6. Najkrótszy i najdłuższy okres bezprzymrozkowy (lata wystąpienia). Długość okresu bezprzymrozkowego o prawdopodobieństwie 10%. Także wyjątkowe, skrajne daty pierwszych i ostatnich przymrozków.

M-6.7. Silny przymrozek w maju ($t_{\min} \leq -2,0^\circ\text{C}$). Liczba dni z silnym przymrozkiem w maju, maksymalna i o prawdopodobieństwie 10%.

M-6.8. Przymrozek w miesiącach letnich (VI–VIII).

M-6.9. Gwałtowne zmiany temperatury powietrza (średniej dobowej) z dnia na dzień, przekraczające $\pm 10\text{K}$. Zwrócenie szczególnej uwagi na dni z przejściem temperatury przez 0°C .

M-6.10. Inne ekstrema termiczne.

M-7. Wskaźniki bioklimatyczne i inne:

M-7.1. Ekstremalne warunki bioklimatyczne stanowiące zagrożenie dla zdrowia człowieka. Wybrane wskaźniki bioklimatyczne o prawdopodobieństwie 10% (liczba dni parnych – prężność pary wodnej $\geq 18,8$ hPa, liczba dni z przekroczeniem określonych wartości temperatury odczuwalnej (wyznaczenie wartości granicznych), liczba dni występowania dyskomfortu bioklimatycznego – warunków nadmiernego wychłodzenia lub przegrzania organizmu).

M-7.2. Oblodzenie (gołoledź) i szadź o natężeniu powodującym szkody gospodarcze.

M-7.3. Mgły, w których widzialność jest mniejsza od 50 m, powodujące poważne utrudnienia w komunikacji.

M-7.4. Sytuacje smogowe – przekroczenia norm dobowych dopuszczalnych wartości stężenia zanieczyszczenia atmosfery.

M-8. Inne ekstremalne zjawiska meteorologiczne, nie uwzględnione w powyższej klasyfikacji.

H – Ekstremalne charakterystyki hydrologiczne:

H-1. Niżówka – przepływ graniczny = SNQ (średni niski przepływ). Główne charakterystyki:

- absolutne minimum przepływu,
- średni przepływ niżówkowy,
- przepływ minimalny niżówki,
- czas trwania,
- objętość niżówki (objętość niedoboru wody),
- częstość występowania,
- minimalny stan wody,
- czas trwania przepływu o wartościach niższych od przepływu biologicznego (nienaruszalnego).

H-2. Wezbranie – przepływ graniczny = SWQ (średni wysoki przepływ). Główne charakterystyki:

- absolutne maksimum przepływu,
- przepływ o prawdopodobieństwie 1%,
- przepływ o prawdopodobieństwie 10%,
- przepływ średni wezbrania,
- przepływ maksymalny wezbrania,
- objętość wezbrania,
- czas trwania wezbrania,
- stan maksymalny wezbrania,
- czas trwania stanów wody przekraczających stan alarmowy,
- maksymalne wiarygodne wezbranie,
- obszar zalewu.

H-2.1. Wezbrania letnie spowodowane deszczami rozlewnymi.

H-2.2. Wezbrania letnie spowodowane deszczami nawałnymi (oberwanie chmury).

H-2.3. Wezbrania roztopowe.

H-2.4. Wezbrania zatorowe.

H-3. Zjawiska lodowe (ekstremalne) – wystąpienie powyżej średniego czasu trwania. Główne charakterystyki:

- czas trwania pokrywy lodowej o prawdopodobieństwie $p < 10\%$,
- grubość pokrywy lodowej: maksymalna oraz o prawdopodobieństwie $p < 10\%$,
- czas trwania (najdłuższy i najkrótszy czas trwania) zjawisk lodowych,
- daty pojawiania się i zaniku poszczególnych form zlodzenia,
- intensywność występowania poszczególnych form zlodzenia,
- zatory lodowe i śryżowe.

- H-4. Zagrożenie wynikające z ekstremalnego pogorszenia jakości wód, spowodowane zrzutami, skrajne zanieczyszczenie (zatrucie) wód powierzchniowych.
- H-5. Ekstremalny stan wód podziemnych:
- H-5.1. Duże obniżenie zwierciadła wód gruntowych, o prawdopodobieństwie $p < 10\%$.
- H-5.2. Wysoki stan wód podziemnych, o prawdopodobieństwie $p < 10\%$. Lokalne podtopienia.
- H-6. Ekstremalne zdarzenia hydrologiczne o zasięgu lokalnym, zarejestrowane poza siecią pomiarową:
- H-6.1. Wezbrania letnie spowodowane deszczami rozlewnymi.
- H-6.2. Wezbrania letnie spowodowane deszczami nawałnymi (oberwanie chmury).
- H-6.3. Wezbrania roztopowe.
- H-6.4. Wezbrania zatorowe.
- H-6.6. Susze hydrologiczne.
- H-6.7. Przepływy niżówkowe.
- H-6.8. Zanikanie rzek, źródeł i zbiorników wody.
- H-6.9. Ekstremalne obniżenie zwierciadła wód gruntowych, powodujące skutki gospodarcze.
- H-6.10. Wysoka temperatura wód powierzchniowych ($> 25^{\circ}\text{C}$), zwłaszcza w przypadku utrzymywania się ponad 15 dni.
- H-6.11. Ekstremalne zlodzenie rzek i jezior.
- H-6.12. Głębokie (ponad 1 m) przemarznięcie gruntu.
- H-7. Inne ekstremalne zdarzenia hydrologiczne.
- G – Ekstremalne charakterystyki geomorfologiczne (nawiązujące do zdarzeń meteorologicznych i hydrologicznych):
- G-1. Intensywna erozja gleby w czasie deszczów nawałnych (spłukiwanie, erozja wązowa, sufozja, płytkie ruchy masowe) lub rozlewnych. Przy badaniu tych zjawisk konieczne jest nawiązanie do charakterystyk opadowych (wartości graniczne opadów: średnie natężenie $> 0,5 \text{ mm min}^{-1}$, graniczne sumy dobowe opadów: $> 30 \text{ mm}$, $> 100 \text{ mm}$).
- G-2. Intensywna erozja gleby w czasie roztopów (spłukiwanie, płytkie ruchy masowe). Zwrócenie uwagi na wartości graniczne zjawisk meteorologicznych, przy których może wystąpić zjawisko: grunt przemarznięty, szybkie tajenie śniegu, opad deszczu.
- G-3. Procesy osuwiskowe – różnego typu, od zerw, osuwisk, spływów gruzowych po soliflukcję, głębokie osuwiska skalne, obrywy skalne. Również osuwiska w obrębie form antropogenicznych (np. hałdy kopalniane, wysokie brzegi zbiorników wodnych, nasypy i wkopy drogowe itp.). Wartości graniczne: zerwy, osuwiska – wysoka suma opadów; spływy – duże natężenie opadu (+ suma); głębokie osuwiska – długotrwałe opady (wysoka suma miesięczna, małe natężenie).
- G-4. Intensywna erozja rzeczna (boczna, wgłębna, przerzut koryta). Wartości graniczne zjawisk hydrologicznych: przy przepływie zbliżonym do pełnokorytowego.
- G-5. Intensywna akumulacja w korycie (odsypy), jw.
- G-6. Intensywna erozja i akumulacja na równinie zalewowej (przekroczony przepływ pełnokorytowy).
- G-7. Intensywna deflacja i akumulacja eoliczna (w obszarach bez szaty roślinnej). Ważny jest czas trwania wiatrów o prędkościach $> 17 \text{ m s}^{-1}$ i wyższych (np. porywy $> 20 \text{ m s}^{-1}$). Także inne skutki geomorfologiczne silnych wiatrów, takie jak na przykład wiatrolomy i wykroty drzew.

- G-8. Intensywna abrazja brzegów jezior i innych zbiorników wodnych.
- G-9. Inne zdarzenia geomorfologiczne.
- X – Inne ekstremalne charakterystyki lub zdarzenia katastrofalne, także pochodzenia antropogenicznego:
- X-1. Szkody górnicze (zapadliska).
- X-2. Trzęsienia ziemi.
- X-3. Duże pożary leśne, torfowisk i inne.
- X-4. Nadmierny rozwój szkodników roślin.
- X-5. Nalot szarańczy.
- X-6. Inne zdarzenia katastrofalne.

W oparciu o sugestie Niedźwiedzia zawarte w opracowaniu Niedźwiedzia i in. (2004) sporządzono bazę danych w arkuszu Excel, obejmującą ponad 3000 rekordów z obszaru pojezierzy. Każdy rekord opisany jest dostępnymi informacjami wg następującego porządku:

1. L.p. – unikalny identyfikator rekordu.
2. Rodzaj zjawiska: kod zjawiska, nazwa zjawiska, charakterystyka ilościowa, jednostka miary, wartość.
3. Czas zjawiska: data wystąpienia (od), data wystąpienia (do), rodzaj czasu, czas trwania.
4. Lokalizacja zjawiska: miejscowość, gmina, powiat, województwo, dorzecze, nazwa regionu, inne określenie, szerokość geogr., długość geogr., wysokość n.p.m.
5. Stacja meteorologiczna: nazwa stacji, kierunek, odległość, P – opad atmosferyczny, GPS – grubość pokrywy śnieżnej, $T_p \text{ max}$ – temperatura maksymalna powietrza, $T_p \text{ min}$ – temperatura minimalna powietrza, $T_p \text{ min gr.}$ – temperatura minimalna powietrza przy gruncie, QNT – maksymalny poryw wiatru, TC, masa powietrza, front.
6. Dokumentacja zjawiska: zdjęcia, wykresy, mapy, obrazy satelitarne lub radarowe, inne dane tele-detekcyjne.
7. Zasięg zjawiska: lokalne, liniowe, długość, powierzchniowe, powierzchnia.
8. Inne: ofiary, szkody, źródło informacji, bibliografia, autor rekordu, data rekordu.

Zebrane w bazie dane służą do wizualizacji przestrzenno-czasowej zdarzeń ekstremalnych na obszarze pojeziernym.

Studia przypadków

Poniższe przypadki studialne zostały opracowane w oparciu o materiały nadesłane przez współautorów zadania 5.5 „Pojezierza”. Autora (-ów) poszczególnych skrótowo opisanych przypadków zacytowano na końcu akapitu.

1. Największe skutki hydrologiczne i geomorfologiczne pod względem intensywności i zasięgu przestrzennego wywołuje przemieszczanie się aktywnych niżów ze strefami frontalnymi, rozgraniczającymi

maszy powietrza o dużych różnicach temperatur (Fal, Plenzer 1981). Tego typu zjawiska występują często w maju i w czerwcu, kiedy szata roślinna nie jest jeszcze w pełni rozwinięta. Opady występują wówczas zazwyczaj na obszarze od 30 do 60 tys. km². Strefy, gdzie suma dobowy opadu może przekroczyć 100 mm, sięgają nawet do 500 km². Zatem są to opady, które mogą wywołać duże wezbrania w małych i średnich zlewniach oraz rozległe straty w uprawach wywołane erozją gleb i wąwozową na stokach. Badania prowadzone na Pojezierzu Suwalskim w latach 1987–89 i 1998–99 wskazują na niewielkie natężenie spłukiwania rozproszonego średnio rocznie osiągające w górnych wypukłych częściach stoków użytkowanych jako grunt orny do 24 kg ha⁻¹, jedynie lokalnie do 50 kg ha⁻¹ (Smolska i in. 1995, Smolska 2002, 2005). Strefa akumulacji erodowanej gleby to środkowa i dolna część stoku (36–125 kg ha⁻¹). Erodowany materiał sporadycznie dociera do podnóża stoku (ok. 16–70 kg ha⁻¹). Spłukiwanie liniowe – żłobinowe obserwowano jedynie okresowo, rozwój żłobin był uwarunkowany kierunkiem orki zgodnym ze spadkiem. W przypadku istnienia rozległych obszarów alimentacyjnych, łagodnie nachylonych wysoczyzn morenowych, przy nieodpowiednim użytkowaniu terenu, powstają warunki sprzyjające koncentracji wody w strefie stokowej, lokalnym powodziom i rozwojowi dużych form erozyjnych. Spływy jednostkowe mogą w takich sytuacjach przekraczać 500 dm³s⁻¹km⁻² (Ciepielowski 1970, Kostrzewski i in. 1992). Obserwacje wykonywane od początku lat 80. na Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie wskazują, że tego typu zjawisko w danym miejscu na pojezierzach występuje jeden do dwóch razy na dziesięciolecie (Kostrzewski i in. 1989, 1992). [L. Andrzejewski, A. Stach]

2. Podobną frekwencję (1–2 razy na dekadę) mają w Storkowie gwałtowne roztopy na przemarzniętym podłożu. Szybkie topnienie miększej pokrywy śnieżnej zalegającej na głęboko zamrożonym podłożu indukowane przez silną radiację i/lub opady deszczu nie powoduje zazwyczaj gwałtownych wezbrań. Są to wezbrania bardzo wysokie, lecz powoli narastające i opadające. Są one również bardzo wydajne w zakresie transportu fluwialnego, lecz nie wywołują silnych skutków erozyjnych w korytach. Najważniejsze są efekty erozyjne na stokach, gdzie usuwane są relatywnie olbrzymie ilości gleby, przy stosunkowo niewielkich zmianach morfologicznych. To zjawisko z pewnością wykazuje dużą zmienność frekwencji w przekroju pojezierzy od Szczecina po Suwałki. [A. Stach]

3. W przypadku obszarów równinnych wśród ekstremalnych procesów geomorfologicznych znaczna rola przypada erozji eolicznej gleb. Na obszarze Pojezierza Mazurskiego, w okolicach Olsztyna, zanotowano wielkości deflacji do ok. 0,3 kg ha⁻¹ (Ugla, Piaszcik 1966). Wydaje się, że jej skutki przewyższają

efekty wszystkich procesów geomorfologicznych razem wziętych na tych obszarach (Riksen, de Graaff 2001, Stach, Podsiadłowski 2001, 2002, Riksen i in. 2003). Przyczynami tego stanu rzeczy są: dominacja lekkich gleb piaszczystych o niskiej zawartości substancji organicznej, intensywna gospodarka wielkoobszarowa, małe deniwelacje terenu i niska lesistość. Występują epizodycznie, kilka, rzadziej kilkanaście dni (nie każdego roku) wczesną wiosną i/lub późną jesienią, w okresach silnych wiatrów (> 15 m s⁻¹), kiedy znaczna część pól uprawnych nie jest pokryta jeszcze lub już roślinnością. Wysoka intensywność erozji eolicznej związana jest także z okresami prac polowych, gdyż zabiegi agrotechniczne (głównie maszyny) niszczą strukturę gleb i ułatwiają transport nawet przez stosunkowo słabe wiatry. Można przypuszczać, że wzrost częstotliwości silnych wiatrów oraz częstsze susze glebowe mogą rolę tego zjawiska zwiększać. [L. Andrzejewski, A. Stach]

4. Blisko 20-letnia seria obserwacji meteorologicznych ze Storkowa w porównaniu z kilkudziesięcioletnimi danymi z odległego o 20 km Szczecinka daje podstawy do stawiania hipotezy o zauważalnej zmianie pluwiotermicznej charakterystyki półroczy zimowych. Są one ostatnio wyraźnie cieplejsze, z mniejszymi opadami śniegu i z krócej zalegającą pokrywą śnieżną. Stwarza to warunki do częstszych i dłuższych niż notowano poprzednio okresów deficytu wody: niżówek wód gruntowych i cieków. [A. Stach]

5. Coraz większego znaczenia nabierają procesy niweo-eoliczne w okresach zimowych. W zlewni górnej Szeszupy akumulacja eoliczna zimą wyniosła za okres 7 dni (15–21.01.1988) od 6–8 kg ha⁻¹ na pagórkowatej powierzchni moreny dennej do 110–230 kg ha⁻¹ na płaskiej i falistej morenie dennej lub sandrach (Smolska 1994). Taką akumulację eoliczną obserwowano na 5,3% powierzchni badanej zlewni. Potencjalnie przy sprzyjających warunkach pogodowych może obejmować ona znacznie większy obszar, do 15% powierzchni zlewni. W okresie 22–25 lutego 2007 r. w zlewni Perznicy (Pojezierze Drawskie) wystąpiły procesy niweo-eoliczne o charakterze ponadprzeciętnym. Koncentracja zanieczyszczeń w pokrywie śnieżnej dochodziła do 14 kg m⁻³, przy średniej 6,5 kg m⁻³. Są to wartości bardzo duże, biorąc pod uwagę np. podawane przez Jahna (1969) koncentracje zanieczyszczeń w pokrywie śnieżnej w Sudetach, które osiągały maksymalnie 0,33 kg m⁻³. Średnia akumulacja materiału mineralnego wynosiła na badanych stanowiskach od 1,0 kg m⁻² (Gdaniec) do 1,4 kg m⁻² (Storkowo). Są to wartości bardzo wysokie wobec 25 g m⁻² w zlewni Chwalimskiego Potoku (dorzecze górnej Parsęty) zimą 1993 r. (A. Kostrzewski, J. Szpikowski, mat. niepublikowane), jak również w porównaniu z przeciętną sedimentacją zimową w Sudetach – 0,5 kg m⁻² (Jahn 1969). Na 100-metrowym odcinku drogi polnej w Storkowie zostało osadzone prawie 870 kg materiału mineralnego i ponad 100 kg mate-

riału organicznego (głównie sieczki z pociętych przez śnieg i wiatr roślin). Na 55-metrowym odcinku wąwozu drogowego w Gdańcu w śniegu zakumulowane zostało ponad 350 kg materiału mineralnego i prawie 50 kg organicznego. [L. Andrzejewski, J. Szpikowski]

6. Wysoczyzny morenowe pojezierzy to głównie płaskie i faliste obszary urozmaicone formami różnicowanych morfogenetycznie wzniesień i obniżen o mozaikowym rozprzestrzenieniu. Zagadnienia procesów i zdarzeń ekstremalnych w obrębie tych form terenu rozpatrywać można w kontekście kilku zjawisk, z których za najważniejsze należy uznać:

- denudację mechaniczną, w tym głównie spłukiwanie rozproszone (łącznie z rozbryzgiem),
- natężenie degradacji poziomych glebowych w wierzchowinowych częściach niewielkich pagórków oraz górnych załomów wysoczyzn i odpowiadającym im pokrywom deluwialnym u podstawy załomów i stoków,
- degradację powierzchni wysoczyznowych w wyniku procesów eolicznych,
- dynamikę kształtowania się liniowych form erozyjnych, w tym młodej sieci dolinnej rozcinającej górne strefy krawędziowe wysoczyzn,
- denudację chemiczną.

Zagadnienia te jak dotąd rozpatrzono w kilku obszarach równin młodoglacjalnych, tj. Polski NE, Kujaw, Pojezierza Gdańskiego. Zdegradowane poziomy glebowe w wierzchowinowej części niewielkich pagórków moreny dennej oraz pokrywy deluwialne zalegające w ich środkowej i dolnej części są wynikiem przede wszystkim erozji uprawowej, podobnie jak na obszarach pojezierzy Polski środkowej (Sinkiewicz 1998). Wskazują na to powszechnie występujące, choć niewysokie skarpy degradacyjne (30–50 cm) i terasy rolne u podstawy stoków. Miąższość osadów u podstawy takich niewielkich pagórków jest znaczna i wynosi 1,5–1,8 m, przy czym 2/3 masy deluwii stanowi diamicton rolny. Występujące w podłożu diamictonów gleby kopalne wskazują na uruchomienie procesów erozji dopiero po zajęciu wysoczyzn pod uprawę. Porównując średni roczny przyrost pokryw deluwialnych z tempem współczesnej depozycji podstokowej w wyniku spłukiwania, można oszacować tempo erozji uprawowej na kilkakrotnie większe od 0,5 do 3 t ha⁻¹ średnio rocznie. [L. Andrzejewski]

7. Na gruntach ornych występuje również soliflukcja. W okresie roztopowym wiosną 1988 r. prowadzone obserwacje i pomiary na stokach o wystawie południowej w Smolnikach i Udziejku wskazały na średnie tempo przemieszczania 10–15-centymetrowej warstwy gleby do 0,5 cm w dół stoku, co dało przy zastosowaniu łapacza ok. 1,15 t ha⁻¹ (Smolska 1994). Okres działania procesu jest krótki, zwykle 7–10 dni raz na kilka lat, stąd niewielka jego efektywność. Po-

tencjalnie może obejmować 10–13% powierzchni analizowanej zlewni. [L. Andrzejewski]

8. W zakresie określenia dynamiki form liniowych obliczono gęstości sieci dolinnej na przykładzie zlewni młodoglacjalnej górnej Raduni. Z danych wynika, że największe nasilenie procesów erozyjnych miało miejsce w okresie subatlantyckim i osiągnęło wskaźnik 4,87 mm/1000 lat. Z tego też okresu pochodzi największa ilość dolin, a mianowicie 274 formy na ogólną ilość 353. W tym czasie kubatura form erozyjnych osiągnęła wartość 1 781 780 m³, co odpowiada wskaźnikom 9 753 m³ km⁻², 4 870 m³ km⁻² a⁻¹ lub 890,89 m³ a⁻¹. Masa wyerodowanego materiału wynosi 4775,18 tys. ton, a odpowiednie wskaźniki – 26 139,62 t km⁻², 1 307 t km⁻² a⁻¹ i 2 387,59 t a⁻¹. [L. Andrzejewski, R. Gołębiewski]

9. Dla dolnej Wisły (1970–1999) zestawiono ilość piętrzeń zatorowych wg posterunków wodowskazowych. Na rzece powyżej zapory we Włocławku wystąpiły 64 piętrzenia zatorowe o wysokości maksymalnie do 3 m. Poniżej zapory zanotowano 15 piętrzeń zatorowych o wysokości maksymalnie do 2,6 m. Czterokrotna przewaga piętrzeń zatorowych powyżej zapory wynika z faktu, że pokrywa lodowa pojawia się tam ponad dwukrotnie częściej. Przeanalizowano także częstość występowania zatorów w poszczególnych przedziałach wysokości piętrzenia. Prawie połowę stanowią niewielkie wezbrania, zazwyczaj związane z rozbudową pokrywy lodowej. Wysokie piętrzenia (>2 m) stanowiły w sumie 7% wszystkich wezbrań zatorowych, co dla dolnej Wisły i analizowanego okresu 30 lat daje prawdopodobieństwo pojawienia się takiego zdarzenia raz na 4–5 lat. Na rzece nieuregulowanej ze względu na morfologię koryta i jego parametry hydrauliczne (liczne płycizny, łachy, wyspy, zmienność spadku w profilu podłużnym, kręty i niestabilny nurt, mała głębokość średnia) istnieją najdogodniejsze warunki do tworzenia się zatorów. Potwierdzają to zarówno dostępne dane hydrologiczne, wyniki sondowań lodowego wypełnienia koryta (1996–2006), jak i występowanie blizn lodowych na drzewach poziomu zalewowego. Na rzece uregulowanej pojawianie się zatorów jest przeciętnie 4-krotnie rzadsze. Mamy tu do czynienia z korzystniejszymi z hydraulicznego punktu widzenia przekrojami poprzecznymi, nieco większą głębokością, mniejszą produkcją lodu oraz możliwością użycia lodolamaczy jako najskuteczniejszego środka walki z piętrzeniem zatorowym. [M. Grześ, B. Pawłowski]

10. W badaniach współczesnej dynamiki procesów fluwialnych istotną uwagę przywiązuje się do funkcjonowania systemu denudacyjnego zlewni w warunkach ekstremalnych przepływów w korytach rzecznych (Kostrzewski i in. 1994). Szczęólnego znaczenia nabiera określenie roli gwałtownych wezbrań w odpływie materiału rozpuszczonego i zawieszonego z obszaru zlewni rzecznych oraz skutków wzmożonego transportu fluwialnego w środowisku przyrodniczym.

W badanych rzekach pojezierzy generalnie obserwuje się wzrost stężenia materiału zawieszonego oraz spadek koncentracji substancji rozpuszczonych wraz ze wzrostem stanu wód i przepływu. Jednakże podczas ekstremalnych wezbrań powyższa prawidłowość zostaje zaburzona w wyniku występowania efektu histerezy. Efekt histerezy koncentracji materii rozpuszczonej i zawiesiny w wodach rzecznych związany jest z dostawą i wyczerpywaniem się materiału do transportu w systemie rzeczonym. Dominacja transportu wezbraniowego nad przeciętnym dochodzi do kilku-kilkunastokrotnej wagi. Obserwuje się różne czasy dostawy materiału do systemu korytowego w zależności od przyczyn wezbrania. W przypadku wezbrań opadowych nawalnych kulminacje transportu rozpuszczonego i zawieszonego występują zazwyczaj po kulminacji przepływu wody, natomiast w przypadku wezbrań roztopowych – przed kulminacją przepływu. [Z. Zwoliński]

11. Zebrane i opracowane materiały dokumentujące jakościowe i ilościowe cechy osadów pozakorytowych rzek pojeziernych wskazują na warunki hydrodynamiczne przepływów ponadpełnokorytowych. Istotnym spostrzeżeniem jest, że nawet największe z wezbrań mają stosunkowo łagodny przebieg i nie wywołują daleko idących zmian w kształcie i przebiegu koryt rzecznych i w kształcie równi zalewowych. Szczególnie dotyczy to późnowiosenno-lętnich wezbrań opadowych. Nieco bardziej dynamiczny przebieg mają wezbrania roztopowe głównie na skutek bardzo szybkiego tajania pokrywy śnieżnej, powodujące intensywne procesy erozyjne w korytach rzecznych i na powierzchniach teras zalewowych. Miąższości zdeponowanych pokryw sedymentacyjnych mogą dochodzić do kilkudziesięciu centymetrów (Zwoliński 1985), a ich łączna powierzchnia może zajmować do 1/4–1/2 powierzchni terasy zalewowej. [W. Florek, J. Szymański, Z. Zwoliński]

Uwagi końcowe

Pojezierza północnej Polski (Pomorskie i Mazurskie) to najprawdopodobniej najbardziej „odporne” regiony w skali kraju na ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i geomorfologiczne. Jest to efekt zespołu uwarunkowań klimatycznych, morfologicznych, litologiczno-glebowych, pokrycia/użytkowania terenu, demograficzno-ekonomicznych, z których za najważniejsze należy uznać:

- niższą niż w innych regionach Polski częstotliwość występowania deszczy ulewnych i nawalnych (Karwowski 1963, Chudy 2003);
- niższe niż w innych regionach Polski parowanie terenowe (Stachy 1980, Szkutnicka 1987);
- małą energię i georóżnorodność rzeźby (Kostrzewski i in. 1997, 1998);

- stosunkowo słabe przekształcenia erozyjno-denudacyjne pierwotnej rzeźby glacialnej; duża powierzchnia obszarów nie włączonych do systemu odwodnienia powierzchniowego, co zwiększa retencję powierzchniową i podziemną i spowalnia odpływ wody (Mazurek 2000);
- dominację dobrze przepuszczalnych luźnych osadów czwartorzędowych;
- zróżnicowane pokrycie/użytkowanie terenu, charakteryzujące się nie tylko wysokim udziałem lasów, łąk, jezior i torfowisk, ale także mozaikowością struktury użytkowania; zmiany ekonomiczne początku lat 90. ubiegłego wieku spowodowały wyłączenie dużej części obszaru z użytkowania rolniczego – wzrósł odsetek nieużytków i lasów (Piotrowska 1997);
- wysoką retencję zlewni wynikającą głównie z dużej pojemności zbiorników wód gruntowych w miąższych seriach osadów czwartorzędowych i dużej retencji powierzchniowej (obszary bezodpływowe powierzchniowo, jeziora, torfowiska);
- stosunkowo gęstą sieć urządzeń hydrotechnicznych małej retencji (Cyberski 1984);
- dużą bezwładność hydrologiczną zlewni będącą efektem rzeźby i wysokiej retencji (Choiński 1988);
- stosunkowo niską gęstość zaludnienia i niski poziom urbanizacji;
- generalnie niską intensywność produkcji rolnej.

Dotychczasowe wyniki prac wskazują, że jakkolwiek geoeosystemy pojezierzy (Pomorskiego i Mazurskiego) są bardzo odporne na zjawiska ekstremalne, to lokalnie zarówno w czasie, jak i w przestrzeni, może dochodzić do poważnych zaburzeń ich funkcjonowania. Zgromadzone dane wskazują, że najbardziej wrażliwe są obszary o dużych kontrastach hipsometrycznych, takie jak strefy krawędziowe pradolin, zbocza dolin rzecznych i rynien jeziornych (subglacialnych). Obserwowane w ostatnim czasie szkody i straty, jakie przyniosły zdarzenia wywołane nawalnymi opadami w Górowie Iławieckim i w Gdańsku, huraganowymi wiatrami na Mazurach i w Puszczy Pińskiej, suszami gruntowymi i niżówkami wód powierzchniowych i pierwszego poziomu wód gruntowych w wielu miejscach na Pomorzu, wskazują, że obszar Pojezierzy nie jest jednak wolny od ekstremalnych (a nawet katastrofalnych) zjawisk meteorologicznych, hydrologicznych i geomorfologicznych. Jednakże brak jest jak dotąd określenia relacji pomiędzy współczesnymi ekstremalnymi zdarzeniami klimatycznymi i hydrologicznymi a wymiernymi efektami ekstremalnych procesów hydrologicznych i geomorfologicznych. Obserwowane zwiększenie częstotliwości zjawisk ekstremalnych nawiązuje do koncepcji clusteringu (Starkel 2002a, b), które być może są odpowiedzialne za współczesne i przyszłe

zmiany w tendencjach rozwojowych geoekosystemów pojeziernych.

Literatura

- Choiński A. 1988. Zróżnicowanie i uwarunkowania zmienności przepływów rzek polskich. Zeszyty Naukowe UAM, Seria Geografia, 39.
- Chomicz K. 1951. Ulewy i deszcze nawalne w Polsce. Wiadomości Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, 2 (3): 31–42.
- Ciepielowski A. 1970. Maksymalne wielkości spływów jednostkowych z deszczów nawalnych. Przegląd Geofizyczny, 15 (23), 2: 179–193.
- Cyberski J. 1984. Zasoby wodne zlewni rzecznych. [W:] B. Augustowski (red.), Pobreże Pomorskie. Ossolineum, Wrocław, 189–213.
- Fal B., Plenzler W. 1981. Intensywność zasilania opadowego w Polsce (mapa maksymalnych sum dobowych o prawdopodobieństwie $p = 1\%$). Wiad. IMGW, VII (XXVIII), 1–2: 55–60.
- Jahn A. 1969. Niveo-eoliczne procesy w Sudetach i ich działanie na glebę. Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 5(18): 53–88.
- Karwowski A. 1963. Opady o większym stopniu wydajności występujące w Polsce w okresie 1954–1958. Prace PIHM, 77: 1–84.
- Kondracki J. 1994. Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne. PWN, Warszawa.
- Kostrzewski A., Klimczak R., Stach A., Zwoliński Z. 1989. Morphologic effects of heavy rainfall (25 May 1983) over relief features of the scarpland in the middle Parsęta valley, West Pomerania, Poland, Quaestiones Geographicae, special issue, 2: 101–110.
- Kostrzewski A., Klimczak R., Stach A., Zwoliński Z. 1992. Extreme rainfalls and their influence on functioning of the present-day denudative system in a young glacial region, West Pomerania. Quaestiones Geographicae, special issue, 3: 97–113.
- Kostrzewski A., Mazurek Z., Zwoliński Z. 1994. Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni. Stow. Geomorfologów Polskich, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- Kostrzewski A., Starkel L., Zwoliński Z. 1997. Georóżnorodność rzeźby. Arch. Państ. Inst. Geol., Warszawa.
- Kostrzewski A., Starkel L., Zwoliński Z. 1998. Georóżnorodność rzeźby. Arch. Państ. Inst. Geol., Warszawa.
- Mazurek M. 2000. Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw współczesnych procesów denudacji chemicznej (Pojezierze Zachodnie). Wyd. Nauk. UAM, s. Geografia, 62: 1–125.
- Niedźwiedz T., Michalczyk Z., Starkel L., Ustrnul Z. 2004. Prezentacja na konferencji: Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce (ocena zdarzeń oraz prognozowanie ich skutków dla środowiska życia człowieka). Sosnowiec, 13.12.2004.
- Piotrowska I. 1997. Zmiany struktury użytkowania ziemi i ich związek ze współczesnym systemem denudacyjnym strefy młodoglacjalnej (zlewnia górnej Parsęty, Pomorze Zachodnie). MS, Arch. WNGiG UAM, Poznań.
- Riksen M., Brouwer F., de Graaff J. 2003. Soil conservation policy measures to control wind erosion in northwestern Europe. Catena, 52: 309–326.
- Riksen M., de Graaff J. 2001. On-site and off-site effects of wind erosion on European light soils. Land Degradation and Development, 12 (1): 1–11.
- Sinkiewicz M. 1998. Rozwój denudacji antropogenicznej w środkowej części Polski Północnej, MS, Arch. UMK, Toruń.
- Smolska E. 1994. Dynamika współczesnych procesów morfogenetycznych w zlewni górnej Szeszupy (Suwalski Park Krajobrazowy). [W:] A. Hilbricht-Ilkowska, R. Wiśniewski (red.), Jeziora Suwalskiego Parku Krajobrazowego. Zesz. Nauk. Kom. Nauk. Prez. PAN „Człowiek i Środowisko”, 7: 33–45.
- Smolska E. 2002. The intensity of soil erosion in agricultural areas in North-Eastern Poland. Landf. Anal., 3: 25–33.
- Smolska E. 2005. Znaczenie splukiwania w modelowaniu stoków młodoglacjalnych (na przykładzie Pojezierza Suwalskiego). Wyd. WGiSR UW, Warszawa.
- Smolska E., Mazurek Z., Wójcik J. 1995. Dynamika procesów geomorfologicznych na stoku pojeziernym jako czynnik środowiskotwórczy. Zesz. Nauk. Kom. Nauk. PAN „Człowiek i Środowisko”, 12: 205–220.
- Stach A., Podsiadłowski S. 2001. Wpływ erozji eolicznej na teksturę lekkich gleb Niziny Wielkopolskiej. [W:] A. Kostrzewski (red.), Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych, III, 359–379. Wyd. Naukowe UAM, Poznań.
- Stach A., Podsiadłowski S. 2002. Pulverizing and wind erosion as influenced by spatial variability of soils texture. Quaestiones Geographicae, 22: 67–78.
- Stachy J. 1980. Odplawy rzek Przymorza na tle odplawu z terenu całej Polski. [W:] Stosunki wodne w zlewniach rzek Przymorza i dorzecza Dolnej Wisły ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki wodnej jeziora. Sesja naukowo-techniczna. IMGW, Słupsk.
- Starkel L. 2002a. Change in the frequency of extreme events as the indicator of climatic change in the Holocene (in fluvial systems), Quaternary International, 91: 25–32.
- Starkel L. 2002b. Clustering of flood events in the context of increased human activity. [W:] PHE-FRA (Paleofloods, Historical Data & Climate Va-

riability: Applications in Flood Risk Assessment).
Proceedings of the International Workshop held
in Barcelona, Spain, October 2002.

Zwoliński Z. 1985. Sedymencja osadów przyrostu
pionowego na terasie zalewowej Parsęty. *Badania
Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, 35: 205–238.