

SKŁAD CHEMICZNY WÓD PODZIEMNYCH W STREFIE KONTAKTU Z SIEDLISKAMI HYDROGENICZNYMI

CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER IN THE CONTACT ZONE WITH HYDROGENOUS HABITATS

TATIANA SOLOVEY¹, KRZYSZTOF JÓZWIAK¹

Abstrakt. W artykule przedstawiono wyniki wykonanych w 2017 r. badań składu chemicznego wód podziemnych 61 siedlisk hydrogenicznym znajdujących się w obrębie Polski. Badane obiekty prezentują cztery rodzaje siedlisk (mułowiska, namuliska, podmokliska i torfowiska) usytuowane w ośmiu typach form morfogenetycznych. Przeprowadzono analizę wpływu różnorodnych osadów organicznych na kształtowanie składu chemicznego wód podziemnych występujących w ich strefie kontaktowej. Na podstawie otrzymanych wyników można wnioskować, że rodzaj osadów organicznych rzutuje na specyfikę składu chemicznego wód podziemnych w otoczeniu siedlisk hydrogenicznym. Wody podziemne torfowisk cechują się najwyższymi stężeniami składników zależnych od rozkładu substancji organicznej, natomiast mułowisk – metali ciężkich.

Słowa kluczowe: chemizm wód podziemnych, siedlisko hydrogeniczne, torfowisko, substancja organiczna.

Abstract. The paper presents the research results of groundwater chemical composition in 61 hydrogenous habitats in Poland in 2017. The examined objects represent four types of habitats (telmatic organic marshes, alluvial mineral marshes, periodic moistlands and peatlands) located in eight different sorts of geomorphological forms. The impact analysis of diverse organic sediments on groundwater chemical composition in their contact zone has been conducted. The results reveal that the type of organic sediments impinges on the idiosyncrasy of groundwater chemical composition in the surroundings of hydrogenous habitats. The groundwater of peatlands is characterized by the highest concentrations of elements depending on organic matter decomposition, while the groundwater of telmatic organic marshes – of heavy metals.

Key words: groundwater chemistry, hydrogenous habitat, peatland, organic matter.

WSTĘP

Siedlisko hydrogeniczne to obszar, którego podłoże oraz samo siedlisko przez większą część roku jest przesycone wodą, która decyduje o jakościowym i ilościowym rozwoju zbiorowisk roślinnych, a także o nasileniu i kierunku przebiegu procesów przeobrażających wytworzoną masę organiczną oraz akumulację organicznych utworów glebowych (Dembek, 2000; Mitsch, Gosselink, 2000; Haslam, 2003; Bertrand i in., 2012; Solovey, 2019). Siedliska hydrogeniczne, w związku z właściwościami wypełniających je osadów organicznych, mają decydujący wpływ na

kształtowanie składu chemicznego wód podziemnych występujących w ich strefie kontaktowej. Opisywane w literaturze wyniki analiz składu chemicznego torfowisk wskazują na dominującą rolę procesów biogenicznych z udziałem substancji organicznej ulegającej biodegradacji oraz podrzędnie procesy przemiany części mineralnych zawartych w osadach organicznych (Verhoeven i in., 1990; Hugnes, Heathwaite, 1995; Wassen, 1995; Sapek i in., 2007; Porowska, Leśniak, 2008; Jaszczyński, 2011; Porowska, Małecki, 2011; Ścibior i in., 2015).

Celem badań była analiza składu chemicznego wód podziemnych w strefie kontaktu z siedliskami hydrogenicznymi

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: tatiana.solovey@pgi.gov.pl, krzysztof.jozwiak@pgi.gov.pl.

ze zróżnicowanym rodzajem osadów organicznych. Do badań wytypowano 61 siedlisk hydrogenicznych, gdzie w stropie utworów wodonośnych występuje co najmniej półmetrowa warstwa osadów organicznych (torf, namuł, muł, organiczne gleby ściółkowe). Podstawowym kryterium doboru siedlisk była ich lokalizacja w okolicach punktu krajowej sieci monitoringu wód podziemnych.

Badane siedliska hydrogeniczne sklasyfikowano ze względu na procesy glebotwórcze – torfowiska, podmokliska, namuliska i mułowiska (Okruszko, 1992). W siedliskach tych rozróżnia się pięć głównych procesów: próchnicowy, bagienny, błotny, namywanie i gytiotwórczy (Żurek, 1990).

Na [figurze 1](#) przedstawiono lokalizację i rodzaj badanych siedlisk hydrogenicznych. Wśród nich dominują torfowiska (23 obiekty), namuliska (14), podmokliska (14) i mułowiska (10). Według kryteriów geomorfologicznych dominująca część obiektów jest usytuowana w dolinach rzecznych (45 siedlisk). Ogólnie na podstawie ich umiejscowienia w rzeźbie terenu badane siedliska zaklasyfikowano do ośmiu grup przedstawionych na [figurze 2](#).

Najliczniejszą i najbardziej zróżnicowaną grupę obejmują siedliska w dolinach rzecznych, głównie w strefie tarasów zalewowych. Namuliska dominują w obrębie starorzeczy, w strefach przykrawędziowych tarasów nadzalewowych występują torfowiska, w głębszych najbardziej uwodnionych zagłębieniach bezodpływowych koncentrują się mułowiska, w płytszych – podmokliska.

METODA BADAŃ

Wytypowane do badań siedliska były umiejscowione w bezpośredniej bliskości punktu krajowej sieci monitoringu wód podziemnych. Wykonywane w siedliskach piezometry

były położone w odległości nieprzekraczającej 300 m na kierunku spływu wód podziemnych od punktu monitoringu.

W obrębie każdego z badanych siedlisk wykonano jeden piezometr, przewiercając całą miąższość osadów organicznych. Otwory filtrowano tak, żeby część robocza filtru obejmowała 0,2 m poniżej zwierciadła wody podziemnej, a w przypadku punktów o zwierciadle naporowym – do 0,2 m poniżej spągu siedliska. Miąższość osadów w badanych punktach była zmienna: 0,5–1,0 m (44 punkty), 1,0–3,0 m (15 punktów), 3,0–4,0 m (2 punkty). Zwierciadło wody podziemnej w 52 punktach miało charakter swobodny, a w dziewięciu – napięty.

Terenowe i laboratoryjne badania wód podziemnych prowadzono od lipca do października 2017 r.

Próbki wód podziemnych uzyskano z warstwy wodonośnej podścielającej osady organiczne oraz z otworów badawczych krajowej sieci monitoringu wód podziemnych znajdujących się na drodze przepływu wód bezpośrednio powyżej badanych obiektów. Głębokość występowania stropu warstw wodonośnych w punktach badanych siedlisk waha się od 0,5 do 4,0 m p.p.t., przy czym 72% siedlisk znajduje się w stropowej części warstwy wodonośnej o stropie występującym nie głębiej niż 1 m p.p.t. Łącznie do badań pobrano 61 próbek wód. Ich wyniki korelowano z analizami z punktów monitoringu stanu chemicznego wód podziemnych opróbowanych w marcu 2017 r. w ramach monitoringu operacyjnego jednolitych części wód podziemnych (JCWPd).

Bezpośrednio w terenie mierzono temperaturę wody, odczyn pH oraz przewodność elektrolityczną właściwą (PEW) (Witczak, Adameczyk, 1995). Filtrowane i zakwaszane były tylko próbki przeznaczone do oznaczeń kationów, rtęci oraz DOC. Pobrano je i dostarczono do Centralnego Laboratorium Chemicznego (CLCh) Państwowego Instytutu Geo-

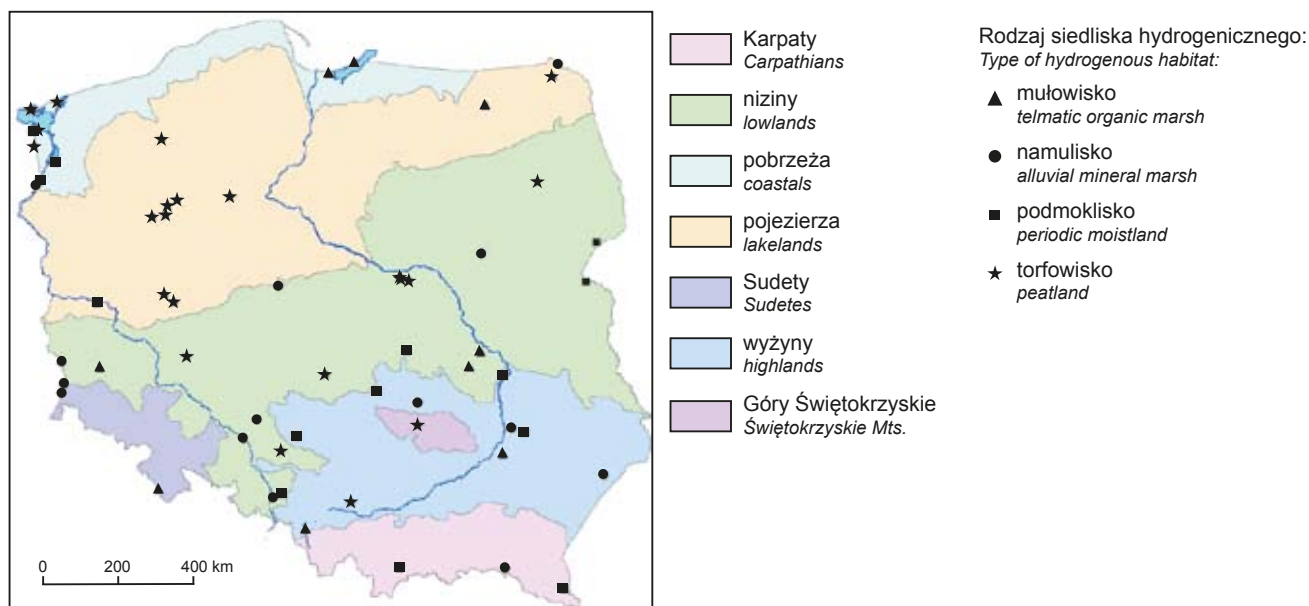


Fig. 1. Lokalizacja i rodzaj badanych siedlisk hydrogenicznych

Locations and type of hydrogenous habitats

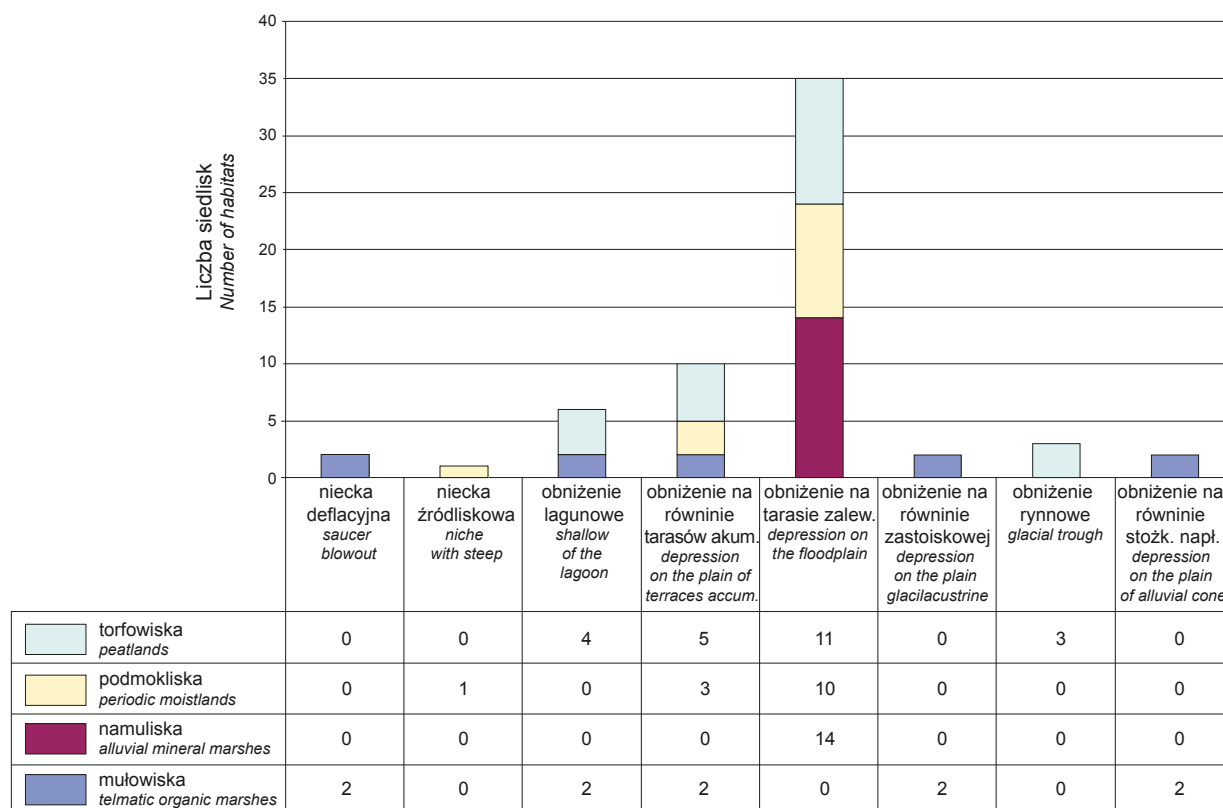


Fig. 2. Zróżnicowanie siedlisk hydrogenicznych w nawiązaniu do uwarunkowań morfogenetycznych

Diversity of hydrogenous habitats with reference to morphogenetic conditions

logicznego – PIB w Warszawie zgodnie ze stosowanymi w CLCh procedurami akredytacyjnymi.

Zakres badań analitycznych obejmował oznaczenie zawartości składników wód podziemnych w zakresie identycznym jak w krajowej sieci monitoringu wód podziemnych.

Próbę określenia udziału procesów geogenicznych i/lub antropogenicznych w kształtowaniu składu chemicznego wód podziemnych w badanych siedliskach podjęto na drodze modelowania hydrogeochemicznego z zastosowaniem programu PHREEQC. Modelowanie specyacyjno-rozpuszczalnościowe przeprowadzono dla wszystkich 61 analiz wód, dla pełnego zakresu oznaczeń.

Do dalszej oceny wzięto pod uwagę te parametry fizyko-chemiczne wód podziemnych siedlisk (dla każdej próbki), które kwalifikowały dane wody do IV lub V klasy jakości wody (Rozporządzenie..., 2015) lub były wyraźnie wyższe (o ponad rząd wielkości) w stosunku do wartości tego samego parametru w punkcie krajowej sieci monitoringu chemicznego, zlokalizowanego na linii przepływu wód podziemnych do badanego siedliska. Do takich wskaźników zaliczono: Al, As, Ca, F, Fe, HCO₃, K, Mo, Mn, N-NH₄, Ni, NO₂, HPO₄, SO₄, U, pH, DOC i PEW.

O pochodzeniu antropogenicznym ww. składników zdecydowano na podstawie analizy rozkładu specjacji. W siedliskach uznanych za naturalne zazwyczaj dominuje od jednej do trzech specjacji danego pierwiastka (Jóźwiak, 2013), przy czym przeważający udział ma jedna forma (najczęściej ponad 50%). Zmiany wywołane antropopresją w takich re-

jonach (przy braku zmian stężeń analitycznych) wywołują zaburzenia w rozkładzie poszczególnych form. Zaburzenia te są obserwowane w dwóch formach: (1) ilość specjacji pozostaje mniej więcej stała, zmianie ulegają tylko proporcje między nimi; (2) zmianie ulegają nie tylko proporcje między dominującymi specjacjami, lecz także wzrasta ilość specjacji (Jóźwiak, 2013).

WYNIKI BADAŃ

Obecność i rodzaj substancji organicznej w ośrodku skalnym ma odzwierciedlenie w składzie fizyko-chemicznym wód podziemnych (tab. 1). W torfowiskach substancja organiczna charakteryzuje się najniższym stopniem humifikacji i najmniejszą zawartością części mineralnych (Gotkiewicz, 1983). Osady mułowisk, namulisk i podmoklisk cechują się przewagą rozłożonej substancji organicznej, wskutek czego obserwują się podwyższoną zawartość azotu ogólnego, koloidów organicznych i kompleksów mineralno-organicznych, w szczególności w mułach (Okruszko, Piaścik, 1990).

Od procesów mineralizacji substancji organicznej w wodach strefy kontaktowej badanych siedlisk najbardziej zależne są: pH, DOC, N-NH₄, NO₃, HPO₄, K, Na, Fe, Al, Ca, Mg, Mn i SO₄ (Gehrels, Mulamootil, 1989; Pawluczuk, 2001; Sapek, 2009; Chormański i in., 2011). Wody badanych torfowisk, ze względu na kilkakrotnie wyższą zawartość substancji organicznej w osadach niż w pozostałych rodzajach

Tabela 1

**Skład chemiczny wód podziemnych badanych siedlisk hydrogenicznych
(podano kolejno: medianę, minimum i maksimum; w nawiasach – liczba próbek)**

Chemical composition of groundwater in studied hydrogenous habitats
(given sequence: median, minimum and maximum; in parentheses is the number of samples)

	PEW [μS/cm]	pH [-]	HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	Cl [mg/dm ³]	SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	N-NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	NO ₂ ⁻ [mg/dm ³]	Ca [mg/dm ³]
Torfowiska (23)	585	6,96	214	23,0	103,0	0,34	0,87	0,01	97,6
	67	4,01	<24	2,1	3,1	0,05	0,06	<0,01	8,2
	1508	7,87	720	100,0	396,0	7,12	18,20	9,89	307,0
Mułowiska (10)	109	6,58	60	4,3	20,1	0,66	0,49	0,01	16,7
	52	5,02	<24	2,2	1,2	<0,05	<0,01	<0,01	7,5
	1962	7,65	878	253,0	800,0	3,39	29,20	1,18	524,0
Namuliska (14)	368	6,49	92	10,6	27,6	0,45	0,24	0,01	45,4
	49	5,62	<24	3,6	2,5	<0,05	0,04	<0,01	2,0
	696	7,66	517	128,0	134,0	5,69	60,30	0,06	146,0
Podmokliska (14)	340	6,97	150	10,4	33,2	0,22	0,84	0,01	49,9
	100	6,12	9	2,7	4,2	<0,05	0,11	<0,01	5,9
	655	7,57	323	38,7	204,0	2,71	180,00	0,19	137,0

	K [mg/dm ³]	Na [mg/dm ³]	Mg [mg/dm ³]	DOC [mg/dm ³]	HPO ₄ ³⁻ [mg/dm ³]	Fe [mg/dm ³]	Mn [mg/dm ³]	Al [μg/dm ³]	SiO ₂ [mg/dm ³]
Torfowiska (23)	1,3	14,6	8,9	21,0	<0,30	1,02	0,274	64,4	14,4
	<0,5	1,8	0,8	<1,0	<0,30	<0,01	0,020	2,8	5,4
	72,3	87,8	36,4	168,0	<0,30	7,34	3,374	25016,0	70,9
Mułowiska (10)	2,0	12,2	3,2	19,0	0,15	0,70	0,113	441,0	14,4
	1,2	2,2	0,5	1,1	<0,30	0,02	0,025	2,3	8,3
	24,3	177,0	44,0	455,0	7,83	4,78	1,468	1759,0	23,6
Namuliska (14)	1,4	7,6	7,3	5,6	<0,30	0,62	0,542	22,2	21,1
	<0,05	4,4	0,7	1,3	<0,30	<0,01	0,004	2,9	8,4
	6,6	71,7	16,9	1210,0	<0,30	33,20	2,750	2358,0	54,5
Podmokliska (14)	1,2	8,3	7,1	9,3	<0,30	0,37	0,087	205,0	12,9
	<0,5	1,1	0,8	<1,0	<0,30	<0,01	0,002	1,3	5,0
	19,7	23,8	13,3	200,0	<0,30	62,40	4,230	1550,0	33,6

	As [μg/dm ³]	U [μg/dm ³]	Mo [μg/dm ³]	V [μg/dm ³]	Ti [mg/dm ³]	Ni [μg/dm ³]	Sb [μg/dm ³]
Torfowiska (23)	3,0	0,19	0,63	3,0	0,002	2,0	0,25
	<2,0	<0,05	0,07	<1,0	<0,002	<0,5	<0,05
	22,0	12,72	9,64	14,0	0,015	9,3	1,37
Mułowiska (10)	3,0	0,27	0,75	4,0	0,012	4,3	0,33
	<2,0	<0,05	0,06	<1,0	<0,002	0,7	0,15
	43,0	35,13	3,42	49,0	0,060	9,6	5,35
Namuliska (14)	2,0	0,13	0,24	1,0	0,002	1,7	0,17
	<2,0	<0,05	<0,05	<1,0	<0,002	<0,5	<0,05
	47,0	13,00	10,81	13,0	0,060	7,4	2,57
Podmokliska (14)	3,0	0,23	0,54	3,0	0,005	2,7	0,30
	<2,0	<0,05	0,11	<1,0	<0,002	<0,5	0,05
	24,0	2,55	24,10	29,0	0,023	13,1	1,62

	Pb [μg/dm ³]	B [mg/dm ³]	Zn [mg/dm ³]	Cu [μg/dm ³]	Cd [μg/dm ³]	Fenole [mg/dm ³]	Be [μg/dm ³]
Torfowiska (23)	0,22	0,04	0,025	0,274	0,05	0,003	0,05
	<0,05	0,01	<0,003	0,020	<0,05	<0,003	<0,05
	7,97	0,78	0,103	3,370	0,72	0,029	3,88
Mułowiska (10)	0,52	0,03	0,008	3,740	0,05	0,003	0,05
	0,06	<0,01	0,004	0,880	<0,05	<0,003	<0,05
	18,10	0,19	0,076	15,160	0,34	0,081	0,35
Namuliska (14)	0,08	0,03	0,013	1,160	0,05	0,003	0,05
	<0,05	<0,01	<0,003	0,260	<0,05	<0,003	<0,05
	2,46	0,31	0,117	5,930	1,04	0,006	0,63
Podmokliska (14)	0,34	0,03	0,011	2,050	0,05	0,003	0,05
	<0,05	0,01	<0,003	0,350	<0,05	<0,003	<0,05
	3,04	0,22	0,077	11,700	0,08	0,014	0,11

siedlisk, wykazywały najczęściej wyższe stężenia (mediana) DOC, NO₃, Na, Fe, Ca, Mg i SO₄ (tab. 1). W torfowiskach odnotowano również najwyższe średnie (mediana) stężenia HCO₃, B, Zn.

W mułowiskach zaobserwowano natomiast wyższą zawartość N–NH₄, HPO₄, K, Al (tab. 1), co jest naturalnie właściwe ze względu na dominację frakcji ilastych, w powiązaniu z którymi tworzą się kompleksy organiczno-mineralne. Ponadto wody z mułowisk wyróżniają się najwyższym stężeniem metali ciężkich – U, Mo, V, Ti, Ni, Sb, Pb, Cu (tab. 1). Głównym powodem tego są duże zdolności sorpcyjne uwodnionych tlenków Fe i Mn, tworzących otoczki na minerałach ilastych oraz materii organicznej, a więc podstawowych składników osadów mułowisk (Förstner i in., 1990). Okres poboru próbek zbiegł się z występowaniem niskich stanów wód podziemnych, co wpłynęło na ograniczenie procesów anaerobiozy i przesunięcie warunków redoks środowiska ku procesom aerobowym. W tym okresie zaadsorbowane metale ciężkie w mułach łatwo przechodzą do środowiska wodnego, powodując podwyższenie ich stężeń.

Podwyższone stężenia Al (441 µg/dm³) w mułowiskach są typowe dla kwaśnych wód i wynikają prawdopodobnie ze znacznego wysycenia kompleksu sorpcyjnego glinem oraz selektywności tworzenia związków kompleksowych między jonami glinu a kwasami organicznymi (Porowska, Małecki, 2011). W mułowiskach odnotowano najniższe stężenia Cl (mediana 4,3 mg/dm³) i wartości PEW (109 µS/cm) – składników ściśle związanych z infiltracją opadów atmosferycznych.

Weryfikacja dominacji zasilania została wykonana, poza badaniami terenowymi, także na podstawie obliczenia stosunku stężeń jonów chlorkowych w wodach podziemnych punktów krajowej sieci monitoringu chemicznego znajdujących na drodze przepływu wód bezpośrednio powyżej badanych obiektów do zawartości tych jonów w wodach siedliska. Założono, że w punktach, w których zaobserwowano niższe stężenie jonu chlorkowego w wodach siedliska w stosunku do wód podziemnych ze strefy dopływu (w punktach sieci monitoringowej), dominuje zasilanie opadami atmosferycznymi. Zawartość chlorków w wodach mułowisk (w dominującej części obiektów) była zbliżona do stężeń chlorków w opadach atmosferycznych (na podstawie danych monitoringu opadów atmosferycznych i depozycji do podłoża). Przeprowadzona analiza wykazała, że w mułowiskach występują najwyższe wartości wskaźnika chlorkowego (mediana 5,4), co wskazuje na ścisłą zależność tych siedlisk od opadów atmosferycznych. W namuliskach mediana dla wskaźnika chlorkowego wynosi 1,1, wskazując na nieznaną dominację wód opadowych. W zasilaniu torfowisk i podmoklik przewagę mają natomiast wody podziemne, o czym świadczy wartość wskaźnika chlorkowego poniżej 1, z tym że podmoklika (wskaźnik chlorkowy = 0,6) wykazują większą zależność od wód podziemnych niż torfowiska (0,9).

W wodach pobranych z namulisk, mimo że większość składników występuje w najniższych stężeniach, wartości Mn i SiO₂ są kilka razy wyższe spośród pozostałych typów

siedlisk. Charakterystyczną cechą wód namulisk, zwłaszcza w warunkach zastoiskowych, jest większy niż dla innych środowisk stosunek stężeń Mn/Fe w wodach siedliska. Dla próbek wody z namulisk był on większy niż 0,1, a w wielu przypadkach (40%) zawartości Mn są niemal równe lub nawet przewyższają zawartości Fe. Stosunek stężeń Mn/Fe w namuliskach wahał się od 0,1 do 32,2, w torfowiskach – od 0,1 do 18,4, w podmoklikach – od 0,1 do 1,4, a w mułowiskach – od 0,1 do 1,7.

Anomalię manganu w wodach z osadów madowych na Niżu Polskim stwierdzili też Płochniewski i Pich (1966). Głównym powodem było współwystępowanie trzech czynników – dużej ilości kwasów humusowych w madach, niskiego pH wody oraz powolnego krążenia wód.

Wody podmoklik charakteryzują się najwyższą średnią wartością pH (6,97) i stosunkowo niskimi stężeniami HCO₃, Al i NO₃. Spośród badanych rodzajów siedlisk w najniższych stężeniach występują tu: N–NH₄, K, Fe, Mn i SiO₂ oraz w mniejszym stopniu DOC. Stosunkowo niskie stężenia tych składników wskazują na główną rolę w kształtowaniu składu chemicznego wód procesów jonowymiennych i rozpuszczania oraz wytrącania. Podrzędne znaczenie mają tu procesy biogeniczne z udziałem substancji organicznej ulegającej biodegradacji.

Spośród 61 punktów poddanych modelowaniu hydrogeochemicznemu, 36 punktów zakwalifikowano jako siedliska o zaburzonych antropogenicznie uwarunkowaniach hydrogeochemicznych (fig. 3), a 25 punktów – jako siedliska o niezaburzonych antropogenicznie uwarunkowaniach hydrogeochemicznych – podlegają wyłącznie wpływom czynników geogenicznych.

PODSUMOWANIE

Różnorodność utworów glebowych siedlisk hydrogeicznych ma odzwierciedlenie w cechach składu chemicznego wód podziemnych występujących w ich strefie kontaktowej. W większości wypadków decydującym czynnikiem był proces mineralizacji substancji organicznej, który przebiega z różną intensywnością w poszczególnych rodzajach siedlisk. Ogólnie dla torfowisk charakterystyczny jest najniższy stopień humifikacji substancji organicznej. Osady mułowisk, namulisk i podmoklik cechują się dominacją rozłożonej substancji organicznej, z tym że w ostatnich przewagę ma proces rozpuszczania części mineralnych.

Spośród analizowanych składników najistotniejszy wpływ rozkładu substancji organicznej stwierdzono dla stężeń: DOC, N–NH₄, NO₃, HPO₄, K, Na, Fe, Al, Ca, Mg, Mn i SO₄. Wody badanych torfowisk, ze względu na kilkakrotnie wyższą zawartość substancji organicznej w osadach niż w pozostałych rodzajach siedlisk, wykazywały najczęściej kilkakrotnie wyższe stężenia: DOC, NO₃, Na, Fe, Ca, Mg i SO₄. Wskaźniki N–NH₄, HPO₄, K i Al miały natomiast kilkakrotnie wyższe wartości w wodach pochodzących z mułowisk, a Mn – w namuliskach.

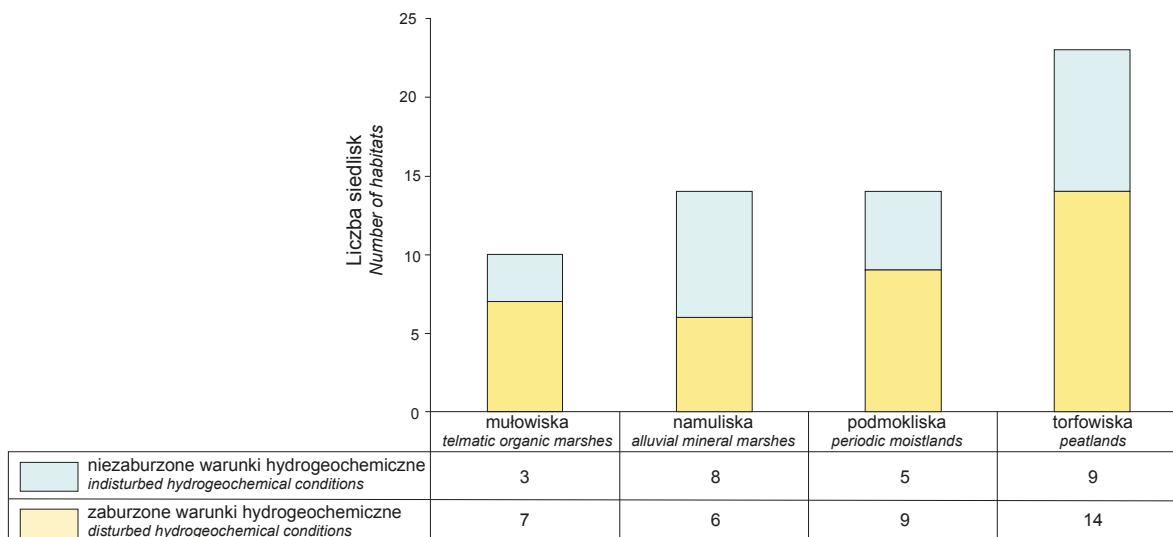


Fig. 3. Wpływ antropopresji na uwarunkowania hydrogeochemiczne (wg modelowania hydrogeochemicznego) siedlisk hydrogenicznych w nawiązaniu do ich rodzaju

Influence of anthropopression on hydrogeochemical conditions (according to hydrogeochemical modelling) of hydrogenous habitats with reference to their type

W wodzie z mulowisk stwierdzono najwyższe stężenia metali ciężkich (U, Mo, V, Ti, Ni, Sb, Pb, Cu), co jest związane z dużą zdolnością sorpcyjną ich osadów i łatwym przenikaniem tych elementów w wodę w warunkach tlenowych. Jednocześnie w mulowiskach wyraźnie zaznacza się wpływ zasilania infiltracyjnego, stwierdzony na podstawie wskaźnika chlorkowego.

Pracę wykonano w ramach zadań państwowej służby hydrogeologicznej w latach 2015–2017 sfinansowanych przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz z tematu 61-8509-1701-00-0 „Ustalenie hydrogeologicznych kryteriów kwalifikacji siedlisk zależnych od wód podziemnych oraz szacowanie w ich obrębie zasięgu podtopień z zastosowaniem metod teledetekcyjnych”.

LITERATURA

- BERTRAND G., GOLDSCHIEDER N., GOBAT J.M., HUNKELER D., 2012 – Review: From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. *Hydrogeol. J.*, **20**: 5–25.
- CHORMANSKI J., OKRUSZKO T., IGNAR S., BATELAAN O., REBEL K.T., WASSEN M.J., 2011 – Flood mapping with remote sensing and hydrochemistry: A new method to distinguish the origin of flood water during floods. *Ecol. Eng.*, **37**: 1334–1349.
- DEMBEK W., 2000 – Wybrane aspekty zróżnicowania torfowisk w młodo- i starogłacjalnych krajobrazach Polski wschodniej. Wydaw. IMUZ, Falenty.
- FÖRSTNER U., AHLF W., CALMANO W., KERSTEN M., 1990 – Sediment Criteria Development. *W: Sediments and Environmental Geochemistry* (red. D. Helling i in.). Springer-Verlag, Berlin.
- GEHRELS J., MULAMOOTTIL G., 1989 – The transformation and export of phosphorus from wetlands. *Hydrolog. Process.*, **3**: 365–370.
- GOTKIEWICZ J., 1983 – Zróżnicowanie intensywności mineralizacji azotu w glebach organogenicznych związane z odrębnością warunków siedliskowych. Wydaw. IMUZ, Falenty.
- HASLAM S.M., 2003 – Understanding Wetlands. Fen, bog and marsh. CRC Press, Londyn.
- HUGNES J., HEATHWAITE L., 1995 – Hydrology and hydrochemistry of British Wetlands. John Wiley & Sons, Chichester.
- JASZCZYŃSKI J., 2011 – Rozpuszczalny węgiel organiczny w wodach siedlisk torfowych. *Zesz. Eduk.*, **13**.
- JÓZWIAK K., 2013 – Zastosowanie modelowania geochemicznego do oceny stopnia murszenia gleb na przykładzie Kampinoskiego Parku Narodowego. *W: Abstrakty z konferencji pt. „Środowisko glebotwórcze i gleby dolin rzecznych”*. Ustka, 10–12 czerwca 2013 r.
- MITSCHE W.J., GOSSELINK J.G., 2000 – Wetlands. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.
- OKRUSZKO H., 1992 – Siedliska hydrogeniczne, ich specyfika i zróżnicowanie. *Bibl. Wiad. IMUZ*, **79**: 1–100.
- OKRUSZKO H., PIAŚCIK H., 1990 – Charakterystyka gleb hydrogenicznych. ART, Olsztyn.
- PAWLUCZUK J., 2001 – Mineralizacja związków azotu w glebach torfowych na tle zróżnicowanych warunków siedliskowych obszarów młodogłacjalnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, **476**: 243–250.
- PŁOCHNIEWSKI Z., PICH J., 1966 – Żelazo i mangan w wodach podziemnych różnych środowisk hydrogeochemicznych. *Kwart. Geol.*, **10**, 3: 871–883.
- POROWSKA D., LEŚNIAK P.M., 2008 – Identyfikacja procesów kształtujących skład chemiczny wód podziemnych poniżej torfowiska Pożary, Kampinoski Park Narodowy. *Prz. Geol.*, **56**, 11: 982–990.
- POROWSKA D., MAŁECKI J.J., 2011 – Analiza czynników kształtujących zawartość węgla nieorganicznego i organicznego w wodach podziemnych w obszarach występowania

- substancji organicznej – rezerwat Pożary (Kampinoski Park Narodowy). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **445**: 463–474.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (DzU z 2016 r. Nr 0 poz. 85).
- SAPEK A., 2009 – Rozpuszczalny węgiel organiczny w wodzie z gleb torfowych na Bagnie Lawki. *Rocz. Glebozn.*, **60**: 69–81.
- SAPEK A., SAPEK B., CHRZANOWSKI S., JASZCZYŃSKI J., 2007 – Mobilization of substances in peat soils and their transfer within the groundwater and into surface water. *Agron. Res.*, **5**: 155–163.
- SOLOVEY T., 2019 – Wetlands of the Volhynian Polissia (Western Ukraine): classification, natural conditions of distribution and spatial difference. *Geol. Quart.*, **63**, 1: 139–149.
- ŚCIBIOR K., RYDELEK P., STĘPIEŃ M., 2015 – Wpływ wybranych torfowisk na kształtowanie składu chemicznego płytkich wód podziemnych Drawieńskiego Parku Narodowego. *Prz. Geol.*, **63**: 1099–1104.
- VERHOEVEN J.T., MALTBY E., SCHMITZ M., 1990 – Nitrogen and phosphorus mineralization in fens and bogs. *J. Ecology*, **78**: 713–726.
- WASSEN M.J., 1995 – Hydrology, water chemistry and nutrient accumulation in the Biebrza fens and floodplains (Poland). *Wetlands Ecol. Manag.*, **3**: 125–137.
- WITCZAK S., ADAMCZYK A., 1995 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. T. II. Metodyka opróbowania. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- ŻUREK S., 1990 – Związek procesu zatorfienia z elementami środowiska przyrodniczego wschodniej Polski. *Rocz. Nauk Roln., Ser. D*: 220–230.

SUMMARY

Diversity of soil formations in hydrogenous habitats is reflected in the features of chemical composition of groundwater occurring in their contact zone. In most cases, the mineralization of organic matter was the crucial factor that proceeds with varying intensity in different types of habitats. Generally, peatlands are characterized by the lowest level of organic matter humification. Sediments of telmatic organic marshes, alluvial mineral marshes and periodic moistlands are described by dominance of decomposed organic matter; however, dissolution of mineral part predominates in the last case.

Among the analysed components, the most important effect of organic matter decomposition was found for the concentrations of DOC, N–NH₄, NO₃, HPO₄, K, Na, Fe, Al, Ca, Mg, Mn and SO₄. In view of the several times higher content of organic matter than in the other types of habitats, the water of the peatlands showed most frequently several times higher concentration of DOC, NO₃, Na, Fe, Ca, Mg

and SO₄. In contrast, the concentrations of N–NH₄, HPO₄, K and Al were several times higher in the water of telmatic organic marshes, while of Mn – in the water of alluvial mineral marshes.

The highest concentrations of heavy metals (U, Mo, V, Ti, Ni, Sb, Pb, Cu) were found in the water of telmatic organic marshes, which is related to high sorption capacity of their sediments and easy penetration of these metals into water under aerobic conditions. At the same time, the influence of recharge is clearly marked in telmatic organic marshes, which was detected by the chloride indicator.

The study of speciation chemical analysis of elements (Al, As, Ca, F, Fe, HCO₃, K, Mo, Mn, N–NH₄, Ni, NO₂, HPO₄, SO₄ and U), the concentrations of which were clearly higher in the water of habitats compared to the groundwater from their surroundings, has revealed a speciation differentiation in habitats subjected to anthropopression.

