

## Badanie zależności położenia zwierciadła wód podziemnych od natężenia wtórnego niskoenergetycznego promieniowania kosmicznego

Agnieszka Kowalczyk<sup>1</sup>

**Analysis of the dependence between groundwater level fluctuations and intensity of low-energy secondary cosmic radiation.** Prz. Geol., 65: 1085–1089.

*Abstract.* Fluctuations of the groundwater level have complex origins. Among many natural agents influencing this phenomenon, researchers list cosmic factors, most commonly solar activities. However, publications lack results of statistical analyses confirming this correlation. This paper presents the outcome of an investigation on the dependence between the low-energy flux of secondary cosmic radiation (determined by solar cycles) and the variability of the groundwater level. Data for the study originate from the cosmic radiation station in Moscow and from the PGI-NRI groundwater monitoring network and concern the period of 1966–2016. 711 groundwater monitoring sites, located all over Poland, have been analyzed. Calculated values of Spearman correlation coefficients have indicated good significant correlation in 65% of all analyzed points. The strength of the established relations is generally poor (30%) or very poor (18%). Correlations of moderate intensity are relatively rare (15%), whereas strong correlations occur only occasionally (2%). Very strong correlations were not detected at all. In the overall sample tested, the number of positively correlated points (37%) exceeded those with a negative correlation (28%). Also, the strength of the relations is higher in the positively correlated points. On national scale, it is possible to distinguish some areas with a dominance of points with either positive or negative correlations. Heterogeneous direction of the observed relationships allowed for a conclusion that there are unknown processes that model effects of the sun or cosmic rays on meteorological elements such as precipitation and air temperature, and thus indirectly influence the groundwater level.

**Keywords:** groundwater level fluctuations, secondary cosmic radiation, solar activity

Promieniowanie kosmiczne dociera do Ziemi w postaci strumienia cząstek o energii od ok.  $10^6$  do ponad  $10^{20}$  eV (Wilczyński, 2008; Moczulska, 2009). Natężenie niskoenergetycznego promieniowania kosmicznego jest modulowane aktywnością słoneczną. Przejawem tego zjawiska jest m.in. tzw. efekt Forbusha, polegający na tym, że strumień promieniowania kosmicznego ulega znacznemu zmniejszeniu w okresach burz geomagnetycznych. Pole magnetyczne Słońca jest wówczas wzmocnione i odbija część promieniowania pochodzącego z przestrzeni galaktycznej. Zjawisko modulacji słonecznej jest wynikiem oddziaływania cząstek promieniowania z materią i polem magnetycznym, unoszonymi ze Słońca w postaci tzw. wiatru słonecznego. Z tego samego powodu rejestrowane na Ziemi natężenie niskoenergetycznego, wtórnego promieniowania kosmicznego ulega wieloletnim zmianom związanym z cyklami aktywności Słońca. Stwierdzono odwrotną zależność między aktywnością słoneczną i wtórnym natężeniem promieniowania kosmicznego (Vázquez, Hanslmeier, 2006).

Istnieje teoria, zwana teorią Svensmarka, według której promieniowanie kosmiczne ma znaczący udział w tworzeniu się chmur w atmosferze ziemskiej (Ney, 1959; Dickinson, 1975; Svensmark, Friis-Christensen, 1997; Svensmark, Calder, 2007). Wyniki niektórych prac zdają się potwierdzać hipotezę, że promieniowanie kosmiczne może być ogniwem łączącym oddziaływanie kosmosu i zmiany klimatu na Ziemi (Beer i in., 2000; Shaviv, 2003; Shaviv, Veizer, 2003; Svensmark i in., 2016).

Jeżeli hipoteza Svensmarka jest słuszna, to wzrost natężenia promieniowania kosmicznego intensyfikuje proces powstawania aerozoli w dolnej warstwie atmosfery, które odpowiadają za tworzenie się chmur, a wielkość

pokrywy chmur wpływa na klimat na Ziemi, w tym na te jego elementy, które są kluczowe dla kształtowania się poziomu zwierciadła wód podziemnych – opad atmosferyczny i temperaturę powietrza. Można zatem przypuszczać, że procesy te w sposób pośredni mają wpływ na zmiany poziomu wód w warstwach wodonośnych.

Prezentowane w tym artykule zagadnienia są kontynuacją już wcześniej prowadzonych podobnych badań hydrogeologicznych. Na czynnik heliogeofizyczny w zjawisku wahań wód podziemnych zwracali uwagę głównie uczeni radzieccy (Kenesarin, 1959, 1963; Konopljancew, 1968, 1970; Korobejnikow, 1968; Konoplacew, Siemionow, 1979; Kowalewski, 1982; Rethaty, 1989), a spośród polskich badaczy m.in.: Paszczyk (1973), Małecka i Lipniacka (1990) i Tomaszewski (1990). Znamienne jest, że do tej pory naukowcy skupiali się głównie na przypadkach szczególnych, które w badanych przez nich zbiorach punktów wykazywały na wykresach najwyższą korelację rozważanych zmiennych.

W niektórych punktach obserwacyjnych zauważono dotychczas pewne zależności stanów wód od aktywności słonecznej wyrażonej liczbą Wolfa. Zależność tę ustalano na ogół na podstawie korelacji wystąpień ekstremalnych wartości badanych parametrów (np. Paszczyk, 1973; Tomaszewski, 1990). Jednak do tej pory nie korelowano natężenia promieniowania kosmicznego ze zmianami położenia zwierciadła wód podziemnych, a w kontekście teorii Svensmarka przeprowadzenie takiej analizy wydaje się interesujące.

Celem pracy jest ustalenie, czy istnieje związek między rejestrowanym przy powierzchni Ziemi wtórnym, niskoenergetycznym promieniowaniem kosmicznym a wahań-

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; anieszka.kowalczyk@pgi.gov.pl.

mi zwierciadła wód podziemnych obserwowanymi na terenie Polski.

## MATERIAŁ I METODA BADAŃ

Do badań wykorzystano dane z punktów sieci obserwacyjno-badawczej Monitoring Wód Podziemnych, którą od 1966 r. prowadzi Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut badawczy (PIG-BIP). Pod uwagę brano jedynie te punkty, w których pomiary głębokości położenia zwierciadła wody prowadzono co najmniej przez 10 ostatnich lat (2007–2016). W wyniku zastosowania tego kryterium analizą objęto łącznie 711 punktów monitoringu wód podziemnych, nieregularnie rozmieszczonych na obszarze Polski. Punkty podzielono na 3 zbiory badawcze: A, B i C, w zależności od typu zwierciadła wód podziemnych i głębokości zalegania stropu warstwy wodonosnej. Zbiór A objął punkty, w których występują warstwy wodonosne o swobodnym zwierciadle wód, oraz te, w których lokalnie zwierciadło to znajduje się pod niewielkim ciśnieniem piezometrycznym (maksymalnie sięgającym do 10 m ponad strop warstwy wodonosnej). W zbiorach B i C umieszczono dane z punktów reprezentujących warstwy o napiętym zwierciadle wody, przy czym w zbiorze C te, w których strop warstwy wodonosnej znajduje się poniżej 120 m p.p.t., a w zbiorze B te, w których strop ten zalega powyżej 120 m p.p.t. (tab. 1). Zastosowany podział oparto na koncepcji przedstawionej w pracy Mitreği (2013).

Wykorzystane w pracy dane o niskoenergetycznym promieniowaniu kosmicznym pochodzą z lat 1966–2016 z monitorów neutronowych stacji w Moskwie, ponieważ w Polsce nie prowadzono do tej pory obserwacji tego typu promieniowania. Rejestrowana przez detektor wielkość składowej niskoenergetycznej promieniowania jest zależna od wysokości lokalizacji detektora względem poziomu morza i szerokości geomagnetycznej. W pracy nie analizowano pojedynczych wielkości natężenia promieniowania, lecz ich zmienność. Odchylenie od stałej wartości nie ma w tym przypadku znaczenia i wykorzystanie danych pomiarowych spoza obszaru kraju jest dopuszczalne.

Istnienie związku między natężeniem promieniowania kosmicznego a położeniem zwierciadła wód podziemnych badano za pomocą współczynników rho rang Spearmana. Orientacyjne przedziały wartości współczynnika korelacji rang, ułatwiające jego interpretację, są następujące: 0–|0,2| – bardzo słaba siła związku (właściwie brak związku między analizowanymi cechami); |0,2|–|0,4| – zależność

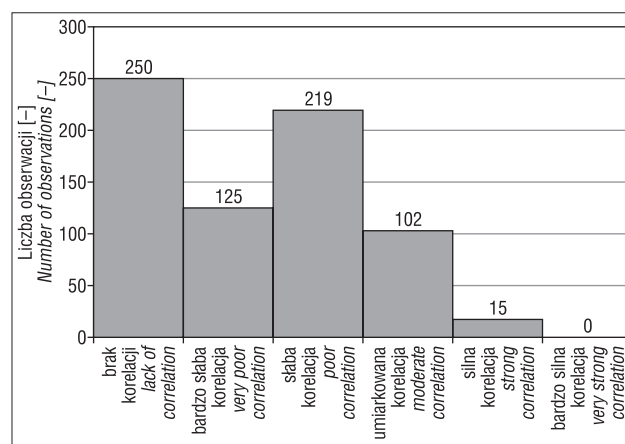
wyraźna, lecz o niewielkiej sile; |0,4|–|0,7| – zależność o umiarkowanej sile; |0,7|–|0,9| – zależność silna; |0,9|–|1,0| – zależność bardzo silna (Kobus i in., 2001).

Korelacje badano porównując średnie miesięczne natężenie promieniowania kosmicznego, wyliczone z codziennych pomiarów, i średnie miesięczne stany wód podziemnych, które wyliczono na podstawie wyników pomiarów cotygodniowych. Współczynniki rho wyliczono na podstawie całego okresu obserwacji stanów wód w danym punkcie badawczym. Najkrótsze analizowane w pracy ciągi pomiarowe poziomu zwierciadła wody obejmowały lata 2007–2016, a najdłuższe wielolecie 1966–2016. Obliczenia wykonano w programie *Statistica10*.

## WYNIKI

Stwierdzono, że w ok. 65% punktów monitoringu wód podziemnych (spośród 711 analizowanych) zachodzi statystycznie istotna ( $\alpha = 0,05$ ) zależność między natężeniem promieniowania kosmicznego a poziomem zwierciadła wód podziemnych – dotyczy to zarówno poziomów wód o zwierciadle swobodnym, jak i napiętym (ryc. 1, tab. 2). Korelacja ta jest zbyt duża, by można ją było uznać za błąd pierwszego rodzaju w porównaniach wielokrotnych, zatem natężenie promieniowania kosmicznego ma istotny związek z poziomem zwierciadła wody.

Największy udział procentowy punktów, w których stwierdzono statystycznie istotną korelację z promienio-



Ryc. 1. Siła związków w badanych punktach – zbiory A, B, C łącznie

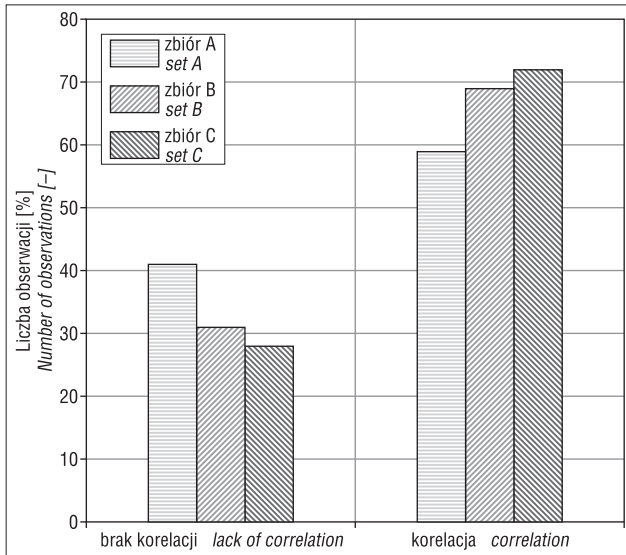
Fig. 1. Strength of relationships in the analyzed points – sets A, B, C jointly

Tab. 1. Podstawowe informacje o punktach sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych objętych analizą w podziale na zbiory badawcze A, B i C

Table 1. Basic information on the points of the groundwater observation network covered by analysis sub-divided into sets A, B and C

Zbiór Set	Liczba punktów Set size	Głębokość do stropu warstwy wodonosnej* [m p.p.t.] Depth of aquifer top [m below surface]		Typ ośrodka wodonosnego* (liczba punktów) Type of aquifer* (number of points)
		min	max	
A	385	0,14	52	porowy (293); porowo-szczelinowy (66); szczelinowo-krasowy (26) porous (293); porous-fissured (66); fissured-karst (26)
B	252	11	120	porowy (183); porowo-szczelinowy (44); szczelinowo-krasowy (25) porous (183); porous-fissured (44); fissured-karst (25)
C	74	121	535	porowy (37); porowo-szczelinowy (21); szczelinowo-krasowy (16) porous (37); porous-fissured (21); fissured-karst (16)

\* wg bazy Monitoring Wód Podziemnych / according to the Groundwater Monitoring Database



**Ryc. 2.** Porównanie procentowego udziału w zbiorach A, B i C punktów, w których stwierdzono statystycznie istotną korelację z promieniowaniem wtórnym

**Fig. 2.** Comparison of percentage of points with statistically significant correlation with secondary radiation in sets: A, B, and C

waniem wtórnym, miał zbiór C, a najmniejszy udział miał zbiór A (ryc. 2).

W zbiorze A korelacje stwierdzono w 228 punktach monitoringu wód spośród 385 analizowanych, co stanowi ok. 60% badanej grupy (tab. 2). Przy czym 125 punktów (33%) było skorelowanych dodatnio, tzn. zgodnie z inter-

pretacją współczynnika rho – przeciętna głębokość zwierciadła wody rosła wraz ze wzrostem natężenia promieniowania. Natomiast 103 punkty (27%) były skorelowane ujemnie – średnia głębokość zwierciadła wody malała wraz ze wzrostem natężenia promieniowania. Siła wykrytych związków przeważnie była słaba (30% z ogólnej liczby wszystkich badanych punktów w zbiorze A) lub bardzo słaba (18%). Umiarkowane związki ustalono w 50 punktach, co odpowiada 13% wszystkich analizowanych otworów hydrogeologicznych w tym zbiorze. Silne związki występowały bardzo rzadko – stwierdzono je jedynie w 6 punktach (2%), a bardzo silnych nie wykryto w ogóle. 157 punktów (40%) nie było skorelowanych.

W zbiorze B korelację stwierdzono w 182 punktach pomiarowych (72%) spośród 252. W tym w 111 punktach (44%) odnotowano korelację dodatnią, a w 71 punktach (28%) – korelację ujemną (tab. 2). Siła wykrytych związków, podobnie jak w zbiorze A, była przeważnie słaba (28% z ogólnej liczby wszystkich badanych punktów w zbiorze B) lub bardzo słaba (24%). Umiarkowane związki ustalono w 42 punktach, co odpowiada 17% wszystkich analizowanych otworów hydrogeologicznych w tym zbiorze (ryc. 3). Silne związki występowały w 8 punktach (3%), a bardzo silnych nie wykryto w ogóle. Siedemdziesiąt punktów (28%) nie było skorelowanych.

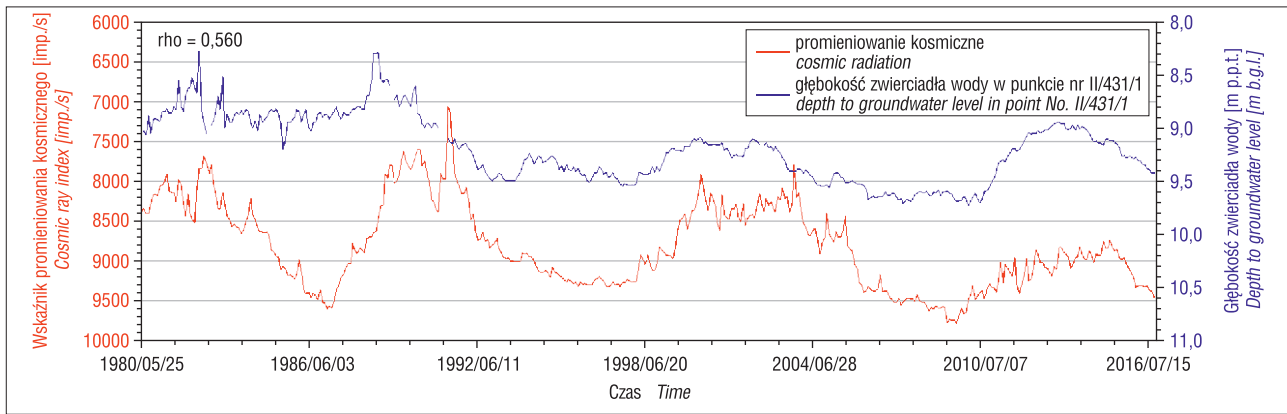
W zbiorze C, obejmującym 74 punkty monitoringu wód, zależność położenia zwierciadła wody od natężenia promieniowania kosmicznego zaobserwowano w 51 punktach (68%), przy czym 25 punktów (33%) było skorelowanych dodatnio, a 26 (35%) ujemnie (tab. 2). Siła wykrytych związków, podobnie jak w zbiorach A i B, była przeważnie

**Tab. 2.** Wyniki obliczeń współczynnika korelacji na podstawie przyjętego poziomu istotności  $\alpha = 0,05$

**Table 2.** Results of the rho coefficient calculations at significance level  $\alpha = 0,05$

Siła związku Strength of relation	(-0,8; -0,7>	(-0,7; -0,4>	(-0,4; -0,2>	(-0,2; 0,0>	(0,0; 0,2)	<0,2; 0,4)	<0,4; 0,7)	<0,7; 0,9)	Brak związku Lack of correlation
zbiory A+B+C sets A+B+C									
Liczba obserwacji [-] Number of observations [-]	3	19	110	68	57	109	83	12	250
Procent [%] Percentage [%]	0	3	15	10	8	15	12	2	35
zbiór A set A									
Liczba obserwacji [-] Number of observations [-]	0	13	57	33	24	58	37	6	157
Procent [%] Percentage [%]	0	3	15	9	6	15	10	2	41
zbiór B set B									
Liczba obserwacji [-] Number of observations [-]	3	5	34	29	30	39	37	5	70
Procent [%] Percentage [%]	1	2	13	12	12	15	15	2	28
zbiór C set C									
Liczba obserwacji [-] Number of observations [-]	0	1	19	6	3	12	9	1	23
Procent [%] Percentage [%]	0	1	26	8	4	16	12	1	31





Ryc. 3. Wykres zależności położenia zwierciadła wody podziemnej od promieniowania kosmicznego w punkcie pomiarowym ze zbioru B o umiarkowanej sile związku

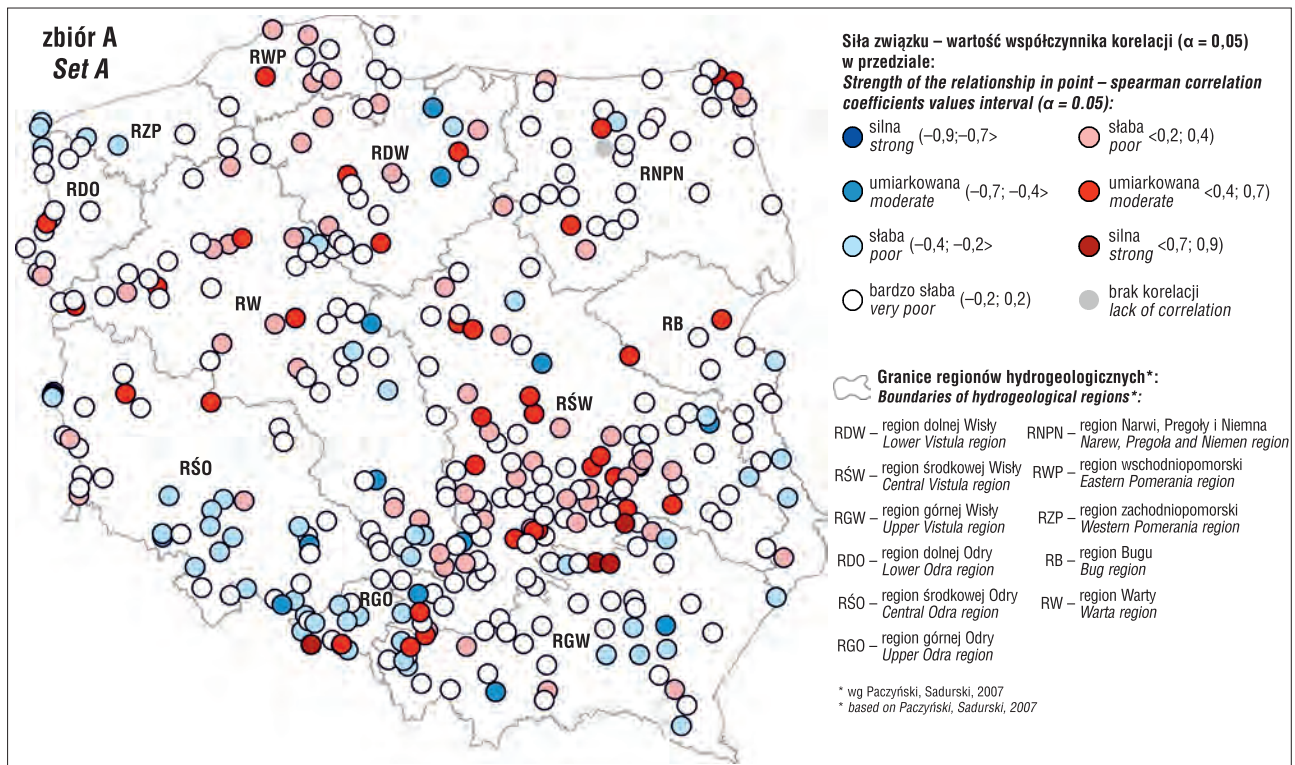
Fig. 3. Example of a dependency graph between groundwater level fluctuations and low-energy cosmic radiation for a selected point from set B with a moderate strength of relationship

słaba (42% z ogólnej liczby wszystkich badanych punktów w zbiorze C) lub bardzo słaba (12%). Umiarkowane związki ustalono w 10 punktach, co odpowiada 13% wszystkich analizowanych otworów hydrogeologicznych w tym zbiorze. Silny związek ustalono tylko w 1 punkcie, bardzo silnych nie wykryto w ogóle. 23 punkty (31%) nie były skorelowane.

Najsilniejsze korelacje wykryto w zbiorze punktów A, reprezentującym płytkie warstwy wodonośne o zwierciadle swobodnym. Największa siła związków wynosiła 0,82. Warto zwrócić uwagę, że ciągi pomiarowe poziomu zwierciadła wody we wszystkich punktach, w których wykryto silne związki w zbiorze A, były względnie krótkie – wynosiły 10 lat. Inaczej pod tym względem przedstawia się sytuacja w zbiorze C, w którym najwyższą bezwzględna

wartość współczynnika rho (0,79) stwierdzono w punkcie o 20-letnim ciągu pomiarowym. W zbiorze B natomiast część punktów o silnej korelacji ma długie ciągi pomiarowe (20 lat), a część krótkie (10 lat).

Ze względu na niewielką liczbę punktów o silnych korelacjach trudno na ich podstawie formułować ogólne wnioski, ale być może głębiej położone warstwy wodonośne (B i C) wykazują większą stabilność zależności od promieniowania kosmicznego w dłuższych przedziałach czasowych niż warstwy leżące płycej (A). Udział zgodnych (dodatnich) i odwrotnych (ujemnych) korelacji dla związków istotnych w zbiorach A i C jest dość wyrównany. W zbiorze A występuje 6-procentowa przewaga związków zgodnych, a w zbiorze C jest o 2% więcej punktów o zależnościach odwrotnych. Jedynie w zbiorze B bardzo wyraźnie



Ryc. 4. Wyniki analizy w układzie przestrzennym dla zbioru A

Fig. 4. Results of analysis in spatial layout for set A

dominują korelacje dodatnie – występuje 16-procentowa przewaga nad korelacjami ujemnymi (tab. 2).

W płytkich poziomach wodonośnych o zwierciadle swobodnym zarysowują się w skali kraju pewne obszary o dominacji zgodnej zależności poziomu zwierciadła wody od natężenia promieniowania kosmicznego (ryc. 4; czerwone kolory symboli) lub odwrotnej (ryc. 4; niebieskie kolory symboli) między badanymi zmiennymi. W związku z tym, aby przeprowadzić statystyczną analizę przestrzenną, zakodowano obliczone dla poszczególnych punktów wartości rho w następujący sposób: „1” dla  $\rho \in <0,2; 0,9>$  i „-1” dla  $\rho \in <-0,9; -0,2>$ . Zależność znaku korelacji od przynależności punktów badawczych do regionów hydrogeologicznych zbadano za pomocą testu  $\chi^2$  wszystkich punktów zakodowanych jako „1” i „-1” (Paczyński, Sadurski, 2007). Rezultat testu  $\chi^2$  potwierdził istnienie takiej zależności (przyjęty poziom istotności wynosił  $\alpha = 0,05$ ). Analogicznie zbadano, czy istnieje związek między znakiem wyliczonych współczynników rho w poszczególnych punktach a takimi atrybutami punktów, jak typ zwierciadła wody (napięte, swobodne) i rodzaj ośrodka wodonośnego (porowy, porowo-szczelinowy, szczelinowo-krasowy). Wynik tych testów był negatywny.

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na całym obszarze Polski powszechnie występuje statystycznie istotna zależność między wtórnym, niskoenergetycznym promieniowaniem kosmicznym a położeniem zwierciadła wód podziemnych. Wykryto ją w 65% badanych otworów hydrogeologicznych. Jednak siła stwierdzonych związków jest na ogół słaba (30%) lub bardzo słaba (18%). Korelacje o umiarkowanej sile występują stosunkowo rzadko (15%), a silne zdarzają się jedynie sporadycznie (2%). Bardzo silnych korelacji nie wykryto w ogóle. Ustalono zarówno zależności zgodne, jak również odwrotne między badanymi zmiennymi. W całej badanej próbie zarysowała się przewaga procentowa punktów skorelowanych dodatnio (37%) nad tymi o korelacji ujemnej (28%). Także siła związków była większa w punktach o dodatnim znaku korelacji. W skali kraju występują obszary o wyraźnej dominacji punktów o danym znaku badanej zależności. Ustalono, że to, czy związek położenia zwierciadła wody podziemnej z promieniowaniem kosmicznym jest zgodny, czy odwrotny, nie zależy od napięcia zwierciadła wód podziemnych ani od typu ośrodka warstwy wodonośnej (porowy, porowo-szczelinowy, szczelinowo-krasowy) w danym punkcie obserwacyjnym. Silny związek badanych zmiennych jest dowodem na naturalny przebieg zjawiska wahań zwierciadła wód podziemnych w danym punkcie obserwacyjnym.

Wyniki badań wskazują, że promieniowanie kosmiczne nie jest bezpośrednią przyczyną wahań zwierciadła wód podziemnych. Świadczy o tym zarówno niejednorodny znak wykrytych korelacji, jak również to, iż nie stwierdzono wyraźnego zmniejszania się badanej zależności wraz ze wzrostem głębokości zalegania warstw wodonośnych w analizowanych zbiorach punktów A, B i C. Niejednorodny kierunek stwierdzonych zależności każe przypuszczać, że mechanizm wzajemnych powiązań: promieniowanie kosmiczne – klimat jest bardziej skomplikowany niż opisuje to Svensmark (2007). Przytoczone wyniki badań nasuwają przypuszczenie, że istnieją nieodkryte jeszcze

procesy, które modelują oddziaływanie Słońca lub promieniowania kosmicznego na czynniki meteorologiczne, takie jak np. opad czy temperatura powietrza, i w ten sposób pośrednio wpływają na poziom wód podziemnych. Podjęty w pracy temat wymaga dalszych badań. Przedstawione wyniki stawiają wiele nowych pytań, na które warto szukać odpowiedzi. Między innymi bardziej szczegółowej analizy wymaga ustalenie wpływu długości okresu obserwacji oraz określonych przedziałów czasowych na rozpatrywane związki.

Autorka dziękuje recenzentom – prof. dr. hab. Stanisławowi Staško i dr. hab. Andrzejowi Gąsiewiczowi za cenne uwagi – oraz firmie Statsoft Polska, w tym w szczególności Panu Pawłowi Januszewskiemu za nieodpłatną pomoc w obliczaniu wskaźników korelacji i konsultacje w zakresie analizy statystycznej.

#### LITERATURA

- BEER J., MENDE W., STELLMACHER R. 2000 – The role of the sun in climate forcing. *Quater. Sc. Rev.*, 19: 403–415.
- DICKINSON R.E. 1975 – Solar Variability and the Lower Atmosphere. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 56 (12): 1240–1248.
- KENESARIN N.A. 1959 – Formirovanie rejima gruntovoyh vod oroshayemyh rayonov na primere Golodnoy Stepi. Tashkent, Izdatel'stvo Akademii Nauk U ZSSR.
- KENESARIN N.A. 1963 – Hidrogeologiceskij prognoz zemnyh pojavlenij spokojnogo solonca – Uzbekskij geologiceskij zurnal, 2: 21–25.
- KOBUS P., PIETRZYKOWSKI R., ZIELIŃSKI W. 2001 – Statystyka z pakietem STATISTICA. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa.
- KONOPLACEW A.A. 1968 – Prognoz rezima podziemnyh vod metodom analogii. *Rozvedka i ohrona nedr*, 2: 41–47.
- KONOPLACEW A.A. 1970 – Vekovyje i mnogoletnyje kolebania urovnia gruntovoyh vod na teritorii SSSR. *Voprosy izucenija i prognoz rezima podzemnyh vod*, 25: 34–59.
- KONOPLACEW A.A., SIEMIONOW S. 1979 – Prognozowanie i kartograficzne odwzorowanie reżimu wód gruntowych. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- KOROBENNIKOW W.A. 1986 – Sostavlenye sverhdolgosrochnyh prognozov rezima urovnja gruntovoyh vod. *Voprosy izucenija i prognoza rezima podziemnyh vod*, 25: 34–37.
- KOWALEWSKI W.S. 1982 – Improvements of Methods of Long Term Prediction of Variations in Groundwater Resources and Regimes Due to Human Activity. *Proceedings of the Exeter Symposium*, July 1982. *IAHS Publ.*, 136: 53–60.
- MAŁECKA D., LIPNIACKA T. 1990 – Sieć hydrogeologicznych obserwacji stacjonarnych na Podhalu – założenia i wstępna interpretacja wyników. *Prz. Geol.*, 38 (11): 484–491.
- MOCZULSKA M. 2009 – Promieniowanie kosmiczne. *Pol. Warsz.* <http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mj/zal1/pz07/Maryla-Moczulska.pdf>
- NEY E.P. 1959 – Cosmic Radiation and the Weather. *Nature*, 183 (4659): 451–452.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.) 2007 – *Hydrogeologia regionalna Polski*, t. 1. Wody słodkie. Państw. Inst. Geol.
- PASZCZYK J. 1973 – Analiza wahań zwierciadła wód podziemnych w obszarze wschodnim Polski. *Prz. Geogr.*, 65 (3): 599–611.
- RETHATY L. 1989 – *Groundwater and Civil Engineering*. Stroyizdat, Moscow.
- SHAVIV N.J. 2003 – The spiral structure of the Milky Way, cosmic rays and ice age epochs on Earth. *New Astron.*, 8: 39–77.
- SHAVIV N., VEIZER J. 2003 – Celestial driver of Phanerozoic climate. *GSA Today* 13 (July) 4–1.
- SVENSMARK H., CALDER N. 2007 – *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change*, published in UK, US, Australia by Icon Books: [www.iconbooks.co.uk](http://www.iconbooks.co.uk).
- SVENSMARK H., FRIIS-CHRISTENSEN E. 1997 – Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 59: 1225–1232.
- TOMASZEWSKI J.T. 1990 – Charakter wahań zwierciadła górnego poziomu wód podziemnych. Na przykładach z południowo-zachodniej i środkowej Polski. *St. Geogr. UW*.
- WILCZYŃSKI H. 2008 – Promieniowanie kosmiczne: ciekawostka, uciążliwość czy wielka nauka. *IFJ PAN*. [https://www.ifj.edu.pl/pop/do/2008/ref/wykl\\_wil.pdf](https://www.ifj.edu.pl/pop/do/2008/ref/wykl_wil.pdf)
- VÁZQUEZ M., HANSLMEIER A. 2006 – *Ultraviolet radiation in the solar system*. Springer. Dordrecht.