

ZNACZENIE BADAŃ ŹRÓDEŁ DLA ROZPOZNANIA WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH NA PRZYKŁADZIE ZLEWNI OLSZOWEGO POTOKU I TURBACZA (GORCE)

IMPORTANCE OF SPRINGS RESEARCHES FOR IDENTIFICATION OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS BASED ON THE EXAMPLE OF OLSZOWY POTOK AND TURBACZ CATCHMENTS (GORCE)

MARCIN STĘPIEŃ,¹ JADWIGA STOŻEK²

Abstrakt. W wyniku kartowania krenologicznego w zlewniach Olszowego Potoku i Turbacza udokumentowano przestrzenną dywersyfikację właściwości fizycznych i chemicznych wód podziemnych oraz ich składu chemicznego, które są efektem zróżnicowania głębokości krążenia wód podziemnych, odmiennej litologii skał podłoża, rzędnej wypływu, a także sezonu poboru próbek. Wyodrębniono trzy typy hydrochemiczne wód podziemnych, które prawdopodobnie można wiązać z występowaniem różnych reżimów hydrogeologicznych.

Słowa kluczowe: źródła, warunki krenologiczne, krenologia, flisz Karpat, Gorczański Park Narodowy, Gorce.

Abstract. The spatial diversification of the chemical and physical properties of groundwater and their chemical composition was documented in the studied catchments as a result of spring investigation. This is due to the depth of groundwater circulation, different bedrock lithology, spring elevation, and a season of sampling. Three types of groundwater were distinguished which probably are associated with the occurrence of different hydrogeological regimes.

Key words: springs, hydrogeological investigation, springs hydrology, Carpathians' flysh, Gorce National Park, Gorce.

WSTĘP

Podstawowym celem badań, przeprowadzonych w latach 2009–2010, było przetestowanie badań krenologicznych jako narzędzia pozwalającego na charakterystykę warunków hydrogeologicznych zlewni Olszowego Potoku i Turbacza. Jest to szczególnie ważne w obliczu braku innych punktów badawczych. Badany teren jest obszarem górskim, objętym prawną formą ochrony przyrody (parkiem narodowym). Powoduje to zdecydowane zminimalizowanie wpływu czynników antropogenicznych na środowisko naturalne, szczególnie zaś na wody podziemne. Z tego powodu jest niemal pewne, że określone w pracy warunki hydrogeologiczne, zwłaszcza pa-

rametry fizyczne i chemiczne oraz chemizm wód mają charakter naturalny. Typowość obszaru badań na tle Gorców pozwala sądzić, z dużym prawdopodobieństwem, o podobieństwie warunków w pozostałej części tego masywu górskiego.

Sytuacja, w której praktycznie jedynymi dostępnymi obiektami badawczymi są naturalne wypływy wód podziemnych, jest w obszarach górskich dość częsta, a próby opisywania warunków hydrogeologicznych jedynie na podstawie krenologii, z powodzeniem podejmowało szereg badaczy (np. Buczyński, Rzonca, 2007).

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: Marcin.Stepien@uw.edu.pl

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: Jadwiga.Stozek@pgi.gov.pl

POŁOŻENIE OBSZARU BADAŃ, ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Teren badań jest położony w południowej Polsce, w województwie małopolskim, w powiecie limanowskim, w całości w gminie Niedźwiedź. Uwzględniając regionalizację fizyczno-geograficzną obszar ten należy do mezoregionu Gorce. Jest to pasmo górskie o typowych dla gór średnich deniwelacjach terenu, które na badanym obszarze wynoszą nieco ponad 600 m, znacznych spadkach i spłaszczonych partiach grzbietowych (Cieszkowski, 2006).

Badany teren znajduje się w centralnej części polskiego segmentu Karpat zewnętrznych (fliszowych). W jego obrębie wstępują utwory dwóch podjednostek tektoniczno-fajalnych, należących do płaszczowiny magurskiej. Skały podjednostki krynickiej zostały nasunięte od południa na utwory wchodzące w skład podjednostki bystrzyckiej (sądeckiej) (fig. 1). Niezależnie od przynależności do podjednostek wśród inwentarza skalnego dominują występujące naprzemiennie różnego rodzaju piaskowce, łupki i zlepień-

ce, wśród których sporadycznie występują wkładki margli. (Burtan i in., 1978; Cieszkowski, red., 1998).

Zasilanie wód podziemnych w Karpatach fliszowych odbywa się w wyniku infiltracji opadów atmosferycznych przez zwietrzelinę, bądź sieć przypowierzchniowych szczelin (Kleczkowski, 1979; Chowaniec, Witek, 1997). Warstwę wodonośną stanowi strefa przypowierzchniowa, mocno zwietrzała i spękana w skutek procesu erozji i wietrzenia (Małecka, Murzynowski, 1978; Chowaniec, 2009), o miąższości średnio wynoszącej 14 m (Kleczkowski, 1979).

Główne drogi krążenia we fliszu karpackim stanowią szczeliny. Istotną rolę odgrywa zarówno ich ilość, jak i charakter. Swobodny przepływ wód odbywa się przez szczeliny otwarte. Wraz ze wzrostem głębokości następuje ich stopniowe zaciskanie. Na terenie Karpat fliszowych głębokość, do której sięgają szczeliny, mogące stanowić drogi migracji wody, określono na około 60–100 m (Małecka, Murzynowski, 1978;

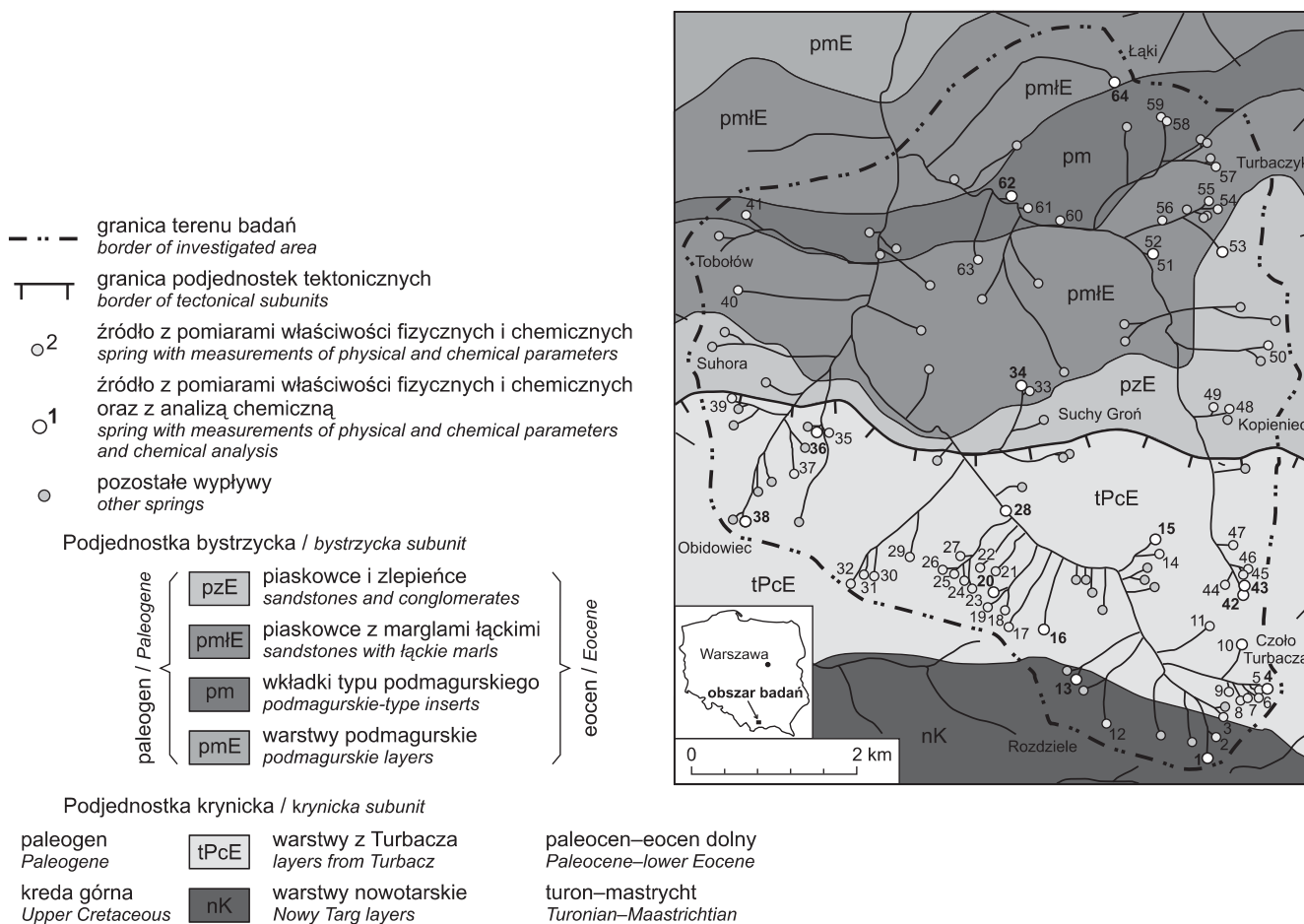


Fig. 1. Rozmieszczenie źródeł na tle mapy geologicznej terenu badań (Burtan i in., 1978)

Springs location on the background of geological map of investigated area (Burtan et al., 1978)

Kleczkowski, 1979; Paczyński, Sadurski, 2007; Chowaniec, 2009). Kolejnym czynnikiem mającym niekorzystny wpływ na zawodnienie masywu jest wypełnienie szczelin minerałami wtórnymi, np. kalcytem, oraz zwietrzeliną w strefach przypowierzchniowych (Małecka, Murzynowski, 1978). Główną strefę drenażu stanowią doliny rzeczne (Chowaniec, 2009). Cieki są zapoczątkowane przez źródła, bądź inny rodzaj wypływu wód podziemnych na powierzchnię terenu (wycieki, wysięki lub młaki).

Potok Olszowy i Turbacz są ciekami stałymi, w przeciwieństwie do ich licznych dopływów, zwłaszcza tych mniejszych, zasilanych jedynie przez opady atmosferyczne, w których woda spływa powierzchniowo lub podpowierzchniowo (cieki epizodyczne), bądź też występuje dodatkowo zasilanie wodami podziemnymi (cieki okresowe). Często występującym zjawiskiem, na tym terenie w okresach niżówek, jest infiltracja wód powierzchniowych w rumosz skalny i ponowny ich wypływ w korycie potoku.

METODY BADAŃ

Podczas prac terenowych stosowano standardową metodykę. Wszystkie pomiary wykonywano z użyciem przyrządu CX-401 z kompletem elektrod i czujników. Próbkę przed pobraniem filtrowano przez filtry 0,42 μm i część utrwalano HNO_3 . Badania składu chemicznego przeprowadzono w laboratoriach na Wydziale Geologii UW. Oznaczenia jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , wykonano stosując metody wolumetrycz-

ne, oznaczenia SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-} i F^- ustalono korzystając ze spektrofotometru Hach DR-890 i DR-2000 a pozostałe jony oznaczono metodą ICP-AAS. Wydajność źródeł mierzono przy pomocy stopera i wycechowanego naczynia. Badania źródeł prowadzono w ciągu czterech sesji terenowych: 08.2009, 04.2010, 08.2010 i 12.2010.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

W obu zlewniach stwierdzono obecność łącznie 87 źródeł. Przy powierzchni wynoszącej 10,89 km^2 daje to wskaźnik uźródlenia równy 7,99 $\text{źr}/\text{km}^2$. Jego wartość jest wyraźnie zróżnicowana w poszczególnych zlewniach. Dla zlewni Olszowego Potoku, wynosi 9,35 $\text{źr}/\text{km}^2$, natomiast w zlewni potoku Turbacz na każdy km^2 przypada 6,05 źródeł. Dużo większe dysproporcje są jednak związane z poszczególnymi podjednostkami tektonicznymi. I tak, na obszarze podjednostki bystrzyckiej wskaźnik uźródlenia wynosi zaledwie 4,13 $\text{źr}/\text{km}^2$, a w obrębie podjednostki krynickiej aż 13,76 $\text{źr}/\text{km}^2$. Wszystkie te wartości mieszczą się w przedziale uzyskiwanym przez innych badaczy dla terenów położonych w Karpatach fliszowych (Małecka, 1981; Chowaniec, Witek, 1997; Buczyński i in., 2007).

Po dokonaniu analizy miejsca wypływu stwierdzono, że na całym terenie badań zdecydowanie dominują źródła stokowe, wypływające pod wpływem siły grawitacji z pokrywy zwietrzelinowej (tab. 1). Płynąca woda przeważnie odsłania piaszczyste bądź żwirowe dno. Są to w większości źródła stałe. Oprócz sezonowego zanikania wypływu wody, zaobserwowano także pojedyncze przypadki zmiany samego miejsca, w którym woda wydostaje się na powierzchnię, a także zmianę rodzaju wypływu i jego przejście ze skoncentrowanego w nieskoncentrowany. Zaobserwowane różnice pomiędzy poszczególnymi podjednostkami, mogą wynikać z nieco odmiennej budowy geologicznej, która determinuje występowanie poszczególnych typów źródeł na konkretnych obszarach.

Badane źródła charakteryzuje niewielka wydajność, typowa dla obszaru fliszu karpackiego, (Pazdro, 1977). Wszystkie należą do trzech ostatnich klas wg klasyfikacji Meinzera. Ponad połowę wypływów charakteryzuje wydaj-

ność w przedziale od 0,01 do 0,1 dm^3/s , w żadnym przypadku nie przekroczyła ona 1 dm^3/s , a jej średnia wartość dla terenu badań wyniosła 0,13 dm^3/s . Oszacowana na tej podstawie sumaryczna wydajność źródeł na badanym terenie wyniosła 11,5 dm^3/s , co daje średni odpływ źródłany 1,06 dm^3/km^2 . Jest to wartość dość niewielka jak na Karpaty fliszowe. Przykładowo odpływ źródłany w rejonie Tylicza wyniósł 2,26 $\text{dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$, a dla zlewni Kryniczaki 1,46 $\text{dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$ (Buczyński i in., 2007). Rzeczywista wartość odpływu źródłanego w badanych zlewniach jest prawdopodobnie większa, ponieważ do jego obliczenia w tym przypadku wykorzystano pomiary wydajności przeprowadzone w zdecydowanej mierze w sierpniu 2009 r., czyli w roku, w którym całkowite opady atmosferyczne były stosunkowo niewielkie i wyniosły 822 mm (w 2010 r. całkowite opady atmosferyczne wyniosły 1378 mm).

Bezpośrednio w terenie zmierzono podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne wód wypływających z 64 źródeł, w tym w 41 ze zlewni Olszowego Potoku i w 23 ze zlewni potoku Turbacz.

Wyniki pomiarów temperatury na wypływie wykazują zmienność sezonową i sugerują płytkie krążenie wód podziemnych. Dostrzegalny jest również spadek temperatury wody wraz ze wzrostem rzędnej wypływu nad poziomem morza. Odczyn wód najczęściej jest zbliżony do obojętnego. Wyniki pomiarów pH przeprowadzonych w sesjach letnich wykazały, że najczęściej występują wartości odczynu wód w przedziale 7,0–7,5. W kwietniu 2010 r., zauważono nieznaczne zakwaszenie badanych wód, spowodowane wiosennymi roztopami. Wyraźnie odstające od tej tendencji są źródła nr 51 i 52, które stale charakteryzuje się wartościami pH

Tabela 1

Typy źródeł na badanym terenie
Types of springs in investigated area

Typy wypływu wód podziemnych		Podjednostka bystrzycka		Podjednostka krynicka		Razem	
		liczba źródeł	udział [%]	liczba źródeł	udział [%]	liczba źródeł	udział [%]
Położenie i stosunek do elementów morfologicznych	grzbietowe	0	0,0	2	4,7	2	3,1
	podgrzbietowe	3	14,3	1	2,3	4	6,3
	stokowe	9	42,9	34	79,1	43	67,2
	podstokowe	1	4,8	0	0,0	1	1,6
	zboczowe	3	14,3	4	9,3	7	10,9
	podzboczowe	3	14,3	0	0,0	3	4,7
	przykorytowe	2	9,5	2	4,7	4	6,3
Charakter litologiczny utworów wodonośnych	skalne	1	5,3	0	0,0	1	1,6
	pokrywowe rumoszone	6	31,6	7	16,3	13	21,0
	pokrywowe zwietrzelinowe	9	47,4	24	55,8	33	53,2
	pokrywowe mieszane	3	15,8	12	27,9	15	24,2
Siła motoryczna wypływu	descenzyjne	16	84,2	38	88,4	54	87,1
	ascenzyjne	3	15,8	5	11,6	8	12,9
Sposób wypływu wody na powierzchnię	reokrenowe	14	73,7	29	67,4	43	69,4
	halokrenowe	2	10,5	9	20,9	11	17,7
	limnokrenowe	3	15,8	5	11,6	8	12,9
Staość wypływu	stałe	20	95,2	39	90,7	59	92,2
	okresowe	1	4,8	4	9,3	5	7,8

około 9. Wartości przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) nie są wysokie i zaznacza się ich odmienność w zależności od podjednostki tektonicznej (fig. 2). W obrębie podjednostki bystrzyckiej są zlokalizowane źródła 51 i 52, które również pod względem konduktywności są wyraźnie odstające in plus od reszty źródeł.

Na terenie objętym badaniami, podobnie jak w całych Karpatach fliszowych (Małecka, Murzynowski, 1978; Paczyński, Sadurski, 2007), dominują wody typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$. W trakcie badań, z 37 próbek oznaczono 22 próbki wody tych właśnie typów a łącznie z wodami typu $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ były to 24 próbki. Pozostałe 7 próbek charakteryzowało się większym udziałem jonu siarczanowego (typy hydrochemiczne $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ i $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Mg-Ca}$) lub sodowego (stwierdzone w 6 próbkach a pochodzące z 2 źródeł typy wód $\text{HCO}_3\text{-Na}$ i $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca-Mg}$).

Wody ze źródeł w badanych zlewniach są pochodzenia atmosferycznego. Dowodem na ich krótki czas przebywania w górotworze (czas kontaktu z wodonoścem) a zatem płytkie drogi krążenia są: niewielka mineralizacja, reakcja na warunki zewnętrzne (objawiająca się np. wzrostem temperatury w okresie letnim), widoczna sezonowa zmienność chemizmu i parametrów fizycznych i chemicznych wody oraz wstępne, orientacyjne wyniki badań izotopowych (przebadana

no źródło nr 51, w którym istniało duże prawdopodobieństwo, że woda może należeć do głębszego systemu krążenia i uzyskano wyniki $-10,93\text{‰}$ dla $\delta^{18}\text{O}$ i $-76,21\text{‰}$, dla $\delta^2\text{H}$ oraz $2,81 \pm 0,62$ TU sugerujące pochodzenie atmosferyczne wód). Mimo identycznego sposobu zasilania oraz przy braku widocznych w terenie i na Szczegółowej Mapie Geologicznej Polski uskoków, które mogłyby różnicować głębokość krążenia wód podziemnych, badania krenologiczne wykazują niejednorodność krążenia tych wód, co jednoznacznie należy wiązać ze zmiennością warunków hydrogeologicznych. Źródła o bardziej zmiennych wydajnościach, chemizmie i wartościach badanych parametrów (zdecydowana większość spośród badanych obiektów o typie wody $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ i $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$) reprezentują najpłytszy typ krążenia. Można przypuszczać, że wody należące do nieznacznie głębszego systemu krążenia są wodami typu $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ i $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Mg-Ca}$. Potwierdzenie tej tezy mogą stanowić wyniki analiz składu chemicznego, a także podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych, uzyskanych w źródle nr 62, będącym najniższym położonym skoncentrowanym wypływem wód podziemnych na terenie objętym badaniami. Wody z tego źródła były badane czterokrotnie i za każdym razem wykazywały stabilność składu, wydajności i parametrów. Najmniej zmiennymi właściwościami

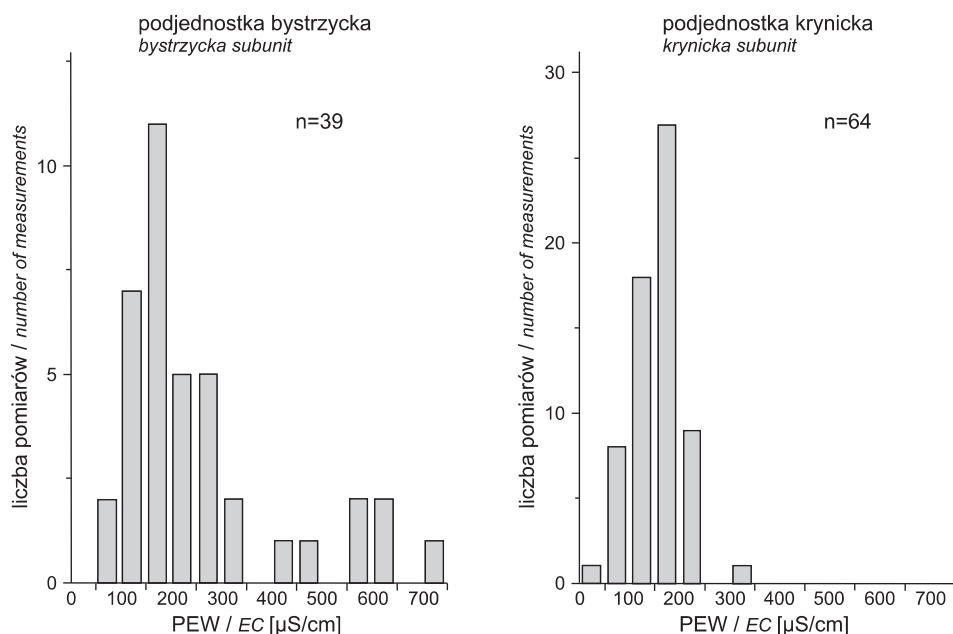


Fig. 2. Histogram wartości PEW w badanych źródłach w zależności od podjednostki tektonicznej

Histogram of conductivity in investigated springs depending on the tectonical subunit

były: temperatura, która wynosiła od 6,5 do 7,1°C (przy amplitudzie temperatury powietrza wynoszącej 22°C), PEW wahająca się od 248 do 290 $\mu\text{S}/\text{cm}$ oraz mineralizacja mieszcząca się w przedziale od 216 do 261 mg/dm^3 . Nieco większe sezonowe różnice dotyczyły pH wody i potencjału redoks.

W wyniku kartowania krenologicznego zidentyfikowano także trzeci typ wód (o prawdopodobnie innym niż pozostałe reżimie krążenia lub nieco różniącym się inwentarzu mineralnym wodonośca). Są one reprezentowane przez dwa, leżące w swym bezpośrednim sąsiedztwie źródła, z wód których dało się organoleptycznie wyczuć wydzielający się siarkowódór. Wody te, jakkolwiek również poddające się sezonowo-

wej zmienności, charakteryzują się zdecydowanie odmiennym zespołem cech (np. wartości $\text{pH} > 9$, ponad dwukrotnie wyższą od średniej konduktywnością oraz najmniejszymi wartościami potencjału redoks i rozpuszczonego tlenu) i typem hydrochemicznym ($\text{HCO}_3\text{-Na}$ lub $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca-Mg}$). Stężenia H_2S były również dość zmienne, a maksymalna zmierzona wartość wyniosła 1,45 mg/dm^3 . Przeprowadzone badania izotopów stabilnych tlenu i wodoru, a także trytu pozwalają przypuszczać, że są to wody pochodzące z infiltracji atmosferycznej, należące do współczesnego cyklu hydrogeologicznego, których odmiennosc właściwości fizycznych i chemicznych jest najprawdopodobniej efektem zróżnicowania składu litologicznego warstwy wodonośnej.

PODSUMOWANIE

Na terenie zlewni Olszowego Potoku i Turbacza, zwłaszcza w wyższych ich partiach, jedynymi punktami opróbowania hydrogeologicznego są naturalne wypływy wód podziemnych. Jedynie dzięki źródłom można było przeprowadzić badania, w wyniku których autorzy sugerują istnienie różnych reżimów hydrogeologicznych na badanym terenie. Zostały

one wyróżnione w wyniku wyodrębnienia trzech typów hydrochemicznych wód, z których wszystkie różniły się właściwościami fizycznymi i chemicznymi. Najprawdopodobniej wyniki badań można odnieść do pozostałych obszarów Gorców.

LITERATURA

BU CZYŃSKI S., OLICHWER T., TARKA R., STAŚKO S., 2007 — Zawodnienie formacji fliszowej Karpat w oparciu o wyniki badań źródeł Beskidu Krynickiego w rejonie Tylicza, *W: XIII Sympo-*

zjum pt. „Wsp. Probl. Hydrogeol” (red. A. Szczepański, E. Kmiecik, A. Żurek). Kraków–Krynica, 21–23.06.2007: 403–411. Wyd. Wyd. Geol., Geofiz. i Ochr. Środ. AGH, Kraków.

- BUCZYŃSKI S., RZONCA B., 2007 — Wstępna charakterystyka krenologiczna Gór Bialskich. *W: XIII Sympozjum pt. „Wsp. Probl. Hydrogeol”* (red. A. Szczepański, E. Kmieciak, A. Żurek). Kraków–Krynica, 21–23.06.2007: 769–777. Wyd. Wyd. Geol., Geofiz. i Ochr. Środ. AGH, Kraków.
- BURTAN J., PAUL Z., WATYCHA L., 1976 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Mszana Górna (1033). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- BURTAN J., PAUL Z., WATYCHA L., 1978 — Objasnienia do SMGP w skali 1:50 000, arkusz Mszana Górna (1033). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- CHOWANIEC J., WITEK K. 1997 — Objasnienia do MhP w skali 1:50 000, arkusz Mszana Górna (1033). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- CHOWANIEC J., 2009 — Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **434**: 1–98.
- CIESZKOWSKI M. (red.), 1998 — Gorczański PN, Operat Ochrony Zasobów i Walerów Przyrody Nieożywionej i Gleb. Arch. Gorczańskiego Parku Narodowego, Poręba Wielka.
- CIESZKOWSKI M., 2006 — Budowa geologiczna i rzeźba terenu. *W: Gorczański Park Narodowy, 25 lat ochrony i dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego Gorców* (red. W. Różański). Gorczański Park Narodowy, Poręba Wielka.
- KLECZKOWSKI A. S., 1979 — Hydrogeologia ziem wokół Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- MAŁECKA D., 1981 — Hydrogeologia Podhala [pr. doktor.]. Arch. IHiGI Wyd. Geol. UW, Warszawa.
- MAŁECKA D., MURZYNOWSKI W., 1978 — Rejonizacja hydrogeologiczna Karpat fliszowych. Państw. Wyd. Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- PACZYŃSKI B., SADURSKIA. (red.), 2007 — Hydrogeologia regionalna Polski, tom I – wody słodkie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PAZDRO Z., 1977 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.

SUMMARY

Investigation of springs in catchments of Olszowy Potok and Turbacz streams were carried out in the years 2009–2010. It were used standard research methodology. Analysis of 87 outflows showed relationship of physical and chemical characteristics and chemical composition for the tectonical subunits. All tested groundwater are atmospheric origin and are generally characterized by short time of circulation. However, it is possible to distinguish three hydrochemical types of groundwater, which can be identified with a slightly different circulation conditions. The vast ma-

jority of springs drains the shallowest layer of aquifer and is characterized by seasonal variability of chemistry and both, chemical and physical parameters. Also identified a spring representing a little deeper circulation. Groundwater from this spring had a constant composition and values of pH and conductivity. In addition, two other springs revealed the presence of another circulations component described by a completely different hydrochemical type and characterized by high values of conductivity and alkaline pH.