

Zakład Hydrografii Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMCS w Lublinie

Zdzisław MICHALCZYK

**Właściwości fizyczno-chemiczne wody i denudacja chemiczna
w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł**

Физико-химические свойства воды и химическая денудация в бассейне
Дунда-Байдалагийн-гол

Physical and Chemical Properties of Water and Chemical Denudation in the
Dunda-Bajdałagijn-goł River Basin

WSTĘP

Celem opracowania jest przedstawienie podstawowych cech fizyczno-chemicznych wód w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł i obszarach przyległych oraz określenie natężenia procesu denudacji chemicznej.

Cechy fizyczno-chemiczne wody określano zarówno w terenie, jak i w polowym laboratorium hydrochemicznym. Bezpośrednio w terenie wykonywano pomiary wydajności źródeł i przepływu rzek, temperatury, twardości i odczynu, a także określano przezroczystość, barwę i zapach wody oraz pobierano próby do analizy chemicznej. W polowym laboratorium wykonywano pomiary przewodności elektrycznej i odczynu wód, określano suchą pozostałość oraz zawartość podstawowych jonów: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} , Ca^{++} i Mg^{++} .

Wodę do badania cech fizyczno-chemicznych pobierano na całym obszarze ze wszystkich źródeł, potoków, wód stojących, śniegu i deszczu. Ponadto dla porównania analizowano wody z sąsiednich dorzeczy Dzuun Bajdałagijn-goł i Baruun Bajdałagijn-goł. W okresie czerwca i lipca 1978 r. pobrano około 500 prób wody ze 110 miejsc (rys. 1). W celu prześledzenia zmian właściwości fizyczno-chemicznych pobierano codziennie wodę w trzech profilach: nr 2, 5 i 6 (rys. 1), a w kilkunastu innych okresowo powtarzano pomiary.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-gol. A. Miejsca poboru wody do analiz: 1 — wody stojące, 2 — wody płynące, 3 — wody podziemne, 4 — wody źródlane, 5 — pomiary powtarzane. B. Mineralizacja ogólna wód w mg/l. C. Skład chemiczny wód powierzchniowych: 1 — HCO_3^- , 2 — Cl^- , 3 — SO_4^{--} , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 — Na^+ , 7 — pozostałe kationy

Distribution of sampling station in the Dunda-Bajdałagijn-gol river basin. A. Locations of taking water for analyses; 1 — stagnant waters, 2 — flowing waters, 3 — underground waters, 4 — spring waters, 5 — repeated measurements. B. General mineralization of waters in mg/l. C. Chemical composition of surface waters: 1 — HCO_3^- , 2 — Cl^- , 3 — SO_4^{--} , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 — Na^+ , 7 — other cations

Twardość wody określano za pomocą mydła Boutron-Boudeta, a odczyn papierkami wskaźnikowymi i pehametrem bateryjnym. Pomiary przewodności elektrycznej wykonywano konduktometrem bateryjnym N-511 z elektrodą PS-2. Przyrząd ten określa konduktywność w mikrosimensach (μS) zawsze kompensując temperaturę do 25°C . Oznaczenia poszczególnych pięciu jonów wykonywano metodą miareczkowania. Z bilansu jonów obliczano zawartość sodu i potasu (łącznie z pozostałymi kationami). Dokładne wyznaczenie zawartości sodu i potasu oraz żelaza, manganu i krzemionki wykonano w pięciu próbach wody przywiezionych do Polski.

Z ilościowej zawartości poszczególnych jonów obliczano mineralizację wód, którą następnie porównywano z suchą pozostałością po odparowaniu 100 ml wody i z przewodnością elektryczną. Wzajemne zależności między przewodnością a sumą jonów i suchą pozostałością pozwalają na określenie z przewodności elektrycznej wody wskaźnika jej mineralizacji. Dla obliczania wskaźnika mineralizacji przystosowano wzór podany przez Z. P a z d r o (9), który po zmodyfikowaniu przyjął postać:

$$M = k \times 0,751$$

M — wskaźnik mineralizacji w mg/l , k — przewodność wody w temperaturze 25°C określona w mikrosimensach, 0,751 — parametr liczbowy określony na podstawie zależności między sumą jonów, suchą pozostałością i przewodnością elektryczną wody; wskaźnik ten stosowano dla wód o przewodności 80—300 mikrosimensów (w temperaturze 25°C).

Zastosowanie pomiarów przewodności do określania wskaźnika mineralizacji jest znacznie łatwiejsze od oznaczania suchej pozostałości i znacznie prostsze od oznaczania jonów. Pozwala jednocześnie na systematyczne śledzenie zmian ilości substancji rozpuszczonej w wodzie. Mineralizacja wody i wielkość przepływu pozwalają na określenie natężenia denudacji chemicznej.

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNE WÓD OPADOWYCH I ROZTOPOWYCH

Ważnym czynnikiem formowania się właściwości chemicznych wód powierzchniowych i podziemnych jest skład chemiczny opadów. Wody deszczowe miały niską mineralizację (od 3,5 do 28,3 mg/l — średnio 8,7 mg/l). Wyraźnie wyższą mineralizację miały wody deszczowe początkowej fazy opadów burzowych (tab. 1). W składzie chemicznym stwierdzono przewagę jonów HCO_3^- nad Cl^- oraz niewielkie lub śladowe ilości wapnia i magnezu. Prawdopodobnie w wodach deszczowych występuje przewaga jonów sodu i potasu nad wapniem i magnezem. Skład chemicz-

Tab. 1. Mineralizacja i właściwości chemiczne wód opadowych, roztopowych i spły wających po powierzchni w dorzeczu Dunda-Bajdałagin-gol
 Mineralization and chemical properties of rainfall water, thaw water and overland water in the Dunda-Bajdałagin-gol river basin

	tw °n	pH	M	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	mg/l	
									śląd	śląd
Woda deszczowa	0,6	5,9	8,7	6,5	3,7	śląd	śląd	śląd	śląd	
Woda deszczowa z początku opadów burzowych	2,9	5,6	54,8	9,6	3,2		2,8	1,4		
Woda ze śniegu	1,6	5,4	52,2	16,3	16,8		7,2	1,2		
Woda odpływająca z topniejącego śniegu i lodu	4,1	5,7	84,4	53,8	3,2	5,3	13,8	2,8		
Woda odpływająca z hydrolokaliów	5,4	5,8	134,3	82,7	4,7	9,1	23,4	3,7		
Woda z panwi	4,2	6,1	150,1	45,2	16,5	8,2	9,8	3,7		
Woda z lokalnego spływu po powierzchni:										
stok o ekspozycji N (trawiasło-krzacze)	1,3	5,9	31,7	16,3	1,7	śląd	2,2	6,7		
stok o ekspozycji E (kopy traw)	2,2	5,9	48,2	20,0	3,4	śląd	4,8	1,4		
stok o ekspozycji S (pojedyncze kopy traw)	2,6	5,8	52,1	22,5	5,3	śląd	6,6	1,1		

tw — twardość wody, pH — odczyn, M — mineralizacja ogólna.

tw — water hardness, pH — reaction, M — general mineralization in mg/l.

ny wód deszczowych podobny jest do cech chemicznych wód opadowych dorzecza Selengi (3) i rejonu Prychubsugula (10).

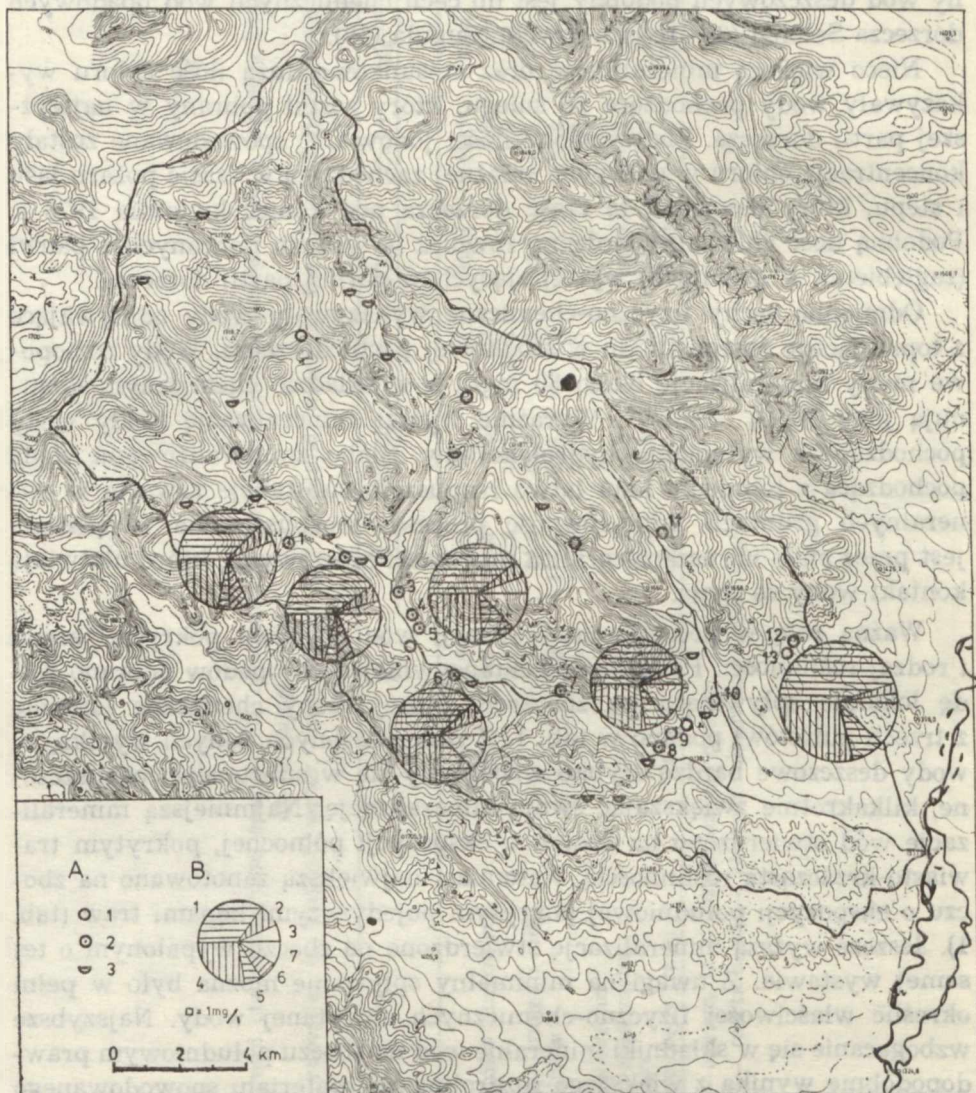
Nieco większą mineralizację oraz stosunkowo dużą ilość chloru wykazywały wody pochodzące ze śniegu, który został pobrany w najwyższej partii dorzecza. Podwyższone ilości jonów Cl^- spowodowane zostały koncentracją chloru w pokrywie śnieżnej zachodzącą w czasie pożaru lasu i stepu, który nawiedził tę część dorzecza pod koniec kwietnia 1978 r. Podobną ilość chloru stwierdzono również w wodach pobranych z panwi (zagłębienia w granitach) występujących w górnej partii dorzecza.

Odmienne cechy fizyczno-chemiczne wykazywały wody odpływające z topniejącego śniegu i lodu w środkowej partii dorzecza. Wody roztopowe miały mineralizację około 80 mg/l, a w składzie chemicznym dominują jony HCO_3^- i Ca^{++} . Wyraźnie wyższą mineralizację miały wody pochodzące z wytapiania hydrolakolitów. Słabo zmineralizowana woda pochodząca z topnienia lodu łatwo rozpuszcza substancje zawarte w mineralnych gruntach. Intensywność procesów rozpuszczania zwiększona jest przez stałe naruszanie gruntu procesami inrozowymi, które ułatwiają kontakt wody ze skałą.

Ważną rolę w procesie mineralizacji wód odgrywa pokrycie terenu i rodzaj roślinności. Po jednym z intensywniejszych opadów pobrano wodę lokalnie spływającą po zboczach, której cechy chemiczne (średnie z trzech punktów) podano w tab. 1. Z zamieszczonych danych wynika, że wody deszczowe bardzo szybko wzbogaciły się w substancje rozpuszczone, kilkakrotnie zwiększając swoją mineralizację. Najmniejszą mineralizację wód stwierdzono na zboczu o ekspozycji północnej, pokrytym trawiasto-krzaczastą roślinnością. Natomiast największą zanotowano na zboczu o ekspozycji południowej pokrytym pojedynczymi kępami traw (tab. 1). Jeszcze wyższą mineralizację stwierdzono na zboczu wypalonym o tej samej wystawie. Z uwagi na minimalny spływ nie można było w pełni określić właściwości fizyczno-chemicznych chwytej wody. Najszybsze wzbogacanie się w składniki mineralne wód na zboczu południowym prawdopodobnie wynika z większego rozdrobnienia materiału spowodowanego intensywniejszym przebiegiem procesu wietrzenia fizycznego.

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNE WÓD PODZIEMNYCH

Słabo zmineralizowane wody opadowe docierające do powierzchni terenu, zbudowanego generalnie ze skał odpornych na procesy wietrzenia chemicznego, stosunkowo szybko zwiększają swoją mineralizację. Sprzyja temu duże rozdrobnienie skał spowodowane procesami wietrzenia mechanicznego oraz bogate w łatwo rozpuszczalne składniki torfiasto-mine-



Rys. 2. Rozmieszczenie źródeł w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł. A. Miejsca poboru wody: 1 — źródła, 2 — źródła z powtarzanimi pomiarami, 3 — wysięki wody. B. Skład chemiczny wód źródłanych: 1 — HCO₃⁻, 2 — Cl⁻, 3 — SO₄⁻, 4 — Ca⁺⁺, 5 — Mg⁺⁺, 6 — Na⁺, 7 — pozostałe kationy

Distribution of springs in the Dunda-Bajdałagijn-goł river basin. A. Locations of taking water: 1 — springs, 2 — springs with repeated measurements, 3 — exudations of water. B. Chemical composition of spring waters: 1 — HCO₃⁻, 2 — Cl⁻, 3 — SO₄⁻, 4 — Ca⁺⁺, 5 — Mg⁺⁺, 6 — Na⁺, 7 — other cations

Tab. 2. Właściwości fizykochemiczne wody wybranych źródeł dorzecza Dunda-Bajdatagijn-gol
 Physical and chemical properties of water in chosen springs of the Dunda-Bajdatagijn-gol river basin

Numer źródła na mapie	Q l/s	t °C	tw °n	pH	M	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
1	0,5	7,3	8,3	6,1	204,6	117,7	15,6	20,2	21,4	3,2	7,9	1,4
2	0,3	2,5	7,9	6,0	194,5	109,7	12,2	15,5	28,0	3,7	7,6	1,9
3	0,2	3,9	5,5	5,7	115,1	70,4	3,0	4,9	18,7	2,5		
4	0,5	1,3	8,5	6,2	192,8	119,5	8,9	12,5	30,7	5,6		
5	0,5	1,6	8,4	6,1	183,6	117,5	8,0	13,4	28,9	5,3		
6	0,4	1,8	8,4	6,0	186,2	119,4	8,7	13,4	29,6	8,4		
7	1,1	3,0	8,5	6,2	184,7	123,0	5,0	8,6	30,6	8,7		
8	1,6	2,6	7,0	6,2	157,1	107,0	5,3	15,8	28,2	5,2		
9	0,1	1,6	6,8	6,2	153,2	100,5	8,0	9,6	26,8	4,8		
10	4,4	1,8	6,3	6,2	178,0	115,5	9,0	9,6	31,8	7,4		
11	5,0	6,0	5,7	5,7	148,0	87,5	3,2	4,8	19,0	6,4		
12	1,4	2,3	10,4	6,9	293,7	186,0	11,7	21,6	52,6	10,1		
13	1,8	1,1	10,1	6,4	255,3	175,0	7,4		51,8	10,3		

Q — wydajność, t — temperatura wody, tw — twardość wody, pH — odczyn, M — mineralizacja.

Q — quantity, t — water temperature, tw — water hardness, pH — reaction, M — general mineralization.

ralne podłoże wypełniające dna dolin. Wody do koryt rzecznych docierają z zasobów podziemnych, oraz pochodzą z wytopiania się lodu i ze spływu powierzchniowego formowanego w dnach dolin, czyli w obszarze, gdzie zmarzlina występuje bardzo płytko. Między poszczególnymi źródłami zasilania istnieją różnice cech fizyczno-chemicznych wód wynikające z występowania zmarzliny, głębokości krążenia i czasu kontaktu wody z podłożem skalnym.

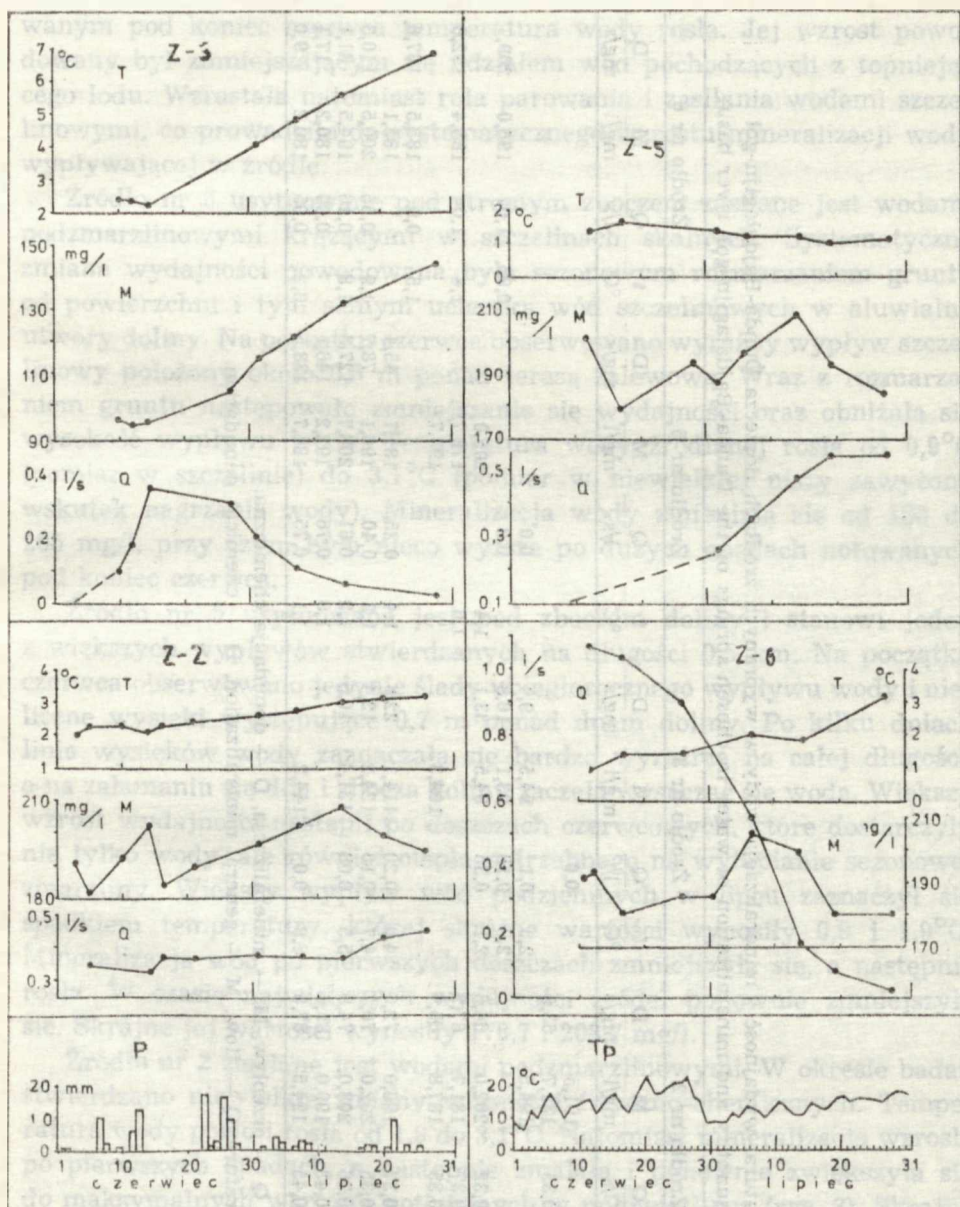
Właściwości fizyczno-chemiczne wód podziemnych zostały określone poprzez analizy wody pobranej w źródłach, młakach, dołach powstałych po wytopieniu lodu, szczelinach mrozowych i studniach wierconych. Najdokładniej cechy wód podziemnych określają wody wypływające w źródłach i ujmowane w studniach (dla studni wierconych nie uzyskano dokumentacji hydrogeologicznych). Źródła występujące w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł mogą być zasilane z płytko występujących wód nadzmarzlinowych, nieco głębiej położonych wód podzmarzlinowych lub wód krążących w szczelinach skał krystalicznych.

Na terenie dorzecza Dunda-Bajdałagijn-goł zarejestrowano 20 źródeł, których wydajność wynosiła od minimalnych wartości do 5 l/s. W kilku źródłach wykonywano systematyczne pomiary wydajności oraz określano cechy fizyczno-chemiczne wody. W pozostałych wspomniane cechy określono przynajmniej raz, a dla większości źródeł dysponowano przynajmniej podwójnymi pomiarami.

Mineralizacja wód źródłanych wynosiła od 80 do 300 mg/l, przy czym najniższe wartości stwierdzano w wypływach występujących w górnej części dorzecza. W składzie chemicznym wszystkich wód źródłanych dominują jony HCO_3^- i Ca^{++} pochodzące z atmosfery, rozkładu substancji organicznych lub z wietrzenia pierwotnych krzemianów i glinokrzemianów. Rozmieszczenie źródeł, średnią wydajność oraz właściwości fizyczno-chemiczne przedstawiono w tab. 2 oraz na rys. 2.

Łączna wydajność zarejestrowanych źródeł miała wartość około 15 l/s. Wypływające wody wynosiły jednocześnie około 3 g/s rozpuszczonego materiału. W ciągu dwu miesięcy badań terenowych wody źródlane wyniosły około 16 ton materiału. Stanowi to 15% transportu substancji rozpuszczonej i wyniesionej z wodami rzecznyymi. W czasie badań terenowych wydajność źródeł i temperatura wody podlegała różnokierunkowym zmianom. Przykładowo na rys. 3 i w tab. 3 przedstawiono wydajność, temperaturę i mineralizację wody czterech źródeł.

Źródło nr 3 na mapce (rys. 2) zasilane jest z poziomu nadzmarzlinowego. Zbiornik wód podziemnych jest mały. Na początku czerwca wydajność źródła była niewielka, bardzo szybko wzrosła po pierwszych większych opadach deszczu. Temperatura i mineralizacja nieco zmalały osiągając wartości $2,3^\circ\text{C}$ i 92 mg/l. Wraz ze spadkiem wydajności obserwo-



Rys. 3. Zmiany wydajności, mineralizacji i temperatury wody w źródłach dorzecza Dunda-Bajdałagijn-gol; Z-2 — źródło numer 2 na mapie (rys. 2), T — temperatura wody, M — mineralizacja ogólna, Q — wydajność, P — opad, Tp — temperatura powietrza

Changes of quantity, mineralization and temperature of water in the springs of the Dunda-Bajdałagijn-gol river basin; Z-2 — spring number 2 on the map, T — temperature of water, M — general mineralization, Q — quantity, P — rainfall, Tp — temperature of air

Tab. 3. Temperatura, wydajność i mineralizacja wody w wybranych źródłach dorzecza Dunda-Bajdatagijn-got
 Temperature, quantity and mineralization of water in chosen springs of the Dunda-Bajdatagijn-got river basin

Data 1978	Źródło nr 2						Źródło nr 3						Źródło nr 5						Źródło nr 6						
	t °C	Q l/s	M mg/l	D mg/s	t °C	D mg/s	Q l/s	M mg/l	D mg/s	t °C	D mg/s	Q l/s	M mg/l	D mg/s	t °C	D mg/s	Q l/s	M mg/l	D mg/s	t °C	D mg/s	Q l/s	M mg/l	D mg/s	
3 VI	2,1		191,5					0,0																	
5 VI	2,3	0,35	181,7	63,6	2,3			0,1	94,5	9,4										0,95		1,07	196,0	209,7	
10 VI	2,3		194,5		2,3			0,18	93,1	16,8															
12 VI					2,1			0,35	94,5	33,1	1,4														
14 VI	2,2	0,32	202,0	64,6	2,1						1,6									1,4		1,04	185,4	192,8	
16 VI	2,3	0,37	181,7	67,2																					
21 VI	2,4	0,35	187,8	65,7					104,3																
26 VI																									
1 VII	2,6	0,37	196,0	72,5	4,0			0,20	114,1	22,8	1,4									1,5		0,9	185,5	167,0	
7 VII	2,8	0,35	202,0	70,7	4,7			0,10	124,2	12,4	1,2									1,9		0,55	200,5	110,3	
14 VII	3,0	0,36	208,0	74,9	5,5			0,08	131,4	10,5	1,2									1,8		0,16	194,5	31,1	
20 VII	3,1	0,43	199,0	85,6							1,0											0,09	180,2	17,1	
28 VII	3,1	0,45	194,5	87,5	6,8			0,0	144,2		1,1									3,2		0,05	180,2	9,0	

t — temperatura, Q — przepływ, M — mineralizacja, D — denudacja chemiczna.

t — water temperature, Q — flow, M — general mineralization, D — chemical denudation.

wanym pod koniec czerwca temperatura wody rosła. Jej wzrost powodowany był zmniejszającym się udziałem wód pochodzących z topniejącego lodu. Wzrastała natomiast rola parowania i zasilania wodami szczelinowymi, co prowadziło do systematycznego wzrostu mineralizacji wody wypływającej w źródle.

Źródło nr 6 usytuowane pod stromym zboczem zasilane jest wodami podzmarzlinowymi krążącymi w szczelinach skalnych. Systematyczna zmiana wydajności powodowana była sezonowym rozmarzaniem gruntu od powierzchni i tym samym ucieczką wód szczelinowych w aluwialne utwory doliny. Na początku czerwca obserwowano wyraźny wypływ szczelinowy położony około 0,5 m ponad terasą zalewową. Wraz z rozmarzaniem gruntu następowało zmniejszanie się wydajności oraz obniżała się wysokość wypływu wody. Temperatura wody źródlanej rosła od $0,9^{\circ}\text{C}$ (pomiar w szczelinie) do $3,1^{\circ}\text{C}$ (pomiar w niewielkiej niszy zawyżony wskutek nagrzania wody). Mineralizacja wody zmieniała się od 180 do 205 mg/l, przy czym była nieco wyższa po dużych opadach notowanych pod koniec czerwca.

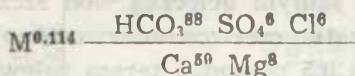
Źródło nr 5 usytuowane jest pod zboczem doliny i stanowi jeden z większych wypływów stwierdzanych na długości 0,5 km. Na początku czerwca obserwowano jedynie ślady ubiegłorocznego wypływu wody i nieznaczne wysięki występujące 0,7 m ponad dnem doliny. Po kilku dniach linia wysięków wody zaznaczała się bardzo wyraźnie na całej długości, a na załamaniu się dna i zbocza doliny zaczęła wysączać się woda. Większy wzrost wydajności nastąpił po deszczach czerwcowych, które dostarczyły nie tylko wody, ale również ciepła potrzebnego na wytapianie sezonowej zmarzliny. Większy wypływ wód podziemnych w lipcu zaznaczył się spadkiem temperatury, której skrajne wartości wynosiły $0,9$ i $1,9^{\circ}\text{C}$. Mineralizacja wód po pierwszych deszczach zmniejszyła się, a następnie rosła. W czasie największych wydajności źródeł ponownie zmniejszyła się. Skrajne jej wartości wynosiły 178,7 i 208,7 mg/l.

Źródło nr 2 zasilane jest wodami podzmarzlinowymi. W okresie badań stwierdzano niewielkie zmiany własności fizyczno-chemicznych. Temperatura wody powoli rosła od $1,9$ do $3,1^{\circ}\text{C}$. Natomiast mineralizacja wzrosła po pierwszych opadach, a następnie zmalała i ponownie zwiększyła się do maksymalnych wartości notowanych w połowie lipca (rys. 3). Skrajne jej wartości wynosiły 181,7 i 208 mg/l.

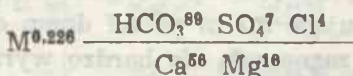
Materiały hydrochemiczne zebrane w trakcie badań terenowych pozwalają na krótką charakterystykę poszczególnych typów występowania wody. Z badań hydrograficznych wynika, że wody podziemne występują w trzech poziomach: jako wody nadzmarzlinowe, podzmarzlinowe i krążące w szczelinach skalnych.

Płytkie wody nadzmarzlinowe występujące w środkowej i górnej częś-

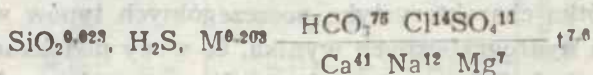
ci dorzecza Dunda-Bajdałagijn-goł wykazały mineralizację od 60 do 160 mg/l i temperaturę od 0,5 do 5°C. Przez około pół roku wody nadzmarzlinowe są zamrożone i nie biorą w tym czasie udziału w krążeniu wód. Wody tego poziomu są lekko kwaśne, mają małą przezroczystość, torfowo-gnilny zapach oraz duże zanieczyszczenie materią organiczną. W składzie chemicznym główną rolę odgrywają jony HCO_3^- i Ca^{++} oraz prawdopodobnie Na^+ . Typowy skład chemiczny wód poziomu nadzmarzlinowego przedstawia się następująco:



Wody podzmarzlinowe występujące w utworach aluwialnych środkowej i dolnej części doliny Dunda-Bajdałagijn-goł mają mineralizację 150—250 mg/l, twardość około 7,5°n, a odczyn około 6,1 pH. W składzie chemicznym dominują jony HCO_3^- oraz Ca^{++} i Na^+ nad pozostałymi kationami i anionami. Są to wody o dużej przezroczystości, temperaturze 1—3°C i niekiedy swoistym zapachu. Przykładowo skład chemiczny wody pobranej ze studni ujmującej wody poziomu nadzmarzlinowego przedstawia się następująco:



Wody szczelinowe płytkiego i głębokiego krążenia, związane ze szczelinami skał krystalicznych i strefami nieciągłości tektonicznych, wykazują duże zróżnicowanie właściwości fizyczno-chemicznych. Mineralizacja wód szczelinowych wynosiła od 180 do 300 mg/l, twardość 7—9°n, a odczyn 5,8—6,6 pH. Temperatura wód wynosiła około 1°C, a jednego źródła 7—8°C (nr 1 na rys. 2). Według informacji zawartych w opracowaniu dotyczącym wód mineralnych Mongolii (8) wody źródlane w dawnych latach miały jeszcze wyższą temperaturę. Wody szczelinowe głębokiego krążenia zawierają tzw. składniki swoiste: siarkowodór i dwutlenek węgla. Siarkowodór wydziela się w źródle nr 1, a dwutlenek węgla stwierdzony był w kilku wypływach wody istniejących na linii uskoku oddzielającego rów Kerulenu od masywu Chenteju. Skład chemiczny wód szczelinowych wypływających w źródle z obecnością siarkowodoru przedstawiał się następująco:



W badanych wodach podziemnych stwierdzono obecność sodu i potasu, których ilość określona na podstawie pięciu prób wynosiła od 0,25

do 0,35 mwał/l Na^+ i poniżej 0,05 mwał/l K^+ . Większe ilości obu pierwiastków występowały w wodach szczelinowych. W wodach podziemnych nie stwierdzono obecności manganu. Natomiast wody wszystkich typów zawierają niewielkie ilości żelaza, którego ilość wynosi około 0,1 mg/l Fe w wodach podzmarzlinowych i około 0,2 mg/l Fe w nadzmarzlinowych. Ponadto wody podziemne Dunda-Bajdałagijn-goł zawierają znaczne ilości krzemionki występującej jako zawiesina koloidalna. Jej ilość wynosi około 10—15% wartości mineralizacji ogólnej, czyli od 23 mg/l w wodach szczelinowych do około 10 mg/l SiO_2 w wodach płytkich.

Z zebranych materiałów wynika, że w składzie chemicznym wód podziemnych największy procentowy udział jonów wapnia występuje w wodach płytkich — około 60% kationów, a w wodach szczelinowych głębszego krążenia jego ilość nie przekraczała 50%. Podobnie kształtuje się zawartość magnezu, którego ilość w wodach nadzmarzlinowych wynosi kilkanaście procent, a w szczelinowych tylko kilka procent sum miliwali kationów. Prawdopodobnie wraz z głębokością wzrasta procentowy udział sodu i potasu. Natomiast procentowy udział wodorowęglanów zmniejsza się wraz z głębokością. Ilość jonu HCO_3^- w wodach płytkich wynosi około 90% anionów, a w głębszych spada do 75% sum miliwali anionów. Wraz ze wzrostem głębokości następuje większy udział chlorków, a głównie siarczanów. Podobne zależności w obszarze Chenteju stwierdził w opracowaniu dotyczącym hydrogeologii Mongolii N. A. Marinow i W. N. Popow (6).

Na skład chemiczny wód podziemnych w decydującym stopniu wpływają: budowa geologiczna i właściwości litologiczne skał, ogół warunków klimatycznych (głównie temperatura i opad) oraz procesy fizyczno-chemiczno-biologiczne zachodzące w dorzeczu. Zróżnicowanie cech fizyczno-chemicznych wód wynika z obecności wieloletniej zmarzliny, różnej głębokości krążenia i czasu kontaktu wody z podłożem skalnym oraz występowania odrębnych poziomów wód stwierdzonych w utworach aluwialnych doliny Dunda-Bajdałagijn-goł.

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNE WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Właściwości fizyczno-chemiczne wód powierzchniowych uzależnione są od zróżnicowania cech wody pochodzącej z poszczególnych rodzajów zasilania. W górnej części dorzecza zasilanie strumieni następuje z płytko występującego poziomu nadzmarzlinowego, z wytapiania hydrolakolitów i spływu powierzchniowego formującego się jedynie w obszarach den dolin. Wody docierające do koryt rzecznych w górnej partii dorzecza miały mineralizację 70—90 mg/l. Ilość rozpuszczonej substancji wzrasta wraz

Tab. 4. Właściwości fizyczno-chemiczne wody w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł w dniu 28 lipca 1978 r.
Physical and chemical properties of water in the Dunda-Bajdałagijn-goł river basin on July 28th, 1978

Nr na mapie	Miejsce poboru wody	Q l/s	t °C	tw °n	pH	mg/l							D g/s
						M	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	
1	Dunda górna	4,0	16,8	5,0	6,0	99,1	60,5	6,9	1,9	17,2	4,1	0,40	
2	Dunda — ujście Czerwonej Karag.	11,5	12,8	6,3	6,1	130,7	91,3	8,5	14,9	17,2	4,1	1,50	
3	Czerwona Karagana — środkowa	24,7	7,8	5,2	6,2	105,9	72,5	4,2	11,5	18,0	3,6	2,62	
4	dopływ Czerwonej Karagany	2,8	4,2	5,7	6,2	117,2	81,0	3,5		20,4	2,9	0,33	
5	Czerwona Karagana — ujście	32,4	13,2	5,3	5,9	108,9	77,5	3,0	4,8	18,4	2,6	3,53	
6	Dunda — wodowskaz (baza)	60,0	13,3	5,7	6,0	117,9	88,8	5,5	11,5	18,0	3,4	7,07	
7	Dunda — środkowa	56,0	18,4	7,5	6,2	131,4	91,3	6,7	5,8	22,4	2,9	7,36	
8	Dunda powyżej												
9	Chołchin	88,1	24,2	8,5	6,2	158,5	102,5	8,9	12,5	32,8	3,8	14,0	
10	Chołchin — ujście	7,6	24,8	8,7	6,2	186,2	128,8	7,0	24,0	33,6	6,0	1,42	
11	Dunda — ujście	78,9	23,6	9,2	7,2	165,2	111,3	10,1	11,5	33,0	4,3	13,01	
12	Kerulien * Dzuun Bajdałagijn-goł *	18 000	17,8	2,5	6,2	54,6	35,0	4,0	3,8	6,8	1,3	983,0	
13	Baruun Bajdałagijn-goł *	53,0	22,0	6,0	6,1	134,4	82,5	8,9	12,5	21,6	5,3	14,91	
			22,0	11,9	7,5	293,0	203,8	10,4	19,2	54,8	9,1	15,50	

Q — przepływ, t — temperatura wody, tw — twardość wody, pH — odczyn, M — mineralizacja ogólna, D — denudacja chemiczna, * — woda pobrana 26 lipca.

Q — flow, t — water temperature, tw — water hardness, pH — reaction, M — general mineralization, D — chemical denudation, * — water taken on July 26th.

Tab. 5. Średni przepływ, denudacja i skład chemiczny wody w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł w okresie czerwiec—lipiec 1978 r.
 Mean flow, denudation and chemical composition of water in the Dunda-Bajdałagijn-goł river basin in the period of VI—VII 1978

Nr na mapie	Miejsce poboru prób wody	A km ²	Q l/s	q l/s/km ²	tw	pH	mg/l						M	D t/2 m			
							SO ₄	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
1	Dunda-Bajdałagijn-goł — górna				4,5	5,9											
2	Dunda — ujście	57,9	47,8	0,83	4,8	6,0	57,1	6,4	8,2	15,6	3,8	102,5					
3	Czerwona Karagana — środkowa	51,0	43,0	0,84	4,9	5,8	65,3	5,1	9,2	16,7	3,5	119,9					30,2
5	Czerwona Karagana — ujście	80,1	64,7	0,81	5,0	5,9	61,3	2,9	4,7	16,9	4,0	107,8					24,3
6	Dunda — wodowskaz						64,6	3,6	5,5	17,3	3,1	109,1					37,2
9	Choičin — ujście	141,1	112,5	0,80	4,9	5,9	65,2	4,9	10,2	16,8	4,2	116,4					70,0
10	Dunda-Bajdałagijn-goł — ujście	52,9	17,2	0,33	7,6	6,3	132,7	6,5	11,4	33,2	7,5	215,8					15,6
11	Kerulen	309,4	114,9	0,37	7,4	6,6	111,3	5,7	8,8	27,2	6,0	172,0					106,5
12	Dzuun Bajdałagijn-goł — ujście	6000*	14 000*	2,23	2,9	5,8	34,3	2,5	3,2	7,9	1,3	53,4					3940*
13	Baruun Bajdałagijn-goł — ujście	209,0	150*	0,72	4,2	6,1	75,5	4,7	8,6	19,0	4,4	123,3					97,5*
		270,0	60*	0,22	10,4	7,3	196,5	5,4	11,0	53,8	10,9	293,6					92,8*

A — powierzchnia, Q — przepływ, q — odpływ jednostkowy, tw — twardość wody, pH — odczyn, M — mineralizacja ogólna, D — denudacja chemiczna w okresie czerwiec—lipiec 1978 r., * — wartość przybliżona.

A — surface, Q — flow, q — flow unit, tw — water hardness, pH — reaction, M — general mineralization, D — chemical denudation in the period of VI—VII 1978, * — approximate value.

z biegiem rzek, przy czym szybszą zmianę mineralizacji obserwowano w dolinie Dunda-Bajdałagijn-goł niż w dolinie Czerwonej Karagany.

Mineralizacja wód w najwyższej części doliny Dunda-Bajdałagijn-goł wynosiła około 70 mg/l, a cztery kilometry powyżej ujścia Czerwonej Karagany wzrosła już do około 100 mg/l, przy połączeniu obu wspomnianych rzek osiągnęła wartość około 120 mg/l. W składzie chemicznym przeważają jony HCO_3^- i Ca^{++} nad pozostałymi anionami i kationami (tab. 4, 5). Szybki wzrost ilości substancji rozpuszczonej w wodach rzecznych wiąże się z dopływem bardziej zmineralizowanych wód pochodzących z głębszego podłoża. Zasilanie to znajduje potwierdzenie w obecności źródeł szczelinowych, podwyższonej temperaturze wód oraz ułatwianiu się siarkowodoru. Zebrane materiały hydrochemiczne sugerują istnienie w tej części doliny Dunda-Bajdałagijn-goł nieciągłości tektonicznej. Zwiększone zasilanie wodami podziemnymi przyczynia się do tworzenia na tym odcinku naledzi, hydrolakolitów i innych form występowania lodu. Wskutek wytapiania lodu i łatwego rozpuszczania substancji zawartej w mineralnych gruntach docierają do rzeki znaczne ilości wody o mineralizacji nieco wyższej niż w górnej części doliny.

Mineralizacja wody w górnej części doliny Czerwonej Karagany wynosiła około 90 mg/l. Również w tym dorzeczu stwierdzano jej wzrost wraz z biegiem rzeki, ale nie tak duży jak w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł. W środkowym biegu w pobliżu zakrętu doliny wynosiła około 108 mg/l, a przy ujściu do Dunda-Bajdałagijn-goł około 109 mg/l. Krótkie dopływy istniejące w górnej części dorzecza Czerwonej Karagany doprowadzały wody o mineralizacji 80—115 mg/l.

Wody w górnej części dorzecza Dunda-Bajdałagijn-goł i Czerwonej Karagany są lekko kwaśne (pH 5,8—6,0). Skład chemiczny wód jest podobny, z tym że w dorzeczu Czerwonej Karagany obserwuje się nieco mniej chlorków i siarczanów. Temperatura wody odpływającej rzeką główną była niższa o 2—4°C od mierzonej w Czerwonej Karaganie. Różnice w wielkościach temperatur wody były największe w początkowym okresie obserwacji, pod koniec lipca temperatury wody były podobne. Odmienne temperatury wody powodowane są dopływem chłodnej wody z topniejącego lodu dennego zalegającego w dolinie Dunda-Bajdałagijn-goł. Spadek temperatury wody w obszarze występowanie zjawisk lodowych wynosił w tej dolinie kilka stopni.

Po połączeniu się wspomnianych rzek mineralizacja wody wynosiła około 116 mg/l, pH 5,9, twardość ogólna 4,8°n. Wśród anionów dominował jon HCO_3^- 1,3 mwał/l oraz SO_4^{--} 0,2 mwał/l i Cl^- 0,14 mwał/l, natomiast w składzie kationów przeważał jon Ca^{++} 0,85 mwał/l nad Mg^{++} 0,31 mwał/l i $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Temperatura wody tuż po wschodzie słońca wy-

nosiła 3—5°C, około południa przekraczała 10°C, a w godzinach popołudniowych wzrastała do kilkunastu stopni (maksymalnie do 19°C).

Wraz z biegiem rzeki obserwowano wzrost ilości rozpuszczonych składników. Wzrost ten odbywał się jeszcze na odcinku o długości około 4 km i związany był z dopływem wód podziemnych o mineralizacji około 180 mg/l wydobywających się w wielu źródłach. Na następnych 6 km biegu rzeki mineralizacja wody tylko nieznacznie wzrastała. Większą jej zmianę obserwowano w strefie uskoku oddzielającego zapadlisko Kerulenu od masywu Chenteju. Wzrost mineralizacji wody w rzece związany był z dopływem z szeregu źródeł wód podziemnych o mineralizacji około 200 mg/l. Wypływy wody stwierdzone były w strefie o szerokości 2 km, która rozpoczynała się 3 km powyżej ujścia Chołchin-goł. Ponadto w tej strefie uchodzi niewielki dopływ Ułan Szorood-goł doprowadzający wodę z obszaru występowania marmurów o mineralizacji około 300 mg/l. W tej wąskiej, dwukilometrowej strefie mineralizacja wody w rzece wzrastała około 25—30 mg/l, czyli dochodziła do poziomu 150—180 mg/l.

Wyraźnie bardziej zmineralizowane wody doprowadzane były rzeką Chołchin-goł. W górnej części tego dorzecza, jeszcze powyżej jeziora Chuchu Nuur, ilość rozpuszczonej substancji w wodach wynosiła nieco ponad 100 mg/l. Kilkakrotne oznaczenia mineralizacji wody jeziornej wykazały niewielkie zmiany zawartości substancji rozpuszczonej (średnia ilość wynosiła 111 mg/l). Odczyn wód jeziora jest lekko kwaśny o pH 5,8, twardości ogólnej 5°n. W składzie chemicznym nie stwierdzono obecności siarczanów, a ilość jonu HCO_3^- wynosiła 1,4 mwał/l i Cl^- około 0,1 mwał/l. Wśród kationów wapń występuje w ilości 0,8 mwał/l, a magnez 0,6 mwał/l. W górnym biegu rzeki stwierdza się niewielki wzrost mineralizacji z biegiem rzeki. Skokowy wzrost ilości substancji rozpuszczonej następuje w środkowym biegu rzeki, w strefie wspomnianego uskoku biegnącego równoległe do Kerulenu. Mineralizacja wód odprowadzanych z dorzecza Chołchin-goł wynosi średnio 215 mg/l, pH 6,3, a twardość ogólna 7,6°n. W wodach stwierdzono obecność jonu HCO_3^- średnio w ilości 2,65 mwał/l, SO_4^{--} 0,25 mwał/l, Cl^- 0,19 mwał/l oraz Ca^{++} 1,66 mwał/l i Mg^{++} 0,63 mwał/l. Wody Chołchin-goł są bardziej bogate w substancje rozpuszczone i powodują wzrost ogólnej mineralizacji w wodach Dunda-Bajdałagijn-goł o około 15 mg/l.

W dolnym biegu rzeki Dunda-Bajdałagijn-goł naturalny skład chemiczny wody nie podlega dużym zmianom. Niewielkie pogorszenie jakości wody w ujściowym odcinku spowodowane jest dopływem małej ilości ścieków pochodzących ze zlewni mleka zlokalizowanej około 1 km powyżej ujścia rzeki do Kerulenu. Ilość zanieczyszczonych wód nie jest duża, dopływ ścieków wyraźnie ograniczony w czasie, więc ich wpływ na czystość wody jest niewielki. Natomiast duży wpływ na ilość zawiesiny oraz

Tab. 6. Mikroelementy występujące w wodach Dunda-Bajdatagijn-goł
 Microelements occurring in waters of the Dunda-Bajdatagijn-goł river

Miejsce poboru wody	Pierwiastek												
	Ba	B	Pb	Mn	Mo	V	Cu	Zn	Ni	Co	Sr	Ag	Cr
	ppm												
Zródło nr 1	0,12	0,07	1,60	0,03	0,01	0,09	0,01	0,08	0,004	0,003	0,81	ok. 0,2	śląd
Zródło nr 2	0,13	0,06	0,80	0,03	0,005	0,05	0,02	0,07	0,003	0,001	0,63	ok. 0,2	—
Dunda-Bajdatagijn-goł (baza)	0,15	0,04	0,60	0,04	0,01	0,09	0,02	0,07	0,004	0,002	0,60	ok. 0,2	—
Dunda-Bajdatagijn-goł (ujście)	0,28	0,05	1,20	0,14	0,01	0,13	0,03	0,14	0,01	0,06	0,83	ok. 0,2	—

przezroczystość i mętność wody mają stada krów i koni brodzące w korycie rzeki. Średnia mineralizacja wód przy ujściu Dunda-Bajdałagijn-goł do Kerulenu wynosi 172 mg/l, odczyn wód wzrasta do 6,6 pH, a twardość do 7°n. W składzie chemicznym wśród anionów przeważa HCO_3^- 2,2 mwał/l nad SO_4^{--} 0,18 mwał/l i Cl^- 0,17 mwał/l, a wśród kationów Ca^{++} 1,36 mwał/l nad Mg^{++} 0,5 mwał/l. Pozostałą część kationów stanowi głównie jon Na^+ . Ponadto w wodach rzecznych stwierdzono obecność krzemionki (w ilości kilkunastu mg/l SiO_2) oraz żelaza (około 0,25 mg/l).

W wodach Dunda-Bajdałagijn-goł stwierdzono względnie dużą zawartość pierwiastków śladowych (tab. 6). Oznaczenia mikroelementów wykonali dr J. Magierski oraz p. J. Misztal w Zakładzie Gleboznawstwa Akademii Rolniczej w Lublinie. Tak duża obecność pierwiastków śladowych, zarówno w sensie ilościowym, jak i jakościowym, wskazuje na znaczny udział wód pochodzących z zasilania podziemnego. Szczególnie dużą ilość pierwiastków śladowych zawierają wody szczelinowe wydobywające się w strefach nieciągłości tektonicznych. Stwierdzana większa koncentracja poszczególnych mikroelementów w ujściowym odcinku rzeki może być powodowana dopływem wód pochodzących z głębokiego krążenia wydobywających się w strefie uskoku rowu Kerulenu, a częściowo może być wywoływana poprzez koncentrację pierwiastków zachodzącą w procesie intensywnego parowania wody w strefie stepowej.

Wody Kerulenu powyżej ujścia Dunda-Bajdałagijn-goł mają mineralizację średnio 53 mg/l, odczyn 5,8 pH i twardość ogólną 2,9°n. Ich skład chemiczny tworzy się w innych warunkach klimatycznych i geologicznych. Wśród anionów przeważa HCO_3^- 0,68 mwał/l nad Cl^- i SO_4^- — po 0,07 mwał/l, a wśród kationów Ca^{++} 0,39 mwał/l, nad Mg^{++} 0,11 mwał/l i $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Wody rzek uchodzących do Kerulenu powyżej Dunda-Bajdałagijn-goł mają mineralizację znacznie niższą (np. Dzuun Bajdałagijn-goł 123 mg/l), a poniżej wyraźnie wyższą (np. Baruun Bajdałagijn-goł 294 mg/l — rys. 1). Podobny skład chemiczny przedstawia N. T. Marinow i W. N. Popow (6), a dla górnego Kerulenu N. T. Kuźniecowa (4).

Przedstawione zróżnicowanie składu chemicznego wody uwidacznia się również w składzie izotopowym (oznaczenia izotopów węgla i tlenu w wodach zostały wykonane przez dr S. Hałasa z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie). Zawartość izotopów węgla i tlenu w wodach przedstawia się następująco:

	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$
źródło nr 1	-12,11	-19,34
źródło nr 2	-11,39	-17,70
Dunda-Bajdałagijn-goł na wysokości bazy	-11,23	—

Dunda-Bajdałagijn-goł przy ujściu	-9,85	-14,70
Kerulen powyżej ujścia Dunda-Bajdałagijn-goł	-13,28	—

$$\delta = \left(\frac{R \text{ próbki}}{R \text{ wzorca}} - 1 \right) 1000$$

gdzie:

$$R = \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \quad \text{dla } \delta^{18}\text{O} \quad \text{ i } \quad R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}} \quad \text{dla } \delta^{13}\text{C}$$

Przedstawione wartości wskazują na zmniejszanie się względnego odchylenia $\delta^{18}\text{O}$, co może być powodowane wzrostem koncentracji substancji rozpuszczonej przez parowanie. Proces odparowania wody jest znacznie słabiej zaawansowany w zlewni górnego Kerulenu, co wskazuje na pochodzenie wody z nieco innej strefy zasilania. Otrzymane wartości $\delta^{13}\text{C}$ wskazują na możliwość występowania w wodach węgla zarówno pochodzenia organicznego jak również nieorganicznego.

ZMIANY MINERALIZACJI WÓD W OKRESIE BADAŃ

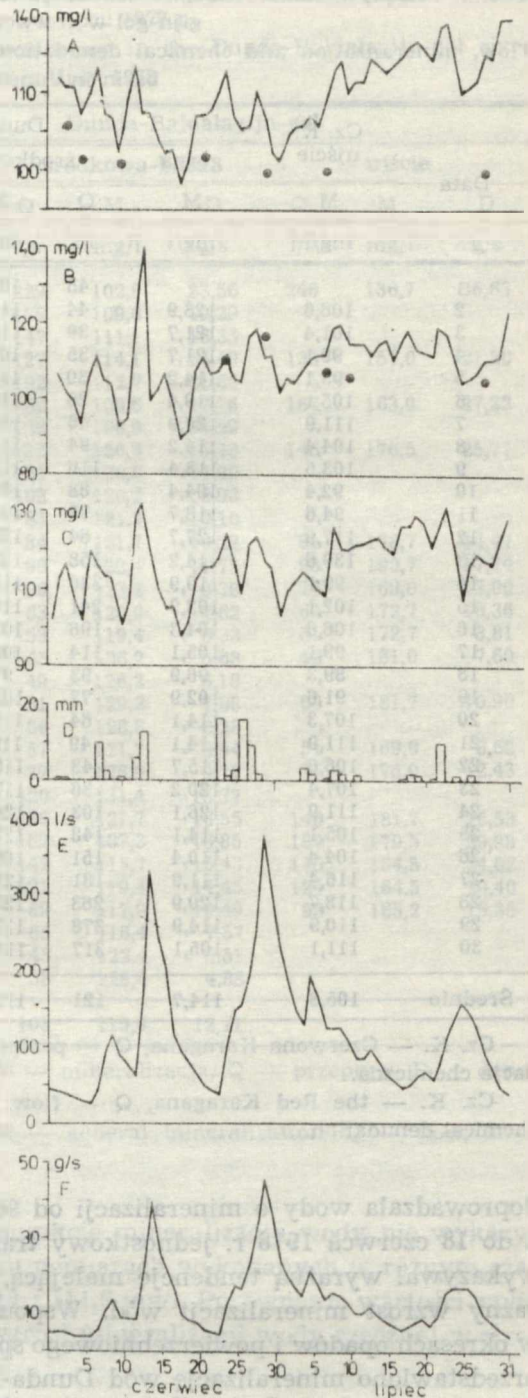
Wahania mineralizacji wód spływających po powierzchni opracowano na podstawie codziennych danych dotyczących wielkości substancji rozpuszczonych. Dane te zostały zebrane dla trzech profili: poniżej oraz powyżej połączenia Dunda-Bajdałagijn-goł z Czerwoną Karaganą, a także z Czerwonej Karagany (rys. 1 i nr 2, 5, 6). Natomiast mineralizacja wody w odcinku ujściowym określana była w odstępach kilkudniowych.

Ilość substancji rozpuszczonej i wynoszonej w wodach rzecznych nie wykazywała związku z przepływem. Z analizy danych zamieszczonych na wykresie (rys. 4 i tab. 7 i 8) wynika, że prosty przebieg mineralizacji wód był zakłócany w okresie podwyższonych przepływów. Największa ilość substancji rozpuszczonej była zawarta w wodach spływających w okresie pierwszego wezbrania. Opady powodowały tworzenie się spływu, a tym samym nastąpiło splukiwanie i rozpuszczanie drobnego materiału odłożonego w dnach dolin. Minimalny jednostkowy transport wystąpił kilka dni po wspomnianym wezbraniu, czyli bezpośrednio po najwyższej mineralizacji odpływających wód. Wraz ze zmniejszeniem się udziału wód pochodzących ze spływu powierzchniowego, tworzącego się wyłącznie w dnach dolin, mineralizacja wód rosła. W czasie najniższych przepływów mineralizacja wód była najwyższa. Zebrane materiały wskazują na wyraźne różnice w ilości transportowanego rozpuszczonego materiału w poszczególnych przekrojach.

Dunda-Bajdałagijn-goł powyżej Czerwonej Karagany (nr 2 na rys. 1)

Rys. 4. Mineralizacja wód, przepływ i denudacja chemiczna w górnej części dorzecza Dunda-Bajdałagijn-goł; A — mineralizacja wód Dunda-Bajdałagijn-goł powyżej Czerwonej Karagany (linia) i 4 km powyżej połączenia obu rzek (punkty), B — mineralizacja wód Czerwonej Karagany przy ujściu (linia) i w środkowym biegu (punkty), C — mineralizacja wód Dunda-Bajdałagijn-goł w profilu „baza”, D — opad, E — przepływ w profilu „baza”, F — denudacja chemiczna w zlewni Dunda-Bajdałagijn-goł powyżej profilu „baza”

Mineralization of waters, flow and chemical denudation in the upper part of the Dunda-Bajdałagijn-goł river basin; A — mineralization of the Dunda-Bajdałagijn-goł water above the Red Karagana (a line) and 4 km above the junction of both rivers (dots), B — mineralization of the Red Karagana's water at mouth (a line) and in the middle part of the river (dots), C — mineralization of the Dunda-Bajdałagijn-goł water in "base" profile, D — rainfall, E — flow in "base" profile, F — chemical denudation in the Dunda-Bajdałagijn-goł river basin above "base" profile



Tab. 7. Przepływ, mineralizacja i denudacja chemiczna w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł w czerwcu 1978 r.

Flow, mineralization and chemical denudation in the Dunda-Bajdałagijn-goł river basin in June 1978

Data	Dunda-Bajdałagijn-goł							
	Cz. K. ujęcie	górną		środkowa—baza			ujście	
	M	M	Q	M	D	Q	M	D
	mg/l	mg/l	l/s	mg/l	g/s	l/s	mg/l	g/s
1			45	102,9	4,63			
2	106,6	123,9	44	111,9	4,92			
3	101,4	121,7	39	116,4	4,54			
4	99,1	121,7	35	106,9	3,74			
5	93,1	114,2	30	111,9	3,36			
6	105,1	119,4	26	119,4	3,10			
7	111,9	126,9	46	115,7	5,32	42	173,5	7,29
8	104,4	114,2	94	113,4	10,66			
9	103,6	113,4	116	112,7	13,07			
10	92,4	104,4	88	100,6	8,85			
11	94,6	118,7	78	105,9	8,26	71	172,7	12,26
12	117,9	127,7	64	128,4	8,22			
13	139,6	114,2	158	132,4	20,92			
14	99,1	119,9	330	118,1	39,17	360	236,6	85,18
15	102,1	108,9	241	110,4	28,61	260	146,4	38,06
16	106,6	104,3	196	105,1	20,60			
17	99,1	105,1	114	105,7	12,05			
18	89,3	96,9	93	97,6	9,08	92	130,0	11,96
19	91,6	102,9	77	101,4	7,81			
20	107,3	114,1	64	112,7	7,21			
21	111,9	114,1	49	115,7	5,67	42	166,7	7,00
22	106,6	115,7	43	115,7	4,98			
23	107,4	120,2	36	117,9	4,24			
24	111,9	126,1	103	124,7	12,84			
25	105,1	114,1	148	117,9	17,45			
26	104,4	110,4	151	108,1	16,32			
27	116,4	111,9	181	121,7	22,03	194	175,0	33,95
28	118,7	120,9	263	123,9	32,59			
29	110,9	114,9	378	117,2	44,30	440	202,0	88,88
30	111,1	105,1	317	114,9	36,42			
Srednio	105,8	114,7	121	113,5	13,97			

Cz. K. — Czerwona Karagana, Q — przepływ, M — mineralizacja, D — denudacja chemiczna.

Cz. K. — the Red Karagana, Q — flow, M — general mineralization, D — chemical denudation.

doprowadzała wody o mineralizacji od 96,9 do 139,7 mg/l. W okresie od 1 do 18 czerwca 1978 r. jednostkowy transport substancji rozpuszczonej wykazywał wyraźną tendencję malejącą, a po tym okresie nastąpił wyraźny wzrost mineralizacji wód. Wspomniany przebieg był zakłócany w okresach opadów i powierzchniowego spływu wód. Na wykresie (rys. 4a) przedstawiono mineralizację wód Dunda-Bajdałagijn-goł przy połączeniu z Czerwoną Karaganą i w punkcie położonym 4 km powyżej zbiegu rzek

Tab. 8. Przepływ, mineralizacja i denudacja chemiczna w dorzeczu Dunda-Bajdałagijn-goł w lipcu 1978 r.

Flow, mineralization and chemical denudation in the Dunda-Bajdałagijn-goł river basin in July 1978

Data	Dunda-Bajdałagijn-goł								
	Cz. K. ujście	górna			środkowa-baza			ujście	
	M	M	Q	M	D	Q	M	D	
	mg/l	mg/l	l/s	mg/l	g/s	l/s	mg/l	g/s	
1	101,4	102,1	229	102,9	23,56	246	136,7	36,63	
2	105,9	108,9	176	109,6	19,29				
3	104,3	111,9	147	111,1	16,33				
4	107,4	111,9	127	114,1	14,49	135	157,0	21,20	
5	110,4	114,1	192	112,7	21,64				
6	111,9	111,9	162	109,6	17,76	167	163,0	27,22	
7	111,1	118,7	122	108,9	13,29				
8	118,6	125,4	122	126,9	15,48	146	176,5	25,77	
9	119,4	128,4	124	120,9	14,99				
10	114,9	120,2	108	120,2	12,98				
11	114,9	123,2	83	121,7	10,10				
12	114,9	123,2	84	121,7	10,22	81	178,7	14,47	
13	111,1	129,2	96	122,4	11,75	93	190,7	17,74	
14	114,2	127,7	96	123,2	9,36	71	169,0	12,00	
15	115,7	125,4	63	120,9	7,62	60	172,7	10,36	
16	110,9	127,7	53	119,4	6,33	51	172,7	8,81	
17	115,6	129,9	45	126,2	5,68	42	181,0	7,60	
18	118,7	123,2	49	126,2	6,18				
19	113,4	133,7	61	129,2	7,88	60	181,7	10,90	
20	112,7	131,4	66	126,8	8,38				
21	111,1	129,1	57	121,7	6,94	51	169,0	8,62	
22	119,4	137,4	77	126,9	9,77	71	175,0	12,43	
23	117,9	138,9	120	131,4	15,77				
24	110,9	129,1	136	121,7	16,55	146	181,7	26,53	
25	104,4	120,2	157	107,3	16,85	167	179,5	29,98	
26	105,9	121,7	142	115,7	15,43	146	164,5	24,02	
27	107,4	123,9	121	119,4	14,45	124	164,5	20,40	
28	110,9	130,7	89	117,9	10,49	93	165,2	15,36	
29	110,9	129,2	65	116,4	7,57				
30	111,1	139,7	45	122,4	5,51				
31	123,2	139,7	38	128,4	4,88				
Średnio	112,3	124,8	103	119,4	12,21				

Cz. K. — Czerwona Karagana, M — mineralizacja, Q — przepływ, D — denudacja chemiczna.

Cz. K. — the Red Karagana, M — general mineralization, Q — flow, D — chemical denudation.

(nr 1 i 2). W wyżej położonym punkcie mineralizacja wody nie wykazywała dużych zmian. W tych kilku pomiarach wykonanych w różnym czasie skrajne wartości wynosiły 99,1 i 111,9 mg/l. Porównanie wartości z obu punktów wskazuje na znaczny wzrost mineralizacji wody rzecznej w strefie uskoku.

Początkowy spadek mineralizacji wód Dunda-Bajdałagijn-goł przy

połączeniu z Czerwoną Karaganą można tłumaczyć większym dopływem wody z wytapiającego się lodu w dnie doliny. Najszybsze topnienie nastąpiło w okresie pierwszego większego deszczu, który dostarczył dużą ilość ciepła potrzebną do zmiany stanu skupienia wody. Po wytopieniu lodu zalegającego na i pod powierzchnią terasy zalewowej mineralizacja wód rosła. Było to spowodowane nie tylko zmniejszającą się rolą zasilania lodowego, ale również większym dopływem wód podziemnych wyrażającym się między innymi w wydajnościach źródeł. Z obliczeń metodą hydrochemiczną wynika, że na wspomnianym odcinku dopływa od kilku do kilkunastu l/s wody podziemnej o mineralizacji około 190 mg/l.

Również w dorzeczu Czerwonej Karagany (nr 5 na rys. 1) zaznacza się podobny rytm jednostkowego transportu substancji rozpuszczonej związany ze zróżnicowanym zasilaniem podziemnym i powierzchniowym. Najwyższa mineralizacja wód, którą stwierdzono w okresie pierwszego wezbrania, wynosiła 139,6 mg/l. Natomiast najniższa wartość wystąpiła kilka dni po maksymalnym przepływie i wynosiła 89,3 mg/l. Generalnie mineralizacja wód w czerwcu była niższa i wykazywała większe zmiany niż w lipcu. W obu miesiącach nie stwierdzono istotnych różnic w mineralizacji wód między środkowym i dolnym biegiem Czerwonej Karagany (rys. 4b).

Jednostkowy transport w profilu „baza” uzależniony był od mineralizacji wód dopływających obiema rzekami. Maksymalna mineralizacja wód wynosiła 132,4 mg/l, a minimalna 97,6 mg/l. Podobnie jak w obu poprzednich przypadkach mineralizacja wód w lipcu była wyższa niż w czerwcu (rys. 4c). Mineralizacja wód w ujściowym profilu Dunda-Bajdałagijn-goł utrzymywała się na poziomie 175 mg/l. Najwyższą zanotowano 14 czerwca — 236,6 mg/l, a najniższą 19 czerwca — 130 mg/l (tab. 7, 8).

DENUDACJA CHEMICZNA

Przedstawione wartości mineralizacji wód oraz wielkości odpływu umożliwiają obliczenie natężenia procesu denudacji chemicznej. Przy obliczaniu ogólnej wartości wyniesionego wraz z wodami materiału nie uwzględniano mineralizacji opadów i ilości dwutlenku węgla docierającego z atmosfery. Obie te wielkości nie są duże, a więc nie mogą mieć istotnego wpływu na wynik obliczeń.

O ilości wyniesionego materiału z poszczególnych części dorzecza decydują jednocześnie wielkości odpływu i mineralizacji wód. W obszarze dorzecza Dunda-Bajdałagijn-goł obie te wartości zmieniają się różnokierunkowo. W górnym biegu rzeki mineralizacja wód wynosi 70—90 mg/l

i wraz z biegiem rośnie. W dolnej, stepowej części przekracza 200 mg/l (rys. 1). Wielkości odpływów jednostkowych układają się następująco: w górnym biegu rzeki wynoszą 1 l/s/km², a w dolnym spadają do 0,3 l/s/km² (w dolnej części dorzecza znajdują się obszary, które nie biorą udziału w formowaniu odpływu). Wielkość spływów jednostkowych i mineralizacji wód przedstawiono w tab. 4 i 5. Zamieszczono tam również dane dotyczące ilości rozpuszczonego i wynoszonego materiału w całym okresie badań.

Natężenie procesu denudacji chemicznej było bardzo zróżnicowane. Jego przebieg w górnej części dorzecza Dunda-Bajdałagijn-goł przedstawiono na rys. 4f oraz w tab. 7 i 8. Z rys. 4f wynika, że zmiany ilości wynoszonego materiału są podobne do rytmu wahań odpływu. Można zatem wnioskować, że o wielkości denudacji chemicznej decyduje głównie wielkość odpływu. W okresach niskich przepływów ilość wynoszonego materiału jest mała. Wzrost przepływu powoduje duże zwiększenie transportu materiału w jednostce czasu. Najwyższy dobowy transport materiału rozpuszczonego (3,8 tony z górnej części i 7,7 ton z całego dorzecza) zanotowano w dniu 29 czerwca 1978 r. Natomiast najmniejsza ilość wynoszona była na początku okresu obserwacji (0,27 tony z górnej i 0,6 tony/dobę z całego dorzecza).

W czasie dwu miesięcy badań terenowych ze zlewni Dunda-Bajdałagijn-goł powyżej bazy zostało wyniesione około 70 ton materiału rozpuszczonego w odpływających wodach, a z całego dorzecza 106,7 t. Po przeliczeniu tych wartości na denudację przypadającą na jednostkę powierzchni okazuje się, że niszczenie w górnej części dorzecza jest znacznie intensywniejsze. W lipcu i czerwcu z dorzecza Czerwonej Karagany wyniesione zostało 0,48 t/km², a z górnej Dunda-Bajdałagijn-goł 0,52 t/km². Określona w przybliżeniu denudacja chemiczna w dorzeczu Cholchin-goł miała wartość 0,29 t/km² materiału rozpuszczonego. Natomiast ilość transportowanego materiału w postaci zawiesiny była około 10-krotnie mniejsza od rozpuszczonego (11).

Wartość jednostkowej denudacji, mimo wyraźnego wzrostu mineralizacji wód, zmniejsza się wraz z biegiem rzeki, a więc w badanym terenie zauważa się podobny układ wartości odpływu jednostkowego i denudacji chemicznej. W ogólnym procesie wynoszenia rozpuszczonej substancji zaznacza się więc wyraźnie większa rola odpływających wód, a więc możliwości transportowych, nad mineralizacją. Otrzymane wartości denudacji chemicznej nie świadczą o mniejszej intensywności procesu wietrzenia chemicznego, ale jedynie o ilości wyniesionej substancji.

Okres prowadzonych badań terenowych w 1978 r. był nietypowy pod względem hydrometeorologicznym. Odpływ z dorzecza górnego Kerulonu układał się w strefie wartości średnich z wielolecia, a przepływy mie-

siężne były zbliżone do najniższych z okresu 1951—1959. W badanym czasie nie wystąpiło typowe dla Kerulenu letnie wezbranie deszczowe. Jego brak wpłynął na zaniżenie wartości denudacji chemicznej. Uwzględniając przedstawione dane dotyczące średniego rocznego odpływu można próbować obliczyć przybliżoną wielkość wynoszonego materiału. Określona jedynie z dużym prawdopodobieństwem denudacja chemiczna wynosi w górnej części zlewni Dunda-Bajdałagijn-goł 2—4 ton/km²/rok, a w całym dorzeczu 1,2—3,0 t/km²/rok. Odpowiada to obniżeniu terenu około 1 mm w ciągu 1000 lat. Podane wartości są najbardziej zbliżone do stwierdzonego wynoszenia w środkowym biegu rzeki Wiłuj na terenie ZSRR (12), odpowiadają również wielkości denudacji chemicznej stwierdzonej w strefie tajgi kanadyjskiej (1).

LITERATURA

1. Corbel J.: L'érosion terrestre, étude quantitative. Annales de Géographie, N. 398 LXXIII, 1964.
2. Hidrogeologija Azii, red. N. A. Marinow, Moskwa 1974.
3. Hidrologičeskij riežym riek bassiejna r. Sielengi i metody jego rasczota, red. Siemienow W. A., Mjagmarżaw B., Leningrad 1977.
4. Kuźniecowa N. T.: Hidrografija riek Mongolskoj Narodnoj Riespubliki, Izd. AN SSSR, Moskwa 1959.
5. Kuźniecowa N. T., Iwanow A. T.: Chimizm riek Mongolskoj Narodnoj Riespubliki. Izv. AN SSSR, 4, Moskwa 1953.
6. Marinow N. A., Popow W. A.: Hidrogeologija MNR, Gostoptlechizdat 1963.
7. Michalczyk Z., Soja R., Wojciechowski K. H.: Hydrological Conditions and Chemical Denudation in the Catchment Basin of the Dunda-Bajdałag-gol (Warunki hydrologiczne i denudacja chemiczna w zlewni Dunda-Bajdałag-gol). *Studia Geomorphol. Carpatho-Balcanica*, vol. XIV, 1980.
8. Namnangorż O., Ceren Sz., Niamdorż O.: Bugd najramdach Mongol ard utsyn raszan. Ulan Bator 1966.
9. Pazdro Z.: Hydrogeologia ogólna, Wyd. Geol. Warszawa 1977.
10. Prirodnyje usłowija i riesursy Prychubsugula w MNR., red. Sodnom N., Łosiew N. T., Niedra, Moskwa, 1976.
11. Świeca A.: Transport zawiesiny w Dunda Bajdałag-gol. Maszynopis, UMCS Lublin 1979.
12. Wołkowa W. P.: Chimičeskij sostaw karstowych wod w usłowijach spłosznego rasprostranienija mnogoletniemiorzłych porod. Mierzłotnyje Issledowanija. Izd. Mosk. Uniwersitieta. Moskwa 1978.

РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты полевых гидрохимических исследований в бассейне реки Дунда-Байдалагийн-гол (Монголия) в месяцы июнь—июль 1978 г. Во время исследований собраны многие данные относительно физико-химических свойств воды, состава ионов и величины дебита. Эти данные служили

основанием для оценки хода процесса химической денудации в исследованном бассейне.

Воды бассейна Дунда-Байдалагийн-гол указывают на дифференцировку физико-химических свойств. Она является следствием наличия вечной и сезонной мерзлоты, разной глубины кругооборота и времени контакта воды с породами основания, а также из факта существования отдельных горизонтов вод. В талых надмерзлотных водах около 90% анионов — это ионы HCO_3^- . С ростом глубины увеличивается участие хлора и серы (соли соляной и серной кислот). Доминирующим ионом из катионов является кальций. Его количество в талых водах над мерзлотой достигает 60% сумм милливалей катионов, а в щельях более глубокого кругооборота не превышает 50%.

Минерализация вод источников достигала величин 80—300 мг/л, а наибольшие величины наблюдались в источниках нижнего течения бассейна. В химическом составе преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{++} атмосферного происхождения и из распада органической субстанции или же из процессов выветривания первичных солей кремневых и алюмо-кремневых кислот. Суммарная производительность 20 исследованных источников достигла ок. 15 л/сек. Вытекающие воды выносили ок 3 г/сек. растворенного материала. В течение двух месяцев исследований воды источников вынесли около 16 тон материала.

Химическую денудацию подсчитано на основании стока и минерализации вод. В бассейне Дунда-Байдалагийн-гол обе эти величины изменяются в разных направлениях. В верхнем течении реки минерализация вод составляет 70—90 мг/л и растет по течению. В нижней, степной части, превышает 200 мг/л. В то же время единичный сток в верхнем течении реки достигает ок. 1 л/сек/км², а в нижнем падает до 0,3 л/сек/км². В химическом составе, среди анионов преобладает HCO_3^- на SO_4^{--} и Cl^- , а среди катионов — Ca^{++} над Mg^{++} и Na^+ .

Во время двух месяцев исследований, воды вынесли из верхней части бассейна 70 тон растворенного материала, а из всего района — 106,7 тон. Это соответствует около 0,5 т/км²/2 месяцев для верхней части бассейна и 0,34 т/км²/2 месяцев для всего бассейна. О величине химической денудации в исследованном бассейне решает в большей части количество стекающих вод, чем их минерализация. Подсчитанная в большом приближении химическая денудация достигает в верхней части бассейна Дунда-Байдалагийн-гол 2—4 т/км²/год, а для всего бассейна 1,2—3,0 т/км²/год.

ОБЪЯСНЕНИЯ РИСУНКОВ И ТАБЛИЦ

Рис. 1. Распределение измерительных пунктов в бассейне Дунда-Байдалагийн-гол. А. Места отбора проб воды: 1 — бессточные воды, 2 — текущие воды, 3 — подземные воды, 4 — воды источников, 5 — повторительные измерения. В. Общая минерализация вод в мг/л. С. Химический состав поверхностных вод: 1 — HCO_3^- , 2 — Cl^- , 3 — SO_4^{--} , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 — Na^+ , 7 — остальные катионы.

Рис. 2. Распределение источников в бассейне Дунда-Байдалагийн-гол. А. Места отбора проб воды: 1 — источники, 2 — источники с повторяемыми измерениями, 3 — места слабого истекания воды. В. Химический состав вод источников: 1 — HCO_3^- , 2 — Cl^- , 3 — SO_4^{--} , 4 — Ca^{++} , 5 — Mg^{++} , 6 Na^+ , 7 — остальные катионы.

Рис. 3. Изменения расхода, минерализации и температуры воды в источни-

ках бассейна Дунда-Байдалагийн-гол: Z—2 источник номер 2 на карте (рис. 2), T — температура воды, M — общая минерализация, Q — расход, P — осадок, Tr — температура воздуха.

Рис. 4. Минерализация вод, дебит и химическая денудация в верхней части бассейна Дунда-Байдалагийн-гол. А. Минерализация вод Дунда-Байдалагийн-гол выше Красной Караганы (линия) и 4 км выше соединения обеих рек (пункты). В. Минерализация вод Красной Караганы у её стока (линия) и в среднем течении. С. Минерализация вод Дунда-Байдалагийн-гол в профиле „база“, P — осадок, E — дебит в профиле „база“, F — химическая денудация в бассейне Дунда-Байдалагийн-гол выше профиля „база“.

Табл. 1. Минерализация и химические свойства осадочных вод, талых вод и стекающих по поверхности бассейна Дунда-Байдалагийн-гол.

Табл. 2. Физико-химические свойства воды избранных источников бассейна Дунда-Байдалагийн-гол.

Табл. 3. Температура, расход и минерализация воды в избранных источниках бассейна Дунда-Байдалагийн-гол.

Табл. 4. Физико-химические свойства воды в бассейне Дунда-Байдалагийн-гол 28 июля 1978 года.

Табл. 5. Средний дебит, денудация и химический состав в бассейне Дунда-Байдалагийн-гол за время VI—VII 1978 года.

Табл. 6. Состав микроэлементов в водах Дунда-Байдалагийн-гол.

Табл. 7. Дебит, минерализация и химическая денудация в бассейне Дунда-Байдалагийн-гол в июне 1978 года.

Табл. 8. Дебит, минерализация и химическая денудация в бассейне Дунда-Байдалагийн-гол в июле 1978 года.

SUMMARY

The paper presents the results of field hydrochemical investigations carried in the Dunda-Bajdalajiny-gol river basin (Mongolia), in the period of June and July, 1978. The object of the research was to collect the data concerning physical and chemical properties of water, their ions, composition and flow rates. On the basis of these data the chemical denudation process in the examined basin was evaluated.

Waters occurring in the Dunda-Bajdalajiny-gol river basin are characterized by considerable differentiation of their physical and chemical properties. This results from the presence of permanent and seasonal permafrost, different circulation depths and time of water contact with rock substratum as well as the occurrence of separate water levels. In shallow over-permafrost waters there are about 90% of anions for one ion HCO_3^- . The participation of chlorides and sulphates increases with depth. The dominating ion among cations is calcium. In shallow waters it amounts to about 60% sums of cation milliwals while in fracture of deeper circulation it does not exceed 50%.

Mineralization of spring waters oscillated from 80 to 300 mg/l and had its greatest values in the outflows in the lower part of the river basin. In the chemical composition there prevail ions of HCO_3^- and Ca^{++} coming from the atmosphere, the decay of organic substances or from the weathering of original silicates and aluminosilicates. The total quantity of 20 examined springs amounted to 15 l/s. Outflowing water carried out 3 g/s of dissolved material. In the period of two months' investigations the spring water carried out 16 ton of material.

The chemical denudation was estimated on the basis of rate outflow and mineralization values. In the Dunda-Bajdalagijn-goł river basin both these values change individually. In the upper part of the river the water mineralization amounts to 70—90 mg/l and increases with the river course. In the lower, steppe part it exceeds 200 mg/l. At the same time flow unit in the upper part of the river amounts to 1 l/s/km² while it decreases to 0.3 l/s/km² in the lower part. In chemical composition, among anions, HCO₃⁻ prevails over SO₄⁻ and Cl⁻, and in cations Ca⁺⁺ predominates over Mg⁺⁺ and Na⁺.

In the period of the two months' field investigations 70 t and 106.7 t of dissolved material was carried out from the upper part of the river basin and the total area respectively. It corresponds to 0.5 t/km²/2 months' in the mountain part of the river basin and 0.34 t/km²/2 month's from all the basin. The chemical denudation rate in the examined river basin is more determined by the quantity of outflowing water than by its mineralization. The chemical denudation was estimated approximately at 2—4 t/km²/a year from the upper part of the Dunda-Bajdalagijn-goł river basin and 1.2—3.0 t/km² a year for the whole river basin.

