

Iwan Kowalczyk*, Andrzej Michnowicz**

TRANSFORMACJA STRUKTURY SYSTEMÓW RZECZNYCH W KARPATACH UKRAIŃSKICH

Transformation processes in the river systems structure in Ukrainian Carpathians

Abstract: The paper deals with the theoretical basis, methods and the main results of the investigations of the river system structure (the network of rivers of different orders) transformation. On the basis of a morphometrical analysis of topographical maps from different periods (1855, 1935, 1975, 2005) in the 1:100 000 scale, using the Strahler-Filosofov classification scheme, the structure of representative river systems of Ukrainian Carpathians was investigated. The partial and the total length and number of the streams of every order as well as the correlation between these parameters and bifurcation coefficients were determined. The trends and scales of the river systems structure transformation for the period 1855–2005 were also evaluated. Subject to investigation were the river systems of NE macrolopes of the Carpathian Mountains.

Key words: river system structure, river order, structure transformation

Słowa kluczowe: struktura systemu rzecznoego, rząd rzeki, transformacja struktury

WSTĘP

Badania struktury systemów rzecznych poprzez opis wybranych morfologicznych parametrów zapoczątkowane zostały przez amerykańskiego geomorfologa R. Hortona (1948), a następnie kontynuowane przez A. Strahlera (1952), N. Makkaveeva (1955), V. Shirokova (1992), V. Ikora (1992), I. Kowalczyka (1997), K. Krzemienia (1999) i innych. Wyniki tych badań, w połączeniu z informacją o długookresowych zmianach przepływu rzek, zmianach w użytkowaniu zlewni oraz w gospodarczej działalności człowieka, pozwalają określić nie

* Kijowski Narodowy Uniwersytet Rolniczy

** Narodowy Uniwersytet Iwana Franka we Lwowie, e-mail: geomorph@frnko.lviv.ua

tylko skalę transformacji struktury systemów rzecznych i zmian odpływu, ale także pozwalają określić przyczyny tych zmian i ich wpływ na sytuację ekologiczną w zlewni.

Długotrwały rozwój rolnictwa, osadnictwa i transportu spowodował znaczne zmiany środowiskowe w zlewniach Karpat Ukraińskich. Zmiany te pogarszają sytuację ekologiczną i zwiększają ryzyko zajścia groźnych procesów hydro-geomorfologicznych (Dynesius & Nilsson 1994, Kowalczyk 1997, Bogacki, Kowalczyk 2000).

Celem pracy jest próba analizy struktury systemów rzecznych w Karpatach Ukraińskich i ich zmian w latach 1875–2005.

Zmiana struktury systemu rzecznego rozumiana jest jako pojawienie się nowych cieków, zanik starych lub zmiana rzędu jakichkolwiek cieków w analizowanych dorzeczach. Tendencja transformacji oznacza kierunek, w jakim zachodzą zmiany analizowanych parametrów. Pojawienie się lub zanik jakiegokolwiek cieku oznacza zmianę przepływu i przemieszczania się rumowiska oraz zmianę chwiejnej równowagi między erozją, transportem i akumulacją w korycie rzeczonym. W efekcie, w dłuższym czasie zmiana ulega cały geosystem danej zlewni. W związku z tym, uważa się, że funkcjonowanie struktury systemu rzecznego może być określone poprzez analizę zmian w czasie i przestrzeni elementów składowych tej struktury. Badanie struktury systemów rzecznych pozwala na określenie stanu jego równowagi dynamicznej.

METODY BADAŃ

Struktura systemów rzecznych została przeanalizowana z zastosowaniem klasyfikacji A. Strahlera-V.Filosova (Strahler 1952, Filosofov 1959) oraz analiz statystycznych, morfometrycznych i kartograficznych. Ciek stały bez jakichkolwiek dopływów (na mapie w skali 1: 100 000) stanowi pojedynczy elementarny potok. W związku z tym, złożoność struktury rzeki wzrasta w zależności od jej rzędu.

W badaniu przeanalizowano następujące zagadnienia:

1. Wybrano parametry morfometryczne charakteryzujące stan systemów rzecznych w danym odcinku czasowym: rząd cieku, całkowita liczba cieków w danym systemie, całkowita długość cieków dla każdego rzędu, średnia długość cieków dla każdego rzędu, udział liczby cieków i ich długości w każdym rzędzie, wskaźnik bifurkacji, gęstość sieci rzecznej.
2. Porównano mapy topograficzne w tej samej skali, ale z różnych lat, dzięki czemu odczytano zmiany w regulacji rzek, zmiany w zalesieniu, zaoraniu stoków, zagęszczeniu obszarów zabudowanych oraz sieci komunikacyjnej.
3. W oparciu o analizę map wyliczono wybrane parametry morfometryczne

i przeanalizowano zmiany ich wartości. Pojawienie się lub zanik wybranych elementów oraz zmianę rzędu ciekę interpretowano jako zmianę w strukturze systemu rzeczneę.

4. Przeprowadzono ilościową ocenę skali długookresowych zmian na podstawie obliczoneę wskaźnika transformacji struktury systemów rzecznych. Wskaźnik ten wyliczono w sposób następujący: $K_t = [(n_1 - n_2) / n_1] * 100\%$, gdzie n_1, n_2 – liczba (długość) ciekę w danym rzędzie na początku i na końcu okresu badawczeę (Kowalczyk 1997). Porównano parametry struktury systemu rzeczneę dla okresów 1855–1875, 1925–1935, 1955–1975 i 2000–2005. Porównanie tendencji transformacji pozwoliło określić rodzaj i intensywność procesów.
5. Otrzymano serię kartogramów w skali 1:100 000 przedstawiających gęstość sieci rzeczneę dla danych przedziałów czasowych oraz zbiorczy kartogram, przedstawiający całkowite zmiany gęstości sieci rzeczneę.

OBSZAR BADAŃ

Badane systemy rzeczne położone są w dorzeczu Górnego Dniestru w NW części Karpat Ukrainińskich. Są to odcinki źródłowe Dniestru (aż do Sambora) oraz następujących rzek: Zawadka, Bystrzyca, Swicza, Prut, Czeczwa i Łukwa. Najczęściej występujące skały podłoża to piaskowce, aleuryty, argility, konglomeraty oraz piaskowcowo-ilaste skały fliszowe. Badany teren cechuje wysoki potencjał erozyjno-denudacyjny, zróżnicowane ruchy neotektoniczne oraz intensywny przebieę procesów erozyjnych, akumulacyjnych i stokowych. Zbocza dolin rzecznych są głównie typu schodoweę. W dnach dolin można wyróżnić wysokie tarasy erozyjne i niskie akumulacyjne (1–2 m nad równię zalewową).

Na badanym obszarze występują bardzo niestabilne warunki hydro-meteorologiczne. Średnia temperatura powietrza w styczniu wynosi od $-6,0^{\circ}\text{C}$ do $-4,5^{\circ}\text{C}$, w lipcu od $+18,0^{\circ}\text{C}$ do $+16,5^{\circ}\text{C}$. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych wynosi od 800 do 900 mm. Średnie przepływy z wielolecia wynoszą od 2,5 do 23,8 m^3/s . W korycie Dniestru średni przepływ waha się od 4,99 m^3/s (koło miejscowości Strzałki), 9,58 m^3/s (koło Sambora), 23,5 m^3/s (koło Czajkowiec) 47,9 m^3/s (w miejscowości Rozwadów) i 153,0 m^3/s (w Haliczu). Średnia roczna suma opadów wynosi 650–1100 mm. Średni dobowy opad maksymalny w Karpatach Ukrainińskich wynosi od 32 do 80 mm, przy czym najwyższe sumy opadów notowane są górnych odcinkach Bystrzycy Nadworniańskiej, Bystrzycy Sołotwińskiej oraz Limnicy i Swiczy. Wysokie opady w połączeniu z cechami skał podłoża i żywymi ruchami neotektonicznymi stanowią jeden z głównych czynników intensyfikujących przebieę procesów rzecznych i powstania charakterystycznej struktury systemu rzeczneę.

WAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ

Stworzono serię map przedstawiających strukturę systemów rzecznych w latach 1875, 1925, 1955, 1975 i 2000 wraz z kierunkami zmian dla okresu 1875–2005 dla korelacji między parametrami analizowanych struktur, gęstością sieci rzecznej i szatą roślinną, a skalą i intensywnością transformacji systemów rzecznych. Ponadto stworzono mapy zmian tych parametrów dla okresu 1875–2005 dla reprezentacyjnych zlewni.

Rzędy I i II stanowią odpowiednio 68–82% i 16–24% całkowitej liczby cieków w systemach rzek IV i V rzędu. Średnia długość cieków I i II rzędu wynosi odpowiednio 0,5–1,2 km i 1,2–2,5 km.

W systemach rzek uchodzących do górnego Dniestru całkowita liczba cieków I-III rzędu w okresie 1855–2005 zmalała (tab. 1). Pięć z ośmiu rzek obniżyło swoją rangę z V do IV, tylko trzy rzeki zachowały swoją rangę (Ropianka (IV), Lehnewa (IV) i Mszanka (V)). Wskaźnik bifurkacji $r_b = n_1/n_2$ przyjmuje wartości od 2,8 do 5,2.

Wskaźnik transformacji struktury systemów rzecznych (zmiana całkowitej liczby cieków) jest dodatni prawie wszędzie i przyjmuje wartości z przedziału 60–64% w zlewniach rzek uchodzących do górnego Dniestru. Wskaźnik transformacji całkowitej długości cieków wynosi 31–48%. Dominuje tendencja do zmniejszania długości rzek (szczególnie rzędu I i II), jednakże miejscami długość cieków uległa zwiększeniu. Proces ten jest charakterystyczny przede wszystkim dla cieków IV i V rzędu (–24%). Zwiększenie długości rzek dokonało się wskutek transformacji struktury systemów rzecznych: zmniejszenie rzędu cieku o 1 rząd przy równoczesnym zachowaniu rzędu cieku głównego.

Gęstość sieci rzecznej w dorzeczu górnego Dniestru w roku 1855 wynosiła od 1,4–2,4 do 1,6–3,5 km/km². Dominowały obszary o gęstości 1,8–2,7 km/km². W roku 1925 gęstość sieci rzecznej była mniejsza, wynosiła od 1,7–2,5 do 0,5–1,0 km/km². W roku 1975 gęstość sieci rzecznej nie przekraczała 2,0 km/km², w większości zlewni zmniejszyła się do 0,1–1,5 km/km², tylko w niektórych miejscach (w zlewni Lehneva, w dolinie Dniestru graniczącej z Pogórzem) wzrosła.

W zlewni Bystrzycy liczba i długość cieków I rzędu stanowią odpowiednio 70–80% i 50–57% liczby i długości wszystkich rzek tego systemu. Liczba cieków II rzędu stanowi 15–17%, a ich łączna długość 22%, liczba cieków III rzędu stanowi 4%, a ich łączna długość 13%. Liczba cieków IV i V rzędu i ich łączna długość stanowią odpowiednio 0,2–0,8% i 5–7%. Taka struktura systemu rzeczno jest podatna na zmiany wywołane czynnikami naturalnymi (zmiana klimatu, ruchy tektoniczne, zmiany poziomu wody, itd.) oraz antropogenicznymi (rolnictwo, wylesianie, pobór wody, itd.).

W badanym okresie 1875–2005 główna tendencja do zmniejszania się całkowitej liczby i długości cieków spowodowana jest zanikiem cieków w górnych

Tabela 1. Transformacja struktury systemów rzecznych Karpat Ukrainkich
Table 1. Transformation of the river system structure in the river basins of Ukrainian Carpathians

Rząd ciek River order	I						II						III						IV						V					
	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1
Nazwa ciek Name of the river	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1	n_1	n_2	k_n	l_1	l_2	k_1
Topylnica	256	90	65	114	76	33	64	22	66	42	26	38	15	6	60	25	20	20	4	1	75	9	12	-25	1	-	-	12	-	-
Jasienica	191	61	68	84	29	65	52	15	71	38	23	40	8	4	50	20	13	35	3	1	67	5	8	-38	1	-	-	8	-	-
Ropianka	55	33	40	25	15	40	15	12	20	12	5	58	2	3	-33	4	5	-20	1	1	0	4	4	0	-	-	-	-	-	-
Dniestr odc. źródłowy	237	86	64	90	42	53	60	24	60	53	36	32	12	5	58	23	12	48	3	1	67	4	9	-55	1	-	-	9	-	-
Lekhneva	49	36	26	28	43	-54	13	10	23	16	16	0	4	3	25	7	4	43	1	1	0	5	5	0	-	-	-	-	-	-
Mszanka	252	86	66	102	104	-2	78	28	64	73	43	41	23	5	78	30	7	77	5	2	60	10	7	30	1	1	0	14	8	43
Linyńka	172	61	65	70	64	9	48	15	69	37	19	49	15	4	73	14	8	43	4	1	75	13	16	-19	1	-	-	14	-	-
Jabłonka	139	45	68	63	25	60	42	9	79	31	24	23	9	2	78	20	6	70	2	1	50	7	11	-36	1	-	-	10	-	-
Zawadka	363	150	59	131	125	5	40	33	18	108	40	63	22	7	68	52	22	58	4	3	25	12	11	8	1	1	0	17	16	6
Pрут odc. źródłowy	140	71	49	87	35	60	39	18	54	39	33	15	10	3	70	17	12	29	2	1	50	9	9	0	-	-	-	-	-	-
Biała Czeremosza	158	354	-55	118	234	-50	46	87	-47	56	87	-36	10	24	-58	32	44	-27	3	6	-50	18	28	-36	1	3	-	7	12	-42
Wisienka	36	66	-45	27	43	-37	11	13	-15	13	12	8	3	3	0	11	10	9	1	1	0	8	10	-20	-	-	-	-	-	-
Ilca	249	88	65	126	95	25	83	19	77	81	35	57	19	6	68	32	14	56	6	2	67	15	5	67	2	1	50	7	7	0
Beskiew	207	65	69	77	58	25	57	13	77	42	13	69	11	2	81	14	13	7	2	1	50	12	6	50	1	-	-	6	-	-
Swicz	1048	1014	3	873	845	3	250	241	4	346	334	4	67	64	5	165	160	3	11	10	9	120	115	5	2	2	0	64	64	0

częściach zlewni. Największej transformacji ulegają cieki niskiego rzędu (I i II), które wykazują największą wrażliwość na czynniki antropogeniczne. Najlepiej obrazuje to system rzeki Worona, gdzie 35% rzek uległo przeobrażeniu (w tym 80% stanowią cieki I rzędu).

W całej zlewni liczba cieków III i IV rzędu nieznacznie wzrosła, co spowodowane było budową kanałów melioracyjnych. Jednakże całkowita, jak i średnia długość cieków III i IV rzędu zmalała.

Gęstość sieci rzecznej w zlewni Bystrzycy zmienia się od 1,3–1,5 km/km² (w górach) do 0,5–0,8 km/km² (na pogórzach). W badanym okresie maksymalna gęstość zmalała od 3–3,3 km/km² w 1875 do 2,5–2,8 km/km² w 2005. Zmniejszeniu uległa także średnia gęstość. Lokalnie gęstość sieci rzecznej uległa zwiększeniu w miejscach, gdzie powstały kanały melioracyjne w połowie XX w.

Średnia gęstość sieci rzecznej w górnej części zlewni Prutu wynosi około 3 km/km² i jest to największa wartość tego parametru dla Beskidów Ukrainińskich. Spadek koryt rzecznych wynosi tu od 20 do 80 m/km. W górnej części zlewni Prutu całkowita liczba oraz łączna długość cieków I rzędu stanowią odpowiednio 73–76% oraz 35–54%. Liczba cieków II rzędu stanowi 20% liczby cieków tego systemu, natomiast łączna długość cieków II rzędu stanowi 33%. Analogiczne wartości dla cieków III rzędu wynoszą 3–5% (liczba) oraz 11–15% (łączna długość), natomiast dla cieków IV i V rzędu są to: do 1,3% liczby cieków i 10% łącznej ich długości.

Biorąc pod uwagę długookresowe tendencje zmian struktury systemu rzeczno-Prutu, jak i wielu innych rzek w Beskidach Ukrainińskich, w połowie XX w., można zaobserwować wzrost liczby cieków I i II rzędu. Większość nowych cieków pojawiła się w związku z budową kanałów melioracyjnych oraz w związku ze wzrostem sumy opadów atmosferycznych w Karpatach. Cieki I rzędu stanowią 75% wszystkich nowych cieków. Rząd głównego cieku oraz cieków III-IV rzędu nie uległ zmianie, ale całkowita długość cieków wzrosła. Średnia długość małych cieków wynosi 0,2–0,5 km. Większość nowych cieków położona jest w zlewni Czarnego Czeremoszu. W okresie 1955–2000 w całej zlewni Prutu obserwuje się stabilną tendencję zmniejszania się liczby cieków i ich długości oraz zmniejszania się gęstości sieci rzecznej. Liczba cieków I rzędu zmniejszyła się o 40% w badanym okresie, cieków II rzędu o 57%, a III rzędu o 67%.

W zlewni Czeczwy udział cieków I i II rzędu wynosi 94% całkowitej liczby cieków, a łączna długość tych cieków stanowi 75% całkowitej łącznej długości cieków tej zlewni. Liczba cieków III rzędu stanowi 5% całkowitej liczby cieków, natomiast łączna długość cieków tego rzędu stanowi 12% całkowitej łącznej długości cieków tej zlewni. W zlewni Czeczwy w latach 1925–1955, aż 150 cieków przestało istnieć i równocześnie powstało 137 innych cieków. Taka transformacja dotyczy głównie cieków I i II rzędu. Średnia długość cieków I i II rzędu zmniejszyła się o 15–20%. W całym okresie badań całkowita liczba cieków

wzrosła o 10%, a ich łączna długość wzrosła o 17%. Czeczwa jest rzadkim przykładem rozwoju systemu rzecznego, gdzie nie zaszły procesy degradacji sieci rzecznej.

System rzeczny Łukwy charakteryzuje się stosunkowo mniejszym udziałem cieków I i II rzędu. Liczba cieków I rzędu stanowi 73% liczby cieków, a ich łączna długość 40% całkowitej łącznej długości cieków tego systemu. Liczba cieków II rzędu stanowi ponad 20% liczby cieków, a ich łączna długość 19% całkowitej łącznej długości cieków tego systemu. Dla cieków III rzędu są to wartości odpowiednio 5% oraz 12%. Średnia długość cieków I rzędu wynosi 1,46 km, II rzędu 2,36 km, III rzędu 5,35 km, IV rzędu 60 km.

W okresie 1875–2005 liczba cieków I rzędu zmniejszyła się o 10–15%, natomiast II i III rzędu zmniejszyła się jedynie o 2–5%. Częściowo za taką stabilność odpowiedzialna jest budowa sieci kanałów melioracyjnych oraz zmiany klimatu.

Wyniki badania wskazują, że najbardziej widoczne zmiany dotyczą zlewni, które uległy transformacji ekonomicznej. Zmianom uległy głównie cieki I i II rzędu.

Przeprowadzając analizę map i niedawno opublikowanych monografii potwierdzono, że intensywne procesy degradacji struktury systemów rzecznych w Karpatach Ukrainińskich spowodowane zostały głównie wylesianiem, wzrostem areału gruntów rolnych oraz intensywną eksploatacją żwiru w korytach rzek (Kowalczyk 1997). Mniejszy wpływ miały zmiany warunków hydro-meteorologicznych.

WNIOSKI

W badanym okresie dominowały procesy degradacji struktury systemów rzecznych. Największe zmiany w strukturze systemów rzecznych występują w dorzeczach, które są stosunkowo dobrze rozwinięte gospodarczo i rolniczo, położonych w górach niskich i na pogórzach (wskaźnik transformacji wynosi do 30%). Największej transformacji uległy cieki I i II rzędu.

W długim przedziale czasowym można zaobserwować tendencje do zamulania górnych odcinków rzek i zmniejszania ich długości oraz do zmniejszania się gęstości sieci rzecznej (8–20%). Lokalnie obserwuje się wzrost gęstości sieci rzecznej wskutek wybudowania kanałów melioracyjnych lub wzrost wielkości odpływu wód podziemnych wskutek intensywnej erozji.

W badanym okresie (1875–2005) obserwuje się intensywne zmiany komponentów środowiska Karpat Ukrainińskich. Zmiany te dotyczą przede wszystkim wód powierzchniowych, szaty roślinnej oraz użytkowania terenu.

W wyniku przeprowadzonego badania wskazano zlewnie w Karpatach Ukrainińskich, które uległy transformacji w największym stopniu. Zlewnie te powinny jako pierwsze zostać objęte planami ochrony, zmierzającymi do renaturyzacji małych rzek, poprawy sytuacji ekologicznej w dolinach oraz zapobiegania ekstremalnym procesom geomorfologicznym.

Na podstawie wnikliwego zastosowania metody analizy sieci koryt cieków według Strahlera-Filosofova autorzy doszli do wniosku, że nie wszystkie mapy nadają się do takiej analizy. Nie wszystkie mapy muszą zawierać dobre informacje, nawet jeśli powstały w ostatnich latach. Mapy do tego typu badań wymagają gruntownej analizy pod względem dokładności i ogólnej manieri wyrysowania rzeźby, szczególnie w górskich obszarach zalesionych.

Literatura

- Bogacki M., Kowalczyk I., 2000. *Geomorfologia ekologiczna systemów fluwialnych*. WGiSR UW, Warszawa.
- Bogacki M., Kowalczyk I., Mykhnovych A., 2000. The dynamics of the river network structure in the Dnister basin as reaction on the anthropogenic changes of nature conditions. *Miscellanea Geogr.* 9, Warszawa, 1–18.
- Chalov R., 1999. Typology of river channel process and the regional differentiation of river channels in Russia and neighbouring countries. River channels: pattern, structure and dynamics. *Prace Geogr. IGUJ* 104, 125–139.
- Dynesius M., Nilsson C., 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266, 753–762.
- Filosofov V., 1959. Poriadki dolin i ikh ispolzovaniye pri geologichieskikh issledovaniyakh. *Nauchnyi Yezhegodnik za 1955 god*, 33–50.
- Horton R., 1948. *Eroziionnoye razvitiye riek i vodosbornykh bassieynov*.
- Korytnyi L., 1984. Morfometriczeskiye charakteristiki riechnogo bassieyna. *Geografiya i Prirodnyie Resursy* 3, 105–112.
- Kowalczyk I., 1997. *Regionalnyy ekologo-geomorfologichnyi analiz*.
- Krzemień K., 1999. Structure and dynamics of the high-mountain channels of river Plima in the Ortler-Cevedale Massif (south Tirol). River channels: pattern, structure and dynamics. *Prace Geogr. IGUJ* 104, Kraków, 41–56.
- Makkaveev N., 1955. *Rusło rieki i erozija w jeje bassiejnie*.
- Makkaveev N., Chalov R., 1986. *Ruslovyje processy*.
- Nikora W., 1992. *Ruslovyje processy i gidravlika malykh riek*.
- Strahler A., 1952. Hypsometria (area altitude) analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 63, 1117–1142.
- Shirokov V., 1992. Formirovaniye prirodno-antropogiennoi gidrografichieskoi sieti na primierie Bielorusii. *Landshaftno-gidrologichieskiy analiz territorii*, 130–135.