

KLASYFIKACJA ANOMALII HYDROGEOLOGICZNYCH

UKD 556.314:550.84.093/.001.33:556.33+550.424+556.388

Metody hydrogeochemiczne od dawna są wykorzystywane jako pomocnicze przy rozwiązywaniu zagadnień hydrogeologicznych, złożowych czy też tektonicznych. Szczególnie efektywną metodą w sensie uzyskiwanych wyników, stosowaną w różnych dziedzinach geologii jest kartowanie tła hydrochemicznego i anomalii występujących w wodach podziemnych. Efektywność tej metody w znacznym stopniu zależy od prawidłowego ustalenia genezy i sklasyfikowania poszczególnych anomalii hydrochemicznych.

W artykule przedstawiono klasyfikację anomalii hydrochemicznych opracowaną na podstawie materiałów hydrochemicznych z mezozoiku i kenozoiku Niziu Polskiego. Jest to klasyfikacja przyrodnicza, hydrogeologiczna, przyjmująca jako podstawowe kryterium genezę powstania poszczególnych anomalii. Na wstępie przedstawiono kilka uwag wprowadzających dla jasności używanych pojęć.

Jako tło hydrochemiczne rozumiemy określoną zawartość elementu (lub zespołu elementów hydrochemicznych) charakterystyczną dla danego środowiska lub jednostki hydrogeologicznej. Rozpatrywanymi elementami hydrochemicznymi w naszym rozumieniu mogą być poszczególne jony, pierwiastki bądź cechy chemiczne czy fizyczne oznaczane w analizach chemicznych wody. Tło można badać w odniesieniu do pojedynczego elementu hydrochemicznego np. chlorków lub twardości wody, albo w odniesieniu do całego zespołu elementów hydrochemicznych — ustalając tzw. ogólne tło hydrochemiczne. Jeśli istnieje jakaś kierunkowa zmienność tła hydrochemicznego — przestrzenna lub czasowa, obok tła określa się trend zmian hydrochemicznych, który może również dotyczyć jednego lub kilku elementów hydrochemicznych. Zakresy tła hydrochemicznego ustala się w oparciu o rozkłady statystyczne badanych elementów uwzględniając ich ewentualną niejednorodność. Tło hydrochemiczne opisuje się za pomocą prostych parametrów statystycznych właściwych dla scharakteryzowania próbek o określonych rozkładach. Najczęściej używanymi statystykami są wartości średnie, mediany, wartości modalne, miary rozproszenia, a przy układach skośnych miary skośności. Tło hydrochemiczne określa się dla obszarów jednolitych pod względem hydrochemicznym — praktycznie dla poszczególnych pięter lub nawet poziomów wodonosnych w badanych jednostkach hydrogeologicznych.

W naturalnych warunkach przyrodniczych w obrębie tła hydrochemicznego zawsze występują ja-

kieś strefy bądź obszary anomalne. Jako strefę anomalną hydrochemicznie rozumiemy bieżmię strefę w której obrębie zawartości badanego elementu wykraczają poza przedział określający tło. Nie zawsze mamy do czynienia z anomaliami typu strefowego. Często występują anomalie punktowe, liniowe bądź też rozległe anomalie regionalne.

Każda anomalia musi być rozpatrywana w powiązaniu z tłem hydrochemicznym, przy uwzględnianiu wszelkich jego zmian. W badaniach anomalii hydrochemicznych szczególnie istotne są wszelkie trendy zmienności tła hydrochemicznego wywołane regionalnym układem hydrodynamicznym jednostki hydrogeologicznej. Proces powstania i uformowania anomalii hydrochemicznej jest procesem bardzo złożonym i skomplikowanym. Przyczyny powstania poszczególnych anomalii mogą być bardzo zróżnicowane przy czym na utworzenie się anomalii hydrochemicznej wpływa szereg czynników natury geologicznej, geochemicznej, hydrogeologicznej, a niekiedy również gospodarczej. Znaczna ilość czynników wywołujących anomalie hydrochemiczne zmusza nas każdorazowo, przy stwierdzeniu istnienia anomalii do wnikliwych i szczegółowych badań, których celem jest znalezienie istotnej w danym przypadku przyczyny jej powstania.

Ógólny schemat podziału przyczyn wywołujących anomalie jest podstawą opracowanej klasyfikacji anomalii hydrochemicznych występujących w wodach podziemnych. Jest to klasyfikacja hydrogeologiczna, uwzględniająca przyrodnicze aspekty tworzenia się anomalii. Wydzielono w niej jedynie główne typy i rodzaje anomalii. Szczegółowy podział na obecnym etapie rozpoznania zagadnienia, zwłaszcza w przypadku anomalii antropogenicznych, byłby niewątpliwie przedczesny i niezupełny. Przy omawianiu przykładów podano więc jedynie przypadki ciekawsze, różniące się między sobą genezą lub formą występowania.

W przedstawionych rozważaniach pojęcie anomalności, podobnie jak tła, odnoszone jest do istniejących konkretnych warunków hydrogeochemicznych badanej jednostki. Wartości anomalne powinny więc być ustalane w oparciu o przyrodnicze rozkłady badanych elementów, bez uwzględniania obowiązujących norm dla wód pitnych czy przemysłowych. Nie operujemy również pojęciami „zanieczyszczeń naturalnych” czy też „zanieczyszczeń geochemicznych”, które to pojęcia są na ogół wiązane z ponadnormalnymi wystąpieniami elementów hydrochemicz-

PODZIAŁ ANOMALII HYDROCHEMICZNYCH

Typ anomalii	Rodzaj anomalii	Przykłady przyczyn powstania anomalii
Anomalie naturalne	syngenetyczne	Lokalnie bardzo utrudnione warunki wymiany wód powodują wysokie zabarwienie i utleniałość wód miocenijskiej formacji brunatnowęglowej.
	epigenetyczne	a) Naturalna ascenzja w strefach predysponowanych tektonicznie wywołuje anomalie np. mineralizacji Cl' , SO_4'' . b) Rozpuszczanie przez wody podziemne soli lub gipsów z czap diapirów solnych wywołuje aureole zasolenia wód wokół diapirów solnych.
Anomalie antropogeniczne	wzbudzone hydrodynamicznie	a) Ascenzja zasolonych wód podziemnych wzbudzona intensywną eksploatacją powoduje, np. anomalny wzrost mineralizacji Cl' , SO_4'' , Na^+ ... b) Ingresja słonych wód morskich wywołuje anomalie mineralizacji Cl' , SO_4'' , Na^+ ... c) Wzrost miąższości strefy aeracji związanej z depresją eksploatacyjną (przy nieznacznej pierwotnej miąższości strefy aeracji i obecności substancji organicznej) powoduje pojawienie się anomalnych ilości Fe^{++} , Mn^{++} , SO_4'' , twardości... d) Naruszenie hydrochemicznego reżimu wokół zbiorników wodnych lub w obszarach drenowanych, spowodowano zmianami poziomów wód podziemnych.
	wywołane zanieczyszczeniami	a) Zanieczyszczenia gazowe, np. SO_2 z powietrza (ekshalacje przemysłowe) dostają się do wód podziemnych wraz z opadami atmosferycznymi wywołując anomalie SO_4'' . b) Zanieczyszczenia ciekłe dostają się do wód podziemnych, np. w formie przecieków ścieków gospodarczych i przemysłowych bądź z nieszczelnych zbiorników chemikalii, ropy naftowej itp. c) Zanieczyszczenia stałe są przyczyną anomalii występujących wokół wysypisk śmieci, hałd czy też składów chemikalii.

nych, a więc nie wartościami anomalnymi w stosunku do tła hydrochemicznego danej jednostki.

Anomalie hydrochemiczne mogą być wywołane przyczynami przyrodniczymi naturalnymi w rozumieniu czynników kształtujących chemizm wód danej jednostki hydrogeologicznej bądź przyczynami antropogenicznymi, sztucznymi, związanymi z ingerencją człowieka zakłócającego naturalne środowisko wód podziemnych. Pierwszy typ anomalii nazwiemy anomaliami naturalnymi, drugi anomaliami antropogenicznymi (tabela).

Anomalie naturalne, tworzące się i istniejące w warunkach naturalnych bez jakiegokolwiek udziału człowieka, mogą być syngenetycznie związane z rozpatrywanym poziomem wodonośnym, bądź też możemy mieć do czynienia z anomaliami epigenetycznymi, dla których geologiczna przyczyna anomalności chemizmu wód nie jest związana z badanym poziomem wodonośnym.

Za przykład naturalnej anomalii syngenetycznej posłużą nam anomalie barwy obserwowane w wodach miocenijskiej formacji brunatnowęglowej. Wysokie zabarwienie oraz podwyższona utleniałość wód miocenijskiej formacji brunatnowęglowej związana jest ze znaczną ilością substancji organicznych dostających się do wód podziemnych w wyniku procesów uwęglania węgla brunatnych. W utworach miocenijskich mamy na ogół do czynienia z dosyć intensywną wymianą wód, powodującą sukcesywne usuwanie substancji humusowych wraz z krążącą wodą; natomiast lokalnie utrudniona wymiana prowadzi do kumulacji związków humusowych, powodując podwyższone zabarwienie i utleniałość wody. Anomalie zabarwienia są dosyć częste, a dla wód występujących w miocenijskiej formacji brunatnowęglowej są wręcz charakterystyczne.

Naturalne anomalie epigenetyczne występują częściej niż anomalie syngenetyczne i mogą być związane z różnymi przyczynami. Jedną z nich może być np. naturalna ascenzja powodująca wystąpienie na tle wód słodkich anomalii o podwyższonym zasoleniu. Objawem takich anomalii są m. in. źródła słone występujące lokalnie wzdłuż antyklinorium środkowopolskiego. W poszczególnych przypadkach zasolenie wód może być również związane z płytkim występowaniem diapirów solnych wokół których formują się charakterystyczne aureole zasolenia.

Naturalne anomalie epigenetyczne są często wskaźnikiem wgłębnym, nie rozpoznanych struktur.

Wystąpienia naturalnych anomalii ascenzyjnych, szczególnie w obszarach o małych gradientach hydrochemicznych mogą też być pośrednim wskaźnikiem strukturalnych zmian neotektonicznych. Wydaje się również, że analiza anomalii hydrochemicznych i typów struktur może rzucić pewne światło na ewentualną możliwość zachowania złóż węglowodorów. Należy sądzić, na podstawie analogii z obszarem NRD, że niektórym strukturom halokinetycznym dającym anomalne zasolenia wód podziemnych mogą towarzyszyć złoża węglowodorów. Natomiast obszary występowania anomalii chlorkowych, spowodowanych ascenzją wód wgłębnym w rejonach struktur tektoniczno-uskokowych, niewątpliwie są mało perspektywiczne dla poszukiwań węglowodorów, ponieważ świadczą o mało szczelnej strukturze.

Anomalie antropogeniczne dzielą się na wzbudzone hydrodynamicznie i wywołane zanieczyszczeniami. Przyczyną powstania anomalii wzbudzonych hydrodynamicznie jest gospodarcza działalność człowieka prowadząca do zmiany reżimu hydrochemicznego w środowisku wód podziemnych — bez doprowadzania z powierzchni ziemi substancji zanieczyszczającej, zmieniającej skład chemiczny wód. Elementy hydrochemiczne wywołujące zmiany anomalne znajdują się w samej warstwie wodonośnej lub w jej otoczeniu. Zmiana warunków hydrodynamicznych, wywołana np. odpompowaniem wód podziemnych dla zaopatrzenia lub dla celów odwodnienia wód, powoduje przejście ich roztworu lub dopływu z sąsiedztwa.

Antropogenicznymi anomaliami hydrochemicznymi wzbudzonymi hydrodynamicznie są np. anomalie ascenzyjne, występujące na skutek intensywnej eksploatacji. Ten rodzaj anomalii powstaje szczególnie łatwo w strefach dyslokacyjnych oraz obszarach o dużych gradientach hydrochemicznych. Anomalie takie znane są np. z obszaru Tczewa czy też rejonu Wrocławia.

Hydrochemiczne anomalie wzbudzone hydrodynamicznie o podobnym charakterze jak ascenzyjne znane są z ujęć lokalizowanych w pobliżu brzegu morskiego. Intensywna eksploatacja w takich warunkach prowadzi może do zakłócenia naturalnej równowagi występowania podziemnych wód słonych i słodkich i ingresji (wtargnięcia) wód morskich. Przypadek taki obserwowany był m. in. w rejonie Łeby.

Innym przykładem hydrochemicznych anomalii wzbudzonych będą zmiany chemizmu wód podziemnych wywołane zakłóceniem układu stref aeracji i saturacji wokół ujęć intensywnie eksploatowanych a zlokalizowanych w jednostkach pradolinnych lub aluwialnych. Efektem wspomnianych zakłóceń jest stopniowy wzrost ilości związków żelaza, manganu i siarczanów w wodzie. Anomalie takie występują z reguły w warstwach o zwierciadle swobodnym, przy czym zachwianie reżimu hydrochemicznego następuje szczególnie łatwo w przypadku nieznacznej miąższości strefy aeracji i występowaniu w utworach tarasowych substancji organicznych. Anomalie tego rodzaju znane są z kilku ujęć zlokalizowanych w dolinie Odry.

Zakłócenie warunków hydrodynamicznych powodujące zmiany chemizmu wód występuje często w obszarach piętrzenia wód podziemnych (np. wokół sztucznych zbiorników wodnych, zapór itp.) oraz na terenach odwadnianych. Podobne zakłócenia występują również w obszarach o zagospodarowaniu zmieniającym naturalny system zasilania infiltracyjnego wód podziemnych — np. w obszarach o zwartej zabudowie, lotniskach itp. Szczegółowe badania hydrochemiczne prowadzone w takich rejonach wykazują zwykle istnienie anomalii hydrochemicznych.

Drugi rodzaj anomalii antropogenicznych stanowią anomalie hydrochemiczne wywołane zanieczyszczeniami. Przy podziale tych anomalii można posługiwać się różnymi kryteriami, np. rodzaju środowiska hydrogeologicznego w którym występują, rodzaju elementu zanieczyszczającego wodę, sposobu dostawiania się go do wód podziemnych czy też przemieszczania się w ich obrębie. Nie zajmując się tym zagadnieniem szczegółowiej rozpatrzmy tylko przykłady zanieczyszczania środowiska wód podziemnych przez substancje zanieczyszczające znajdujące się w różnym stanie skupienia. Zanieczyszczenia wód podziemnych mogą być bowiem związane z substancjami występującymi w stanie gazowym, ciekłym bądź stałym. Zanieczyszczenia te do środowiska wód podziemnych doprowadzane są w formie zawiesiny bądź roztworów wraz z wodami biorącymi udział w przyrodniczym cyklu krążenia wód. Dostawać się więc mogą z powietrza, z wód powierzchniowych czy też powierzchni ziemi. Dla środowisk tych w sensie przyrodniczym są to również substancje obce, zanieczyszczające je.

Zanieczyszczenia lotne występujące w powietrzu dostają się do wód podziemnych wraz z infiltrującymi opadami atmosferycznymi. Zanieczyszczenie atmosfery, np. dymami przemysłowymi bogatymi w SO_2 wywołuje w płytkich wodach podziemnych bezpośrednio zasilanych infiltracyjnie pojawienie się anomalnych ilości siarczanów. Anomalie takie szczególnie często obserwowano wokół licznych zakładów przemysłowych na Śląsku.

Zanieczyszczenia płynne najłatwiej — bo bezpośrednio przenikają do wód podziemnych wywołując anomalie hydrochemiczne. I tak np. zanieczyszczone wody powierzchniowe, zarówno rzeczne jak i ze zbiorników naturalnych bądź sztucznych, w przypadku zaistnienia kontaktów hydraulicznych z wodami podziemnymi (przy stanach powodziowych czy też sztucznym piętrzeniu) zanieczyszczają bezpośrednio wody podziemne. Bardzo wyraźne hydrochemiczne anomalie antropogeniczne wywołują wszelkiego rodzaju przecieki z rurociągów lub zbiorników magazynujących ropę naftową, smary, chemikalia, ścieki przemysłowe i kanalizacyjne. Stwierdzono również, że niewłaściwie wykonane prace hydrogeologiczne, np. niestarannie zamykane wody z głębokich poziomów mogą być przyczyną powstania anomalii hydrochemicznych.

Wielokrotnie obserwowane są również hydrochemiczne anomalie antropogeniczne wywołane przenikaniem do wód podziemnych rozpuszczonych substancji składowanych w formie stałej na powierzchni terenu. Anomalie takie obserwowane są np. wokół wysypisk śmieci założonych na przepuszczalnym podłożu, hałd przemysłowych i górniczych, magazy-

nów substancji chemicznych bądź nawozów sztucznych itp. Poważne zagrożenie dla wód podziemnych stanowi intensywna chemizacja rolnictwa (używanie nawozów sztucznych, herbicydów, pestycydów). Wszystkie te środki w większych bądź mniejszych stężeniach stopniowo przenikają do wód podziemnych zanieczyszczając je.

Przykładowo wymienione przyczyny zanieczyszczeń wód podziemnych wskazują na bardzo urozmaicony i złożony mechanizm powstawania anomalii hydrochemicznych. Zjawisko to jest dodatkowo komplikowane bardzo zróżnicowanymi, w sensie hydrogeologicznym, możliwościami przenikania zanieczyszczeń w anizotropowym środowisku wód podziemnych. Na złożoność problemu wpływa również m. in. trwałość danego zanieczyszczenia w środowisku wód podziemnych, warunki litologiczne i hydrodynamiczne warstwy wodonosnej, chemizm wód podziemnych.

Najbardziej narażone na zanieczyszczenia — biorąc pod uwagę litologię warstw — a więc predysponowane do powstania anomalii hydrochemicznych wywołanych zanieczyszczeniami są wody krasowe i szczelinowe. Poważnie narażone są także wody porowe: tarasowe, sandrowe i stożków napływowych. Najłatwiej ulegają zanieczyszczeniu wody podziemne bezpośrednio zasilane infiltracyjnie.

Z terenu Polski znane są wszystkie przedstawione wyżej rodzaje anomalii antropogenicznych. Należy więc się liczyć z faktem, że coraz intensywniejsza działalność gospodarcza doprowadzić może wkrótce do rozszerzenia tego rodzaju anomalii zarówno w sensie ich ilości, jak i objęcia nimi coraz szerszych regionów — a więc w konsekwencji doprowadzić może do regionalnych zmian tła hydrochemicznego.

Omówione wyżej przykłady ilustrujące przedstawioną klasyfikację nie wyczerpują różnorodnych możliwości powstawania anomalii hydrochemicznych. Zagadnienie to dotyczy szczególnie anomalii antropogenicznych wywołanych zanieczyszczeniami. Ten rodzaj anomalii zostanie w przyszłości niewątpliwie jeszcze szczegółowiej podzielony. Dla przeprowadzenia takiego podziału omawiany problem powinien być jednak znacznie dokładniej rozpoznany w sensie przyrodniczym niż ma to miejsce obecnie.

Na zakończenie warto podkreślić, że badania hydrochemiczne dotyczące tła i anomalii, w których obrębie przeprowadza się klasyfikację anomalii hydrochemicznych powinny być prowadzone w szerszym niż dotychczas zakresie. Należałoby je wykonać przy rozwiązywaniu zagadnień hydrogeologicznych, tektoniczno-strukturalnych, złożowych, jak również zagadnień dotyczących problemów kształtowania i ochrony naturalnego środowiska człowieka. Szczegółowe badania tła hydrochemicznego powinny wyprzedzać zagospodarowanie terenu, w takim bowiem jedynie przypadku możliwe jest stworzenie bazy porównawczej, pozwalającej ocenić stopień zanieczyszczenia wód. Szerokim frontem badań należy objąć przede wszystkim strefy najbardziej narażone na zanieczyszczenia, a więc wszelkie strefy alimentacyjne zarówno dużych jednostek hydrogeologicznych, jak i strefy alimentacji miejscowej, np. doliny rzeczne czy sandry, z których wodę czerpie się bezpośrednio dla celów gospodarczych. Istotnym zagrożeniem dla wód podziemnych jest propagowane ostatnio podziemne składowanie ścieków przemysłowych. Przy tego rodzaju pracach należy wyjątkowo starannie zbadać szczelność struktury w obrębie której składowane ścieki, jak również po wykonaniu prac prowadzić długotrwałe obserwacje zmian chemizmu wód w danej strukturze oraz strukturach sąsiednich.

Badanie tła i anomalii hydrochemicznych powinno być prowadzone nie tylko w formie statycznej (oceny istniejących warunków), ale konieczne jest przeprowadzenie analizy migracji elementów anomalnych — a więc badania rozprzestrzeniania się anomalii hydrochemicznych. Takie ujęcie zagadnienia pozwoli prognozować zmiany tła hydrochemicznego.

SUMMARY

The concepts concerning the background and hydrogeochemical anomalies are discussed and the classification of the anomalies based primarily on their origin is given. The classification is illustrated with detailed examples.

All the anomalies are divided into two types: natural and anthropogenic anomalies. Two kinds of natural hydrogeochemical anomalies were distinguished: syngenetic anomalies directly related to the layer in which they occur, and epigenetic — related to the immigration of anomalous hydrochemical element from neighbouring layers. Anthropogenic hydrogeochemical anomalies were divided into: hydrodynamically induced (i.e. the case when the hydrochemical anomaly is caused by the disturbances of natural dynamic conditions in the water-bearing layer by the Man) and the anomalies related to the pollution (Table).

Several examples are given and the possibilities of use of the interpretation of hydrogeochemical anomalies as an auxiliary method in solving hydrogeological, deposit, tectonic, problems as well as the problems related to the modification and conservation of the natural environment, are given.

It is concluded that the studies on the hydrogeochemical anomalies are both advisable and necessary. Moreover, the perspectives of further studies on the background and hydrogeochemical anomalies are discussed.

РЕЗЮМЕ

Дается определение понятий гидрогеохимического фона и аномалии и производится классификация аномалий, основывающаяся на причинах их появления. Приводятся многочисленные примеры гидрохимических аномалий.

Все аномалии подразделяются на два типа — естественные и антропогенные. Естественные гидрогеохимические аномалии подразделяются на сингенетические, связанные своим происхождением со слоем, в котором они наблюдаются, и эпигенетические, обусловленные миграцией элементов из близлежащих слоев. Антропогенные гидрогеохимические аномалии могут быть вызваны гидродинамическим путем в итоге нарушения человеком природных динамических условий данного водоносного слоя или же обусловлены искусственными загрязнениями (табл.).

На конкретных примерах показаны возможности использования гидрогеохимических аномалий в качестве вспомогательного метода в решении гидрогеологических, тектонических проблем и некоторых вопросов, связанных с месторождениями и мероприятиями по охране природной среды.

В заключение отмечается необходимость изучения гидрогеохимических аномалий и намечаются пути этих исследований.