

Zakład Hydrologii Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMCS w Lublinie

Zdzisław MICHALCZYK

Źródła Sanny w Wierzchowiskach

Источники реки Санны в селе Вежховиска

Springs of the Sanna River in Wierzchowiska

OBSZAR BADAŃ

Dorzecze Sanny położone jest na pograniczu dwóch regionów fizjograficznych: Roztocza wraz z Wyżyną Lubelską i Niziny Sandomierskiej. Rzeka Sanna, uchodząca bezpośrednio do Wisły, bierze początek ze źródeł wypływających w miejscowości Wierzchowiska, położonych jeszcze w obrębie Roztocza Zachodniego (ryc. 1). Subregion ten stanowi lokalny węzeł wodny, z którego wypływa kilka innych rzek: Por i Bystrzyca wchodzące w skład systemu wodnego Wieprza, Branew i Biała wpadające do Bukowej oraz Biała Łada stanowiąca największy dopływ Tanwi. Wszystkie wspomniane rzeki biorą początek z dużych źródeł odwadniających kredowe, rzadziej trzeciorzędowe, piętra wodonośne tworzące wspólny roztoczański poziom wód podziemnych. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki własnych pomiarów wydajności źródeł w Wierzchowiskach wykonanych w latach 1970—1976. Źródła te położone są w górnej, suchej części doliny, a obszar zamknięty powierzchniowym działem wodnym obejmuje 35,5 km².

Teren odwadniany przez górną Sannę położony jest w południowo-zachodniej części Roztocza Zachodniego (Gorajskiego). O warunkach hydrogeologicznych tego obszaru decyduje gruba seria wapiennych skał kredowych, których wierzchnią warstwę stanowią spękane utwory kampanu (A reń 1959, 1962). Skały te ukazują się na powierzchni w obrębie stromych zboczy suchej części doliny Sanny. Powierzchnia podłoża kredowego jest silnie urzeźbiona, a jej deniwelacje dochodzą do kilkudziesięciu metrów.



Ryc. 1. Położenie dorzecza górnej Sanny; 1 — rzeki, 2 — działy wodne II i III rzędu, 3 — obszar badań, 4 — granica fizjograficzna Rostocza Zachodniego
 The upper Sanna river basin location; 1 — rivers, 2 — watersheds of II and III order, 3 — investigations area, 4 — physiographical boundary of Western Roterocze

W obszarach wyżej położonych skały kredowe nadbudowane są wapiennymi i piaskowcowymi utworami trzeciorzędowymi. Skały te pochodzące z tortonu i sarmatu wykształcone są jako wapień detrytyczny, litotamniowe, rafowe i serpulowe oraz piaskowce (Aren 1959). Można je obserwować niemal we wszystkich większych rozcięciach erozyjnych znajdujących się w pobliżu działu wodnego.

Z badań Pawłowskiego (1967), Arenia (1959, 1962) Bieleckiej (1968) wynika, że zarówno w skałach kredowych, jak i trzeciorzędowych zachodziły u schyłku sarmatu zjawiska tektoniczne. Efektem tych ruchów było między innymi utworzenie się południowej krawędzi Rostocza na linii spękań tektonicznych. Odzwierciedleniem głównych kierunków tektonicznych są spękania skał podłoża kredowo-trzeciorzędowego (Malicki 1935; Jahn 1956, Buraczyński 1967, 1968) podkreślone na obszarze Rostocza Zachodniego układem sieci dolinnej. Wpływ szczelinowatości skał Rostocza Zachodniego bardzo wyraźnie zaznacza się w warunkach hydrogeologicznych badanego obszaru (Janiec 1972; Malinowski 1973, Michalczyk 1976).

Na wapiennych skałach kredy i trzeciorzędu zalega różnej miąższości seria utworów czwartorzędowych reprezentowanych przez gliny zwałowe, mułki, piaski, żwiry i lessy. Zwarty obszar występowania glin zwałowych znajduje się w północnej części dorzecza, gdzie utwory te stanowią war-

stwę nieprzepuszczalną dla czwartorzędowego poziomu wodnego. W pozostałej części badanego terenu gliny występują tylko lokalnie. Stwierdza się je razem z warstwami piasków i żwirów w dnach dużych dolin oraz miejscami na zboczach głównie o ekspozycji północnej.

Prawie cała powierzchnia badanego obszaru dorzecza górnej Sanny pokryta jest warstwą lessu eolicznego, który zalega zarówno na skałach kredowych, trzeciorzędowych, jak i na glinach zwałowych. Jedynie niewielki obszar w północnej części dorzecza zajmują lessy soliflukcyjne z przewagą piasków. Z badań Malinowskiego (1974) wynika, że powszechnie występujące utwory lessowe należą do skał słabo przepuszczalnych. Określone przez wspomnianego autora współczynniki filtracji wynosiły dla lessu eolicznego od 0,41 do 0,05 m/d i lessu soliflukcyjnego 0,86—0,1 m/d. Są to więc wartości niewielkie, wyraźnie wskazujące na powolne przemieszczanie się wilgoci przez warstwę lessów.

Krajobraz badanego obszaru przedstawia typowe dla Roztocza Zachodniego cechy (Buraczyński 1967, 1968). Rzeźbę charakteryzują wyraźnie zaznaczone zrównania wierzchowinowe, gęsta sieć wąwozów i różnej wielkości suche doliny (ryc. 2). Bezwzględne wysokości terenu pozostają w przedziale 220—315 m n.p.m., a względne przekraczają niekiedy 60 m. Z uwagi na występowanie urodzajnych gleb wytworzonych z lessów badany obszar w dużej części zajęty jest przez pola uprawne. Strome zbocza oraz wąwozy porastają krzewy i drzewa. Żywa rzeźba oraz duże spadki terenu wskazują na istnienie warunków sprzyjających tworzeniu się epizodycznego spływu powierzchniowego. Jednakże z powodu dużej pojemności wodnej warstwy glebowej i podłoża spływ powierzchniowy rzadko osiąga duże rozmiary.

W przeważającej części dorzecza górnej Sanny pierwsze zwierciadło wód podziemnych występuje w spękanych opokach kampanu. Jedynie w wąskiej strefie działu wodnego stwierdza się wody w utworach młodszych. Wzdłuż działu wodnego w południowo-wschodniej i zachodniej części badanego obszaru występują w wapieniach sarmatu i tortonu wody piętra neogeńskiego. Wody krążące w skałach kredowych i trzeciorzędowych tworzą jeden roztoczański poziom wód podziemnych. Natomiast w części północnej stwierdza się płytko występujące wody piętra plejstoceńskiego utrzymujące się w piaszczysto-pylastych utworach zalegających na glinach zwałowych. Wody te pozostają w równowadze przesączania z głębiej występującym kredowym piętrzem wodnym.

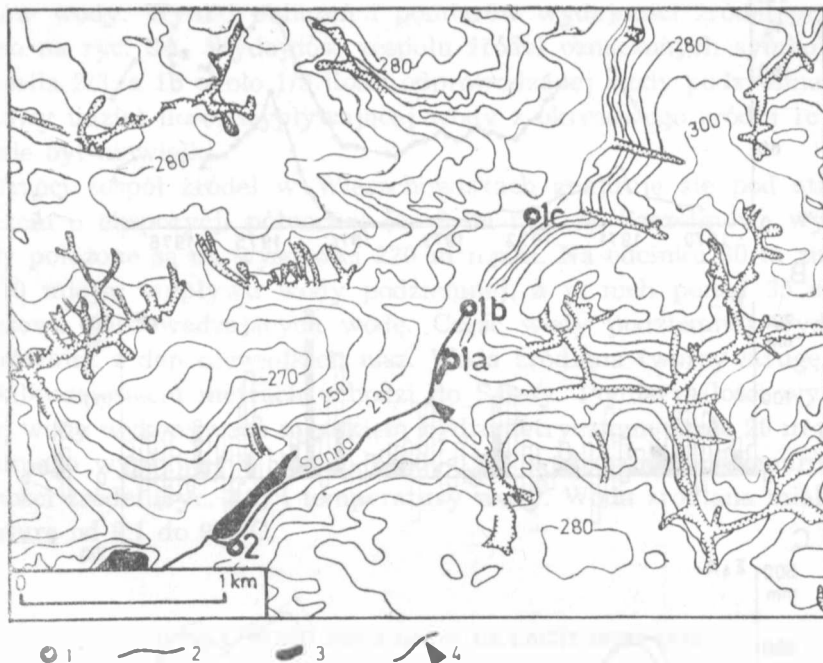
Decydującą rolę w zasilaniu źródeł odgrywają więc wody krążące w skałach kredowych i częściowo trzeciorzędowych. Wyniki pomiarów terenowych wskazują na zgodność działów wód podziemnych i powierzchniowych. Na badanym obszarze wysokość występowania roztoczańskiego poziomu wody wynosi od 220 do 250 m n.p.m., a jego głębokość położe-

nia zmienia się od niewielkich wartości, stwierdzanych w strefie dolin, do ponad 60 m pod obszarami wierzchowin. Spadki zwierciadła wody podziemnej wzdłuż głównych suchych dolin są niewielkie (wynoszą około 2‰). Nieco większy gradient hydrauliczny (do około 5‰) stwierdzono w obszarach występowania kredowego i trzeciorzędowego piętra wodnego. W układzie i przemieszczaniu się wód podziemnych decydujące znaczenie ma obecność drożnych szczelin skalnych, które zbierają i odprowadzają wody podziemne. Z badań Malinowskiego (1974) oraz z analizy wyników próbnych pompowań studni wierconych wynika, że wody w strefie dolin przemieszczają się z szybkością kilkudziesięciu m/d, a pod obszarami wierzchowin maksymalnie do kilku m/d. Amplituda wahań zwierciadła wody występującego w skałach kredowych jest bardzo zróżnicowana. W strefie doliny, w pobliżu źródeł Sanny nie przekracza 1 m, natomiast pod obszarami działów wodnych wzrasta do 3—4 m. Na podstawie obserwacji terenowych wywiadów z ludnością można stwierdzić, że wzrost stanów wody podziemnej odbywa się szybko, a spadek powoli. Zmiany położenia wód podziemnych nawiązują do wieloletniego rytmu opadów.

POŁOŻENIE ŹRÓDEŁ ORAZ POMIARY ICH WYDAJNOŚCI

Sanna bierze początek z dwu zespołów źródeł szczelinowych położonych na wysokości 223 i 224 m n.p.m. (1a i 1b na ryc. 2), znajdujących się w pobliżu szkoły w Wierzchowiskach. Wody podziemne w obu zespołach źródeł, położonych na przestrzeni 200 m, wypływają pod stromym zboczem suchej części doliny Sanny. Woda wydostaje się z szeregu szczelin spękanych opok kredowych oraz z piasku pokrywającego dno niszy źródlanej. Ilość miejsc wypływu wody w poszczególnych zespołach źródeł wyraźnie zwiększa się wraz ze wzrostem stanów wód podziemnych. Przy wyjątkowo niskim stanie zwierciadła wody funkcjonują jedynie najniższej położone szczeliny, a wydajność źródeł spada do minimalnych wartości. Wyjątkowo, przy bardzo wysokich stanach wody podziemnej, pojawia się w dnie suchej doliny, na wysokości 225 m n.p.m. i w odległości 700 m od wspomnianych źródeł, okresowy wypływ wody (1c na ryc. 2). Woda wydobywa się tu z piaszczysto-pylastych utworów z okruchami skał kredowych w wykopanym przez okolicznych gospodarzy płytkim zagłębieniu. Objętość wypływu wody nie przekraczała 1 l/s.

W okresie znacznych epizodycznych spływów wód roztopowych i opadowych wszystkie wspomniane miejsca wypływu zalewane były wodami powierzchniowymi transportującymi duże ilości zawiesiny. W tym czasie, w miejscach wypływu wody podziemnej osadza się warstwa namulów

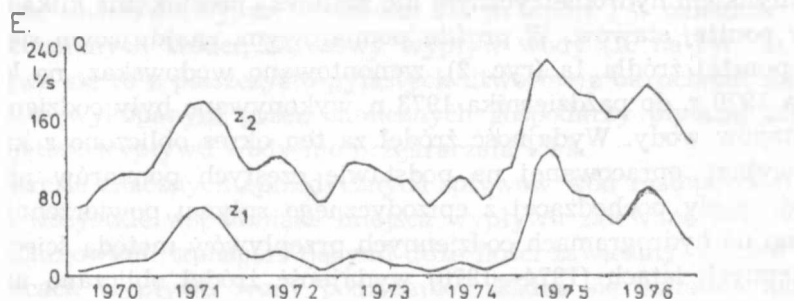
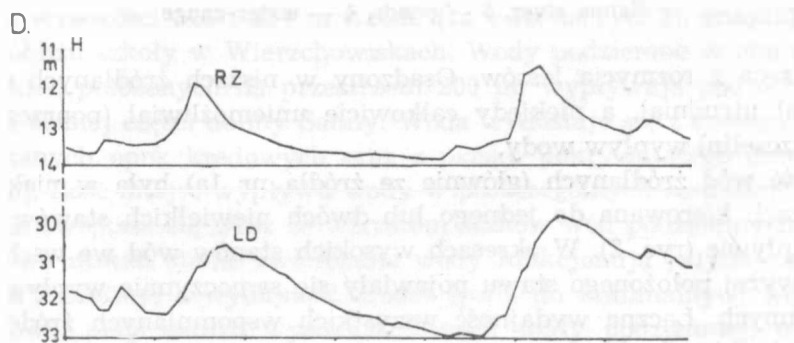
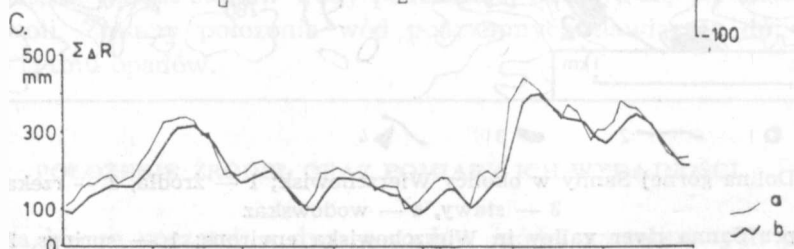
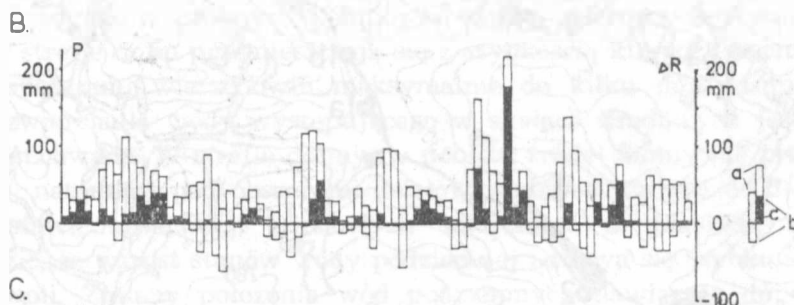
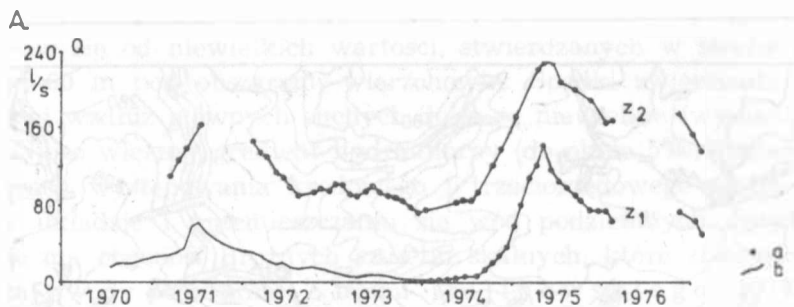


Ryc. 2. Dolina górnej Sanny w okolicy Wierchowisk; 1 — źródła, 2 — rzeka Sanna, 3 — stawy, 4 — wodowskaz

The upper Sanna river valley in Wierchowiska environs; 1 — springs, 2 — the Sanna river, 3 — ponds, 4 — water-gauge

pochodząca z rozmycia lessów. Osadzony w niszach źródłanych drobny materiał utrudniał, a niekiedy całkowicie uniemożliwiał (poprzez zatykanie szczelin) wypływ wody.

Część wód źródłanych (głównie ze źródła nr 1a) była w niektórych miesiącach kierowana do jednego lub dwóch niewielkich stawów o stałym odpływie (ryc. 2). W okresach wysokich stanów wód we wschodniej części wyżej położonego stawu pojawiały się samoczynnie wypływy wód podziemnych. Łączną wydajność wszystkich wspomnianych źródeł mierzono młynkiem hydrometrycznym lub zastawką prostokątną kilkadziesiąt metrów poniżej stawów. W profilu pomiarowym, znajdującym się około 250 m poniżej źródła 1a (ryc. 2), zamontowano wodowskaz, na którym od maja 1970 r. do października 1973 r. wykonywane były codzienne odczyty stanów wody. Wydajność źródeł za ten okres obliczono z krzywej konsumpcyjnej opracowanej na podstawie częstych pomiarów przepływu. Ilość wody pochodzącej z epizodycznego spływu powierzchniowego określano na hydrogramach codziennych przepływów metodą ścięcia fali. W następnych latach (1974—1976) wydajność źródeł obliczano na podstawie comiesięcznych pomiarów przepływu i sporadycznie notowanych



stanów wody. Wyniki obliczeń i pomiarów wydajności źródeł przedstawiono na ryc. 3A. Wydajność zespołu źródeł oznaczonych symbolem 1a wynosiła 2/3, a 1b około 1/3 ilości odprowadzanej wody podziemnej. Procentowy udział ilości wypływającej wody z okresowego źródła 1c w odpływie był niewielki.

Trzeci zespół źródeł w Wierzchowiskach znajduje się pod stromym zboczem o ekspozycji północnej (nr 2 na ryc. 2). Szczelinowe wypływy wody położone są na wysokości 220 m n.p.m. Na odcinku 60 m znajduje się 10 miejsc wypływu wody podziemnej, a w nich ponad 35 szczelin okresowo odprowadzających wodę. Część wody podziemnej wydobywa się również z den niewielkich nisz. Woda źródłana tworzy strugę, która po kilkudziesięciu metrach uchodzi do Sanny. Pomiarów ilości wypływającej wody wykonywano młynkiem hydrometrycznym około 20 m poniżej ostatniego wypływu. W latach 1970—1976 wykonano 46 pomiarów wydajności źródeł (ryc. 3A) i temperatury wody. Woda źródłana miała temperaturę od 9,1 do 9,3°C.

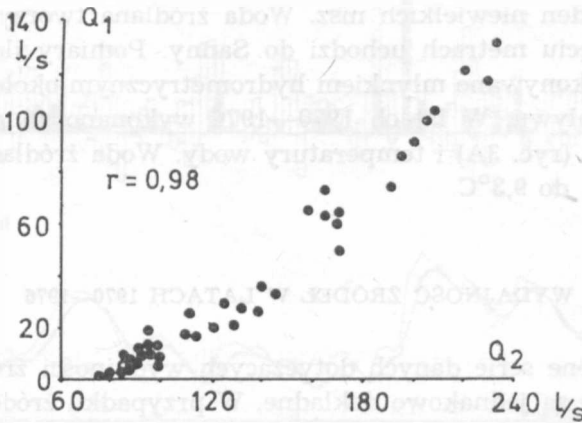
WYDAJNOŚĆ ŹRÓDEŁ W LATACH 1970—1976

Przedstawione serie danych dotyczących wydajności źródeł w Wierzchowiskach nie są jednakowo dokładne. W przypadku źródeł nr 1 pierwsza część serii danych obliczona została na podstawie szczegółowych materiałów hydrometrycznych, a druga oparta jest na wynikach pomiarów przepływu i sporadycznie wykonywanych odczytach stanów wody. War-

Ryc. 3. Wahania wydajności źródeł, stanu retencji i zwierciadła wody podziemnej; A — wydajność źródeł w Wierzchowiskach (Q), z_1 i z_2 — źródła nr 1 i 2, a — pomiar wydatku, b — średnie miesięczne obliczone z codziennych obserwacji wodowskazowych; B — miesięczne sumy opadu (P) i stanu retencji (ΔR), a — wysokość miesięcznego opadu, b — miesięczny stan retencji, c — miesiące z dodatnim stanem retencji; C — krzywa sumowania miesięcznych stanów retencji; a — sumy stanów miesięcznych, b — sumy miesięczne wyrównane (ruchome); D — wahania stanów wody podziemnej w stacji Rzeczyca Ziemiańska (RZ) i Lute Doły (LD); E — miesięczna wydajność źródeł obliczona ze średnich ruchomych stanów retencji

Oscillations in outputs of springs, retention level and underground water level; A — output of springs in Wierzchowiska (Q), z_1 and z_2 — spring number 1 and 2, a — outflow measurement, b — monthly means calculated on the basis of water-gauge everyday observations; B — monthly precipitation sums (P) and retention level (ΔR), a — monthly precipitation amount, b — monthly retention level, c — months with positive retention level; C — curve of summing monthly retention levels, a — sums of monthly levels, b — monthly sums equalized (variable); D — oscillations of underground water levels in the stations Rzeczyca Ziemiańska (RZ) and Lute Doły (LD); E — monthly output of springs calculated on the variable means of retention levels

tości uzyskane różnymi metodami były zestawiane po dokładnym poznaniu zmienności wydajności źródeł z dnia na dzień w latach 1970—1973. Porównywanie tak zestawionych wydajności jest w przypadku źródeł o regularnych ilościach wypływającej wody metodycznie dopuszczalne. Do obliczeń wydajności źródła nr 2 przyjmowano wyniki wykonanych pomiarów przepływu. Uzyskane na podstawie zebranych danych hydrometrycznych średnie wydajności źródeł wynosiły: nr 1 33 l/s i nr 2 125,7 l/s. Są to zatem źródła zaliczane według klasyfikacji Meinzera (1932) do IV i III klasy wydajności.



Ryc. 4. Związek wydajności źródeł 1 i 2; Q_1 i Q_2 — wydajność źródeł, r — współczynnik korelacji
Output correlation of springs 1 and 2; Q_1 and Q_2 — outputs of springs, r — correlation coefficient

Zmiany wydajności w badanych zespołach źródeł przedstawiają ten sam rytm wahań. Możliwe jest więc poszukiwanie zależności między wydajnościami obu źródeł. W związku z tym przedstawiono (ryc. 4) w układzie współrzędnych wyniki równoczesnych pomiarów ilości wypływającej wody podziemnej. Współczynnik korelacji między zmierzonymi wydajnościami wynosił +0,98. Bardzo wysoka zgodność korelacyjna pozwala na uzupełnienie z dużym przybliżeniem luk w pomiarach źródła nr 2.

$$Q_2 = 81,38 + 1,678 Q_1 - 0,00421 Q_1^2$$

Q_1 i Q_2 — wydajność źródeł nr 1 i 2 w l/s.

— Początek obserwacji przypada na niskie wydajności źródeł (ryc. 3A). Ilość wypływającej wody od letniego półrocza 1970 r. aż do wiosny 1971 r. systematycznie wzrastała. W następnych miesiącach obserwowano spadek wydajności źródeł, który notowany był w źródle nr 2 do czerwca 1972 r., a w nr 1 aż do marca 1973 r. W kolejnych miesiącach stwierdzono

niewielkie wzrosty i spadki wydajności. Najmniejszą ilość wypływającej wody zmierzono w źródle nr 2 20 X 1973 — 75,4 l/s, a w źródłach nr 1 na początku lutego 1974 r. — 0,4 l/s. Wiosną 1974 r. wydajność źródeł zaczęła powoli wzrastać. Szybsze zwiększenie ilości wypływającej wody zaobserwowano po wysokich opadach czerwca i października 1974 r. Maksymalne wydajności zmierzono w źródłach nr 1 1 III 1975 r. — 133,7 l/s, a w źródle nr 2 12 IV 1975 r. — 230,4 l/s. Wydajność źródeł w ciągu wiosny i lata 1975 r. systematycznie zmniejszała się, mimo to duża ilość wypływającej wody utrzymywała się przez r. 1976. Charakterystyczne wydajności źródeł w poszczególnych latach przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Wydajność źródeł Sanny w Wierchowiskach
Output of springs in Wierchowiska

Rok	Opad w mm	Źródło 1			Źródło 2				
		ilość pomiarów	wydajność l/s			ilość pomiarów	wydajność l/s		
			śred.	max.	min.		śred.	max.	min.
1970	697,2	codz.	19,8*	28,1	14,9	1	95,3		
1971	529,3	codz.	39,4	68,0	21,8	4	134,0	161,9	111,0
1972	639,3	codz.	18,5	36,0	8,6	11	112,6	145,6	90,5
1973	503,9	codz.	4,5	8,6	0,94	12	91,7	102,7	75,4
1974	826,0	12	11,0	40,0	0,40	7	98,7	139,4	78,6
1975	652,5	10	96,7	133,7	40,0	7	207,5	230,4	172,5
1976	516,3	4	69,7	74,8	65,6	4	166,7	176,9	158,1
1970—1976	623,5		33,0	133,7	0,40	46	125,7	230,4	75,4

* Za okres V—X.

• For the period V—X.

Obliczona na podstawie podanych wielkości nieregularność źródeł wynosi: nr 1 $133,7 : 0,4 = 334$ i nr 2 $230,4 : 75,4 = 3$. Według wskaźnika zmienności wieloletniej Mailleta (1905) źródła te zaliczane są do bardzo zmiennych (nr 1) i do mało zmiennych (nr 2). Duża zmienność wydajności zespołów źródeł 1a i 1b związana jest z wyższym położeniem miejsc wypływu wody. Wielokrotnie obserwowano zwiększenie intensywności wypływu wody z tych źródeł po ich oczyszczeniu czy obniżeniu miejsc wypływu wody. Zabiegi te wykonywane były przez miejscową ludność w celu uzyskania odpowiedniej ilości wody w okresach posusznych. Ilość wypływającej wody w niżej położonych źródłach nr 2 nie zmniejsza się tak bardzo w okresach niskich stanów wód. Przy wyjątkowo dużym obniżeniu zwierciadła wód podziemnych może dojść do zaniku źródeł 1a i 1b, a w dalszej kolejności do większego spadku wydajności źródła nr 2.

Na podstawie zebranego materiału hydrometrycznego można wyraźnie stwierdzić, że badane źródła mają wieloletni rytm związany z okresami

wysokiego i ubogiego zasilania. Rytm ten wyraźnie podkreśla rozkład rocznych maksimów i minimów wydajności, które wypadają w różnych miesiącach. Często obserwuje się skrajne wydajności na początku lub końcu danego roku hydrologicznego (ryc. 3A). Roczny rytm odpływu zaznacza się w zmienności wieloletniej bardzo słabo. Tylko w niektórych latach obserwowano niewielki wzrost wypływu ze źródeł w okresach wiosennych. Podobny rytm zmienności wieloletniej przedstawiają stacje wód podziemnych położone w strefie działów wodnych środkowej części dorzecza Sanny (ryc. 3D).

ZASOBY WÓD PODZIEMNYCH

Wydajność źródeł uzależniona jest bezpośrednio od ilości wody zgromadzonej w zbiorniku zasilającym dany wypływ. Do obliczenia ilości wody zmagazynowanej w złożu i szybkości opróżniania zbiornika zastosowano wzór opracowany przez Boussinesq'a (1904) i Mailleta (1905).

$$Q_t = Q_0 e^{-at}$$

gdzie: Q_t — wydajność źródła po czasie t w l/s, Q_0 — wydajność początkowa w l/s, e — podstawa logarytmu naturalnego, a — współczynnik regresji, t — czas w dobach.

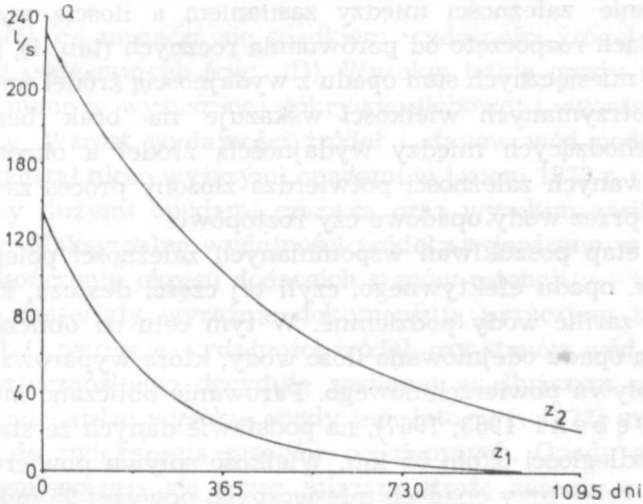
Współczynniki regresji obliczane były w okresach o spadkowej tendencji wydajności dla różnej długości odcinków czasu. Średnia wartość współczynnika „ a ” w źródłach nr 1 wynosiła 0,0047, a skrajne wielkości 0,00263 i 0,00738. W drugim źródle wartości te wynosiły: średnia 0,0022 i skrajne 0,00153—0,00370. Ilość wypływającej wody w okresie spadku wydajności można obliczyć z wzoru:

$$\text{źródła nr 1 } Q_t = Q_0 e^{-0,0047 t}$$

$$\text{źródło nr 2 } Q_t = Q_0 e^{-0,0022 t}$$

Teoretyczny spadek wydajności obu źródeł, począwszy od najwyższych zarejestrowanych ilości wypływającej wody, przedstawiono na ryc. 5. Przy założeniu całkowitego braku zasilania wydajność źródeł po upływie jednego roku zmniejszy się w wypływach nr 1 czterokrotnie, a w nr 2 dwukrotnie. Po upływie 2,5 lat wydatek źródła nr 1 byłby bliski zera, a z drugiego źródła odpływałoby jeszcze kilkadziesiąt l/s.

W okresie maksymalnych wydajności źródeł chwilowe zasoby statyczne dorzecza górnej Sanny wynosiły 322 mm, a przy minimalnych wydatkach 84 mm. Z zestawienia chwilowych zasobów statycznych z wydajnością źródeł wynika, że woda w zbiorniku zasilającym źródła może się wymienić w okresie nieco dłuższym od roku.



Ryc. 5. Krzywe wysychania obliczone wzorem Boussinesq-Mailleta; Q — wydajność źródeł

Curves of drying calculated by Boussinesq-Maillet's formula; Q — outputs of springs.

ZWIĄZEK WYDAJNOŚCI ŹRÓDEŁ Z ZASILANIEM

Wydajność źródeł uzależniona jest od warunków terenowych, a przede wszystkim od wielkości zasilania. Czas reakcji wód podziemnych na opad atmosferyczny jest bardzo zróżnicowany i trudny do jednoznacznego określenia wielkości opadu założono w dolinie Sanny, między źródłami ujęcia. W pobliżu dorzecza górnej Sanny opady atmosferyczne notowane były w dwóch stacjach IMiGW — Janów Lubelski i Batorz — odległych od badanych źródeł o kilkanaście kilometrów. W celu dokładniejszego określenia wielkości opadu założono w dolinie Sanny, między źródłami 1 i 2, stację opadową. Pomiary pluwiometryczne wykonywane były w miesiącach letnich i jesiennych od 1971 do 1973 r. Pozwoliły one stwierdzić, że opady letnie w dolinie Sanny nieco odbiegają od wartości notowanych w sąsiednich stacjach i że otrzymane w stacji Wierzchowiska miesięczne sumy opadu były bardziej zbliżone do wielkości opadów notowanych w Janowie Lubelskim. Na podstawie tej informacji oraz wobec braku stacji opadowej w strefie wierzchowin postanowiono jako wielkość zasilania dorzecza górnej Sanny przyjmować średnią ważoną z notowań w Janowie Lubelskim i Batorzu.

$$\text{średni opad} = \frac{2 \times \text{Janów Lubelski} + \text{Batorz}}{3}$$

Średnia wielkość opadu w dorzeczu górnej Sanny w okresie 1970—1976 wynosiła 623,5 mm.

Poszukiwanie zależności między zasilaniem a ilością wypływającej wody w źródłach rozpoczęto od porównania rocznych (tab. 1), a następnie półrocznych i miesięcznych sum opadu z wydajnością źródeł (ryc. 3A i 3B). Zestawienie otrzymanych wielkości wskazuje na brak bezpośrednich związków zachodzących między wydajnością źródeł a okresem opadu. Brak poszukiwanych zależności potwierdza złożony proces zasilania wód podziemnych przez wody opadowe czy roztopowe.

Następny etap poszukiwań wspomnianych zależności polegał na wyznaczeniu tzw. opadu efektywnego, czyli tej części deszczu, która teoretycznie może zasilić wody podziemne. W tym celu od obliczonych miesięcznych sum opadu odejmowano ilość wody, która wyparowała i umowną wartość spływu powierzchniowego. Parowanie obliczano metodą Konstantinowa (Dębski 1963, 1967), na podstawie danych ze stacji Zamość położonej w odległości około 55 km. Wielkość spływu powierzchniowego uwzględniono tylko przy opadach miesięcznych powyżej 95 mm. Wówczas od wartości opadu odejmowano 15 mm — jako część wody spływającej powierzchniowo. Łącznie w okresie badań terenowych wielkość wyznaczonego spływu wynosiła około 12% całkowitego odpływu z dorzecza górnej Sanny. Obliczony na podstawie wskazań wodowskazowych spływ powierzchniowy z badanego obszaru oraz z roztoczańskiej części dorzecza Białej Łady wynosił w latach 1971—1973 około 9% odpływu całkowitego. Był to jednak okres, w którym nie wystąpiły typowe dla obszaru Roztocza wiosenne wezbrania roztopowe.

W dalszej kolejności podjęto próbę obliczenia miesięcznych bilansów wodnych. W tym celu od wyżej przedstawionych wartości odejmowano odpływ źródłany. Jego wielkość, wobec braku ciągłych obserwacji źródeł w drugim okresie badań, również określano umownie. Miesięczne równanie bilansowe przyjmuje postać:

$$\Delta R = P - (E + H_s + H_p)$$

gdzie: ΔR — miesięczny stan retencji; P — opad; E — parowanie; H_s — spływ powierzchniowy; H_p — odpływ źródłany (zasilanie podziemne).

Miesięczne wskaźniki odpływu źródłanego z badanej części dorzecza obliczano na podstawie wydajności źródeł nr 1. Przy wydajności źródeł nr 1 do 20 l/s przyjęty wskaźnik odpływu wynosił 7 mm, od 20 do 60 l/s — 10 mm, od 60 do 100 l/s — 14 mm, a powyżej 100 l/s — 17 mm.

Wartości miesięcznych wielkości opadu oraz obliczone stany retencji przedstawiono na ryc. 3B.

Porównując ryc. 3A i 3B można stwierdzić, że w okresie wzrostu wydajności źródeł w r. 1970 niemal wszystkie obliczone miesięczne stany retencji miały wartości dodatnie. Maksimum wypływu wody w r. 1971 wystąpiło w drugim miesiącu po zakończeniu okresu dodatnich wielkości retencji. W następnych miesiącach 1971 i 1972 r. przeważają ujemne

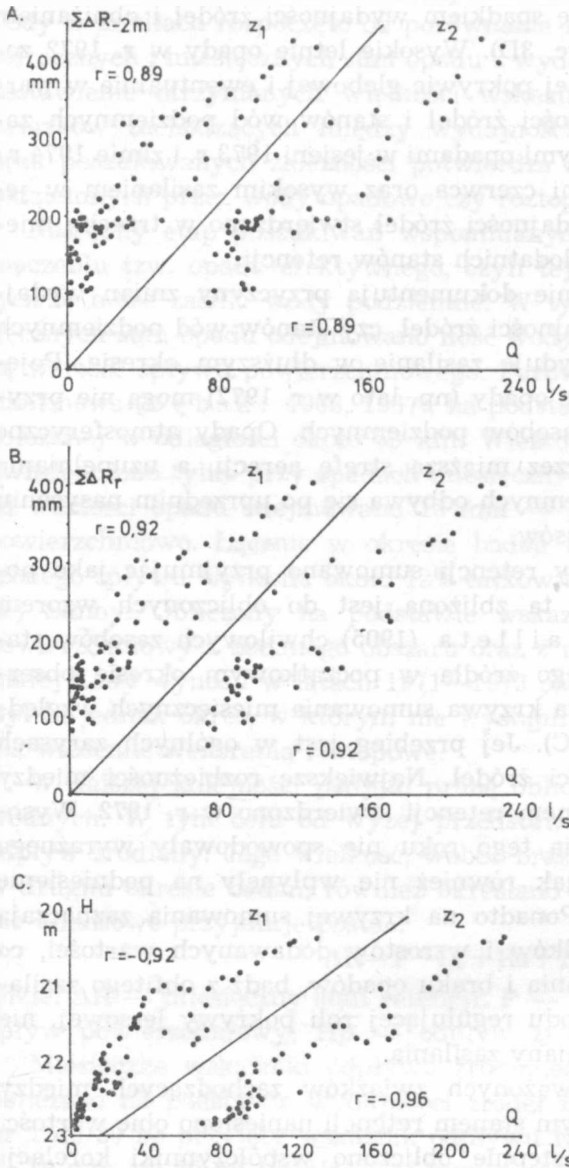
stany retencji, co zaznacza się spadkiem wydajności źródeł i obniżaniem stanów wód podziemnych (ryc. 3D). Wysokie letnie opady w r. 1972 zostały zatrzymane w wysuszonej pokrywie glebowej i ewentualnie w warstwie lessów. Wzrost wydajności źródeł i stanów wód podziemnych zaniejowany został nieco wyższymi opadami w jesieni 1973 r. i zimie 1974 r., podtrzymany dużymi opadami czerwca oraz wysokim zasilaniem w jesieni 1974 r. Maksymalne wydajności źródeł stwierdzano w trzecim miesiącu po zakończeniu okresu dodatnich stanów retencji.

Zebrane materiały wyraźnie dokumentują przyczyny zmian wydajności źródeł. O wzroście wydajności źródeł czy stanów wód podziemnych poziomu roztoczańskiego decyduje zasilanie w dłuższym okresie. Pojedyncze, nawet bardzo wysokie opady (np. lato w r. 1972) mogą nie przyczyniać się do zwiększenia zasobów podziemnych. Opady atmosferyczne powoli przemieszczają się przez miększą strefę aeracji, a uzupełnianie zasobów zbiornika wód podziemnych odbywa się po uprzednim nasyceniu wilgocią chłonnej warstwy lessów.

Obliczone miesięczne stany retencji sumowano przyjmując jako początkowy stan 100. Wartość ta zbliżona jest do obliczonych wzorem Boussinesqa (1904) i Mailleta (1905) chwilowych zasobów statycznych zbiornika zasilającego źródła w początkowym okresie obserwacji. Wynikiem obliczeń była krzywa sumowania miesięcznych względnych stanów retencji (ryc. 3C). Jej przebieg jest w ogólnych zarysach zbliżony do zmian wydajności źródeł. Największe rozbieżności między wydajnością i obliczonym stanem retencji stwierdzono w r. 1972. Wysokie opady sierpnia i września tego roku nie spowodowały wyraźnego wzrostu wydajności źródeł, jak również nie wpłynęły na podniesienie poziomu wód podziemnych. Ponadto na krzywej sumowania zaznaczają się okresy gwałtownych spadków i wzrostów dodawanych wartości, co wynika bądź z dużego parowania i braku opadów, bądź z obfitego zasilania. Wody podziemne, z powodu regulującej roli pokrywy lessowej, nie reagują tak gwałtownie na zmiany zasilania.

W celu sprawdzenia zauważonych związków zachodzących między wydajnością źródeł a obliczonym stanem retencji naniesiono obie wartości na układ współrzędnych. Następnie obliczono współczynniki korelacji i równania regresji. Największą zgodność osiągnięto po odniesieniu miesięcznej wydajności źródeł do stanu retencji sprzed dwu miesięcy (ryc. 6A). Współczynniki korelacji dla obu źródeł wynoszą 0,89 i są istotne na poziomie ufności 0,0001.

Wydajność źródeł i położenie zwierciadła wód podziemnych nie wykazują w okresach miesięcznych tak dużych zmian jak stan retencji, obliczono więc średnie ruchome z sąsiednich trzech wartości miesięcznych stanów retencji. Uzyskane średnie konsekwtywne sumowano przyj-



Ryc. 6. Związek wydajności źródeł ze stanem retencji i położeniem zwierciadła wody podziemnej; A — obliczony stan retencji i wydajność źródeł: $\Sigma\Delta R_{-2m}$ — suma miesięcznych stanów retencji sprężonych stanów retencji sprzed dwu miesięcy, Q — wydajność źródeł, z₁ i z₂ — źródła nr 1 i 2, r — współczynnik korelacji; B — stan retencji obliczony ze średnich ruchomych i wydajność źródeł; $\Sigma\Delta R_r$ — suma miesięcznych stanów retencji obliczona ze średnich ruchomych wyprzedzająca wydajność źródeł o jeden miesiąc; C — średni stan wody podziemnej w stacjach IMiGW i wydajność źródeł: H — średni stan wody podziemnej ze stacji Lute Doly i Rzeczyca Ziemiańska

Correlation between the outputs of springs, retention level and the location of underground water surface level; A — calculated retention level and outputs of springs: $\Sigma\Delta R_{-2m}$ — sum of monthly retention levels of two months before, Q — outputs of springs, z₁ and z₂ — springs no. 1 and 2, r — correlation coefficient; B — retention level calculated from the variable means and the outputs of springs, $\Sigma\Delta R_r$ — sum of monthly retention levels calculated from variable means advancing the spring output by one month; C — underground water level in the stations of state Hydro-Meteorological Institute and output of springs: H — mean underground water level in the station Lute Doly and Rzeczyca Ziemiańska

mując jako wartość początkową 100. Otrzymana krzywa sumowania wykazuje bardziej łagodne zmiany stanu retencji (ryc. 3C). Jest jednocześnie bardziej zbliżona do zmian wydajności źródeł. Współczynniki korelacji liczone między wydajnością źródeł i stanem retencji poprzedzają-

cego miesiąca wynoszą $+0,92$ (ryc. 6B). Zależności te umożliwiają obliczanie wydajności źródeł ze stanu retencji.

$$\text{źródła 1; } Q_1 = 5,84 - 0,101 R_r + 0,001 R_r^2$$

$$\text{źródło 2; } Q_2 = 30,48 + 0,477 R_r$$

Q_1 i Q_2 — wydajność źródeł nr 1 i 2 w l/s, R_r — stan retencji obliczony z miesięcznych średnich przesuwanych wyrażony w mm; stan ten wyprzedza średnią wydajność miesięczną o jeden miesiąc.

Obliczone przy pomocy podanych wzorów miesięczne wydajności źródeł zamieszczono na ryc. 3E. Średnia wydajność źródeł uzyskana z obliczonych wartości wynosiła w wypływach wyżej położonych 36,4 l/s i niżej zlokalizowanych 130,5 l/s. Łączna wydajność w okresie 1970—1976 wynosiła średnio 166,9 l/s, co odpowiada źródłanemu odpływowi jednostkowemu (podziemnemu) 4,7 l/s/km².

Zmiany położenia zwierciadła wody podziemnej, podobnie jak wydajności źródeł, wykazują wysoką zgodność korelacyjną z obliczonymi miesięcznymi stanami retencji. Współczynniki korelacji między średnim stanem wód podziemnych, obliczonym ze stacji Lute Doły i Rzeczyca Ziemiańska, a miesięcznym stanem retencji przesuniętym o dwa miesiące wynosi $-0,89$. Nieco wyższą zgodność korelacyjną uzyskano między średnim stanem wód podziemnych a stanem retencji obliczonym ze średnich ruchomych $r = -0,91$. Wprowadzenie średniego stanu wód podziemnych z obu stacji wynika z układu terminów pojawiania się maksymalnych stanów. W stacji Rzeczyca Ziemiańska maksymalne stany wód podziemnych wyprzedzały najwyższe wydajności źródeł, a w Lutyh Dołach notowane były po tym okresie (ryc. 3D). Układ tych wartości wynika zarówno z lokalnego położenia studni i głębokości występowania wody, jak też z różnej miąższości i przepuszczalności warstw czwartorzędu (głównie lessu). Zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych w obu stacjach są niemal identyczne jak wahania wydajności źródeł. Dlatego po zestawieniu średniego stanu wód podziemnych z wydajnością źródeł uzyskano wysoką zgodność korelacyjną: źródła nr 1 $r = -0,92$ i nr 2 $r = -0,96$.

Zebrane materiały wskazują na możliwość obliczania wydajności źródeł w Wierzchowiskach z położenia zwierciadła wód podziemnych w stacjach IMiGW (ryc. 6C). Korzystniejsze wyniki, szczególnie przy minimalnych wydajnościach źródeł, osiągnięto przy obliczaniu ilości wypływającej wody ze średniego stanu wód podziemnych (ryc. 6C):

$$\text{źródła 1; } Q_1 = 7523,5 - 6,469 H + 0,00139 H^2$$

$$\text{źródło 2; } Q_2 = 4339,9 - 3,283 H + 0,00062 H^2$$

H — średni stan wody podziemnej obliczony na podstawie notowań w stacji Rzeczyca Ziemiańska i Lute Doły wyrażony w centymetrach.

Dzięki przedstawionym równaniom uzyskuje się szczególnie w okre-

sach minimalnych wydajności większą zgodność z wartościami rzeczywistymi. Obliczone wydajności źródeł zmieniały się od 1 do 117 l/s oraz od 73 do 226 l/s. Średnia ilość wypływającej wody w źródle nr 1 wynosiła 26,0 l/s, a w nr 2 123,7 l/s. Zatem odpływ źródłany z dorzecza górnej Sanny za okres 1970—1976 miał wartość 4,2 l/s/km².

Wydajności źródeł obliczone przy pomocy obu metod nieco różnią się. Nie są to jednak duże rozbieżności. Zaproponowane rozwiązania stanowią metodyczną próbę nawiązującą do wykorzystania skromnych materiałów dotyczących pomiarów wydajności źródeł. Porównując obie metody należy stwierdzić, że znacznie łatwiejsze i prostsze jest uzupełnianie wydajności źródeł ze stanów wód podziemnych. Podstawowym warunkiem poprawności obliczeń jest podobny rytm wahań i zgodność w czasie zmian stanów wód podziemnych i wydajności źródeł. Natomiast obliczanie wydajności źródeł ze stanu retencji jest trudniejsze. Wymaga bowiem analizowania miesięcznych wartości opadu, parowania i odpływu w całym okresie badań. Przy niedokładnym określeniu wymienionych składowych bilansu wodnego można popełnić poważne błędy w ustalaniu stanu retencji, a następnie w obliczaniu wydajności źródeł lub stanów wód podziemnych. W przypadku źródeł w Wierzchowiskach obliczenie średniej z wartości uzyskanych przy pomocy obu metod daje większą zgodność wyników z wielkościami obserwowanymi.

Przedstawione równania regresji pozwalają z dużą dokładnością uzupełniać luki w obserwacjach wydajności źródeł drenujących roztoczańską poziom wody w Wierzchowiskach. Zależności te można z powodzeniem wykorzystywać do prognozowania wydajności źródeł przynajmniej z dwumiesięcznym wyprzedzeniem. Wydajność źródeł w okresie spadkowej tendencji stanów wód podziemnych można obliczać przy pomocy wzoru Boussinesqa-Mailleta. Na podstawie zmian stanu retencji można również uzupełniać ciągi obserwacyjne stanów wód podziemnych.

LITERATURA

- Areń B. 1959, Miocen Roztocza Lubelskiego w okolicy Wierzchowisk (The Miocene of Roztocze Lubelskie Range in the vicinity of Wierzchowiska). Inst. Geol. Biuletyn 130, Warszawa.
- Areń B. 1962, Miocen Roztocza Lubelskiego pomiędzy Sanną a Tanwią (The Miocene in the Lublin Roztocze Range between the Sanna and Tanew rivers). Inst. Geol. Prace t. XXX, cz. III, Warszawa.
- Bielecka M. 1968, Trzeciorząd południowo-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej (The Tertiary of the South-Western part of Lublin Upland). Inst. Geol. Biuletyn 206, Warszawa.
- Buraczyński J., 1967, Zarys geomorfologii Roztocza Zachodniego (Essai géomorphologique du Roztocze Occidental). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, v. XXII, Lublin.

- Buraczyński J. 1968, Typy dolin Roztocza Zachodniego (Types de vallées du Roztocze Occidental). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio B, v. XXIII, Lublin.
- Boussinesq M. J. 1904, Recherches théoriques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur débit des sources. Journal de mathématiques. 5^e serie, 10, Fasc. I, Paris.
- Dębski K. 1963, Przystosowanie nomogramu Konstantinowa do obliczeń parowania terenowego w Polsce. Prace i Studia Kom. Inż. i Gosp. Wod. PAN t. VI, Warszawa.
- Dębski K. 1967, Sposób określania miesięcznej sumy parowania terenowego na zasadzie nomogramu Konstantinowa. Prace i Studia Kom. Inż. i Gosp. Wod. PAN t. VIII, Warszawa.
- Jahn A. 1956, Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd (Geomorphology and Quaternary history of Lublin Plateau). Prace Geogr. PAN, nr 7, Warszawa.
- Janiec B. 1972, Źródła południowej krawędzi Wyżyny Lubelskiej i ich związek z tektoniką (Springs on the southern margin of the Lublin Upland area and their tectonic links). Folia Societatis Scient. Lublinensis, sectio B, v. 12, Lublin.
- Maillet E. 1905, Essais d'hydraulique souterraine et fluviale. Paris.
- Malicki A. 1935, Spękania kredy na północnym Roztoczu (Les diaclases du cretace dans la Roztocze septentrionale). Czas. Geogr. t. XIII, Lwów.
- Malinowski J. 1973, Hydrogeologiczna charakterystyka źródeł Roztocza Zachodniego (Hydrological characteristics of sources in the Western Roztocze Region). Inst. Geol. Biuletyn 277, Warszawa.
- Malinowski J. 1974, Hydrogeologia Roztocza Zachodniego. Prace hydrogeol. Inst. Geol. seria specjalna, z. 6, Warszawa.
- Meinzer E. O. 1932, Outline of methods for estimating ground water supplies. U.S. Geol. Surv. Wat. Supp. Pap., 638.
- Michalczyk Z. 1976, Monografia hydrograficzna dorzecza Łady. Maszynopis Zakładu Hydrografii UMCS, Lublin.
- Michalczyk Z. 1979, Wydajność i mineralizacja wód wybranych źródeł Roztocza Zachodniego (Output and mineral contents of some source waters in the Western Roztocze). Folia Societatis Scient. Lublinensis, sectio D, t. 21, z. 2, Lublin.
- Pawłowski S. 1961, Kredowy i jurajski rów lubelski (The Cretaceous and Jurassic Lublin Graben). Kwart. Geol., t. 5, z. 4, Warszawa.
- Rederowa E. 1963, Źródła Bystrzycy Lubelskiej (The sources of the river Bystrzyca in the Lublin Province). Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska sectio B, vol. XVIII, Lublin.
- Rederowa E. 1971, Występowanie źródeł na Wyżynie Lubelskiej i w obszarach przyległych (Occurrence of springs within the Lublin Upland and adjacent areas). Przegl. Geogr. t. XLIII, z. 3, Warszawa.

РЕЗЮМЕ

В работе представлена характеристика дебита двух систем источников расположенных в бассейне верхней Санны, разработанная по данным систематических измерений гидрометрии, проводившимся в годы 1970—1976. Источники в Вежховисках дающие начало реке Санна располагаются на дне сухой долины у подножий её крутого склона. Площадь питания источников обнимаю-

щая безводную часть бассейна Санны сложена из сильно стресканных опок кампана, иногда прикрытых известняками неогена. Известняки покрытые слоем лёссов разной мощности. Подземные воды залегающие в известняковых отложениях мела и третичного периода создают один уровень находящийся на глубине от нескольких до 70 м.

Среднее количество выплывающей воды подсчитанное на основании несистематических измерений дебита источников достигало 33,0 и 127,7 л/сек. Крайние дебиты источников расположенных выше (меньших) достигали 0,4 и 133,7 л/сек, а ниже расположенных 75,4 и 230,4 л/сек. Таким образом эти источники принадлежат: один к классу очень изменчивых, а второй к мало изменчивых. Оба источника имеют многолетний ритм изменений дебита связанный с временами высокого и скудного питания.

Изменения дебита источников указывают большое коррелятное согласие с положением зеркала подземной воды, а также с вычисленными месячными состояниями ретенции. Констатированные связи использованы для вычисления количества вытекающей воды из обозначенного состояния ретенции и из положения зеркала подземных вод.

Представленные в работе уравнения регрессии позволяют с большой точностью дополнять недостатки в наблюдениях дебита источников в Вежховисках. Показанные зависимости можно также использовать для прогноза дебита источников с двухмесячным опережением. Дебит источников в фазе падения количества выплывающей воды можно также подсчитать (прогнозировать) при помощи формулы Боуссинэск-Маиллет.

SUMMARY

The paper presents characterization of two groups of springs located in the upper part of the Sanna's river basin worked out on the basis of unsystematical hydrometrical measurements carried out in the years 1970—1976. Springs in Wierzchowiska give rise to the Sanna river and are located on the dry valley bottom at the foot of a steep slope. The spring supply area covers waterless part of the Sanna river basin which consists of rifted Campan opokas locally covered with Neogene limestones. Limestone formations are covered with a loess layer of different thickness. Underground waters found in limerocks of the Cretaceous and Tertiary periods create the same level of the depth from several to 70 metres.

The mean amount of outflowing water calculated on the basis of unsystematical measurements of the outputs of the springs amounted to 33.0 and 125.7 l/s. Extreme outputs of higher located springs (smaller) amounted to 0.4 and 133.7 l/s, while outputs of lower located ones to 75.4 and 230.4 l/s. Thus the former could be classified as highly changeable and the latter little changeable. Both springs have many-year output rhythm connected with the periods of high and poor supply.

Output changes of the springs show strong correlation between the level of underground water surface and the calculated monthly retention amounts. The above connection was used for calculating the amount of outflowing water from the determined retention and from the level of underground water surface.

Presented in the paper regression equations let, with much precision, fill the gaps in observations of outputs of the springs in Wierzchowiska. The indicated dependence can be used for predicting spring output in two months' advance. Output of springs in the phase of decrease of outflowing water can be also calculated (predicted) by applying Boussinesq-Maillet's formula.