

Stanisław SIEMIONOW, Nariman ISKANDAROW, Jerzy MIECZNICKI, Jarosław PICH

## Badania i metodyka prognozowania stanów wód gruntowych (w ramach współpracy WSIEGINGEO i Instytutu Geologicznego)

W oparciu o metody statystyczne podano sposób określania prawdopodobieństwa, intensywności i znaku tendencji w przebiegu wieloletnich wahań zwierciadła wód gruntowych. Przedstawiono także wyniki analizy tych tendencji, przeprowadzonej na podstawie danych z wieloletnich obserwacji zwierciadła wód gruntowych w wybranych punktach z obszaru wschodniej Polski. Przeanalizowano również przy użyciu metod statystycznych wybrane czynniki kształtujące reżim wód gruntowych: opady atmosferyczne, stan zwierciadła wód gruntowych w okresie poprzedzającym, cyrkulację atmosferyczną, niedosyt wilgotności powietrza i temperaturę powietrza. Uzyskane wyniki umożliwiają sformułowanie równań pozwalających prognozować wiosenne stany maksymalne wód gruntowych w wybranych rejonach.

### WSTĘP

Od 1975 r. grupa radzieckich i polskich hydrogeologów, z WSIEGINGEO w Moskwie i Instytutu Geologicznego w Warszawie, prowadzi wspólne badania nad udoskonaleniem metod prognozowania reżimu wód gruntowych (pierwszego poziomu wód podziemnych), w warunkach naturalnych i słabo naruszonych. Prace te prowadzone są na bazie wieloletnich obserwacji meteorologicznych i wód gruntowych w zachodnich rejonach Związku Radzieckiego i na obszarze Polski.

Aby można było opracować prognozy zmian stanu wód gruntowych niezbędne jest poznanie i wyjaśnienie między innymi takich zagadnień, jak: 1 — genetyczne prawidłowości reżimu zwierciadła wód gruntowych w warunkach naturalnych i słabo naruszonych oraz 2 — cykliczność wahań zwierciadła wód gruntowych.

Autorzy prezentują dotychczasowe wyniki badań w zakresie powyższej problematyki, dzieląc je na dwa główne rozdziały: w pierwszym — przeprowadzono próbę oceny tendencji zmian stanu zwierciadła wód gruntowych i uchwycenia tych procesów w przestrzeni; w drugim — omawia się analizę wybranych czynników (niedosyt wilgotności, temperaturę powietrza, opady atmosferyczne, stan zwierciadła wód gruntowych w okresie poprzedzającym, cyrkulację atmosferyczną) kształtujących wiosenny wysoki stan wód gruntowych.

Przy wstępnej analizie wzięto pod uwagę dane z obserwacji zwierciadła wód gruntowych w wybranych 23 punktach z obszaru Polski oraz materiały podstawowe (niedosyt wilgotności powietrza, temperaturę powietrza i opady atmosferyczne) z obserwacji w 6 stacjach meteorologicznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Informacje o cyrkulacji atmosfery w analizowanym okresie pochodzą z badań prowadzonych w Związku Radzieckim.

## OCENA TENDENCJI WIELOLETNIICH ZMIAN ZWIERCIADŁA WÓD GRUNTOWYCH

Badanie wieloletnich tendencji w reżimie wód gruntowych jest bardzo istotne, gdyż ujawnienie i ocena trendów pozwala na wyciąganie wniosków dotyczących zasobów wód podziemnych, otwiera perspektywy prognozowania ich stanów oraz umożliwia analizowanie cykliczności, synchroniczności i asynchroniczności wahań zwierciadła wód podziemnych. W konkretnych przypadkach daje to również możliwość oddzielenia sztucznego oddziaływania na reżim wód gruntowych, spowodowanego gospodarczą działalnością człowieka, od naturalnych zmian wieloletnich. Ustalenie trendów jest niewątpliwie trudnym zagadnieniem w badaniu wieloletnich prawidłowości reżimu wód gruntowych. Trend obserwowany w czasie wieloletnich zmian zwierciadła wód gruntowych należy przyporządkować wahaniom pierwszego rzędu, niezależnie od ich liniowego czy nieliniowego charakteru. Można przypuszczać, że ujawnione trendy są odzwierciedleniem zmian klimatycznych na dużą skalę, częścią naturalnych cykli, niewspółmiernie dużych w stosunku do okresu, dla którego dysponujemy danymi z obserwacji (WMO, Technical, 1966). W celu ujawnienia tendencji można zastosować specjalne badanie trendów, które powoduje porównanie każdego członu analizowanego szeregu zwierciadeł wód ze wszystkimi następnymi członami tego szeregu (A. J. Karasiew, 1962). Określamy przy tym ilość  $n$  elementów szeregu następujących po elemencie badanym, jednocześnie większych od niego pod względem wartości bezwzględnej. I tak dla pierwszego elementu szeregu liczbowego  $a_1, a_2, \dots, a_N$  ilość ta będzie równa  $n_1$ , dla drugiego będzie równa  $n_2$ , itd. W przypadku, gdy badany szereg jest ciągiem liczbowym stale malejącym, wszystkie  $n$  będą równe 0, a zatem i ich suma będzie równa

$$n_{(-)} = 0$$

W przypadku ciągu liczbowego stale rosnącego przy ogólnej liczbie składników ciągu równej  $N$ , wartości  $n$  rozkładają się w następujący sposób:

$$n_1 = N - 1, n_2 = N - 2, \dots, n_{N-1} = 1$$

Sumę wszystkich  $n$  można określić w tym przypadku jako:

$$n_{(+)} = \frac{N(N-1)}{2} \quad [1]$$

W całym zakresie zmienności tendencji od nieustannie malejącej do nieustannie wzrastającej suma  $n$  zmienia się od  $n_{(-)}$  do  $n_{(+)}$ . W przypadku braku trendu suma ta charakteryzuje się średnią wielkością między  $n_{(+)}$  i  $n_{(-)}$ .

$$n_o = \frac{N(N-1)}{4} \quad [2]$$

A zatem istotność trendu ( $P$ ) w dowolnym badanym szeregu stanów wód gruntowych może być określona stosunkiem różnicy sum wartości  $n_i$  dla badanego szeregu i  $n_o$  dla szeregu bez trendu do sumy wartości  $n_o$  dla szeregu bez trendu

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N n_i - n_o}{n_o} \quad [3]$$

Wartość  $P$  charakteryzująca istotność trendu zmienia się od  $-1$  dla ciągu liczbowego nieustannie malejącego do  $+1$  dla ciągu liczbowego nieustannie rosnącego. Przy wszystkich wartościach różnych od  $+1$  i  $-1$  obecność trendu określa się z pewnym wiarygodnym prawdopodobieństwem, którego wartość określa się zakładając, że równanie istotności trendu  $P$  podlega rozkładowi normalnemu.

Do obliczeń praktycznych wskaźnik istotności trendu  $P$  sprowadza się do następującej postaci znormalizowanej:

$$y = 3 \sqrt{\frac{n_o}{N+2,5} P} \quad [4]$$

gdzie wszystkie symbole jak wyżej.

Wiarygodne prawdopodobieństwo istnienia trendu w badanym szeregu stanów wód gruntowych określa się na podstawie wartości  $y$  z tablicy funkcji rozkładu normalnego. W tabeli 1 podano przykład obliczenia wskaźnika istotności trendu  $P$  w wieloletnim szeregu średnich rocznych stanów wód gruntowych w studni w miejscowości Uchanie<sup>1</sup>. W tabeli 1 przedstawiono obliczone wartości  $n_i$  dla każdego członu szeregu średnich rocznych stanów wód gruntowych. Przy obliczaniu wartości  $n_i$  uwzględ-

<sup>1</sup> Otwór zlokalizowany we wschodniej części Wyżyny Lubelskiej. Jest to obszar bezpośredniej infiltracji. Woda podziemna występuje w utworach kredowych pod przykryciem płasków zagłębionych.

Tabela 1

Zestawienie wartości  $n_i$  dla wieloletniego szeregu średnich rocznych stanów wód gruntowych

Rok	Stan średni roczny m p.p.t.	$n_i$	Rok	Stan średni roczny m p.p.t.	$n_i$	Rok	Stan średni roczny m p.p.t.	$n_i$
1949	4,87	9	1958	5,11	9	1967	4,04	0
1950	5,70	20	1959	5,50	13	1968	4,38	1
1951	5,23	14	1960	5,51	12	1969	4,86	4
1952	5,23	13	1961	6,28	14	1970	4,68	2
1953	4,44	4	1962	5,14	9	1971	4,85	2
1954	5,73	17	1963	5,38	11	1972	5,36	3
1955	6,16	18	1964	6,64	11	1973	5,17	2
1956	6,12	17	1965	5,05	8	1974	4,66	1
1957	7,28	18	1966	4,42	2	1975	4,26	—

Suma  $n_i = 234$ 

niono fakt, że średnie roczne wartości stanów wód są podane w metrach od powierzchni terenu (głębokość), tj. dla określenia prawdziwego znaku trendu policzono liczbę  $n$  elementów szeregu następujących po badanym elemencie, jednocześnie mniejszych od niego pod względem wartości bezwzględnej.

W przypadku braku trendu dla szeregu średnich rocznych stanów wód gruntowych ( $N = 27$ ), suma  $n$  wyrażona wzorem [2] równa jest:

$$n_0 = \frac{27(27-1)}{4} = 175;$$

wskaźnik istotności trendu  $P$  obliczony według wzoru [3] wynosi:

$$P = \frac{234-175}{175} = 0,337;$$

a znormalizowana wielkość wskaźnika  $P$  określona wzorem [4]:

$$y = 3 \sqrt{\frac{175}{27+2,5}} 0,337 = 2,37.$$

Stosując tablice funkcji rozkładu normalnego

$$\varphi(y) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^y e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad [5]$$

znajdujemy dla wartości  $y = 2,37$  wielkość  $\varphi(y) = 0,982$ . Oznacza to, że wiarygodne prawdopodobieństwo wystąpienia trendu w wieloletnich zmianach średnich rocznych stanów wód gruntowych w studni w miejscowości Uchanie równe jest 98,2%, co pozwala do celów praktycznych ustalić obecność trendu w badanym okresie 27-letnim. Dodatnia wartość

wielkości znormalizowanej  $y$  wskaźnika istotności trendu  $P$  świadczy o rosnącym charakterze trendu (stany wód gruntowych wykazują wieloletni wznios).

#### OCENA INTENSYWNOŚCI TRENDU

Intensywność wiarygodnie ustalonych trendów w wieloletnich zmianach stanów wód gruntowych można ustalić za pomocą skonstruowanej w tym celu krzywej regresji. Równanie krzywej regresji ma następującą postać:

$$h(t) = \bar{h} + b(t - \bar{t}) \quad [6]$$

gdzie:  $\bar{h}$  — średni z wielolecia stan wód gruntowych za okres obliczeniowy  $N$ -letni;  $\bar{t}$  — środkowy rok kalendarzowy w rozpatrywanym szeregu (np.  $t = 1962$ );  $b$  — współczynnik równania krzywej regresji wyrażony wzorem:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N [(t_i - \bar{t}) \cdot (h_i - \bar{h})]}{\sum_{i=1}^N [(t_i - \bar{t})^2]} \quad [7]$$

Błąd współczynnika regresji wylicza się z wzoru:

$$\sigma_b = \frac{1}{\sqrt{N-2}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(h_i - \bar{h})^2]}{\sum_{i=1}^N [(t_i - \bar{t})^2]} - b^2} \quad [8]$$

gdzie:  $t_i$  — kolejne lata szeregu;  $h_i$  — średnie stany roczne odpowiadające kolejnym latom szeregu.

Poniżej przedstawiono przykład obliczenia intensywności wiarygodnie ustalonego trendu w wahaniach wieloletnich średnich rocznych stanów wód gruntowych w studni w miejscowości Uchanie. Obliczeń dokonano posługując się tabelą 2. Wartość średnia z wielolecia szeregu ( $N = 27$ ) rozpatrywanego w tej tabeli równa jest  $\bar{h} = 5,22$ . Rokiem średnim (środkowym szeregu) jest rok 1962 ( $\bar{t} = 1962$ ). Do obliczenia współczynnika krzywej regresji  $b$  i jego błędu  $\sigma_b$  stosuje się ostatni, podsumowujący wiersz tabeli 2.

Współczynnik regresji określa się ze wzoru [7]:

$$b = \frac{-64,97}{1638} = -0,0396, \quad [68]$$

a jego błąd ze wzoru [8]:

Tabela 2

Zestawienie danych do obliczenia intensywności trendu w wahaniach wieloletnich średnich rocznych stanów wód gruntowych

Rok	Stan średni roczny $h_i$ m p.p.t.	$t_i - \bar{t}$	$(t_i - \bar{t})^2$	$h_i - \bar{h}$	$(h_i - \bar{h})^2$	$(t_i - \bar{t}) \cdot (h_i - \bar{h})$
1949	4,87	-13	169	-0,35	0,1225	4,55
1950	5,70	-12	144	0,48	0,2304	-5,76
1951	5,23	-11	121	0,01	0,0001	-0,11
1952	5,23	-10	100	0,01	0,0001	-0,10
1953	4,44	-9	81	-0,78	0,6084	7,02
1954	5,73	-8	64	0,51	0,2601	-4,08
1955	6,16	-7	49	0,94	0,8836	-6,58
1956	6,12	-6	36	0,90	0,8100	-5,40
1957	7,28	-5	25	2,06	4,2436	-10,80
1958	5,11	-4	16	-0,11	0,0121	0,44
1959	5,50	-3	9	0,28	0,0784	-0,84
1960	5,51	-2	4	0,29	0,0841	-0,58
1961	6,28	-1	1	1,06	1,1236	-1,06
1962	5,14	0	0	-0,08	0,0064	0,00
1963	5,38	1	1	0,16	0,0256	0,16
1964	5,64	2	4	0,42	0,1764	0,84
1965	5,05	3	9	-0,17	0,0289	-0,51
1966	4,42	4	16	-0,80	0,6400	-3,20
1967	4,04	5	25	-1,18	1,3689	-5,90
1968	4,38	6	36	-0,84	0,7056	-5,04
1969	4,86	7	49	-0,36	0,1296	-2,52
1970	4,68	8	64	-0,54	0,2916	-4,32
1971	4,85	9	81	-0,37	0,1369	-3,33
1972	5,36	10	100	0,14	0,0196	1,40
1973	5,17	11	121	-0,05	0,0025	-0,55
1974	4,66	12	144	-0,56	0,3136	-6,72
1975	4,26	13	169	-0,96	0,9216	-12,48
$\Sigma$			1638		13,2242	-64,97

$$\sigma_b = \frac{1}{\sqrt{27-2}} \sqrt{\frac{13,2242}{1638} - 0,0396^2} = \pm 0,016$$

Równanie krzywej regresji przyjmie postać:  $h = 5,22 - 0,0396(t - 1962)$ .

Powyższe obliczenia (wykonane dla punktu obserwacyjnego wód gruntowych w miejscowości Uchanie) pozwoliły na ocenę intensywności trendu w tym rejonie. W okresie od 1949 do 1975 r. stany wód gruntowych, przy średniej głębokości ich położenia w studni 5,22 m, wykazują wieloletni wznios ze średnią dynamiką równą wielkości współczynnika regresji, tj. 0,0396 m/rok. Prawdopodobieństwo tego współczynnika, jak podano wyżej, wynosi 98,2%, co znacznie przewyższa 5-procentowy poziom istotności.

Na podstawie przedstawionej metodyki dokonano analizy wieloletniego ukierunkowania wahań zwierciadła wód gruntowych opierając się na danych z obserwacji terenu wschodniej Polski. Wykorzystano średnie roczne stany wód gruntowych w 23 gospodarskich studniach kopanych, stanowiących punkty obserwacyjne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, za okres nie krótszy niż 20 lat.

W celu uniknięcia błędów w ocenie prawdopodobieństwa trendu niezbędny jest długi okres obserwacji.

W większości (ok. 75%) studzien obserwacyjnych zauważa się w okresie od początku lat pięćdziesiątych do połowy lat siedemdziesiątych tendencję do wzniosu zwierciadła wód gruntowych. Tendencje do obniżania się zwierciadła dają się zauważyć tylko w sześciu spośród analizowanych 23 studzien, co stanowi około 25%. Proporcje te oraz wartości wskaźników istotności trendu  $P$  analizowanych punktów przedstawione są w sposób graficzny na fig. 1.

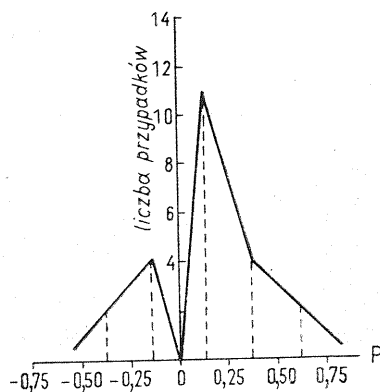


Fig. 1. Rozkład wskaźników istotności trendu  $P$  wieloletnich zmian zwierciadła wód gruntowych

Distribution of significance indices of trend  $P$  of many-years changes in groundwater table

Z analizy wynika, że jedynie 38% trendów jest ustalone w sposób wiarygodny. Należą do nich tylko te trendy, których znormalizowane wielkości  $y$  wskaźnika istotności trendu  $P$  są określone z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż 95%, tj. przypadkowość ich wystąpienia nie jest większa niż 5%. Dla pozostałych studzien trendy są ustalone z mniejszym prawdopodobieństwem niż 95%, co oznacza, że niektóre z nich mogą być wątpliwe i przypadkowe. Daje się zauważyć prawidłowość, że szczególnie duże prawdopodobieństwo mają trendy w przypadku występowania wód gruntowych na głębokościach większych niż 3 m.

Figura 2 przedstawia schematyczną mapę, obrazującą stwierdzone tendencje w wieloletnich zmiennościach stanów wód gruntowych rozpatrywanej części terytorium Polski. Widać na niej obszary z wyraźnym dominowaniem określonych trendów (pozytywnych i negatywnych). Na tle ogólnego wieloletniego wzniosu zwierciadła wód gruntowych, właściwego przeważającej części analizowanego obszaru, zaznaczają się w jego centralnej i północno-wschodniej części tereny charakteryzujące się (za okres ostatnich 20—25 lat) dominowaniem spadku zwierciadła wód gruntowych. W toku dalszych badań, po przeanalizowaniu wyników obser-

wacji za lata następne, może się okazać, że badany okres 20—25 lat jest częścią większego cyklu, np. 33-letniego. Wtedy mogą ulec zmianie określone obecnie tendencje wieloletnich zmienności stanów wód gruntowych. Tak więc wyniki obliczeń dokonanych dla 23 punktów, jak również przedstawiona schematyczna mapa mają charakter wstępny i powinny być z biegiem czasu uściślane na podstawie nowych danych z obserwacji.



Fig. 2. Mapa tendencji w przebiegu wieloletnich zmian zwierciadła wód gruntowych

Map of trends of many-years changes in groundwater table

1 — obszary o tendencji pozytywnej;  
2 — obszary o tendencji negatywnej  
1 — positive trend areas; 2 — negative trend areas

#### ANALIZA WPLYWU CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH WIOSENNE STANY MAKSYMALNE WÓD GRUNTOWYCH

Rola poszczególnych czynników w kształtowaniu zmian zwierciadła wód gruntowych najwyraźniej zarysowuje się w toku analizy macierzy korelacyjnych współczynników korelacji dwóch zmiennych lub współczynników korelacji cząstkowej (A. A. Konoplancew, S. M. Siemionow, 1974). Interesujące wyniki zostały uzyskane w procesie opracowywania równań prognostycznych na podstawie wyników obserwacji wód gruntowych w wybranych rejonach Polski (fig. 3).

W tabeli 3 podaje się zgeneralizowane dane o czynnikach, które wykazały największy wpływ na kształtowanie wiosennych stanów maksymalnych oraz wskazuje się ich miejsce w równaniu regresji wieloletniej. Można uznać, że wybrany zestaw czynników okazał się dostateczny dla uzyskania zadowalających (ale nie optymalnych) prognostycznych równań regresji. Spośród 27 zaproponowanych czynników (tab. 4) do równań weszło 21. W gruncie rzeczy nieistotne okazały się tylko niektóre warianty oparte na kilku wskaźnikach charakteryzujących typy cyrkulacji atmosferycznej ( $X_{20}$ ,  $X_{24}$ ,  $X_{25}$ ,  $X_{27}$ ) oraz wiosenny maksymalny stan wody w roku poprzedzającym ( $X_{18}$ ).

W odróżnieniu od wielu rejonów ZSRR na badanych terenach Polski zaden czynnik nie odgrywa wyraźnie dominującej roli w kształtowaniu wiosennego wzniosu wód gruntowych. Najważniejsze znaczenie mają chyba stany wód podziemnych w poprzedzającym okresie jesiennym

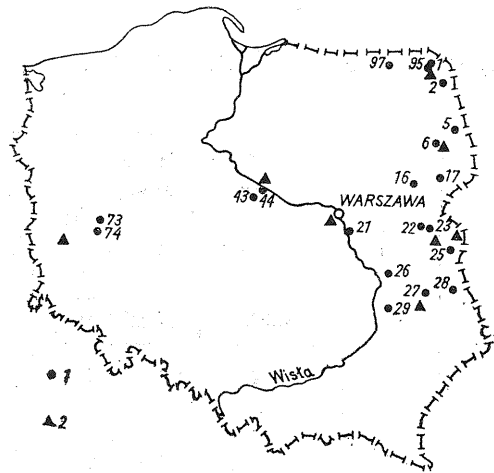


Fig. 3. Szkic rozmieszczenia punktów badawczych

Location of observation posts

1 — wybrane punkty obserwacji wód gruntowych; 2 — wybrane stacje meteorologiczne

1 — selected posts of groundwater observation; 2 — selected meteorological stations



oraz opady atmosferyczne (w postaci ciekłej i stałej) w okresie poprzedzającej jesieni (I i II miejsce) — tab. 3 i 5. Zwraca uwagę dość częste występowanie w równaniach regresji wskaźników cyrkulacji atmosferycznej (od  $X_{19}$  do  $X_{27}$ ), przy czym w trzech przypadkach występują one jako czynniki główne. W charakterze czynników drugo- i trzeciorzędnych cyrkulacja atmosferyczna występuje w dość dużej liczbie równań.

Czynnikami wnoszącymi znacznie mniejszy udział do równań regresji (III — IV miejsca) okazały się: temperatura powietrza, stany zwierciadła wód gruntowych w niektórych okresach bezpośrednio poprzedzających oraz wschodni typ cyrkulacji atmosferycznej.

Ogólny obraz rozkładu ilości przypadków efektywnego udziału poszczególnych czynników w kształtowaniu stanów maksymalnych na przykładzie 20 punktów obserwacyjnych na terenie Polski przedstawiono na wykresie (fig. 4). W równaniach regresji najczęściej występują opady atmosferyczne w okresie bezpośrednio poprzedzającym (24 przypadki). Są one najważniejszymi czynnikami wywierającymi wpływ na stany wód gruntowych na obszarze całej Polski.

Następnymi spośród czynników najczęściej występującymi w równaniach regresji są stany zwierciadła wód (15 przypadków) i wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej (14 przypadków). Uchwycenie znacznej roli wskaźnika cyrkulacji atmosferycznej może okazać się bardzo korzystne, gdyż jej wykorzystanie do prognozowania stanów wód pozwala na opracowywanie prognoz z bardzo dużym wyprzedzeniem czasowym. Jest interesujące, że tak dużego procentowego udziału cyrkulacji atmosferycznej nie stwierdzono dla żadnej części obszaru Związku Radzieckiego.

Ostatnie dwa analizowane czynniki: temperatura powietrza i niedosyt wilgotności wystąpiły odpowiednio 6 i 4 razy w równaniach regresji.

Udział procentowy poszczególnych czynników kształtujących reżim zwierciadła wód gruntowych w wybranych punktach na terenie Polski obrazuje tabela 5.

Dla porównania warto wspomnieć, że w europejskiej części ZSRR

Tabela 3

Czynniki i ich rola w kształtowaniu wiosennych stanów maksymalnych wód gruntowych na obszarze Polski

Nr pkt	Czynniki wchodzące do równania regresji: w liczniku współczynnik korelacji dwóch zmiennych, w mianowniku — udział jednostkowy czynnika w %				$R_o$	P [%]
	I miejsce	II miejsce	III miejsce	IV miejsce		
29	$X_{15} \frac{0,95}{92}$	$X_{22} \frac{0,77}{8}$	$X_{13} \frac{0,69}{-}$	—	0,94	89
5	$X_{26} \frac{-0,52}{61}$	$X_{14} \frac{0,52}{50}$	$X_{23} \frac{0,53}{-5}$	—	0,62	61
97	$X_{14} \frac{0,72}{51}$	$X_7 \frac{-0,71}{49}$	—	—	0,83	79
28	$X_5 \frac{-0,64}{84}$	$X_{14} \frac{0,56}{48}$	$X_2 \frac{-0,42}{-30}$	—	0,81	61
1	$X_6 \frac{-0,69}{51}$	$X_1 \frac{-0,68}{49}$	—	—	0,86	80
27	$X_{17} \frac{0,90}{89}$	$X_{13} \frac{-0,49}{11}$	—	—	0,92	89
16	$X_1 \frac{-0,71}{93}$	$X_{12} \frac{0,44}{8}$	$X_{14} \frac{0,48}{-1}$	—	0,71	70
21	$X_{11} \frac{0,54}{43}$	$X_6 \frac{-0,39}{32}$	$X_{22} \frac{0,43}{14}$	$X_{26} \frac{-0,41}{14}$	0,72	76
22	$X_{15} \frac{0,48}{32}$	$X_9 \frac{-0,55}{28}$	$X_{22} \frac{0,50}{24}$	$X_5 \frac{-0,35}{16}$	0,80	82
73	$X_{15} \frac{0,80}{67}$	$X_7 \frac{-0,62}{30}$	$X_8 \frac{-0,32}{3}$	—	0,87	88
74	$X_2 \frac{-0,86}{54}$	$X_{14} \frac{0,75}{35}$	$X_9 \frac{-0,30}{7}$	$X_{21} \frac{0,22}{4}$	0,98	100
44	$X_{15} \frac{0,66}{45}$	$X_{11} \frac{-0,48}{27}$	$X_{21} \frac{0,57}{3}$	$X_{20} \frac{-0,42}{3}$	0,84	87
43	$X_{15} \frac{0,75}{71}$	$X_5 \frac{-0,30}{15}$	$X_{10} \frac{0,38}{15}$	$X_{19} \frac{-0,12}{-11}$	0,86	86
26	$X_5 \frac{-0,57}{68}$	$X_{14} \frac{0,43}{44}$	$X_2 \frac{-0,50}{-12}$	—	0,74	71
2	$X_{12} \frac{0,79}{49}$	$X_{19} \frac{-0,79}{46}$	$X_{26} \frac{0,62}{4}$	—	0,90	78
6	$X_{23} \frac{-0,50}{112}$	$X_5 \frac{-0,40}{33}$	$X_{21} \frac{0,41}{31}$	$X_{26} \frac{-0,44}{-76}$	0,80	72
23	$X_{15} \frac{0,50}{53}$	$X_5 \frac{-0,43}{52}$	$X_2 \frac{-0,44}{-11}$	—	0,72	67

c. d. tabeli 3

Nr pkt	Czynniki wchodzące do równania regresji: w liczniku współczynnik korelacji dwóch zmiennych, w mianowniku — udział jednostkowy czynnika w %				$R_o$	$P$ [%]
	I miejsce	II miejsce	III miejsce	IV miejsce		
17	$X_1 \frac{-0,62}{42}$	$X_{12} \frac{0,60}{35}$	$X_3 \frac{-0,58}{23}$	—	0,70	74
25	$X_{14} \frac{0,54}{42}$	$X_5 \frac{-0,44}{35}$	$X_{21} \frac{0,31}{13}$	$X_1 \frac{-0,54}{10}$	0,72	72
95	$X_1 \frac{-0,55}{44}$	$X_7 \frac{-0,57}{31}$	$X_2 \frac{-0,42}{21}$	—	0,66	70

Uwaga:  $R_o$  — całkowity współczynnik korelacji;  $P$  — prawdopodobieństwo gwarancji metodyki prognozy.

Tabela 4

#### Zestawienie czynników kształtujących reżim wód gruntowych

- $X_1$  — roczna suma opadów roku poprzedniego (styczeń — grudzień)
- $X_2$  — suma opadów w okresie październik — styczeń dwóch poprzednich lat
- $X_3$  — suma opadów w okresie wrzesień — listopad roku poprzedniego
- $X_4$  — suma opadów w okresie październik — grudzień roku poprzedniego
- $X_5$  — suma opadów w okresie listopad — styczeń roku poprzedniego i bieżącego
- $X_6$  — suma opadów w okresie grudzień — styczeń roku poprzedniego i bieżącego
- $X_7$  — suma opadów w okresie wrzesień — styczeń roku poprzedniego i bieżącego
- $X_8$  — średnia temperatura powietrza w okresie wrzesień — październik roku poprzedniego
- $X_9$  — średnia temperatura powietrza w okresie listopad — styczeń roku poprzedniego i bieżącego
- $X_{10}$  — średnia temperatura powietrza w okresie listopad — styczeń roku poprzedniego i bieżącego
- $X_{11}$  — średnia temperatura powietrza roku poprzedniego
- $X_{12}$  — średni niedosyt wilgotności powietrza w okresie wrzesień — październik roku poprzedniego
- $X_{13}$  — średni niedosyt wilgotności powietrza w okresie listopad — styczeń roku poprzedniego i bieżącego
- $X_{14}$  — średni stan wody w listopadzie roku poprzedniego
- $X_{15}$  — średni stan wody w okresie wrzesień — listopad roku poprzedniego
- $X_{16}$  — średni stan wody roku poprzedniego (styczeń — grudzień)
- $X_{17}$  — połowa sumy stanów minimum przedwiosennego + maksimum wiosennego roku poprzedniego
- $X_{18}$  — max. stan wiosenny roku poprzedniego
- $X_{19}$  — suma wskaźników cyrkulacji atmosferycznej w okresie półtora roku (z wyjątkiem miesięcy: IV, VII, VIII i IX), tj. od czerwca roku poprzedniego do stycznia roku bieżącego, dla cyrkulacji E
- $X_{20}$  — jak wyżej, dla cyrkulacji W
- $X_{21}$  — jak wyżej, dla cyrkulacji S

- $X_{22}$  — suma wskaźników cyrkulacji atmosferycznej w okresie od kwietnia roku poprzedzającego do stycznia roku bieżącego z wyjątkiem miesięcy IX, XI, dla cyrkulacji E )  
 $X_{23}$  — jak wyżej, dla cyrkulacji W  
 $X_{24}$  — jak wyżej, dla cyrkulacji S  
 $X_{25}$  — suma wskaźników cyrkulacji atmosferycznej w okresie od czerwca roku poprzedzającego do stycznia roku bieżącego z wyjątkiem miesięcy: II, III, VIII, IX, XI, dla cyrkulacji E  
 $X_{26}$  — jak wyżej, dla cyrkulacji W  
 $X_{27}$  — jak wyżej, dla cyrkulacji S

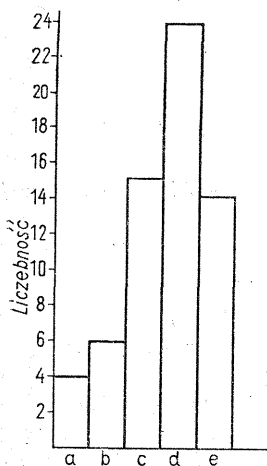


Fig. 4. Histogram rozkładu liczby przypadków efektywnego udziału czynników w kształtowaniu wiosennych stanów wód gruntowych na obszarze Polski

Histogram of frequency distribution of effective contribution of factors in shaping spring groundwater level in Poland

a — niedosyt wilgotności; b — temperatura powietrza; c — stan zwierciadła w okresie poprzedzającym; d — opady atmosferyczne; e — cyrkulacja atmosferyczna

a — shortage of humidity; b — air temperature; c — ground-water level in the preceding period; d — precipitation; e — atmospheric circulation

(200 punktów obserwacyjnych) rozkład czynników wiodących jest inny. Stany zwierciadła wód z okresu poprzedzającego stanowią 44% wszystkich przypadków, a opady atmosferyczne znajdują się na drugim miejscu (42%). Niewielką rolę odgrywa cyrkulacja atmosferyczna (1%), a temperatura powietrza odgrywa rolę wiodącą w niemal jednakowym stopniu (7%).

Omawiane wyniki obserwacji dla obszaru Polski nie pozwalają w pełni na przeanalizowanie zależności struktury modelu prognostycznego od zespołu warunków naturalnych. Większość punktów obserwacyjnych reprezentuje warstwy wodonośne występujące na głęb. od 1,0 do 3,0 m, a tylko pojedyncze punkty (studnie nr 2, 5, 29, 95) — głębsze. Niemniej jednak już na obecnym etapie badań można zauważyć, że rola stanów poprzedzających jako głównych czynników kształtowania reżimu zwiększa się wraz z głębokością. W przypadku głębokości większych niż 7 m stany te praktycznie zawsze wchodzą do równań regresji. Opady atmosferyczne wykazują największy wpływ na zwierciadło wód gruntowych przy jego położeniu na głęb. od 2,0 do 5,0 m. Temperatura powietrza oddziałuje znacznie na reżim zwierciadła wód gruntowych w warunkach małych głębokości (do 1,0 m).

Dla porównania przedstawia się (tab. 6) wpływ głębokości do zwierciadła wód gruntowych na rozkład roli czynników kształtujących ich reżim na przykładzie zachodnich rejonów ZSRR.

Tabela 5

## Rola czynników według stopnia ich udziału w równaniach regresji

Liczba punktów obserwacyjnych	Łączna liczba czynników uwzględnionych w równaniach regresji	Czynniki w %				
		Stany wód podziemnych w okresie poprzedzającym	Opady atmosferyczne w okresie poprzedzającym	Cyrkulacja atmosferyczna	Temperatura powietrza w okresie poprzedzającym	Niedosyt wilgotności powietrza
20	63 — w tabeli 7	24	38	22	10	6
20	20 — w tabeli 3 na I miejscu	45	35	10	5	5

W warunkach występowania w nadkładzie poziomym wód gruntowych piasków gliniastych, glin piaszczystych, a szczególnie glin zwałowych głównym czynnikiem kształtującym reżim wód są stany zwierciadła w okresie poprzedzającym. Spośród czynników drugorzędnych należy wskazać tu na niedosyt wilgotności powietrza, który odgrywa dość dużą rolę, szczególnie w przypadku występowania w nadkładzie utworów spistych typu ilów i glin. W przypadku warstwy wodonośnej zbudowanej z piasków gruboziarnistych bez nadkładu największy udział w kształtowaniu reżimu mają opady atmosferyczne.

Konkretne możliwości opracowywania prognoz stanu wód gruntowych przedstawione są w tabeli 7. Wskaźniki efektywności metodyki zamykają się w przedziale od 0,4 do 0,8, a w przypadku studzien nr 27, 29 i 74 wskaźnik ten ma wartości poniżej 0,4, co świadczy o możliwości opracowania prognozy o wyższej niezawodności.

Złożoność optymalizacji struktury równań prognostycznych jest szczególnie dobrze widoczna w przypadku zastosowania testu kwadratu śred-

Tabela 6

## Udział czynników (w %) w zależności od głębokości występowania zwierciadła wód gruntowych na obszarze europejskiej części ZSRR

Głębokość w m	Liczba punktów	Suma opadów	Średnia temperatura powietrza	Niedosyt wilgotności	Wskaźniki cyrkulacji atmosferycznej	Stany w roku poprzedzającym
< 1,0	10	30	20	10	—	40
1 — 3,0	54	33	6	13	4	44
3 — 5,0	48	42	—	2	—	56
5 — 10,0	33	18	9	6	3	64
> 10,0	13	15	8	—	—	77

niego błędu (odchylenia standardowego) całkowitego współczynnika korelacji  $\delta x_k$ . (A. I. Karasiew, 1962), określanego według wzoru:

$$\delta x_k = 2 \frac{\sigma R_o^2}{R_o^2}$$

gdzie:  $\sigma R_o^2$  — błąd średni (odchylenie standardowe) kwadratu całkowitego empirycznego współczynnika korelacji  $R_o$ .

Warto ponadto zauważyć, że suma wartości bezwzględnych udziałów jednostkowych jest równa kwadratowi całkowitego współczynnika korelacji:

$$\sum \delta_i = R_o^2$$

Udziały ujemne mogą wystąpić tylko w przypadkach znacznej korelacji między uwzględnianymi czynnikami.

Z danych zestawionych w tabeli 3 wynika, że omawiany test stawia wysokie wymagania. Pozwala on uznać za nieistotne te czynniki, których udział w równaniu regresji ze statystycznego punktu widzenia jest dość wysoki. Na przykład w trójczynnikowym modelu prognostycznym zbudowanym na podstawie szeregu danych pomiarowych z okresu 20 lat i wykazującym siłę zależności ocenianą współczynnikiem korelacji całkowitej  $R_o = 0,8$ , a czynniki charakteryzujące się udziałem jednostkowym 10% okazują się nieistotne. W związku z tym udziały czynników w równaniach prognostycznych dla obszaru Polski przewyższają z reguły 10%. Na tej podstawie można wysunąć wniosek, że wszystkie predyktory w równaniach regresji są ważne.

Interesujące jest zagadnienie dotyczące stosunku wartości współczynników korelacji dwóch zmiennych i udziału jednostkowego czyn-

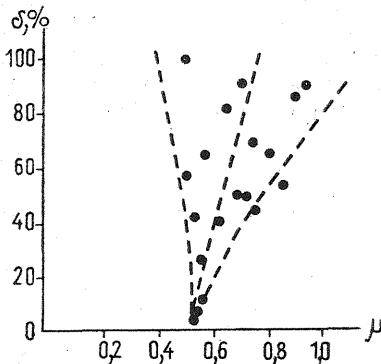


Fig. 5. Zależność między udziałem jednostkowym czynników a współczynnikami korelacji dwóch cech

Interdependance of unit share of factors and correlation coefficients of two properties

$\delta$  — udział jednostkowy czynników w %;  $\mu$  — współczynnik korelacji dwóch cech

$\delta$  — unit share of factors in %;  $\mu$  — correlation coefficient of two properties

ników. *A priori* może wydawać się, że wysokim wartościom współczynników korelacji powinny odpowiadać również wysokie wartości udziałów jednostkowych. W wielu przypadkach jest tak rzeczywiście, ale dla niektórych punktów obserwacyjnych stwierdza się odwrotną zależność. Na przykład dla studni nr 22 czynniki wiodące mają mniejszy udział procentowy w równaniu regresji niż czynniki zajmujące dalsze miejsce.

Charakterystyka metodyki prognozowania reżimu wód gruntowych na podstawie wyników obserwacji  
w wybranych punktach na obszarze Polski

Nr studni	Litologia utworów wodonośnych i utworów w strefie aeracji	Okres obserwacji	Charakterystyka wieloletnich zmian stanów prognozowanych w liczniku – zwierciadło wody w m p.p.t., w mianowniku – data wystąpienia			Wskaźnik jakości i efektywności stosowanej metody	Progностyczne równanie regresji $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$	Prawdopodobny błąd prognozy, w m
			najwyższy	najniższy	średni			
23	piaski drobnoziarniste	1957–1973	$\frac{0,48}{1958}$	$\frac{2,76}{1960}$	1,72	0,697	$y = -0,156 + 1,160X_{15} - 0,014X_5 + 0,0014X_2$	$\pm 0,54$
5	piaski gruboziarniste	1957–1974	$\frac{3,55}{1958}$	$\frac{4,55}{1960, 1969}$	4,04	0,788	$y = 3,072 + 0,0004X_{23} + 0,313X_{14} - 0,004X_{26}$	$\pm 0,17$
28	piaski gruboziarniste	1957–1967	$\frac{1,09}{1970}$	$\frac{4,35}{1972}$	2,29	0,587	$y = 1,035 - 0,021X_5 + 0,5025X_{14} + 0,5006X_2$	$\pm 0,58$
1	piaski średnioziarniste	1963–1972	$\frac{0,73}{1970}$	$\frac{3,51}{1969}$	1,49	0,517	$y = 4,671 - 0,018X_6 - 0,004X_1$	$\pm 0,52$
2	przewarstwienia żwiru i piasku drobnoziarnistego	1963–1972	$\frac{3,70}{-}$	$\frac{5,84}{-}$	4,65	0,436	$y = 5,028 - 0,010_{19} + 0,514X_{12} + 0,0014X_{26}$	$\pm 0,45$
6	w nadkładzie gliny zwałowe	1949–1974	$\frac{0,78}{1962}$	$\frac{5,43}{1959}$	2,78	0,585	$y = 3,820 - 0,058X_{23} - 0,019X_5 + 0,032X_{21} + 0,053X_{26}$	$\pm 0,97$
16	przewarstwienia glin zwałowych i piasków	1954–1973	$\frac{0,02}{1971}$	$\frac{1,69}{1960}$	0,50	0,704	$y = 2,104 - 0,003X_1 + 0,062X_{12} - 0,012X_{14}$	$\pm 0,26$
17	w nadkładzie gliny zwałowe	1948–1974	$\frac{0,57}{1958}$	$\frac{5,14}{1966}$	1,91	0,714	$y = 3,716 - 0,004X_1 + 0,318X_{12} - 0,003X_3$	$\pm 0,45$
26	przewarstwienia piasków i glin	1956–1973	$\frac{0,76}{1967}$	$\frac{2,18}{1972}$	1,54	0,673	$y = 0,773 - 0,008X_5 + 0,662X_{14} + 0,0010X_2$	$\pm 0,28$
21	piaski	1960–1973	$\frac{0,31}{1958}$	$\frac{1,85}{1972}$	1,38	0,697	$y = 0,202 + 0,174X_{11} - 0,005X_6 - 0,002X_{26} + 0,0013X_{22}$	$\pm 0,22$
22	piaski	1957–1973	$\frac{1,19}{1958}$	$\frac{2,49}{1974}$	1,95	0,601	$y = 0,976 - 0,098X_9 + 0,594X_{15} - 0,003X_5 + 0,0025X_{22}$	$\pm 0,22$
25	piaski	1956–1973	$\frac{0,63}{1967}$	$\frac{2,00}{1972}$	1,12	0,688	$y = 0,704 - 0,003X_1 - 0,0045X_5 + 0,323X_{14} + 0,004X_{21}$	$\pm 0,26$
27	piaski przechodzące w żwir	1956–1973	$\frac{1,31}{1964}$	$\frac{3,15}{1959}$	2,64	0,397	$y = 1,097 + 1,396X_{17} - 0,451X_{13}$	$\pm 0,29$
29	w nadkładzie gliny zwałowe	1956–1973	$\frac{6,25}{1961}$	$\frac{11,90}{1972}$	8,20	0,345	$y = 0,234 + 0,778X_{15} + 0,005X_{22}$	$\pm 1,34$
43	w nadkładzie gliny zwałowe	1953–1973	$\frac{0,15}{1970}$	$\frac{1,40}{1954}$	0,76	0,513	$y = 0,126 + 0,725X_{15} - 0,005X_5 + 0,085X_{10} + 0,030X_{19}$	$\pm 0,29$
73	piaski średnioziarniste	1958–1973	$\frac{1,58}{1968}$	$\frac{4,29}{1960}$	3,09	0,496	$y = 1,994 + 0,728X_{15} - 0,004X_7 - 0,068X_8$	$\pm 0,53$
74	piaski średnioziarniste	1958–1969	$\frac{1,26}{1968}$	$\frac{2,93}{1960}$	2,21	0,202	$y = 2,671 - 0,004X_2 + 0,601X_{14} - 0,143X_9 + 0,005X_{21}$	$\pm 0,36$
95	żwir	1955–1973	$\frac{3,89}{-}$	$\frac{4,63}{-}$	4,37	0,755	$y = 5,200 - 0,0008X_7 - 0,0007X_5 - 0,0006X_1$	$\pm 0,16$
97	przewarstwienia glin zwałowych i żwiru	1955–1973	$\frac{3,94}{1957}$	$\frac{4,66}{1969}$	4,38	0,559	$y = 3,246 + 0,351X_{14} - 0,002X_{17}$	$\pm 0,15$
44	piaski drobnoziarniste	1950–1973	$\frac{1,45}{1962}$	$\frac{2,09}{1955}$	1,92	0,507	$y = 2,024 + 0,341X_{15} + 0,0003X_{21} - 0,0025X_{20} - 0,080X_{11}$	$\pm 0,11$

Charakter omawianego związku można ocenić na wykresie (fig. 5). Rozrzut punktów w górnej części wykresu wskazuje na brak wyraźnej zgodności między parametrami w obszarze ich dużych wartości. Szczególnie wyraźnie jest to widoczne w przypadku studni nr 44, dla której predyktor — wskaźnik cyrkulacji atmosferycznej — jest związany z wiosennym stanem maksymalnych wód gruntowych współczynnikiem korelacji 0,57, a jego udział jednostkowy w równaniu regresji wynosi 3% (tab. 3).

## WNIOSKI

Dane z wieloletnich obserwacji meteorologicznych i wód gruntowych IMGW, w wybranych punktach, umożliwiły przeprowadzenie badań cykliczności wahań wód gruntowych oraz dokonanie analizy statystycznej 27 czynników kształtujących maksymalny wiosenny stan wód gruntowych w Polsce.

Stwierdzone zostały obszary Polski z wyraźną dominacją określonych tendencji pozytywnych i negatywnych. Na tle wieloletniego wzniosu zwierciadła wód gruntowych występują rejonory charakteryzujące się spadkiem zwierciadła wód w okresie ostatnich 20—25 lat.

Czynniki kształtujące maksymalny stan wiosenny wód gruntowych można uszeregować w następującej kolejności:

- największą rolę odgrywają opady atmosferyczne w okresie poprzedzającym oraz stany wód gruntowych w okresie poprzedzającym;
- na drugim miejscu znajduje się cyrkulacja atmosferyczna;
- na dalszych: temperatura powietrza i niedosyt wilgotności powietrza.

Bazując na wynikach analizy statystycznej czynników kształtujących reżim wód gruntowych, można było zastosować odpowiednią metodykę opracowywania prognoz stanów wód (maksimum wiosennego). Uzyskano w tym względzie zadawalające wskaźniki efektywności metodyki.

WSIEGINGEO, Moskwa  
Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej  
Instytutu Geologicznego  
Warszawa, ul. Rakowiecka 4  
Nadesłano dnia 20 marca 1978 r.

## PIŚMIENNICTWO

WMO TECHNICAL (1966) — Climatic changes No. 79. Geneva.

КАРАСЕВ А. И. (1962) — Основы математической статистики. Развузиздат. Москва.

КОНОПЛЯНЦЕВ А. А., СЕМЕНОВ С. М. (1974) — Прогноз и картирование режима грунтовых вод. Изд. Недра. Москва.



Станислав СЕМЁНОВ, Нариман ИСКАНДАРОВ, Ежи МЕЧНИЦКИ, Ярослав ПИХ

## ИЗУЧЕНИЕ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД (В ПОРЯДКЕ СОТРУДНИЧЕСТВА ВСЕГИНГЕО И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА)

### Резюме

В порядке исследований, проведённых советскими и польскими гидрогеологами в области прогнозирования режима грунтовых вод на территории Польши и западных областей Советского Союза, проанализирована тенденция многолетних колебаний уровня грунтовых вод и выделены факторы, определяющие режим этих вод: атмосферные осадки, состояние грунтовых вод в предшествующий период, атмосферная циркуляция, дефицит влажности воздуха и температура воздуха. Для этой цели использовались данные многолетних наблюдений грунтовых вод в выбранных точках и метеорологические наблюдения по 6 станциям.

Изучение тенденции многолетних колебаний уровня грунтовых вод сводится к определению вероятности её существования, интенсивности и знака. Вероятность тренда рассчитывается статистическими методами. Полученные величины показателя сущности тренда  $R$  позволяют при помощи таблиц определить функции нормального распределения вероятности существования тренда в многолетних положениях уровня грунтовых вод. Вероятность считается достоверной, если составляет по крайней мере 95%, т.е. случайность не превышает 5%.

Интенсивность достоверно установленных трендов можно рассчитать по уравнению кривой регрессии. коэффициент уравнения кривой регрессии определяет динамику многолетней изменчивости уровня грунтовых вод в метрах в год, т.е. так называемую интенсивность тренда.

По этой методике проводился анализ многолетней направленности колебаний уровня грунтовых вод на базе данных по 23 точкам в восточных областях Польши. В большинстве колодцев (около 75%) в период с начала пятидесятых до середины семидесятых годов наблюдалась многолетняя тенденция повышения уровня грунтовых вод. Отрицательная тенденция наблюдалась в около 25% колодцев.

Роль отдельных факторов в формировании изменчивости уровня грунтовых вод наиболее отчётливо наблюдается в процессе анализа матриц коэффициента корреляции двух переменных или коэффициента частичной корреляции.

Из предложенных 27 факторов (таб. 4) в уравнение вошло 21. Несущественными оказались только некоторые варианты, в основе которых лежали показатели атмосферной циркуляции и весенний максимальный уровень воды в предшествующий период. Самую важную роль в формировании весенних максимальных уровней грунтовых вод играет уровень грунтовых вод и атмосферные осадки в непосредственно предшествующий период. Далее следуют: атмосферная циркуляция, температура воздуха и дефицит влажности воздуха.

Вышеуказанная очерёдность факторов выглядит несколько иначе по западным областям СССР.

Роль отдельных факторов в формировании режима грунтовых вод явно зависит от естественных условий залегания подземных вод: литологии водоносных пород, степени изоляции от поверхности, глубины залегания уровня грунтовых вод и т.д.

Опираясь на выявленные генетические закономерности режима грунтовых вод, предлагается соответствующая методика составления прогнозов весенних максимальных уровней грунтовых вод по выбранным районам Польши. В этом отношении эффективность методики оказалась удовлетворительной.

Stanisław SIEMIONOW, Nariman ISKANDAROW, Jerzy MIECZNICKI, Jarosław PICH

**THE STUDIES AND METHODOLOGY OF FORECASTING GROUNDWATER LEVEL (WITHIN THE FRAMEWORK OF COOPERATION OF WSIEGINGEO AND GEOLOGICAL INSTITUTE)**

Summary

The paper presents the results of analysis of trends of many-years oscillations of groundwater table and selected factors influencing groundwater regime: precipitation, groundwater table in preceding period, atmospheric circulation, shortage of air humidity and air temperature. The analysis was made within the framework of research on forecasting groundwater regime in Poland and western parts of the Soviet Union, carried out by group of Soviet and Polish hydrogeologists. It was based on data from many-years recordings of groundwater level at selected points and meteorological records from 6 stations.

The studies of trends in the course of many-years oscillations of groundwater table are aimed at estimating probability, intensity and sign of the trend. The probability of the trend is calculated using statistical methods. Obtained values of significance of the trend,  $P$ , make possible evaluations of probability of its occurrence in many-years changes of groundwater level, using normal distribution function tables. The probability is considered as reliable when it equals at least 95%, that is when its casualness is below 5%.

The intensity of reliably established trends may be calculated from regression curve equations. Coefficient of regression curve equations determines the dynamics of many-years variability of groundwater table in meters per year, that is so-called trend intensity.

The above discussed methodology was used in analysis of many-years trends in groundwater table oscillations for 23 points from eastern Poland. The majority of wells (about 75%) display trend to rise of groundwater table from the beginning of the fifties to the middle of seventies, whereas negative trend is shown by the remaining quarter of wells.

The role of individual factors in shaping changes in groundwater table is most clearly shown by the analysis of correlation matrices of correlation coefficients of two variables or partial correlation coefficients.

Of 27 factors proposed (Table 4), 21 entered the equations. Only some variants based on indices of atmospheric circulation and maximum spring water level from the preceding period appear insignificant. The most important factors responsible for the shape of maximum spring groundwater levels include groundwater table levels and precipitation in directly preceding periods. Other important factors include atmospheric circulation, air temperature and shortage of air humidity.

The above given sequence of factors appears somewhat different from that obtained for western parts of the Soviet Union.

The role of individual factors responsible for shaping groundwater regime markedly depends on conditions of occurrence of these waters in the nature:

aquifer lithology, degree of isolation from the surface, depth of occurrence of groundwater table, etc.

On the basis of these genetic regularities of the groundwater regime, the authors proposed appropriate methodology of forecasting maximum spring groundwater levels for some parts of Poland. The obtained indices of effectiveness of this methodology are satisfactory.