

INSTYTUT GEOGRAFII  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ZESZYT 4/5

# RIO ACONCAGUA

STUDIUM HYDROGEOGRAFICZNE

A HYDROGEOGRAPHICAL STUDY

T. WILGAT, K. WOJCIECHOWSKI



W A R S Z A W A 1 9 7 1

**WYKAZ ZESZYTÓW  
PRZEGLĄDU ZAGRANICZNEJ LITERATURY GEOGRAFICZNEJ**

za ostatnie lata

1965

- 1 **Zagadnienia kartografii ogólnej**, s. 138+ryc. nlb., z1 21,—
- 2 **Problemy krajów rozwijających się**, s. 160+nlb., z1 24,—
- 3 **Tendencje integracyjne i dezintegracyjne w geografii XIX i XX wieku**, s. 210, z1 21,—
- 4 **Problemy geografii fizycznej kompleksowej**, s. 141+ryc. nlb., z1 24,—

1966

- 1 **Perspektywy rozwoju badań geograficznych**, s. 196, z1 27,—
- 2 **Ogólna teoria układów**, s. 122, z1 24,—
- 3/4 **Geografia medyczna**, s. 199+ryc. i tab. nlb., z1 24,—

1967

- 1 **Praca zbiorowa — Elementy nowszych koncepcji integracji nauk geograficznych**, s. 124, z1 24,—
- 2 **Praca zbiorowa — Z metodyki badań osiedli o funkcjach centralnych**, s. 125+ryc. i tab. nlb., z1 24,—
- 3 **Problemy badań krajobrazowych i regionalizacji fizyczno-geograficznej**, s. 195+ryc., nlb., z1 24,—
- 4 **Geografia stosowana — Część III**, s. 170, z1 24,—

1968

- 1 **Problemy krajów rozwijających się (Zagadnienia ogólne) — Część II**, s. 184, z1 27,—
- 2/3 **Studia nad paleogeografią holocenu**, s. 180+nlb., z1 30,—
- 4 **Ogólne zagadnienia kartografii tematycznej**, s. 121, z1 24,—
- 4a **Spis rzeczy zawartych w „Przeglądzie Zagranicznej Literatury Geograficznej” za lata 1950—1968**, s. 89, z1 21,—

1969

- 1 **Zagadnienia bilansu wodnego**, s. 156+nlb., z1 27,—
- 2 **Postępy metodyczne geografii brytyjskiej**, s. 167+nlb., z1 30,—
- 3/4 **Modele w geografii**, s. 184+nlb., z1 36,—

1970

- 1 **Geografia stosowana — cz. IV**, s. 128, z1 24,—
- 2 **Prace z terminologii i metodyki badań osadnictwa wiejskiego**, s. 110+nlb., z1 24,—
- 3 **Metody ilościowe w radzieckiej geografii ekonomicznej**, s. 127+nlb., z1 18,—
- 4 **Metody i modele w badaniach migracji ludności (tytuł roboczy — w oprac.)**.

1971

- 1/2 **Teoretyczne problemy współczesnej kartografii**.
- 3/4 **Problemy regionalizacji w krajach Trzeciego Świata (w druku)**

INSTYTUT GEOGRAFII  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

DOKUMENTACJA GEOGRAFICZNA

ZESZYT 4/5

# RIO ACONCAGUA

STUDIUM HYDROGEOGRAFICZNE

A HYDROGEOGRAPHICAL STUDY

T. WILGAT, K. WOJCIECHOWSKI



W A R S Z A W A 1 9 7 1

<http://rcin.org.pl>

## KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny: T. Lijewski  
Z-ca Red. Nacz.: T. Szczęsna  
Sekretarz Redakcji: B. Rogalewska  
Członkowie Redakcji: L. Zawadzki, A. Żeromski

Redaktor techniczny: W. Spryszynska

---

Adres Redakcji: Instytut Geografii PAN, Warszawa  
Krakowskie Przedmieście 30

---

Nakład 500 + 25 egz. Obj. ark. druk., 15,375 + 17 wklejek ark. wyd. 16.  
Druk ukończono w lutym 1972 r. Warsz. Drukarnia Naukowa, Warszawa,  
Sniadeckich 8. — Zam. 923



SPIS TREŚCI  
CONTENTS

Przedmowa . . . . .	7
Preface . . . . .	
I. Wstęp . . . . .	9
I. Introduction . . . . .	
II. Ogólna charakterystyka dorzecza . . . . .	12
II. General characteristic of the basin . . . . .	
III. Czynniki terenowe kształtujące stosunki wodne . . . . .	17
III. Terrain factors determining hydrography . . . . .	
1. Hipsometria . . . . .	17
1. Hypsometry . . . . .	
2. Budowa geologiczna . . . . .	22
2. Geology . . . . .	
A. Stan zbadania dorzecza . . . . .	22
A. Available geological information . . . . .	
B. Zarys historii geologicznej regionu . . . . .	23
B. Outline of the geological history of the region . . . . .	
C. Zarys tektoniki . . . . .	25
C. Tectonics . . . . .	
D. Charakterystyka petrograficzna . . . . .	29
D. Petrographical characteristics . . . . .	
a) Stare skały metamorficzne . . . . .	29
a) Old metamorphic rocks . . . . .	
b) Skały magmowe intruzyjne . . . . .	30
b) Intrusive magmatic rocks . . . . .	
c) Formacje osadowo-wulkaniczne prowincji andyjskiej . . . . .	31
c) Sedimentary-volcanic formations of the Andean zone . . . . .	
d) Formacje osadowo-wulkaniczne prowincji zachodniej . . . . .	34
d) Sedimentary-volcanic formations of the Western zone . . . . .	
e) Osady czwartorzędowe . . . . .	37
e) Quaternary deposits . . . . .	

3. Rzeźba . . . . .	39
3. Relief . . . . .	
A. Historia rozwoju rzeźby . . . . .	39
A. History of the relief development . . . . .	
B. Współczesne warunki rozwoju rzeźby . . . . .	43
B. Contemporary conditions of the relief development . . . . .	
C. Charakterystyka głównych elementów rzeźby . . . . .	46
C. Characteristics of the main elements of the relief . . . . .	
a) Grzbiety górskie . . . . .	49
a) Mountain ridges . . . . .	
b) Stoki i zbocza . . . . .	50
b) Slopes . . . . .	
c) Dna dolin rzecznych i kotlin . . . . .	58
c) River valley and basin floors . . . . .	
4. Szata roślinna . . . . .	68
4. Vegetation . . . . .	
5. Wpływ czynników terenowych na obieg wody . . . . .	76
5. Terrain factors' influence on the water cycle . . . . .	
A. Splyw i wsiąkanie . . . . .	76
A. Runoff and infiltration . . . . .	
B. Warunki krążenia wód podziemnych . . . . .	78
B. Underground water circulation conditions . . . . .	
Profile geologiczne studni wierconych . . . . .	83
Geological profiles from bored wells . . . . .	
IV. Czynniki klimatyczne . . . . .	86
IV. Climatic factors . . . . .	
1. Termika . . . . .	86
1. Air temperatures . . . . .	
A. Charakterystyka ogólna . . . . .	86
A. General outline . . . . .	
B. Prowincja oceaniczna . . . . .	94
B. Oceanic zone . . . . .	
C. Prowincja kotlin . . . . .	96
C. Basins zone . . . . .	
D. Prowincja góraska . . . . .	102
D. Mountains zone . . . . .	
2. Ewapotranspiracja . . . . .	105
2. Evapotranspiration . . . . .	
3. Opady . . . . .	107
3. Precipitation . . . . .	
A. Materiały podstawowe . . . . .	107
A. Basic data . . . . .	

B. Średni opad roczny . . . . .	109
B. Mean annual precipitation . . . . .	
C. Sezonowy rozkład opadów . . . . .	115
C. Seasonal distribution of the rainfall . . . . .	
D. Zmienność opadu . . . . .	117
D. Precipitation variability . . . . .	
E. Śnieg . . . . .	125
E. Snow . . . . .	
V. Odpiływ . . . . .	128
V. Runoff . . . . .	
1. Materiał liczbowy . . . . .	128
1. Basic numerical data . . . . .	
2. Średni odpływ roczny . . . . .	131
2. Mean annual runoff . . . . .	
3. Zmienność odpływu z roku na rok . . . . .	137
3. Variability of the annual runoff . . . . .	
4. Sezonowa zmienność odpływu . . . . .	141
4. Seasonal runoff variability . . . . .	
5. Przepływy maksymalne i minimalne . . . . .	153
5. Maximal and minimal flows . . . . .	
6. Częstotliwość maksymalnych i minimalnych przepływów rocznych i miesięcznych . . . . .	163
6. Extremal annual and monthly flow frequency . . . . .	
7. Związek między odpływem i opadem . . . . .	170
7. Relation between runoff and precipitation . . . . .	
8. Związek między odpływem i wysokością zlewni . . . . .	182
8. Relation between runoff and basin elevation . . . . .	
VI. Problemy gospodarki wodnej . . . . .	190
VI. Problems of water management . . . . .	
1. Woda w rolnictwie . . . . .	191
1. Water in agriculture . . . . .	
A. Rozwój systemów irygacyjnych . . . . .	191
A. Development of the irrigation systems . . . . .	
B. Użytkowanie gruntów a nawadnianie . . . . .	195
B. Land utilization and irrigation . . . . .	
C. Struktura zasiewów w obszarach nawadnianych . . . . .	197
C. Irrigated land types of crops . . . . .	
D. Podstawy prawne zaopatrzenia w wodę . . . . .	199
D. Laws controlling water use . . . . .	
E. Podstawy podziału wody . . . . .	202
E. Basis of water distribution . . . . .	

F. System podziału wody między użytkowników . . . . .	204
F. Water distribution system . . . . .	
G. Ilość wody zużywanej na nawadnianie . . . . .	206
G. Irrigation rates . . . . .	
H. Możliwości zaspokojenia potrzeb irygacyjnych . . . . .	208
H. Possibilities of fulfilling irrigation water requirements	
2. Woda dla potrzeb przemysłu i hydroenergetyki . . . . .	216
2. Water for industry and electricity . . . . .	
3. Zaopatrzenie ludności w wodę . . . . .	218
3. Municipal uses of water . . . . .	
4. Zanieczyszczenie wód . . . . .	219
4. Water pollution . . . . .	
VII. Zakończenie . . . . .	220
VII. Conclusions . . . . .	
Literatura . . . . .	223
Literature . . . . .	
Spis tabel . . . . .	227
Spis fotografii . . . . .	229
Spis rycin . . . . .	231
Summary . . . . .	233
List of tables . . . . .	238
List of photographs . . . . .	240
List of illustrations . . . . .	242
Explanation of the drawings . . . . .	244

## PRZEDMOWA

W okresie od 31 lipca 1965 roku do 27 października 1966 roku odbyła się wyprawa do Ameryki Południowej jachtem „Śmiały”, zorganizowana przez Polskie Towarzystwo Geograficzne (54). Jednym z zadań wyprawy było przeprowadzenie badań hydrogeograficznych na zachodnim skłonie Andów. Realizując program badawczy, zebrano materiały do opracowania monograficznego dorzecza Rio Aconcagua.

Wybór dorzecza uzgodniony został z ówczesnym dyrektorem Instytutu Geograficznego Uniwersytetu w Santiago, dr Romulo Santana Aguilar. O wyborze zdecydowało przede wszystkim znaczenie gospodarcze dorzecza, a ponadto położenie Rio Aconcagua w pobliżu stolicy i możliwości techniczne czteroosobowej ekipy badawczej.

Prace polegały na gromadzeniu w okresie kilku tygodni materiałów rękopiśmiennych rozsianych w różnych instytucjach naukowych i urzędach w Santiago, a następnie na badaniach terenowych, które przeprowadzono od 9 maja do 7 czerwca 1966 roku.

Okoliczności, w pewnej mierze niezależne od autorów, opóźniły ukończenie opracowania zebranych materiałów, podjętego po powrocie do kraju. Oddając pracę do druku zdajemy sobie sprawę, że przez kilka lat od czasu gromadzenia przez nas materiałów zwiększyła się ilość danych, zwłaszcza hydrometrycznych. Uwzględnienie ich jednak nie było możliwe.

Za miłą obowiązek uważamy złożenie podziękowania tym wszystkim osobom w Chile, które ułatwiły nam badania. Do

nich należy przede wszystkim dr R. Santana Aguilar, który służył nam radą i pomocą w pracach na terenie Santiago, Coronel Tomas Opazo Santander, dyrektor Wojskowego Instytutu Geograficznego, dzięki któremu uzyskaliśmy dostęp do map topograficznych i zdjęć lotniczych, P. Augusto Matte, kierownik działu hydrologicznego w Biurze Elektryfikacyjnym Chile ENDESA i P. Enrique Garcia z Ministerstwa Robót Publicznych, którzy udostępniłi nam dane hydrometryczne. Wdzięczność winniśmy władzom prowincji Aconcagua za ułatwienie prac na ich terenie oraz Dyrekcji Wojskowej Szkoły Wyso-górskiej, która przez udzielenie gościny, przewodników i mu-łów umożliwiła nam badania w trudnym obszarze wysokich gór.

W czasie prac terenowych kontaktowaliśmy się z wieloma pracownikami różnych instytucji, jak również z osobami pry-watnymi, doznając nieodmiennie życzliwego przyjęcia. Uczyn-ność i serdeczność Chilijczyków pozostanie jako jedno z trwa-łych wrażeń wyprawy do Ameryki Południowej.

Podziękowanie składamy też Polakowi zamieszkałemu w Chile, inż. Norbertowi Obuch-Woszczatyńskiemu, który dał nam do dyspozycji swoje auto terenowe i nie szczędził wysił-ków, aby ułatwić nam pobyt w Chile.



## I. WSTĘP

Rosnące potrzeby wodne różnych gałęzi gospodarki i coraz częściej powstające w związku z tym sytuacje konfliktowe zmuszają do racjonalnego użytkowania wody nawet kraje o dużych zasobach wodnych. Planowe gospodarowanie wodą staje się powszechnie rozumianą koniecznością. U podstaw racjonalnej gospodarki leży wszechstronna znajomość stosunków hydrograficznych. Bez poznania obiegu wody i czynników, które ten obieg kształtują, nie można rozwiązywać problemów wodnych w sposób właściwy, bez powodowania szkód w środowisku przyrodniczym. W opracowaniu hydrogeograficznym, przydatnym dla gospodarki, należy zatem dążyć nie tylko do określenia liczbowego zasobów, ale również do możliwie pełnego ujęcia warunków wodnych na tle i w powiązaniu z całokształtem środowiska geograficznego. Z takim założeniem podjęto opracowanie charakterystyki stosunków wodnych w dorzeczu Rio Aconcagua.

Stosunki wodne Chile są bardzo słabo poznane, chociaż kraj ten przedstawia wyjątkowo interesujący obiekt dla badań hydrologicznych. Do niedawna w literaturze światowej znaleźć można było jedynie wzmianki o rzekach chilijskich, nie zawierające konkretnych danych liczbowych. W ostatnim okresie pojawiły się opracowania stosunków wodnych całego kraju (3, 17, 55) i problemów gospodarki wodnej (7, 58, 30). Zamieszczone są w nich krótkie charakterystyki R. Aconcagua. Zlewnia tej rzeki jednak — mimo jej dużego znaczenia w życiu gospodarczym kraju — nie była dotychczas przedmiotem



wszechstronnych studiów hydrologicznych. Badania, które na pewno prowadzono przed rozpoczęciem tak dużych inwestycji wodnych, jak kanał Chacabuco, nie zostały opublikowane. Jedynie zagadnienia wodne głównego dopływu R. Aconcagua, R. Putaendo, poruszone zostały w dużej publikacji o charakterze monograficznym z zakresu problematyki rolnej (6). Mało jest również publikacji geograficznych dotyczących omawianego obszaru. Dorzecze R. Aconcagua nie wzbudziło dotychczas zainteresowania geografów, w przeciwieństwie do sąsiedniego dorzecza R. Maipo, obejmującego kotlinę Santiago. Region Santiago, jako najważniejszy okręg kraju, stał się obiektem szczegółowych studiów geograficznych (11, 52, 8). Niniejsze opracowanie jest więc w literaturze pierwszą próbą przedstawienia całokształtu zagadnień wodnych dorzecza R. Aconcagua.

O charakterze opracowania zdecydowały — oprócz celu, jakim jest dostarczenie podstaw geograficznych dla gospodarowania wodą — materiały, ich ilość i jakość. Złożyły się na nie:

1 — dane hydrometryczne i klimatyczne, publikowane (2, 3, 4, 42) i niepublikowane, uzyskane z Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego Chile, ENDESA, z Wydziału Nawodnień Ministerstwa Robót Publicznych, z Urzędu Meteorologicznego Chile. Ocena danych, niestety niekompletnych, zostanie podana w odpowiednich rozdziałach;

2 — obserwacje terenowe zebrane przez cztery osoby (Ludomira Mączkę, Bronisława Siadka i autorów). Badania skoncentrowano w wysokogórskiej części dorzecza, stanowiącej główny obszar alimentacyjny R. Aconcagua. W środkowej części dorzecza zbierano obserwacje w wybranych terenach, w części dolnej ograniczono się z powodu braku czasu do pobieżnej lustracji.

Prace terenowe prowadzone były metodą marszrutową wzdłuż dolin rzecznych. Jako środka lokomocji używano w górach mułów, a w niższych partiach dorzecza — samochodu terenowego. Badania polegały na rejestracji wszystkich zjawisk wodnych i na obserwacji czynników wpływających na obieg

wody — rzeźby, budowy geologicznej, szaty roślinnej i gospodarki człowieka. Stanowiły tedy adaptację metody kartowania hydrograficznego, stosowanej w Polsce. Modyfikacji metody wymagały warunki pracy, wynikające z wielkości i charakteru dorzecza, czasu przeznaczanego na badania oraz wyposażenia.

Dużym utrudnieniem w badaniach terenowych był brak dobrych map. Mapa w podziałce 1 : 250 000, opracowana dla całego terytorium Chile, jest mało dokładna. Część zachodnia dorzecza ma pokrycie kolorową mapą poziomicową w podziałce 1 : 100 000. Mapa ta, zwłaszcza jeśli idzie o sieć rzeczną, nie odznacza się precyzją. Dla wschodniej części dorzecza istnieje tylko stara mapa jednobarwna w podziałce 1 : 100 000, przedstawiająca rzeźbę i sytuację nieściśle, a często nawet błędnie. W urozmaiconym terenie wysokogórskim mapa ta nie miała żadnego znaczenia;

3 — różnorodne dane, przeważnie niepublikowane, dotyczące gospodarowania wodą, które zbierano w urzędach prowincjonalnych i u osób prywatnych;

4 — zdjęcia lotnicze z obszaru górnej części dorzecza. Zdjęcia wykonane były przez US Army w okresie styczeń—marzec 1955 roku. Wysokość lotu w czasie fotografowania wynosiła około 10 500 m. Przybliżona podziałka fotografii 1 : 70 000, a format 9×9. Komplet obejmuje 144 fotografie w dziewięciu południkowych ciągach po 3 do 24 zdjęć. Zdjęcia, doskonałe pod względem technicznym, stanowiły podstawę lokalizacji obserwowanych zjawisk w terenie. Posłużyły też do opracowania fotointerpretacyjnego;

5 — „mozaika” sporządzona ze zdjęć lotniczych dla dolnej części dorzecza z pełną siecią urządzeń wodnych;

6 — nieliczne profile hydrogeologiczne, uzyskane z Instytutu Geologicznego w Santiago.

Brak dokładnych map, niepełne dane hydro-klimatyczne oraz obserwacje terenowe, zebrane w krótkim stosunkowo okresie czasu, nie dały możliwości wykonania wszechstronnie po-

głębiego studium. W opracowaniu musiały zostać pominięte lub potraktowane w sposób pobieżny niektóre zagadnienia, ważne dla charakterystyki hydrogeograficznej dorzecza.

## II. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DORZECZA

Dorzecze Rio Aconcagua (ryc. II-1) położone jest między  $32^{\circ}15'$  i  $33^{\circ}11'$  szerokości geograficznej południowej oraz między  $69^{\circ}50'$  i  $70^{\circ}31'$  długości geograficznej zachodniej. Powierzchnia jego, wynosząca  $7221,8 \text{ km}^2$ <sup>1</sup>, stanowi część składową dwóch prowincji: Aconcagua ze stolicą w San Felipe i Valparaiso. Położenie w środkowej, najgęściej zaludnionej części kraju, w pobliżu dwóch centrów gospodarczo-kulturalnych, Santiago i Valparaiso, decyduje o roli regionu w życiu gospodarczym Chile. Rolę tę podnosi poprowadzona wzdłuż R. Aconcagua linia kolejowa, jedna z dwóch łączących Chile z Argentyną.

Dla rozwoju tego ważnego regionu specjalne znaczenie mają zasoby wodne. Wynika to z jego położenia w strefie klimatycznej, w której ubóstwo opadów i ich niekorzystny rozkład sezonowy sprawiają, że gospodarka rolna uwarunkowana jest stosowaniem irygacji. Źródłem zaopatrzenia rolnictwa w wodę są rzeki. Potrzeby wodne określają przeto rolę systemu rzeczno R. Aconcagua w gospodarce regionu.

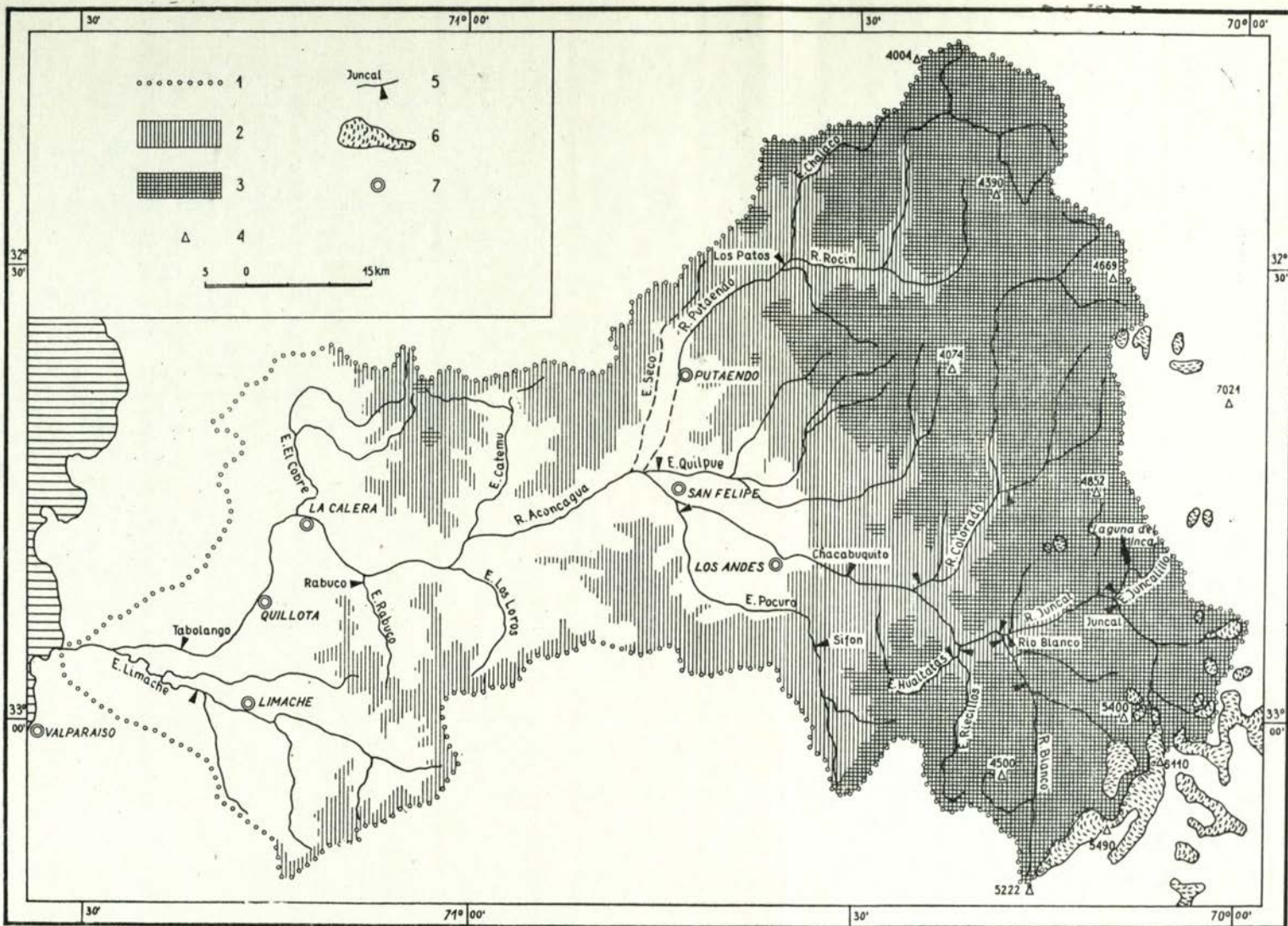
R. Aconcagua, podobnie jak inne główne rzeki Chile, przecina kraj ze wschodu na zachód. Długość jej od ujścia do źródeł strugi przyjętej za główną wynosi 175 km (największa odległość od ujścia do źródeł R. Colorado wynosi 191 km).

Na tej długości rzeka pokonuje wielką różnicę wysokości, około 3140 m (od źródeł R. Colorado około 3950 m). Daje to średni spadek rzeki aż 18‰ (z R. Colorado ponad 20‰). Wszystkie strugi systemu R. Aconcagua odznaczają się dużymi spadkami, wynoszącymi w obrębie gór kilkadziesiąt metrów

---

<sup>1</sup> Wszystkie pomiary wykonano na mapie 1 : 250 000. Jest to mapa poziomicowa o cięciu co 1000 stóp (304,8 m) z dodatkową poziomicą 500 stóp.





Ryc. II-1. Dorzecze Rio Aconcagua.

1. Dział wodny
2. Obszary wzniesione powyżej 3000 stóp (914 m)
3. Obszary wzniesione powyżej 7000 stóp (2137 m)
4. Szczyty, wysokość w metrach
5. Stacje hydrometryczne
6. Lodowce
7. Miasta

na kilometr, a w odcinkach ujściowych nie spadającymi do wartości mniejszych niż kilka metrów na kilometr. Wielkie spadki rzek i duże nachylenia terenu stanowią jedną z ważniejszych cech dorzecza.

Za źródła R. Aconcagua przyjmuje się początek R. Juncal, która wypływa z lodowca Juncal Norte mniej więcej na wysokości 3140 m. Sam lodowiec powstaje z pól firnowych głównego łańcucha wododziałowego Andów, przekraczającego w najwyższym szczycie 6000 m.

R. Juncal płynie typową doliną lodowcową z dobrze zachowanymi w górnym biegu formami akumulacji lodowcowej. Dolina wypełniona jest osadami luźnymi, pochodzącymi z dezintegracji okolicznych skał. Zwietrzelina, pokrywająca do wielkich wysokości stoki, schodzi do doliny licznymi stożkami, kończącymi każdą bruzdę erozyjną.

R. Juncal zbiera szereg drobnych dopływów, z których mniejsze uchodzą do doliny głównej wysoko zawieszonymi dolinami. Tylko większe dopływy dopasowały się do bazy erozyjnej, tworząc przy ujściach głęboko wcięte kaniony. Z dopływów na uwagę zasługuje Estero Juncalillo, odwadniający wysoko położone jezioro, Laguna del Inca.

W miejscowości Rio Blanco, na 32 kilometrze biegu, R. Juncal łączy się z R. Blanco. Obie rzeki mają tę samą długość, ale zlewnia R. Blanco (385 km<sup>2</sup>) nie dorównuje wielkością powierzchni zlewni R. Juncal (500 km<sup>2</sup>). W obu obszarach odgrywa rolę współczesne zlodzenie, co wyróżnia je z całego dorzecza R. Aconcagua. W położonej niżej nad poziomem morza zlewni R. Blanco lodowce zajmują mniejszą powierzchnię niż w zlewni R. Juncal. Od miejsca złączenia obu strug R. Aconcagua nosi swą właściwą nazwę.

Poniżej Rio Blanco R. Aconcagua płynie wąską i głęboko wciętą doliną, mającą na niektórych odcinkach charakter przepaścistego jaru. (W słynnym Salto de Soldado głębokość jaru wynosi około 80—100 m przy szerokości kilkunastu m). Z większych dopływów rzeka przyjmuje lewobrzeżny Estero

Riecillos, płynący w głębokiej, stromościennej dolinie i prawobrzeżną R. Colorado.

R. Colorado, dłuższa o 16 km od górnej R. Aconcagua, ma mniejszą zlewnię i niesie mniej wody niż rzeka główna. Andy odwadniane przez R. Colorado są niższe (nie przekraczają 5000 m) i nie zlodzone.

W pobliżu stacji hydrometrycznej Chacabuquito R. Aconcagua, przepłynąwszy 55 km, opuszcza łańcuch Kordyliery Głównej i wkracza na teren kotliny San Felipe. Wodowskaz w Chacabuquito zamyka zlewnię o powierzchni 2075 km<sup>2</sup>, w której lewa, wyższa i zlodzona część, zajmuje 796 km<sup>2</sup>, a niższa, niemal pozbawiona lodowców strona prawa, ma aż 1279 km<sup>2</sup>.

W rozległej kotlinie San Felipe R. Aconcagua płynie w szerokim korycie, w którym podczas okresu niskich wód błędzi licznymi dnogami wśród kamieńca, złożonego z grubych otoczków. Kotlina poprzecinana jest gęstą płataniną kanałów, rozpraważających wody rzeki głównej i jej dopływów. Z lewej przyjmuje R. Aconcagua Estero Pocuro, z prawej rozgałęziony system strug o różnych nazwach, noszących w dolnym biegu nazwę Estero Quilpué. Oba dopływy odwadniają brzeżne obszary Kordyliery Głównej, która osiąga tu wysokość ponad 3500 m.

Ujście E. Quilpué znajduje się już u wylotu R. Aconcagua z kotliny San Felipe. Występuje tu jedyny na terenie dorzecza obszar podmokły, którego istnienie wiąże się z utrudnionym odpływem wód podziemnych z obszaru kotliny.

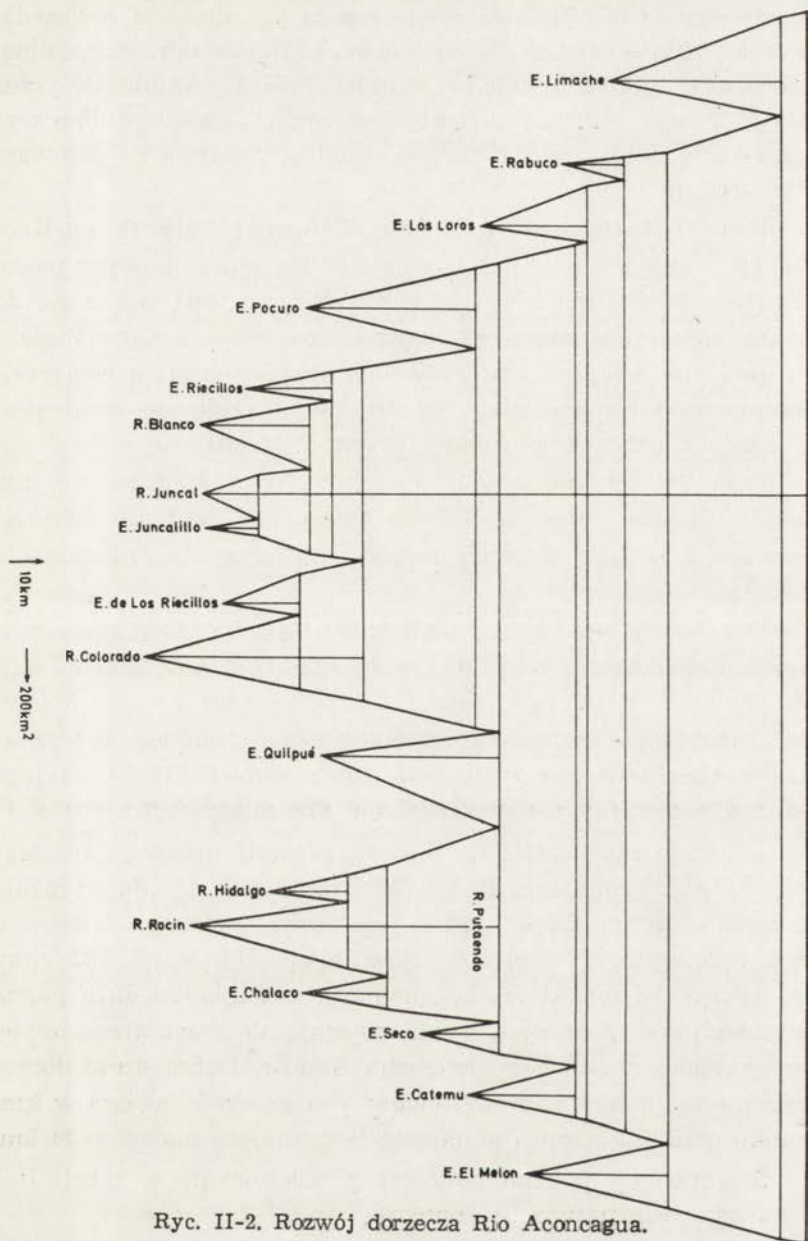
Razem z E. Quilpué uchodzi do R. Aconcagua największy jej dopływ, R. Putaendo. Rzeka o długości 89 km i zlewni 1147 km<sup>2</sup> zaczyna się w wysokich Andach. Źródłowa struga R. Rocin jej dopływ R. Hidalgo, odwadniają obszary górskie o wysokociach przekraczających 4000 m. W Los Patos R. Rocin przyjmuje prawobrzeżny dopływ, E. Chalaco, i od połączenia z nim zmienia nazwę na R. Putaendo. Od tego miejsca, gdzie



## PODZIAŁ DORZECZA RIO ACONCAGUA

Odcinek rzeki	Rzeka główna					Dopływy I rzędu					Dopływy dalszego rzędu			Powierzchnie sumowane w km <sup>2</sup>		
	długość w km		powierzchnia w km <sup>2</sup>			strona	długość w km	powierzchnia w km <sup>2</sup>			strona	długość w km	pow. w km <sup>2</sup>	całość	str. lewa	str. prawa
	odcinka	od źródła	cała	str. lewa	str. prawa			cała	str. lewa	str. prawa						
R. Juncal do E. Juncalillo	16,2	16,2	246,9	101,3	145,6								246,9	101,3	145,6	
E. Juncalillo						p	15,8	88,8	56,3	32,5			335,7	„	234,4	
R. Juncal od E. Juncalillo do R. Blanco	15,5	31,7	164,4	35,0	129,4								500,1	136,3	363,8	
R. Blanco do wod. Saladillo						l	25,8	313,1								
R. Blanco w całości						l	32,0	385,0	123,1	261,9			885,1	521,3	„	
R. Aconcagua od R. Blanco do E. Riecillos	6,0	37,7	33,8	19,4	14,4								918,9	540,7	378,2	
E. Riecillos (w tym E. Hualtatas)						l	24,3	161,9	101,3	60,6	l	10,8	1080,8	702,6	„	
R. Aconcagua od E. Riecillos do R. Colorado	9,0	46,7	54,3	35,6	18,7								1135,1	738,2	396,9	
R. Colorado do E. de las Riecillos						p	45,5	441,9	250,0	191,9						
E. de las Riecillos											l	23,0	235,6			
R. Colorado od E. de las Riecillos do ujścia						p	17,5	141,3	81,9	59,4						
R. Colorado w całości						p	63,0	818,8	567,5	251,3			1953,9	„	1215,7	
R. Aconcagua od R. Colorado do wod. Chacabuquito	8,3	55,0	121,3	58,1	63,2								2075,2	796,3	1278,9	
R. Aconcagua od wod. Chacabuquito do E. Pocuro	24,2	79,2	163,1	58,7	104,4								2238,3	855,0	1383,3	
E. Pocuro do wod. Sifon						l	37,0	181,3								
E. Pocuro w całości						l	48,8	475,1	233,8	241,3			2713,4	1330,1	„	
R. Aconcagua od E. Pocuro do E. Seco (bez dopływów)	6,8	86,0	33,1	26,2	6,9								2746,5	1356,3	1390,2	
E. Quilpué						p	51,8	565,6	143,8	421,9			3312,1	„	1955,8	
R. Rocin (Putando) do R. Hidalgo						p	45,5	396,3	142,5	253,8						
R. Hidalgo											l	22,8	156,9			
R. Rocin (Putando) od R. Hidalgo do E. Chalaco						p	11,5	105,6	65,6	40,0						
E. Chalaco											p	25,5	190,0			
R. Putando do ujścia E. Chalaco włącznie (wod. Los Patos)						p	57,0	848,8	365,0	483,8						
R. Putando od E. Chalaco do ujścia						p	32,3	298,1	221,2	76,9						
R. Putando w całości						p	89,3	1146,9	586,2	560,7			4459,0	„	3102,7	
E. Seco						p	22,8	168,8	63,8	105,0			4627,8	„	3271,5	
R. Aconcagua od E. Seco do E. Catemu	22,2	108,2	205,1	115,0	90,1								4832,9	1471,3	3361,6	
E. Catemu						p	31,2	299,4	165,4	134,4			5132,3	„	3661,0	
R. Aconcagua od E. Catemu do E. los Loros	3,5	111,7	15,6	7,5	8,1								5147,9	1478,8	3669,1	
E. los Loros						l	30,5	331,9	236,9	95,0			5479,8	1810,7	„	
R. Aconcagua od E. los Loros do E. Rabuco	11,3	123,0	98,7	35,6	63,1								5578,5	1846,3	3732,2	
E. Rabuco						l	18,3	128,1	55,6	72,5			5706,6	1974,4	„	
R. Aconcagua od E. Rabuco do E. El Cobre (El Melon)	11,7	134,7	85,0	22,5	62,5								5791,6	1996,9	3794,7	
E. El Cobre (El Melon)						p	41,0	380,6	187,5	193,1			6172,2	„	4175,3	
R. Aconcagua od E. El Cobre (El Melon) do wod. Tabolango	25,2	159,9	355,0	221,2	133,8								6527,2	2218,1	4309,1	
R. Aconcagua od wod. Tabolango do E. Limache	8,3	168,2	53,2	3,2	50,0								6580,0	2221,3	4359,1	
E. Limache do wod. Querongue						l	32,8	491,3								
E. Limache w całości						l	49,3	585,1	380,0	205,1			7165,5	2806,4	„	
R. Aconcagua od E. Limache do ujścia	6,8	175,0	56,3	41,3	15,0								7221,8	2847,7	4374,1	





Ryc. II-2. Rozwój dorzecza Rio Aconcagua.

zlewnia ma już 849 km<sup>2</sup>, powierzchnia jej niewiele przyrasta, a rzeka płynie równolegle do łańcucha Andów ogromną doliną, szeroką na kilka kilometrów, w której rozległy kamieniec przez większą część roku nie pokryty jest wodą. Tę samą dolinę wykorzystuje Estero Seco, który — zgodnie z nazwą — przeważnie jest suchy.

Poniżej R. Putaendo i E. Seco R. Aconcagua przecina Kordyliere Nadbrzeżną, składającą się z kilku południkowych pasm. Dolina o szerokości kilku kilometrów miejscami zwęża się do 2 km, miejscami rozszerza, tworząc śródgórskie kotliny. Zmienia jest również szerokość głównego koryta, osiagającego miejscami około 1,5 km. Na całej długości ciągnie się kamieniec, w którym koryta małej wody tworzą nieregularną sieć.

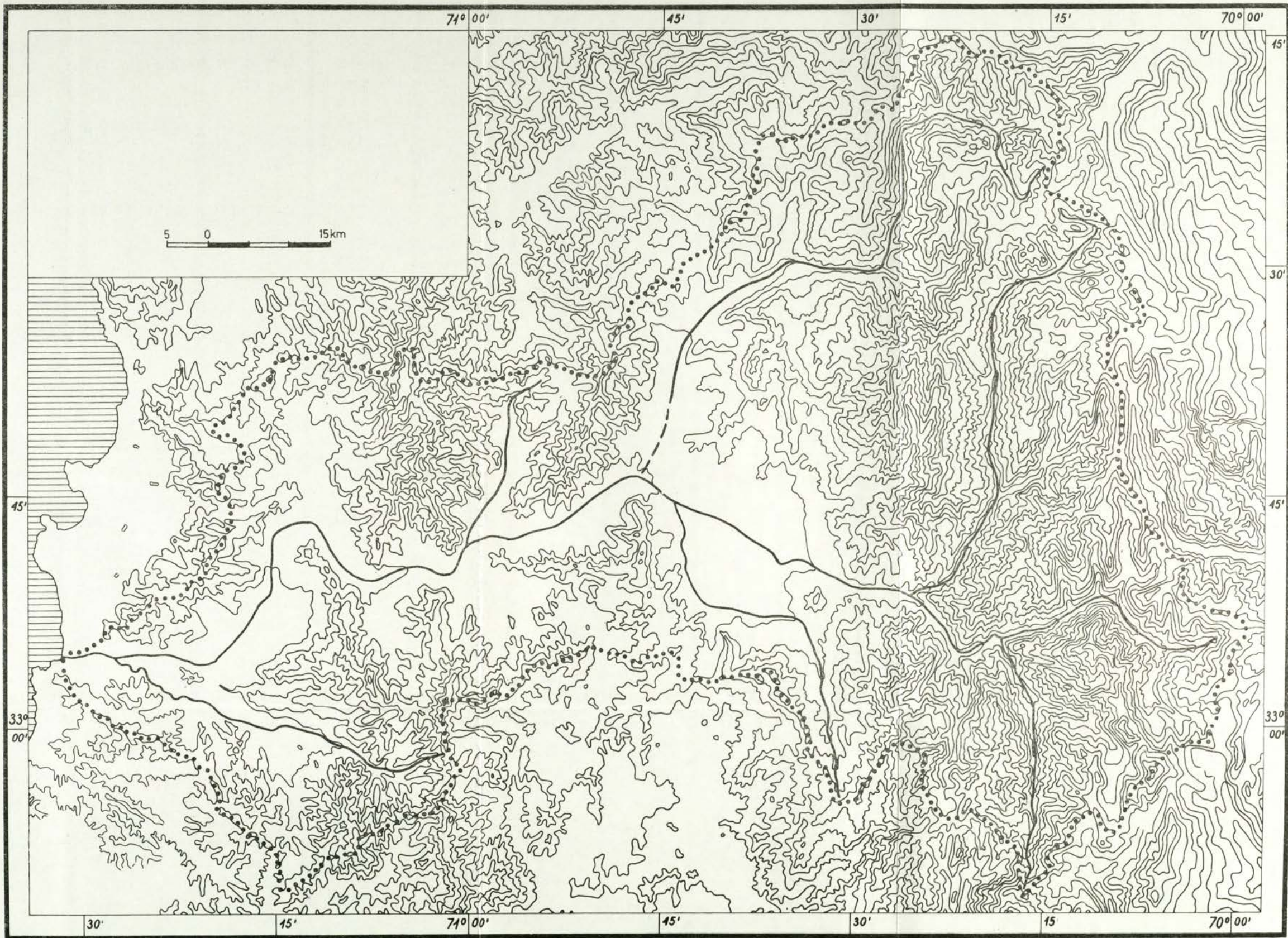
Z dopływów dolnego biegu największy, E. Limache, ma 49 km długości i zlewnię 585 km<sup>2</sup>. Wszystkie dopływy zaczynają się w górach, w których maksymalne wysokości nieznacznie przekraczają 2000 m.

Dorzecze R. Aconcagua oddzielone jest od zlewni sąsiednich wyraźnym działem wodnym, przebiegającym pasmami góorskimi. Tylko w najwyższej, południowo-wschodniej części lodowce pokrywające grzbiety górskie stwarzają trudności w wyznaczeniu działu wodnego. Długość działu wynosi 515 km, a jego rozwój, wyrażony współczynnikiem Graveliusa 1,7.

Dorzecze ma kształt wydłużony równoleżnikowo i rozciągnięte jest w tym kierunku na 141 km. Składa się ono wyraźnie z dwóch części. Część górna jest rozbudowana w kierunku południkowym i osiąga maksymalną szerokość 102 km. W związku z tym dorzecze obejmuje stosunkowo dużą partię wysokich gór, z których strugi zbiegają się wachlarzowato po wypłynięciu z głównego łańcucha Andów. Dolna część dorzecza, nie mająca dużych dopływów, jest znacznie węższa w kierunku południkowym i w najwęższym miejscu ma tylko 34 km.

Szczegółowy podział dorzecza przedstawiono w tabeli II-1 i na wykresie przyrostu dorzecza (ryc. II-2).





Ryc. III-1-1. Hipsometria dorzecza Rio Aconcagua.



Hipsometria dorzecza Rio Aconcagua i niektórych dopływów

Stopy	Metry	R. Aconcagua			R. Juncal	R. Blanco	R. Colorado	R. Aconcagua do Chacabuquito			R. Putaendo	E. El Cobre (El Melon)	E. Limache
		Km <sup>2</sup>	Powierzchnia sumowana					Km <sup>2</sup>	Powierzchnia sumowana				
			km <sup>2</sup>	%					km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>			
0—500	0—152	345,0	345,0	4,8								155,6	
500—1000	152—305	413,8	758,8	10,5							96,9	121,9	
1000—2000	305—610	753,1	1511,9	20,9						0,6	106,2	116,9	
2000—3000	610—914	893,1	2405,0	33,3						75,0	74,4	93,8	
3000—4000	914—1219	655,6	3060,6	42,4			1,9	20,0	20,0	1,0	80,6	28,8	55,0
4000—5000	1219—1524	542,5	3603,1	49,9			11,3	61,7	81,7	3,9	70,0	21,2	33,8
5000—6000	1524—1829	409,4	4012,5	55,6	7,5	1,9	21,2	80,6	162,3	7,8	87,5	21,3	7,5
6000—7000	1829—2134	365,6	4378,1	60,6	20,6	7,5	32,5	104,3	266,6	12,8	100,0	21,2	0,6
7000—8000	2134—2438	329,4	4707,5	65,2	20,6	16,2	51,9	125,6	392,2	18,9	113,1	10,6	
8000—9000	2438—2743	345,6	5053,1	70,0	35,0	24,4	70,0	161,9	554,1	26,7	121,3		
9000—10000	2743—3048	364,9	5418,0	75,0	58,8	30,0	88,1	208,1	762,2	36,7	106,2		
10000—11000	3048—3353	412,4	5830,4	80,7	69,4	43,1	109,4	258,8	1021,0	49,2	104,8		
11000—12000	3353—3658	446,4	6276,8	86,9	76,2	57,5	126,3	294,4	1315,4	63,4	116,5		
12000—13000	3658—3962	380,0	6656,8	92,2	73,1	63,1	107,5	268,1	1583,5	76,3	99,4		
13000—14000	3962—4267	298,8	6955,6	96,3	68,7	56,3	105,6	240,6	1824,1	87,9	56,9		
14000—15000	4267—4572	173,1	7128,7	98,7	40,6	40,0	74,4	158,1	1982,2	95,9	15,0		
15000—16000	4572—4877	67,6	7196,2	99,6	22,5	28,8	16,2	67,5	2049,7	98,8			
16000—17000	4877—5182	16,2	7212,5	99,9	3,1	11,2	2,5	16,2	2065,9	99,5			
17000—18000	5182—5486	8,1	7220,6	100	2,8	4,9		8,1	2074,0	99,9			
18000—19000	5486—5791	0,6	7221,3	100	0,6	0,1		0,6	2074,6	100			
19000—20000	5791—6096	0,6	7221,8	100	0,6	0,0		0,6	2075,2	100			
20000—20046	6096—6110	0,0	7221,8	100	0,0			0,0	2075,2	100			
Powierzchnia dorzecza		7221,8			500,1	385,0	818,8	2075,2			1146,9	380,6	585,1
Współczynnik Graveliusa		1,70			1,40	1,36	1,39	1,47			1,50	1,29	1,33
Długość prostokąta równoważnego		225,0			44,8	37,2	56,5	98,5			75,3	33,7	44,2
Szerokość w km		32,1			11,2	10,3	14,5	21,0			15,2	11,3	13,3
Średnia wysokość w m		1876			3475	3665	3305	3278			2928	755	477
Średnie nachylenie w % (S)		27			97	113	68	51			53	59	42

### III. CZYNNIKI TERENOWE KSZTAŁTUJĄCE STOSUNKI WODNE

#### 1. HIPSOMETRIA

Dorzecze Rio Aconcagua wznosi się od poziomu morza do 6110 metrów w szczycie Juncal (ryc. III-1-1). Wielkie wysokości bezwzględne i względne obszaru wywierają wpływ na wszystkie komponenty środowiska przyrodniczego i stanowią dominującą cechę dorzecza. Średnia wysokość dorzecza wynosi 1876 m. O tej dużej wartości decyduje znaczny udział terenów wysoko położonych. Powyżej 3000 m leży prawie 25% powierzchni dorzecza. Mało jest natomiast obszarów położonych nisko. Obszar wzniesiony do 300 m zajmuje około 10% całego dorzecza. Udział w dorzeczu obszarów o określonych wysokościach przedstawia tabela III-1 i krzywa hipsograficzna (ryc. III-1-2). Generalny obraz stosunków hipsometrycznych dorzecza zilustrowano za pomocą prostokąta równoważnego, którego powierzchnia odpowiada powierzchni dorzecza, a suma boków jest równa długości działu wodnego (ryc. III-1-3). Długość jego boków można obliczyć ze wzorów:

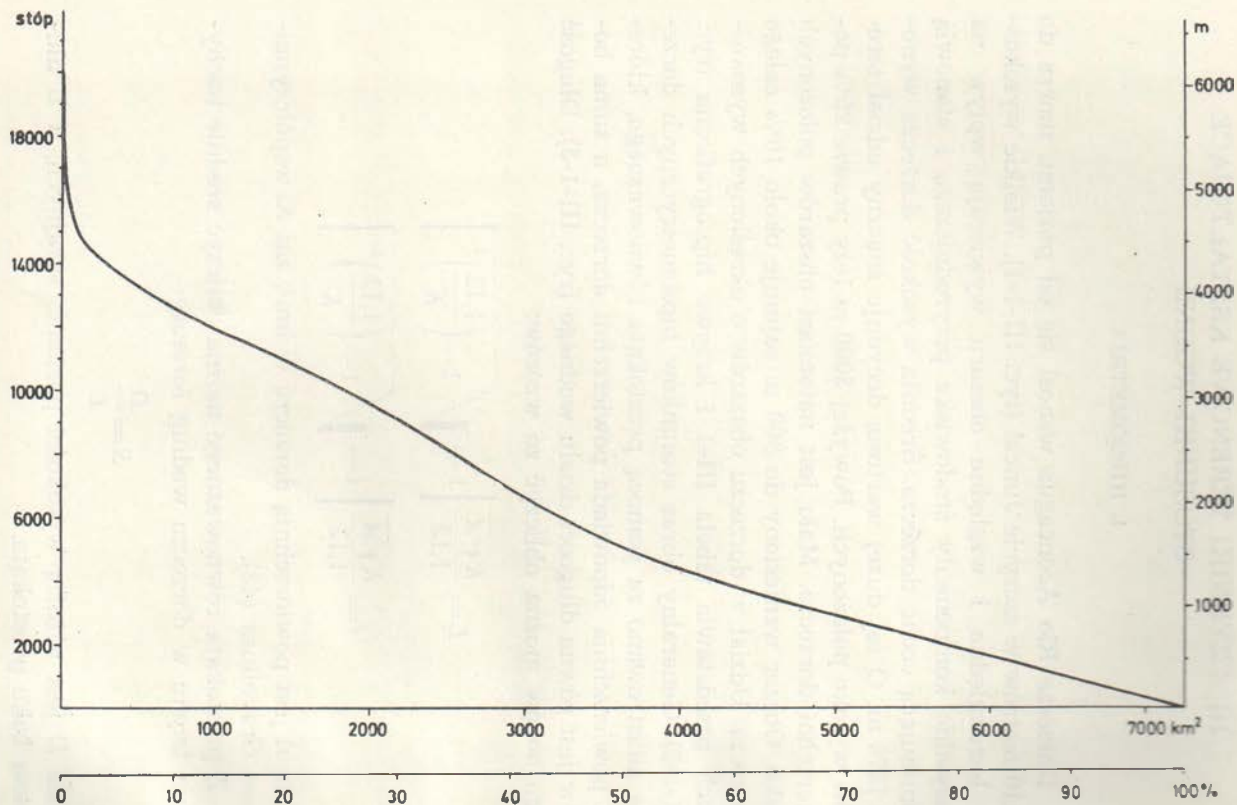
$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K}\right)^2} \right]$$
$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K}\right)^2} \right]$$

gdzie  $A$  jest powierzchnią dorzecza w  $\text{km}^2$ , zaś  $K$  współczynnikiem Graveliusa (42).

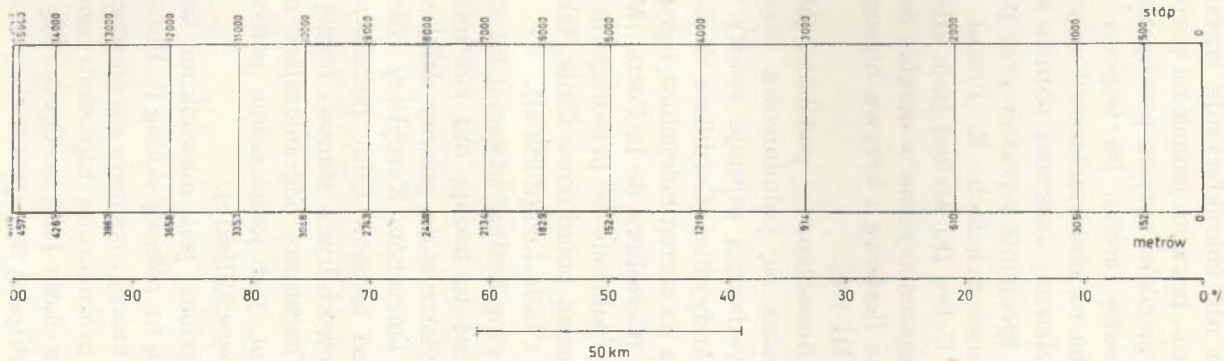
Z prostokąta równoważnego można obliczyć średnie nachylenie terenu w dorzeczu według formuły:

$$S = \frac{D}{L}$$

gdzie  $D$  jest różnicą wysokości poziomic skrajnych, a  $L$  długością boku prostokąta.



Ryc. III-1-2. Krzywa hipsograficzna dorzecza R. Aconcagua.



Ryc. III-1-3. Prostokąt równoważny dorzecza R. Aconcagua.



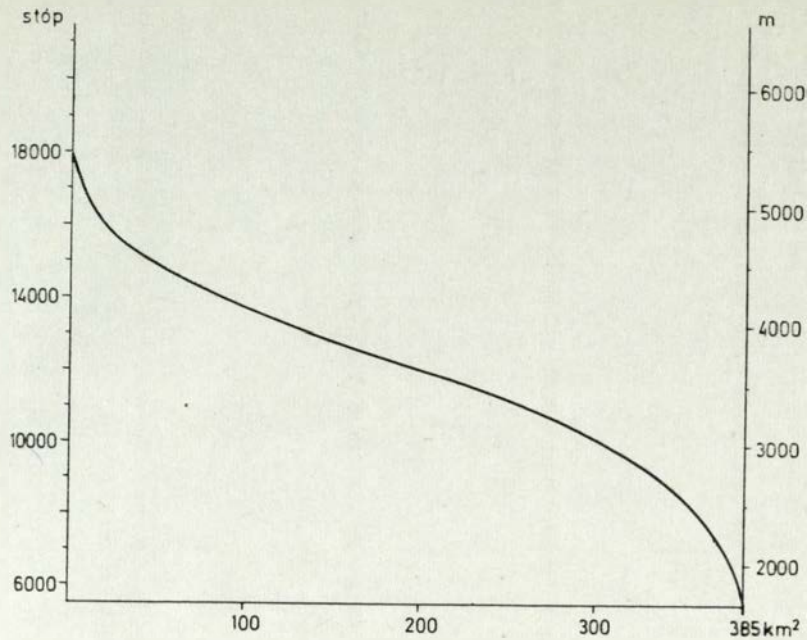
Uzyskana miara nie charakteryzuje wprawdzie rzeczywistych spadków terenu, pozwala jednak na porównywanie zlewni pod względem warunków spływu powierzchniowego, kształtowanych przez rzeźbę terenu. Im większa wartość S, tym mniej czasu potrzeba na powierzchniowy spływ wody do profilu zamykającego zlewnię. Jaskrawe różnice średniego nachylenia zaznaczają się specjalnie wyraźnie przy porównaniu zlewni o podobnych powierzchniach: R. Juncal — E. Limache, R. Blanco — E. El Cobre (El Melon) (tab. III-1).

Zróznicowanie hipsometryczne w obrębie dorzecza R. Aconcagua ilustrują dane liczbowe i krzywe hipsograficzne wybranych zlewni (ryc. III-1-4).

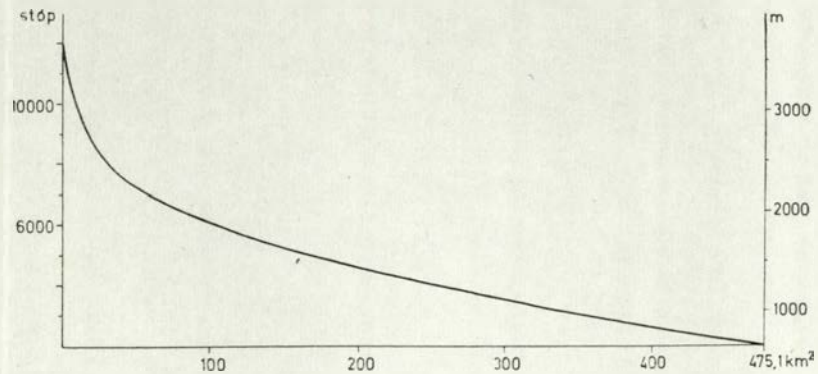
W dorzeczu R. Aconcagua — podobnie, jak w całym prawie Chile — zaznacza się południkowa trójdzielność hipsometryczna. Część wschodnią zajmuje zwarty łańcuch Kordyliery Głównej lub Andyjskiej (Cordillera de Los Andes), część zachodnią — rozbita na szereg łańcuchów i grup górskich Kordyliera Nadbrzeżna (Cordillera de la Costa). Między nimi rozciąga się obniżenie, położone w przedłużeniu wielkiej formy wklęsłej, która przecina południowe Chile, tak zwanej Doliny Środkowochilijskiej (Valle Longitudinal).

Obniżenie ma formę kotliny otwartej ku zachodowi doliną R. Aconcagua. Formę tę nadają mu równoleżnikowe pasma wzniesień, które wykorzystuje główny dział wodny dorzecza. To powiązanie obu łańcuchów Kordyliery różni obszar dorzecza R. Aconcagua od terenów Chile położonych na południe, gdzie Dolina Środkowochilijska stanowi formę ciągłą. Równoleżnikowe pasmo Chacabuco, odgraniczające od południa dorzecze R. Aconcagua, jest jednocześnie północnym zamknięciem Doliny Środkowochilijskiej.

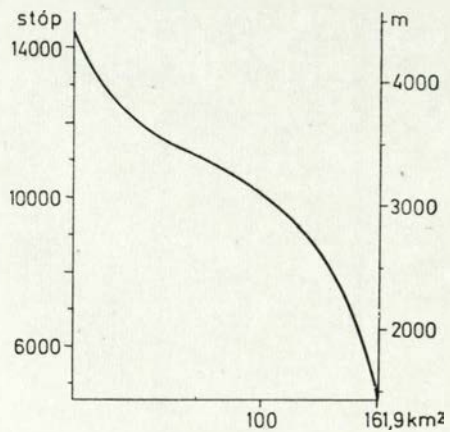
Obniżenie rozdzielone jest niewielkimi wzniesieniami na dwie części: położoną na północy dolinę R. Putaendo i leżącą na południu kotlinę, w której rozwinęło się główne miasto regionu, San Felipe. Słabo urozmaicone hipsometrycznie dno kotliny wznosi się od 600 do około 1000 m. Oprócz tej najrozleglejszej w dorzeczu formy wklęsłej mniejsze kotliny o akumulacyjnych



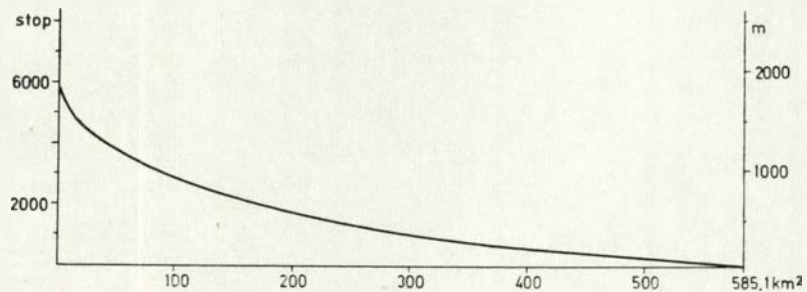
R. Blanco



E. Pocuro



E. Riecillos



E. Limache

dnach występują w obrębie Kordyliery Nadbrzeżnej. Dna ich obniżają się stopniowo ku zachodowi, tak że dno kotliny z miastem Quillota położonej na zachodzie, wznosi się już tylko do wysokości około 150 m. Obniżenia, silnie kontrastujące z otaczającymi je górami, wykorzystane są dla celów rolnictwa irygacyjnego. Tutaj też skupia się osadnictwo, które poza kotlinami jest rzadkie i rozproszone.

W Kordylierze Głównej znajdują się tereny najwyższej wzniesione (fot. III-1). Grupują się one w południowo-wschodniej



Fot. III-1. Najwyższe partie Andów Centralnych. Na drugim planie Aconcauga.

części dorzecza, gdzie występują liczne szczyty osiągające ponad 5000 m. Łańcuch górski obniża się stopniowo ku północy. Na północ od górnej R. Colorado nieliczne tylko szczyty wznoszą się powyżej 4000 m.

Kordyliera Nadbrzeżna jest znacznie niższa. Najwyższe szczyty przekraczają zaledwie 2000 m (Cerro Tabaco 2342 m), a pasma przybrzeżne nie osiągają 1000 m. Stosunki hipsome-

tryczne wywarły wpływ na układ sieci rzecznej i kształt dorzecza. W kotlinach podandyjskich zbiegają się strugi wypływające z wysokich gór, dzięki czemu rozbudowana w Kordyliery Andyjskiej część dorzecza zwięza się w biegu środkowym. Z Kordyliery Nadbrzeżnej część wód opadowych spływa bezpośrednio do morza, przez co dolne części dorzeczy wielu rzek chilijskich są silnie zredukowane. Podobnie R. Aconcagua pełni w dolnym biegu funkcję rynny odpływowej dla górnej części dorzecza. Dopływy uchodzące w dolnym biegu są niewielkie. Wyjątek stanowi E. Limache, dość znacznie poszerzający zasięg dorzecza w części ujściowej.

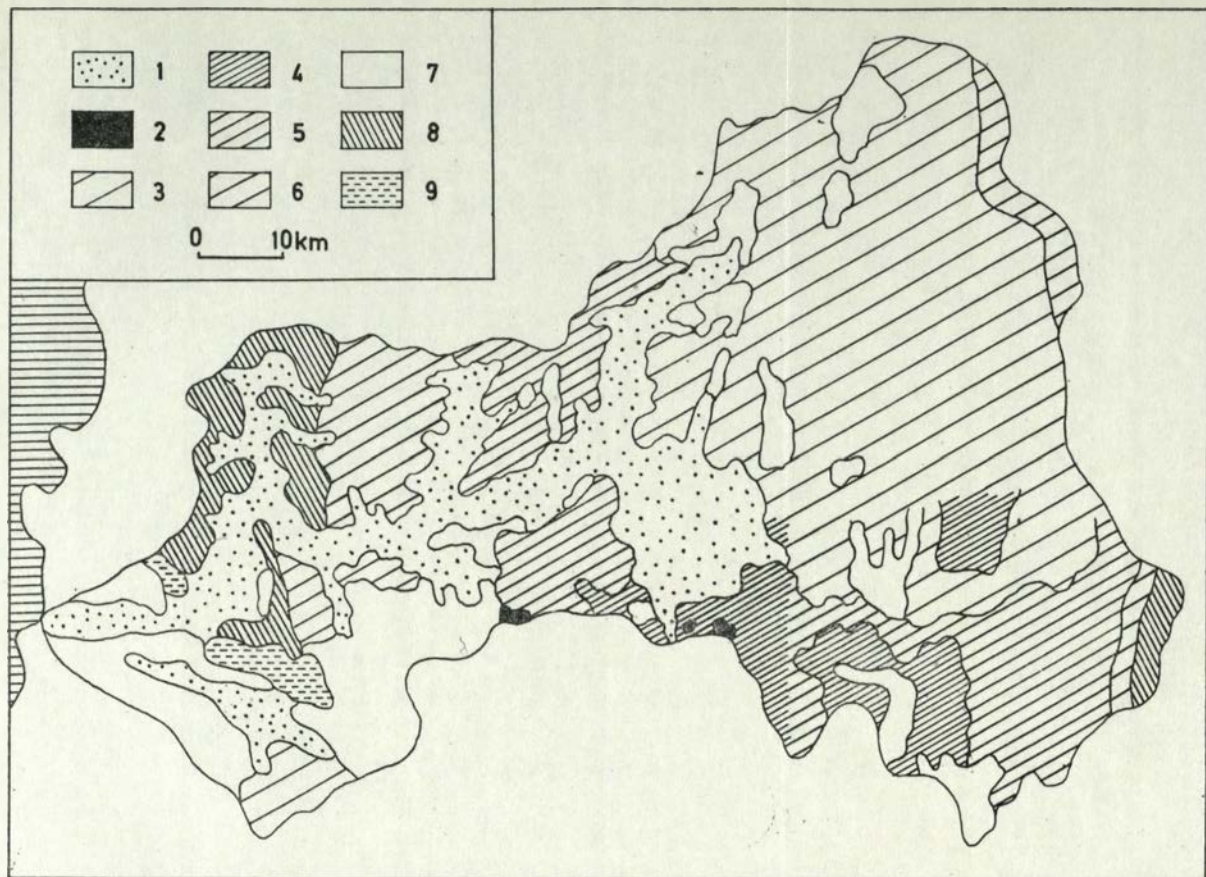
## 2. BUDOWA GEOLOGICZNA

### A. Stan z badania dorzecza

Obszar dorzecza R. Aconcagua nie został jeszcze w całości zbadany pod względem geologicznych (ryc. III-2-1). Szczegółowe opracowania, opublikowane przez Instytut Badań Geologicznych, obejmują zachodnią część dorzecza po południk  $70^{\circ}40' W$ , gdzie studia prowadził H. Thomas (51) oraz część południowo-wschodnią, ograniczoną od północy równoleżnikiem  $32^{\circ}45' S$  zbadaną przez L. Aquirre Le-Berta (1). Prace, zaopatrzone w mapy, profile geologiczne i tabele stratygraficzne, przynoszą wyniki bogate, ale nie w pełni porównywalne, chociaż autorzy niemal równocześnie prowadzili badania i powołują się wzajemnie na swe spostrzeżenia.

Niemożność pełnego skorelowania wyników obu opracowań — jak i nawiązywania do obszarów sąsiednich — jest w pewnym stopniu usprawiedliwiona pionierskim charakterem prac w dziedzinie szczegółowego zdjęcia geologicznego oraz trudnościami, jakie stwarza sam teren. Ubóstwo fauny kopalnej sprawia, że datowanie opiera się na kruchych podstawach, niekiedy na pojedynczych okazach skamielin, znanych z jednego punktu, czasem tylko na analogiach petrograficznych z obsza-





Ryc. III-2-1. Szkic geologiczny dorzecza R. Aconcagua (wg Mapy Instiuto de Investigaciones Geologicas 1:1000000).

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. Czwartorzęd i pliocen — osady luźne akumulacji glacialnej  |                              |
| 2. Czwartorzęd i trzeciorzęd — skały wulkaniczne i intruzywne |                              |
| 3. Formacja nieokreślona                                      | kreda górna i/lub środkowa — |
| 4. Formacja górna   |                              |
| 5. Formacja dolna   | kontynentalne                |
| 6. Kreda dolna — skały wulkaniczne i osadowe morskie          |                              |
| 7. Skały krystaliczne   |                              |
| 8. Jura — skały wulkaniczne i osadowe morskie                 |                              |
| 9. Skały metamorficzne  |                              |

rami stosunkowo odległymi. Badania w trudnych warunkach górskich prowadzone były metodą marszrutową, odsłonięcia w terenach niedostępnych identyfikowano z dużych odległości, ponieważ bezpośrednio ich zbadanie wymagałoby ekspedycji stosującej technikę wspinaczkową. Niezbyt dokładne są też zasięgi występowania formacji, znaczone na mapach na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych.

## B. Zarys historii geologicznej regionu.

Stan wiedzy geologicznej utrudnia przedstawienie jednolitego obrazu budowy geologicznej dorzecza i zmusza do potraktowania niektórych zagadnień odrębnie dla dwóch prowincji: andyjskiej i zachodniej. Jako tło opisu budowy dorzecza, podano dla ułatwienia porządkowania czasowego zjawisk bardzo uproszczony zarys historii geologicznej regionu. Szczegółowe jej omówienie uznano za niecelowe ze względu na znaczne różnice poglądów na chronologię zjawisk wśród geologów pracujących na terytorium Chile.

Pierwsze fałdowanie, którego ślady czytelne są w dzisiejszej budowie obszaru, nastąpiło podczas orogenezy hercyńskiej. Z tym okresem związane są intruzje magmy. W triasie cały obszar był wydzwignięty i panowały na nim warunki, które doprowadziły do zniszczenia górotworu. W dolnej jurze zaczęła się formować geosynklina andyjska. Wtedy też prawdopodobnie nastąpiły najstarsze wielkie erupcje wulkaniczne i nowe intruzje magmy.

Położenie obszaru w bardzo ruchliwej brzeżnej strefie geosynkliny sprawiło, że warunki sedymentacji często zmieniały się. Wyraźne różnice warunków zaznaczają się też między wschodnią i zachodnią częścią obszaru geosynklinalnego. Geneza tych różnic nie jest dotychczas wyjaśniona. Intensywnej sedymentacji w geosynklinie towarzyszyła aktywna działalność wulkaniczna podmorska i subaeralna, co wpłynęło wyraźnie na charakter osadów.

W okresie jury zgromadziły się osady o miąższości do około 15 000 m, głównie piroklastyczne. W dolnej jurze przeważały warunki sedymentacji morskiej, w górnej zaś sedymentacji kontynentalnej. Wyrazna regresja morza nastąpiła w górnej jurze. Na ten okres można w przybliżeniu datować pierwsze ruchy nowej orogenezy w postaci wydźwignięć i przesunięć bloków. Ruchy te zaznaczyły się we wschodniej części geosynkliny.

W dolnej kredzie uformowała się nowa geosynklina, prawdopodobnie większa od jurajskiej. Na początek górnej kredy przypada okres ruchów, które doprowadziły do likwidacji geosynkliny i wydźwignięcia terenu. Produkty erozji z odsłoniętego obszaru gromadziły się w zbiornikach kontynentalnych. Charakter osadów świadczy o działalności wulkanicznej.

Od środkowej kredy do dolnego trzeciorzędu trwała ożywiona działalność wewnętrzna, która przejawiała się w potężnych intruzjach magmy, nieprzerwanej niemal aktywności wulkanicznej, ruchach pionowych i co najmniej dwóch fazach fałdowań. Okres względnego spokoju w górnym trzeciorzędzie (miocen-pliocen), podczas którego nie ustawała jednak działalność wulkaniczna, doprowadził do powstania rozległych powierzchni zrównań, częściowo pokrytych osadami wulkanicznymi.

Pod koniec pliocenu nastąpiło silne wzmożenie ruchów tektonicznych, które spowodowały wypiętrzenie blokowe Kordyliery Andyjskiej i Nadbrzeżnej oraz powstanie między oboma łańcuchami południkowej bruzdy.

Czwartorzęd jest okresem niszczenia górotworu, w którym nie zamarły jednak procesy tektoniczne, dające znać o sobie trzęsieniami ziemi. W dorzeczu R. Aconcagua czwartorzędowe dzieje nie zostały dotychczas opracowane. Ważne dla uformowania współczesnej rzeźby zlodowacenia plejstocenijskie były studiowane w pobliskiej kotlinie Santiago (8, 11, 52).



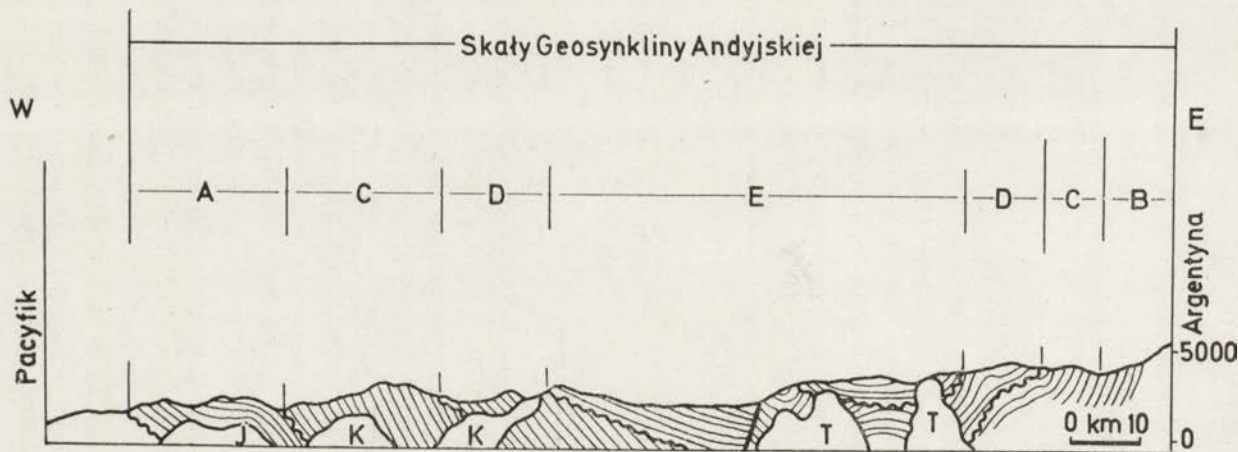
## C. Zarys tektoniki

Na budowie geologicznej regionu zaważyły szczególne warunki sedymentacji w geosynklinie andyjskiej. Złożyły się na nie: wielka ruchliwość obszaru, stała niemal, intensywna działalność wulkanów powierzchniowych i podmorskich oraz płytkość mórz.

Ogromny kompleks skał, którego miąższość wynosi około 22—23 000 m, złożony jest z rozmaitych skał osadowych i erupcyjnych o teksturze warstwowej. Wybuchy wulkanów oraz intruzje magmy w obrębie skał osadowych sprawiły, że skały magmowe odgrywają ogromną rolę w dorzeczu R. Aconcagua (ryc. III-2-2). Zmienność warunków oraz erupcyjna geneza osadów są przyczyną soczewkowego występowania skał, których miąższość i charakter litologiczny zmieniają się z miejsca na miejsce, jak również istnienia licznych trudnych do zestawienia luk sedymentacyjnych.

Charakter sedymentacji stwarza trudności w identyfikowaniu niezgodności tektonicznych, bowiem skały wulkanicznego pochodzenia mają często pierwotne nachylenie warstw. Produkty wybuchów wulkanów gromadziły się często na powierzchniach urozmaiconych erozyjnie lub tworzyły powierzchnie pochyle już w trakcie osadzania.

W tektonice omawianego obszaru wyraźnie zaznaczają się konsekwencje specyficznego przebiegu orogenezy andyjskiej. Ruchy fałdowe odegrały w tworzeniu Andów stosunkowo podrzędną rolę w porównaniu z potężnymi ruchami pionowymi i z działalnością wulkaniczną, przejawiającą się niemal przez cały ciąg dziejów tego obszaru. J. Borde (8) wiąże swoisty styl orogeniczny Andów Centralnych ze zjawiskami zachodzącymi na kontakcie dwóch megastruktur geologicznych — kontynentu Ameryki i dna Oceanu Spokojnego. Powierzchnia zetknięcia obu mas zapada pod kontynent, a zachodni skraj kontaktu znajduje się stale pod wpływem sił wywołanych nasuwaniem się bloku kontynentalnego na blok oceaniczny. Proces ten przebiega w sposób nieciągły. Istniały okresy aktywizacji sił we-



Ryc. III-2-2. Schematyczny profil geologiczny przez Chile Środkowe. (wg B. Levi).

- A. Dolna i środkowa jura — skały wulkaniczne, osadowe morskie i kontynentalne
  - B. Górna jura — skały osadowe morskie i kontynentalne
  - C. Dolna i środkowa kreda — skały wulkaniczne, osadowe morskie i kontynentalne
  - D. Dolna kreda — skały wulkaniczne i osadowe kontynentalne
  - E. Górna kreda i dolny trzeciorzęd — skały wulkaniczne i osadowe kontynentalne
  - J — jurajskie
  - K — kredowe
  - T — trzeciorzędowe
  - niezgodność
- |                    |
|--------------------|
| skały krystaliczne |
| intruzji batolitu  |
- <http://rcin.org.pl>

wewnętrznych, których wynikiem były wyciśnięcia mas batolitu, pęknięcia i wzmożone erupcje wulkaniczne oraz powstawanie struktur fałdowych. W okresach mniejszego nasilenia działania sił wewnętrznych zachodziły procesy lokalnej readiustacji zachwianej równowagi izostatycznej, które w budowie geologicznej ujawniały się w postaci pęknięć, uskoków, fleksur i działalności wulkanicznej.

Taki przebieg akcji orogenicznej tłumaczy stosunkowo słabo rozwinięte struktury fałdowe przy znacznym skomplikowaniu budowy całego górotworu, dla którego typowe są liczne dyslokacje, lokalne zaburzenia, luki stratygraficzne i różnice w budowie sąsiadujących terenów. Wymienione cechy występują w całej pełni w dorzeczu R. Aconcagua. Przede wszystkim nie ma tu całkowitej zgodności faz gorotwórczych w Kordyliery Nadbrzeżnej i Andyjskiej.

Rysem charakterystycznym budowy geologicznej dorzecza jest południkowe ukierunkowanie zarówno struktur fałdowych, jak i większości uskoków. Największą nieciągłością na badanym obszarze jest wielki uskok, przebiegający na wschód od Los Andes, którego zachodnie skrzydło jest zrzucone ponad 2000 m. Uskok ten rozgranicza dwie części obszaru: wschodnią — andyjską i zachodnią, obejmującą bruzdę południkową i Kordyliery Nadbrzeżną. We wcześniejszych pracach J. Brüggena (12) wymienia jeszcze jedną dużą dyslokację, leżącą na zachód od wymienionej. Dyslokacja ta stanowić miała przedłużenie uskoku odgraniczającego Kordyliery Nadbrzeżną od bruzdy południkowej występującej na południe od dorzecza R. Aconcagua. Brüggenn uważał nawet, że kotlina San Felipe oraz dolina R. Putaendo są najdalej na północ wysuniętą częścią tej bruzdy (Valle Longitudinal) o wyraźnych założeniach tektonicznych.

W pracach Aguirre (1) i Thomasa (51) brak wiadomości o tej dyslokacji, podobnie jak o innych uskokach umieszczonych na szkicu Brüggena. Jednakże na mapie i profilach Thomasa grzbiet Chacabuco, obrzeżający Kotlinę San Felipe od południa, jest poprzecinany południkowymi uskokami, których

kontynuacji można się spodziewać dalej na północ, w obszarze dorzecza słabiej rozpoznanym przez autorów obu prac.

Strefa wymienionych dyslokacji rozdziela dwa obszary o różnych cechach geologicznych, tak w sensie stratygraficznym, jak i strukturalnym. Obszar Kordyliery Nadbrzeżnej odznacza się wyraźnie słabszym rozwojem struktur fałdowych. Upady warstw są nieznaczne. Tylko w obszarze położonym na zachód od Quillota warstwy mają większe nachylenie, przeważnie między  $30^\circ$  i  $60^\circ$ .

Generalnie cały obszar Kordyliery Nadbrzeżnej można uważać za skrzydło wielkiej antykliny, której oś przebiega w strefie wybrzeży Pacyfiku. Od zachodu na wschód ukazują się na powierzchni utwory coraz młodsze, zapadające nieznacznie ku wschodowi. Na skrajnym zachodzie, w obszarze ujściowym R. Aconcagua występują na powierzchnię najstarsze skały, przypuszczalnie paleozoiczne i prekambryjskie.

W strefie Kordyliery Nadbrzeżnej niezgodności kątowe między formacjami różnowiekowymi zaznaczają się stosunkowo słabo. Za niewątpliwą niezgodność związaną z fazą fałdowań uznaje Thomas tylko niezgodność między dwiema formacjami piroklastycznymi, nazwanymi tu Las Chilcas i Lo Valle. Fazę fałdowań umieszcza w górnej kredzie między turonem i koniakiem. Po powstaniu formacji Lo Valle działalność orogeniczna w kampanie zazaczyła się raczej powstawaniem dyslokacji i intruzjami magmy.

Mimo silnego strzaskania górotworu, przebiegi dyslokacji nie są rozpoznane. Liczne mniejsze uskoki występują według Thomasa zwłaszcza w pobliżu bruzdy centralnej, powtarzając jej południkowy kierunek. Być może, że równoleżnikowe odcinki doliny w dolnym biegu R. Aconcagua mają również tektoniczne założenia.

W strefie Kordyliery Andyjskiej istnieją wyraźne ślady kilku faz górotwórczych. Najsilniej zazaczyły się ruchy fałdowe z końca albu. Zostały wówczas sfałdowane skały starsze od tak zwanej formacji Abanico. Powstały fałdy stojące, a nawet obalone.



Po okresie lądowym i osadzeniu się skał formacji Abanico nastąpił nowy silny paroksyzm fałdowań datowany przez Aquirre na dolny koniak. Niezgodnie leżące wyżej skały formacji Farellones zostały wówczas słabo sfałdowane, czy raczej zondulowane. Faza tych ruchów spowodowała przede wszystkim silne strzaskanie i intruzje skał batolitu.

Osie struktur fałdowych mają przebieg południkowy, podobnie jak w strefie Kordyliery Nadbrzeżnej. Jednakże w Kordylierce Andyjskiej występuje kilka wyraźnych form antyklinalnych i synklinalnych oraz szereg zaburzeń lokalnych struktur. Szczególnie skomplikowane są wschodnie krańce tego obszaru.

Dorzecze R. Aconcagua, podobnie jak reszta terytorium Chile, leży w strefie wielkich anomalii siły ciężenia. Między strefą zachodnią, odznaczającą się anomaliami dodatnimi i częścią wschodnią o anomaliach ujemnych istnieją niezwykle duże gradienty grawimetryczne. Cały kraj jest silnie sejsmiczny, co wskazuje na niezakończone procesy tektoniczne. W pobliskiej kotlinie Santiago stwierdzono powolne zapadanie jednych części i podnoszenie się innych. Przypuszczalnie w dorzeczu R. Aconcagua zachodzą podobne zjawiska. Różni się natomiast ten obszar od położonych na południe brakiem współczesnych zjawisk wulkanicznych.

## D. Charakterystyka petrograficzna

### a) Stare skały metamorficzne

Najstarszymi skałami w dorzeczu R. Aconcagua są różnego rodzaju skały metamorficzne, między innymi gnejsy, kwarcyty, fillity. Nie określono dotychczas ich wieku, lecz stopień zmetamorfizowania niektórych skał pozwala przypisywać im wiek nawet prekambryjski. Inne datowane są na górny paleozoik. Występują one w izolowanych odsłonięciach, często w kontakcie ze skałami intruzyjnymi. Wykazują wtedy ślady

metamorfizmu kontaktowego. Występowanie tych skał stwierdzono w prowincji zachodniej na zboczach doliny R. Aconcagua pomiędzy Quillota i El Colmo, oraz większe odsłonięcia w okolicy San Pedro i Limache.

#### b) Skały magmowe intruzyjne

W dorzeczu R. Aconcagua — podobnie jak w całym Chile — spotykane są wychodnie głębinowych skał magmowych, których występowanie związane jest z tak zwanym batolitem andyjskim. Skały te odznaczają się dużą różnorodnością, przeważają jednak granity, dioryty i granodioryty. Odsłonięcia skał krystalicznych występują w odcinku ujściowym R. Aconcagua, na południe od Llay-Llay, wzdłuż doliny R. Aconcagua między Llay-Llay i San Felipe oraz w kilku dolinach andyjskich.

Intruzjom magmy towarzyszyły przeobrażenia otaczających skał i ze zjawiskami metamorfizmu kontaktowego można się spotkać niemal wszędzie na kontakcie z masami batolitu (27). Także niemal powszechnie występują w pobliżu batolitu żyły skał z nim związanych — apłitów, lamprofirów, porfirów granitowych, diorytowych i sienitowych oraz mikrogranitów.

Rola morfologiczna skał krystalicznych nie jest jednoznaczna. Tworzą one formy wypukłe masywów, na przykład na południe od ujścia R. Aconcagua i spotykane są też w osiach dolin, na przykład E. Riecillos i R. Colorado. Takie położenie skał batolitu stanowić może wskazówkę, że tworzą one fundament górotworu, odsłonięty w strefach wypiętrzeń oraz na liniach tektonicznych, które zapewne odegrały rolę w ruchach magmy. Uskoki ułatwić też mogły odsłonięcie skał krystalicznych, gdyż predysponowały rozwój dolin rzecznych.

Zagadnienie wieku intruzji magmowych w Andach Chilijskich nie jest rozwiązane. Duże zróżnicowanie petrograficzne skał batolitu wraz z różnorodnością zjawisk metamorfizmu kontaktowego, jak również dane stratygraficzne i datowania radioaktywnego skłoniły Borde'a (8) do sądu, że niemożliwe

jest traktowanie batolitu andyjskiego jako rezultatu jednej intruzji, a nawet jednej serii intruzji. Skłonny on jest umiejscowić fazy intruzji w permie, jurze i kredzie.

W dorzeczu R. Aconcagua wiek skał krystalicznych nie został określony. Wiadomo tylko, że granity intrudowały już po osadzeniu najmłodszych serii osadowych geosynkliny (Lo Valle i Farellones). Stwierdzono też w najstarszych skałach osadowych Kordyliery Nadbrzeżnej materiał, który pochodzi z erodowanego masywu krystalicznego. Mamy więc do czynienia z dwiema odrębnymi intruzjami, których wiek może odpowiadać fazie permskiej i kredowej według Borde'a.

Na dziale wodnym odgraniczającym kotlinę San Felipe od kotliny Santiago znajdują się wychodnie skał magmowych jeszcze młodszych, pochodzących z intruzji datowanych na schyłek oligocenu. Są to głównie ciemne andezyty i bazalty. Zajmują one niewielkie powierzchnie, lecz mają znaczenie w morfologii, stanowiąc prawdopodobnie jedną z przyczyn zachowania grzbietu Chacabuco, oddzielającego te dwie kotliny.

#### c) Formacje osadowo-wulkaniczne prowincji andyjskiej

W prowincji andyjskiej wyróżniono pięć formacji skał, które osadzały się w warunkach morskich i lądowych, nadając im nazwy miejscowe: Lagunilla, San José, Cristo Redentor, Abanico i Farellones. Powstanie ich datuje się na okres od malmu od górnej kredy (tabela III-2).

Najstarsza formacja Lagunilla — wobec zupełnego braku skamieniałości w poznanych odsłonięciach — zaliczona została do malmu jedynie na podstawie korelacji petrograficznej. Stanowi ona serię skał o łącznej miąższości nie przekraczającej 1500 m. Dolne i górne jej piętra składają się głównie z piaskowców, brekcji i lutyków oraz produktów wybuchów wulkanów. Piętro środkowe tworzą gipsy, których złoża uważane są za największe na świecie. Pochodzenie gipsów nie jest wyjaśnione. Dyskutowane są dwie hipotezy. Według jednej gipsy

osadziły się jako produkt ewaporacji w płytkim zbiorniku przybrzeżnym. Druga hipoteza przyjmuje przeobrażenie wapieni osadzonych w morzu przez podmorskie solfatary, związane z aktywnym wulkanizmem. Za drugą hipotezą przemawia brak w składach tego piętra innych soli, produktów parowania, jak również silna metamorfizacja termiczna wapieni, które leżą poniżej gipsów.

Skały formacji Lagunilla zajmują stosunkowo niewielkie powierzchnie w górnej części dorzecza, w dolinach Navarro i Monos del Agua. W pierwszej z dolin znajduje się stara, nieczynna już kopalnia gipsów. Z występowaniem skał formacji Lagunilla wiążą się spotykane w tej części dorzecza zjawiska krasowe, które rozwijać się mogą zarówno w gipsach, jak i należących do dolnego piętra wapieniach.

Pozostałe formacje powstały w okresie kredowym. Najstarsza z nich została nazwana od strumienia San José, dopływu E. Navarro, gdzie stwierdzono jej istnienie. Tworzą je szare wapienie o miąższości do 800 m. Skały są bogate w skamieliny, co pozwoliło na określenie ich wieku na dolny neokom. Fauna i charakter osadu wskazują na środowisko płytkiego morza. Skały tej formacji leżą zgodnie na formacji Lagunilla.

Na formację Cristo Redentor składa się seria osadów o charakterze kontynentalnym. Są tu brekcje i konglomeraty, piaskowce i lutyty. Skały tej formacji wyróżniają się czerwonym kolorem. Brak skamielin utrudnia ich datowanie. Wiadomo tylko, że powstały po osadzeniu skał formacji San José, a przed fazą fałdowań w albie. Miąższość całej serii dochodzi do 1850 m. ale w wielu obszarach skały uległy silnemu zniszczeniu i nie wszędzie spotyka się je na osadach formacji San José.

Skały trzech wymienionych formacji zostały sfałdowane i strzaskane podczas starszej fazy fałdowań kredowych. Po fazie niszczenia subarealnego osadziły się najbardziej typowe dla całego Chile skały tak zwanej formacji porfirowej (formacion porfirítica). Nazwę formacji usprawiedliwia powszechne



Litologia i jednostki stratygraficzne osadów geosynkliny andyjskiej w Środkowym Chile\*

Wiek	Prowincja zachodnia		korelacja	Prowincja andyjska		wiek
	jednostki stratygraficzne	litologia		jednostki stratygraficzne	litologia	
miocen	formacja Horcones					
dolny trzeciorzęd — górną kreda	formacja Lo Valle			formacja Farellones	lawy, tufy, brekcje zasadowe, osady wód lądowych, potoków błotnych	górną kreda i (lub) dolny trzeciorzęd
górną kreda	formacja Las Chilcas			formacja Abanico	lawy, tufy, brekcje zasadowe, osady wód lądowych, potoków błotnych, pyroklastyczne	górną kreda
środkowa — dolną kreda	formacja Veta Negra	warstwy Noviciado		formacja Cristo Redentor	osady jezienne i deltowe, lawy i brekcje zasadowe, skały pyroklastyczne, gipsy	górną jurą do środkowej kredy
		warstwy Ocoa	lawy zasadowe, brekcje, osady jezienne	formacja San José	osady morskie, klastyczne i wapienne gipsy, lawy i brekcje zasadowe	
		warstwy Purehue	lawy zasadowe, brekcje, skały klastyczne lądowe, osady jezienne i deltowe	formacja Lagunillas	osady morskie i jezienne, aluwialne i deltowe, gipsy i wapień	
dolną kreda	formacja Lo Prado				skały pyroklastyczne kwaśne, osady morskie przybrzeżne, osady kontynentalne i deltowe	
	formacja Pachacama				kwaśne lawy, tufy i brekcje, skały klastyczne kontynentalne	
	formacja Patagua				osady morskie klastyczne i wapień, lawy kwaśne i zasadowe	
środkowa jura	formacja Melon	warstwy Horqueta			skały klastyczne, kontynentalne, lawy zasadowe i brekcje	
		warstwy Nogaes			osady morskie przybrzeżne wapienne, kwaśne ignimbryty	
środkowa i dolną jurą	formacja Ajial				kwaśne ignimbryty, morskie osady klastyczne, wapień	----- niezgodność
dolną jurą	formacja Quebrada del Pobre				morskie osady klastyczne i wapień, nieco kwaśnych ignimbrytów i law zasadowych	

\* Litologia i jednostki stratygraficzne osadów geosynkliny andyjskiej w środkowym Chile (wg B. Levi (27)) znacznie uproszczona. W rubryce „litologia” podano jedynie typowe skały danej formacji.

występowanie skał wulkanicznych, z których większość ma strukturę porfirową. Skały wylewne mają zróżnicowany skład mineralny. Spotyka się bazalty, andezyty, trachity, riolity. Obok nich występują skały piroklastyczne: brekcje, konglomeraty, tufy, niekiedy przewarstwione skałami osadzonymi w kontynentalnych zbiornikach wodnych: konglomeratami, piaskowcami, lutytami, których materiałem wyjściowym były skały wulkaniczne.

Brak skamielin utrudnia datowanie tej formacji i wiązanie jej z formacjami wyróżnionymi na terenach sąsiednich. Stąd wielkie różnice w określaniu wieku poszczególnych pięter przez różnych autorów. Aguirre (1) przyjmuje wiek stropowych partii serii w dorzeczu R. Aconcagua na dolny senon, a w sąsiednim terenie Klohn (25) na górny eocen.

Skały formacji Abanico gromadziły się prawdopodobnie w niezwykle szybko zapełniającej się geosynklinie (8). Sumaryczna miąższość serii osiąga około 3600 m. Nigdzie jednak nie występuje pełny profil. Skały tej formacji są szeroko rozprze-strzenione w dorzeczu R. Aconcagua. Wielkie zróżnicowanie petrograficzne i ogromna zmienność miąższości zachowanej serii stwarza trudności w korelowaniu warstw odsłaniających się w różnych profilach.

Aguirre (1) przyjmuje, że wyróżniona przez niego forma-cja Abanico odpowiada formacji Las Chilcas z Kordyliery Nadbrzeżnej (51) i formacji Coya-Machali z Andów na wschód od Santiago (25).

Najwyższa część serii osadowo-wulkanicznej, wyróżniona jako formacja Farellones, zalega niezgodnie na utworach star-szych (22). Skały tej formacji zajmują znaczne powierzchnie w wysokich Andach, w brzeżnej części Kordyliery Andyjskiej i na grzbiecie Chacabuco. Charakterystycznymi utworami są „tufy wielokolorowe” (tobas multicolores), riolity, a w partii stropowej bazalty porfirowe. Przepuszczalna miąż-szość tej formacji osiąga 3000 m.

Formacja Farellones odpowiada formacji Lo Valle, którą wyróżnił Thomas w Kordylierze Nadbrzeżnej, a przypuszczal-

nie i formacji Hornitos opisanej przez Segerströma z pustyni Atacama (1).

Na formacji Farellones kończy się seria osadowo-wulkaniczna. Na niej występują już tylko osady czwartorzędowe, trzeciorzęd bowiem był w tym obszarze okresem niszczenia.

#### d) Formacje osadowo-wulkaniczne prowincji zachodniej

W zachodniej strefie geosynkliny andyjskiej sedymentacja rozpoczęła się wcześniej niż w strefie wschodniej (tab. III-2). Na północ od dorzecza R. Aconcagua występują skały formacji La Ligua, których wiek określono na górnotriasowy. Thomas stwierdził, że skały tej formacji zostały lekko sfałdowane i następnie zerodowane, zanim osadziły się na nich utwory dolnojurajskie. W dorzeczu R. Aconcagua — tam, gdzie spąg formacji jurajskich jest znany — stwierdzono, że skały tego wieku zalegają bezpośrednio na skałach krystalicznych batolitu andyjskiego lub na skałach metamorficznych uważanych za paleozoiczne.

Utwory dolnej jury występują na niewielkim obszarze w północno-zachodniej części dorzecza. Wyodrębniono w nich dwie bardzo różne petrograficznie formacje: Quebrada del Pobre i Ajial. Pierwsza składa się głównie ze zlepieńców, piaskowców i lutyków z niewielkimi przewarstwieniami wapieni. Drugą tworzą przede wszystkim produkty erupcji wulkanicznych — brekcje, tufy i lawy, pod względem mineralogicznym trachity sodowe (keratofiry). Liczne skamieniałości pozwoliły na określenie wieku obu formacji, starszej na dolny i środkowy lias, a młodszej na górny lias. Trudności datowania występują tylko w warstwach stropowych, gdzie linia podziału z formacją Melon jest problematyczna.

Formacja Melon składa się przede wszystkim z osadów morskich. Charakteryzują ją skały piroklastyczne — tufity, brekcje, skały wylewne, głównie keratofiry oraz skały osadowe — wapniste piaskowce, lutyty i mięjsze pokłady wapieni,

eksploatowane do produkcji cementu. Dzięki licznym skamielinom udało się określić dokładnie wiek tej formacji na bajos i podzielić ją na trzy piętra.

Skały formacji Melon, o miąższości sumarycznej przekraczającej 6000 m, występują w dolinie R. Aconcagua od Pachacama do Quillota oraz szerokim południkowo zorientowanym pasmem w zlewni Estero El Melon.

Po okresie tworzenia się skał formacji Melon nastąpiła regresja morska. W izolowanych zbiornikach kontynentalnych osadzały się produkty erupcji wulkanicznych — są to keratofirowe brekcje wulkaniczne. Wiek ich określono jako górnojurajski. Występują na niewielkich wycinkach terenu w dolinie R. Aconcagua w okolicy Pachacama, od której to miejscowości formacja otrzymała nazwę.

Formacja Lo Prado wiąże się z zalewem morza w neokomie. Składają się na nią lawy, brekcje i tufy keratofirowe oraz piaskowce, zlepieńce, lutyty i wapienie. Pokłady wapieni mają często postać soczewkowatą i niewielkie miąższości. Zawierają one faunę wskazującą na płytki zbiornik sedymentacyjny (korałe). Wychodnie tej formacji przecinają dorzecze R. Aconcagua wąskim południkowym pasmem w okolicy Pachacama.

Skały osadzone w następnym okresie regresji morza i wzmożonej działalności wulkanicznej zostały przez Thomasa nazwane formacją Veta Negra. Datuje on tę funkcję na kredę środkową, bez szczegółowego określenia piętra. Jest to zresztą zrozumiałe, ponieważ utwory zaliczane do tej formacji są pozbawione skamielin, pozwalających dokładniej oznaczyć pozycję stratygraficzną.

Dolne piętro formacji, nazwane Purehue, wyróżnia się występowaniem miąższych pokładów czerwonych piaskowców i zlepieńców pochodzenia kontynentalnego. Wyższe piętro, Ocoa, charakteryzuje się wielkim rozwojem skał wylewnych zbliżonych do andezytów. Ze względu na specyficzne występowanie gniazd i smug prakryształów skaleni nadano im odrębną nazwę „oocitów”. Wyraźna przewaga law nad innymi



produktami erupcyjnymi stanowi charakterystyczną cechę serii, której miąższość przekracza 4000 m. Skały tej formacji występują w dorzeczu szeroką wstęgą na wschód od formacji starszych aż po dolinę E. Catemu. Na południu występowanie ich jest zredukowane przez masyw krystaliczny Cerro Roble.

Dwie górne formacje: Las Chilcas i Lo Valle charakterem osadów odpowiadają powszechnie występującej w Chile formacji porfirowej. Stanowią one odpowiednik wyróżnionych przez Aguirre w Kordylierze Andyjskiej formacji Abanico i Farellones.

Trudności w pełnym skorelowaniu wieku obu serii w prowincji zachodniej i andyjskiej powoduje brak śladów istnienia fazy fałdowań między formacjami Veta Negra i Las Chilcas. Faza taka miała miejsce w Kordylierze Andyjskiej przed osadzeniem skał formacji porfirowej. Za jednakowym wiekiem obu serii przemawia natomiast, oprócz wyraźnego pokrewieństwa petrograficznego, dwudzielność serii porfirowej, której górne człony, formacje Lo Valle i Farellones, wiążą się ze sobą na grzbiecie Chacabuco.

Maksymalną miąższość formacji Las Chilcas określa Thomas na przeszło 7000 m. Spąg wyznacza się w przybliżeniu, opierając się na zaniku ocoitów i pojawianiu skał wulkanicznych o odmiennym charakterze, głównie andezytów i bazaltów oraz związanych z nimi tufów, tufitów, brekcji i konglomeratów, piaskowców i lutytów. Wyjątkowo występują cienkie przewarstwienia wapieni słodkowodnych. Zmienność rodzaju skał jest bardzo duża, co wywołuje trudności w korelowaniu nawet blisko położonych profilów, na przykład po dwóch stronach doliny R. Aconcagua.

Skały formacji Las Chilcas zajmują rozległe powierzchnie w dorzeczu R. Aconcagua od doliny E. Catemu na wschód. Nadto występują na wzgórzach na południe od San Felipe, w okolicy Las Chilcas, gdzie opisano najpełniejszy profil tej formacji.

Formacja Lo Valle opisana została przez Thomasa na pod-

stawie badań na grzbiecie Chacabuco. Zalega ona niezgodnie na formacji Las Chilas, a utwory jej poddane były słabym ruchom fałdowym. Jest to seria skał wulkanicznych i sedymentacji lądowej o miąższości sumarycznej 700 m. Poza grzbieciem Chacabuco formacja ta pojawia się prawdopodobnie na północ od doliny Putaendo w okolicy El Tartaro.

Osady trzeciorzędowe znane są w dorzeczu R. Aconagua z niewielkiego skrawka terenu na północ od ujściowego odcinka rzeki. Są to morskie osady, głównie piaskowce, zalegające horyzontalnie. Nadano im nazwę Horcon i określono ich wiek na miocen, bez dokładniejszego określenia pietra.

#### e) Osady czwartorzędowe

Osady młodsze od trzeciorzędowych nie były opracowane w dorzeczu R. Aconcagua. Są to różnorodne utwory luźne, wypełniające doliny rzeczne i pokrywające stoki gór. Szczególne znaczenie mają osady wypełniające kotliny środkowego biegu R. Aconcagua. Miąższość utworów luźnych w dnach kotlin osiąga znaczne wartości. W kotlinie San Felipe nie przebito ich w wierceniu do głębokości 86 m.

Grupa badaczy francuskich (52), opracowujących warunki hydrogeologiczne sąsiedniej kotliny Santiago, wyróżniła następujące rodzaje utworów związanych z okresem czwartorzędowym:

- utwory fluwioglacjalne typowe, pochodzące z różnych okresów zlodowaceń, dobrze sortowane, silnie przepuszczalne,
- utwory powstałe przy katastrofalnym topnieniu lodowców w okresach intensywnej działalności wulkanicznej — serie osadów słabiej sortowanych, w spągu złożone z materiału grubszego, a w stropie zawierające warstwy ilaste,
- utwory potoków błotnych i torrencjalnych, powstałe na skutek katastrofalnych opadów lub wstrząsów sejsmicznych, które mogły naruszyć równowagę materiału luźnego

- na zboczach — materiał niewysortowany, zawierający zarówno wielkie bloki, jak również frakcję ilastą,
- pyły i popioły wulkaniczne, nagromadzone przy udziale czynnika eolicznego, porowate i mało zwarte lub gromadzone w środowisku wodnym i wtedy bardziej zwarte, niekiedy słabo warstwowane. Pomimo znacznej porowatości, słabo przepuszczalne z powodu zbyt dużego udziału drobnej frakcji.

Materiały z wierceń w dorzeczu R. Aconcagua wskazują na duże analogie między utworami dolinnymi tego obszaru i kotliny Santiago. Istnieją jednak i różnice. W kotlinie San Felipe udział utworów dobrze sortowanych jest — jak można sądzić — mniejszy niż w kotlinie Santiago. Przyczyna tkwi zapewne w mniejszych zasięgach stożków fluwioglacjalnych w kotlinie San Felipe, co wiąże się ze znacznie mniejszą, niż w dorzeczu R. Maipo, zlewnią wysokogórską R. Aconcagua. Poza tym w dorzeczu R. Aconcagua nie spotyka się utworów powstałych z młodych pyłów i popiołów wulkanicznych, które w dorzeczu R. Maipo, mającym czynne wulkany, tworzą odrębne warstwy.

Dostępne materiały z wierceń w dolinie R. Aconcagua nie dają podstaw do określenia genezy przewierconych utworów, pozwalają jednak na stwierdzenia, ważne dla stosunków wodnych. Profile geologiczne wykazują przede wszystkim wielką zmienność młodych utworów, zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym. Wszystkie te utwory chłoną wodę, stopień ich przepuszczalności jest jednak bardzo różny. Dzięki dużej miąższości i istnieniu warstw silnie przepuszczalnych, młode utwory akumulacyjne wypełniające kotliny i większe doliny rzeczne stanowią zbiorniki wód podziemnych o dużej pojemności. W górskich partiach dorzecza występują duże nagromadzenia utworów glacialnych w postaci moren plejstoceniowych i współczesnych. Utwory te, choć opisywane (12, 29), nie zostały dokładniej zbadane i brak jest wiadomości o ich wieku.

Stoki gór w całym dorzeczu pokryte są utworami eluwialnymi i deluwialnymi. Charakter utworów zależy od skały

macierzystej oraz warunków wietrzenia i transportu. Typowa jest mała segregacja materiału, na który składają się zarówno wielkie głazy, jak i pyły. W dolnych partiach stoków utwory pokrywowe osiągają znaczne miąższości.

### 3. RZEŻBA

#### A. Historia rozwoju rzeźby

Najstarsze elementy rzeźby, widoczne w krajobrazie współczesnym, powstały po fazie górotwórczej, która zakończyła sedymentację górnych partii formacji porfirytywowej (Farello-nes- Las Chilcas). Według różnych badaczy mógł to być okres górnej kredy lub starszego trzeciorzędu. Szereg powierzchni zrównań szczytowych występuje w najwyższych częściach Kordyliery Nadbrzeżnej i łańcuchów górskich łączących ją z Kordylierą Główną. Podobne powierzchnie zrównań można wyróżnić i w wysokich Andach. Tam jednak zachowane są dużo słabiej, głównie w postaci załamań stoku oraz półek i występują na innych wysokościach bezwzględnych, głównie w zachodniej, niższej strefie Kordyliery Andyjskiej.

Na podstawie wyników badań w rejonie Santiago Borde (3) przyjmuje, że za wszystkie niemal formy w obrębie Kordyliery Andyjskiej odpowiedzialna jest morfogeneza czwartorzędowa. W pozostałym obszarze główne założenia form, a nawet obecna postać wielu z nich, powstały w okresie trzeciorzędowym. Nie przesądzając ostatecznie, jakie fazy przemian przechodził krajobraz stwierdza, że wiele danych przemawia przeciwko głoszonej przez wcześniejszych badaczy tezie o wykształceniu się penepłeny pod koniec trzeciorzędu. Raczej należy przyjąć, że w ciągu długiego okresu lądowego od kredy po pliocen krajobraz przeszedł szereg faz rozwoju o bardzo różnym charakterze. Borde uważa, że już w eogenie została wykształcona penepłena lub niemal penepłena. Pozostałościami jej były najwyższe powierzchnie zrównań Kordyliery Nad-



brzeżnej (Alto de Lipangue). Na młodszy trzeciorzęd datuje dwie fazy ruchów pionowych w obrębie Kordyliery Nadbrzeżnej. Jedna faza z przełomu oligocenu i miocenu miała poprzedzać powstanie niższego poziomu zrównań, druga — plioceńska — spowodowała wielkie przesunięcia pionowe w całym Chile. W tej fazie zostały wykształcone główne strefy krajobrazowe środkowego Chile: Kordylera Andyjska, depresja południkowa i Kordylera Nadbrzeżna.

Trzy wielkie jednostki dadzą się wyróżnić — jak wspomniano — również w dorzeczu R. Aconcagua, lecz w nieco odmiennej postaci (10). Obniżenie u stóp Kordyliery Andyjskiej ma charakter kotliny od południa zamkniętej grzbietem Chacabuco. To odcięcie hipsometryczne od kotliny Santiago zacieśnia związek tektoniczny obu obniżeń, na który wskazują linie dyskordancji. Na ich podstawie Brüggén (12) przedłużył w swym szkicu Dolinę Środkowochilijską aż do doliny dolnej Putaendo. Związek kotliny podandyjskiej w obrębie dorzecza R. Aconcagua z obszarem położonym dalej na południe mógł być wyraźniejszy przed młodotrzeciorzędową fazą wulkaniczną, która doprowadziła do powstania szeregu erupcji law w obrębie obecnego grzbietu Chacabuco.

Młodej tektonice należy również przypisać założenia dolnego odcinka doliny R. Aconcagua, której przebieg zgodny jest z kilkoma uskokami (14). Po głównym paroksyzmie ruchów plioceńskich w ewolucji rzeźby odgrywały nadal rolę ruchy pionowe, lecz o znacznie mniejszym nasileniu. Były to często lokalne przesunięcia lub „kolebanie się” bloków. Ruchy tego typu trwają do dzisiaj.

Wielkie zmiany klimatyczne okresu czwartorzędowego zastały na terenie środkowego Chile zarysowane główne założenia rzeźby. W okresie plejstoceniowym zaistniały warunki dla wyjątkowo intensywnego rozwoju wielu procesów morfologicznych. Odnosi się to w szczególności do Kordyliery Andyjskiej i podgórszych obniżeń. Stwierdzono (11, 34), że w plejstocenie opisywane terytorium otrzymywało znacznie więcej niż obecnie opadów atmosferycznych. Wyniesienie wysoko ponad linię rów-

nowagi śniegowej bloku, którego rzeźba miała cechy dojrzałości — a zatem dość szerokie doliny o niewielkich spadkach, musiało doprowadzić, przy znacznej obfitości opadów, do rozwoju dużych lodowców dolinnych, a na spłaszczeniach działowych także pól lodowcowych typu fieldowego. Dzięki stosunkowo małej odporności skał i ich strzaskaniu tektonicznemu mogła postępować szybko modelacja lodowcowa.

Obszary niezlodzone poddane były akcji wód płynących pochodzenia glacialnego i opadowego. Ogromne spadki ułatwiały rozwój intensywnej działalności niszczącej i transportowej wód, a materiał luźny, pochodzący z denudowanych zboczy, rozcinanych den dolinnych i rozmywanych moren, był wynoszony na przedpole gór. Plejstocen był zatem okresem silnego niszczenia Kordyliery Głównej i potężnej akumulacji w obniżeniach podandyjskich. Inaczej natomiast zaznaczył się w Kordylierze Nadbrzeżnej. Stoki i grzbiety górskie przeszły tam kilka faz modelacji związanych z wahaniami klimatu i zmianami wysokości lokalnych baz erozyjnych. Okresy większych opadów sprzyjały rozwojowi w obszarach pozaandyjskich roślinności, która hamowała niszczącą działalność wód.

Borde (8) przyjmuje, że środkowe Andy przeszły w okresie czwartorzędu następujące fazy rozwoju:

- a) starszy czwartorzęd. Ślady morfogenezy tego okresu są bardzo słabo czytelne we współczesnym krajobrazie. Można wyróżnić jednak formy powstałe w wyniku dwóch faz erozyjnych, przedzielonych bardzo długim okresem słabszej działalności niszczącej. Okres ten zakończył się fazą intensywnej działalności wulkanicznej, po której powstały osady popiołów wulkanicznych;
- b) okres zlodowacenia tzw. zewnętrznego. W okresie tym lodowce wyszły poza obszar najwyższych łańcuchów andyjskich. Moreny czołowe sięgały do wysokości 1100—1200 m npm. Od nazwy miejscowej jednej z moren Borde nazwał ten okres fazą San Alfonso;
- c) okres interglacialny. Zaznaczyła się w nim potężnie działalność wód płynących. Śladami jej są osady torrencjalne oraz

wyrównanie spadków den dolin glacialnych i rozmycie moren zlodowacenia San Alfonso. Borde uważa, że już w tym okresie rozpoczęło się wyraźne osuszanie klimatu;

- d) faza zlodowacenia wewnętrznego. Miała ona zasięg o wiele mniejszy, ograniczony do najwyższych partii górskich. Borde nazywa ją również fazą Los Queltehues. Ślady tego zlodowacenia są jeszcze dobrze zachowane;
- e) tardiglacja lub faza Lo Valdes. Okres ten rozpoczął się gwałtowną erozją, po której przyszło silne ochłodzenie i osuszenie klimatu, a wraz z tym osłabienie działalności wód płynących i rozwój procesów soliflukcyjnych;
- f) postglacja. Nastąpiło wówczas zmniejszenie intensywności wszystkich procesów morfogenetycznych i ustalanie się stoków rozcinanych wodami płynącymi o małej sile erozyjnej. Syntezę rozwoju Kotliny Santiago w okresie czwartorzędu opracował również J. Tricart (52). Jego tablica chronologiczna obejmuje cztery okresy:

a) wczesny czwartorzęd z:

fazą działalności wulkanicznej (cenologlomerado),  
okresem aktywnej akumulacji aluwialnej wód torrencjalnych,

okresem erozji liniowej i rozcinania stoków,

b) starszy czwartorzęd (Mindel, t,,) dwudzielny:

okres zimny — formowanie teras i stożków torrencjalnych,  
okres działalności wulkanicznej — eolocineryty,

c) środkowy czwartorzęd (t,,), na który składa się:

interglacja Mindel-Riss — silne rozcinanie erozyjne,  
zlodowacenie Riss — potężna akumulacja glacialna,  
okres wzmożonej działalności wulkanicznej,  
okres erozji liniowej,

d) górny czwartorzęd (Wurm i holocen, t,) z:

okresem akumulacji klimatycznej,  
okresem akumulacji wulkanicznej,  
okresem słabego rozcinania.

Z taką chronologią zdarzeń zgadzają się wyniki badań R. Santany (46) w dolinie Chacapoal. Autor zaznacza jednak,

że w tej dolinie, położonej nieco na południe od Kotliny Santiago, klimat odznaczał się większymi sumami opadów.

Chronologię zjawisk i wahań klimatu w czwartorzędzie zestawił dla Kotliny Santiago R. Börgel (11) tab. III-3-1. Poszczególne etapy dziejów kotliny związał on z generacjami stożków i pokryw akumulacyjnych oraz ze zmianami biegu rzeki R. Mapocho. Badania podbudowane zostały analizą granulometryczną i petrograficzną osadów. Börgel uważa, że czwartorzęd środkowego Chile różni się od europejskiego przede wszystkim brakiem osadów zlodowaceń wcześniejszych niż Riss oraz udziałem osadów wulkanicznych. Skalę czasową rozpoczyna od pre-Rissu, którego osady zalegają bezpośrednio na zerodowanym podłożu kredowym. Fazy wcześniejszego rozwoju mogły istnieć, lecz musiały być zakończone okresem bardzo intensywnego niszczenia, którego produkty spoczywają na dnie Pacyfiku. Wszystkie chronologie zdarzeń opracowane na podstawie badań w kotlinie Santiago i części Andów najbliższej Santiago, dają się ekstrapolować na obszar dorzecza R. Aconcagua z pewnymi zastrzeżeniami. Wydaje się, że w dorzeczu R. Aconcagua warunki kształtowały się nieco inaczej, niż w kotlinie Santiago. Wiele danych wskazuje na to, że — podobnie jak obecnie, tak i w całym okresie czwartorzędu — dorzecze R. Aconcagua otrzymywało znacznie mniej opadów niż okolice Santiago. Drugą cechą różnicującą jest brak w najbliższym sąsiedztwie dorzecza R. Aconcagua wulkanów czynnych i stąd także niemal zupełny brak zachowanych warstw popiołów wulkanicznych (eolo i hydrocineritów).

## B. Współczesne warunki rozwoju rzeźby

We współczesnej ewolucji rzeźby dorzecza R. Aconcagua odgrywają rolę głównie trzy czynniki. Dwa z nich wiążą się z charakterem klimatu tego obszaru, a to: kontrasty termiczne oraz skąpe i nieregularne opady. Trzecim czynnikiem jest współczesna ruchliwość sejsmiczna tego obszaru.

Kontrasty termiczne przyczyniają się do znacznego nasile-



Chronologia czwartorzędu w kotlinie Santiago wg R. Börgela (11)

	Okres	Czas	Zdarzenia	Klimat
Postglacjal	Współczesny	ostatnie tysiące lat	Erozja poziomów C <sub>1</sub> i C <sub>2</sub> w Prekordylerze. Gwałtowna erozja osadów Würmu i Rissu	półsuchy umiarkowany-suchy
	Niedawny	do 5000 lat	Osadzenie C <sub>1</sub> . Pogrzebane hydrocinerity na W od Santiago. Lekkie zapadanie kotliny	umiarkowany-wilgotny
	Postholocen	5—10000	Eolo i hydrocinerity wysokich dolin i Prekordyliery Santiago. Pogrzebany C <sub>2</sub>	bardzo wilgotny i gorący
	Holocen	11000	Osadzenie C <sub>2</sub> . Rio Mapocho tworzy stożki w Recoleta i Independencia	wilgotny i umiarkowany
Plejstocen górny	Tardiglacial	22000	C <sub>3</sub> zmienia bieg Mapoche. Zastoisko w Lo Curro	półsuchy, umiarkowany i suchy
	Würm	115000	Utworzenie C <sub>3</sub> w Prekordylerze Santiago. Moreny Corral Quemado w dolinie Mapocho i Queltchues w dolinie Maipo	wilgotny i zimny
	Riss-Würm	145000	Zniszczenie erozyjne utworów Rissu. Powrót Mapocho do pierwotnego łóżyska	wilgotny i umiarkowany
Plejstocen środkowy	Riss	230000	Morena Rissu w La Ermita. Stożek C <sub>4</sub> glaciowulkaniczny erodowany w Puente Alto	wilgotny i zimny
	Pre-Riss (Mindel-Riss)		Formowanie C <sub>4</sub> w La Dehesa. Błądzenie Mapocho. Stożek C <sub>4</sub> glaciowulkaniczny w Las Vizcachas	

C<sub>1</sub>; C<sub>2</sub>; C<sub>3</sub>; C<sub>4</sub>. kolejne generacje stożków koluwalno-eluwialnych.

nia procesów dezintegracji i wietrzenia we wszystkich strefach, a w obszarze wysokogórskim umożliwiają występowanie zjawisk o charakterze peryglacjalnym w szerokiej strefie wysokościowej i w ciągu niemal całego roku. Charakter opadów sprzyja występowaniu typowej dla klimatu suchego ewolucji stoków — przewagi form skalnych i stożków usypiskowo-koluwalnych w partiach stromszych i rozwojowi pedymentów. Okresowa objętość wód umożliwia powstawanie potoków błotnych i torrencjalnych. Uwalnianie w okresie letnim wód, uwięzionych zimą w postaci lodów i śniegów, umożliwia okresowo intensywną działalność transportującą i akumulacyjną rzek biorących początek w wysokich górach.

Współczesna ruchliwość tektoniczna powoduje powstawanie szczelin, drobnych przesunięć i uskoków, przede wszystkim zaś jest czynnikiem aktywizującym w znacznym stopniu różnego rodzaju ruchy grawitacyjne — obrywy, osypiska, zsuwy, złażiska, ruchy glaci-soliflukcyjne i niekiedy lawiny śnieżne. Współczesne ruchy sprawiają także, że lokalne bazy erozyjne wszystkich rzek tego obszaru ulegają ciągłym większym lub mniejszym zmianom.

Mimo iż wymienione czynniki działają na terenie całego dorzecza, można wyróżnić tu cztery obszary różniące się dosyć wyraźnie cechami współczesnej morfogenezy:

- 1 — góry wysokie z silnie rozwiniętymi zjawiskami niwo-glacjalnymi,
- 2 — góry wysokie bez lodowców,
- 3 — pogórza i kordony Kordyliery Nadbrzeżnej,
- 4 — dna kotlin i dolin poza Kordylierą Andyjską.

W wysokich górach morfogenetyczne procesy glacialne odgrywają ciągle pierwszorzędą rolę, mimo iż lodowce znajdują się w fazie recesji. Modelowanie rzeźby odbywa się też pod wpływem wietrzenia i ruchów grawitacyjnych, które to procesy przy ogromnych deniwelacjach i braku pokrywy roślinnej uzyskują wielkie nasilenie. Działalność wód płynących w tym obszarze ogranicza się niemal wyłącznie do wąskich koryt rzecznych.

W strefie wysokich gór niezlodowaconych głównymi czynnikami są procesy wietrzeniowe i grawitacyjne. Ruchy grawitacyjne przebiegają w zależności od strefy i pory roku przy udziale zjawisk kroniwalnych i wodnych. Formy pochodzenia soliflukcyjnego, osuwiskowego, torrencjalnego oraz obrywy i osypiska nakładają się na siebie. Stoków utrwalonych przez roślinność jest niewiele, zwłaszcza w wyższych partiach Andów. Erozja linijna działa stosunkowo słabo, w niektórych miejscach stożki osypiskowo-koluwalne niemal całkowicie blokują doliny (fot. III-3-1).

W strefie pogórzy Kordyliery Nadbrzeżnej panuje względny zastój w modelowaniu rzeźby. W porównaniu z okresem trzeciorzędowym, w którym wytworzyły się główne formy i plejstocenem, gdy działanie wszystkich sił morfotwórczych było bez porównania intensywniejsze, okres współczesny odznacza się raczej konserwowaniem form. Niezbyt silna denudacja i erozja wód w korytach cieków epizodycznych mogą zaledwie reuszować starsze formy. Pomimo pozorów świeżości rzeźba podlega nieznacznym przeobrażeniom, najczęściej powodowanym niszczeniem przez człowieka roślinności na stokach.

Dna dolin i kotlin podlegają działaniu wód płynących, erozyjnemu w górach i akumulacyjnemu poza nimi. Działalność wód jest silnie modyfikowana przez człowieka. Zagadnienie to zostało omówione w dalszej części pracy. Akumulacja materiału wynoszonego z gór obejmuje — poza Kordylerią Główną — całą niemal powierzchnię den dolin i kotlin wskutek rozprowadzania wód irygacyjnych. Transport materiału z gór odbywa się głównie w okresie wielkich wód letnich. W czasie zimowych deszczów nawalnych wody torrencjalne znoszą w doliny materiał z pobliskich zboczy.

### C. Charakterystyka głównych elementów rzeźby

Materiałów do charakterystyki rzeźby dostarczyły badania terenowe i fotointerpretacyjne opracowanie zdjęć lotniczych.



Fot. III-3-1. Dolina Rio Colorado. Wielkie stożki usypiskowe stanowią najwybitniejszy obok nagich grzbietów skalnych element krajobrazu.



Fotointerpretacja wykonana była według legendy, w której wyróżniono, oprócz zjawisk wodnych takich, jak cieki stałe, kanały, zabagnienia, źródła, lody, również formy rzeźby terenu. Klasyfikację geomorfologiczną terenu przeprowadzono mając na uwadze wpływ rzeźby na stosunki wodne. Starano się wykupić te cechy rzeźby, które oddziałują na procesy spływu i wsiąkania. Stąd klasyfikacja odbiega od stosowanych w mapach geomorfologicznych, pominięto bowiem zagadnienie wieku form i w sposób uproszczony potraktowano ich genezę.

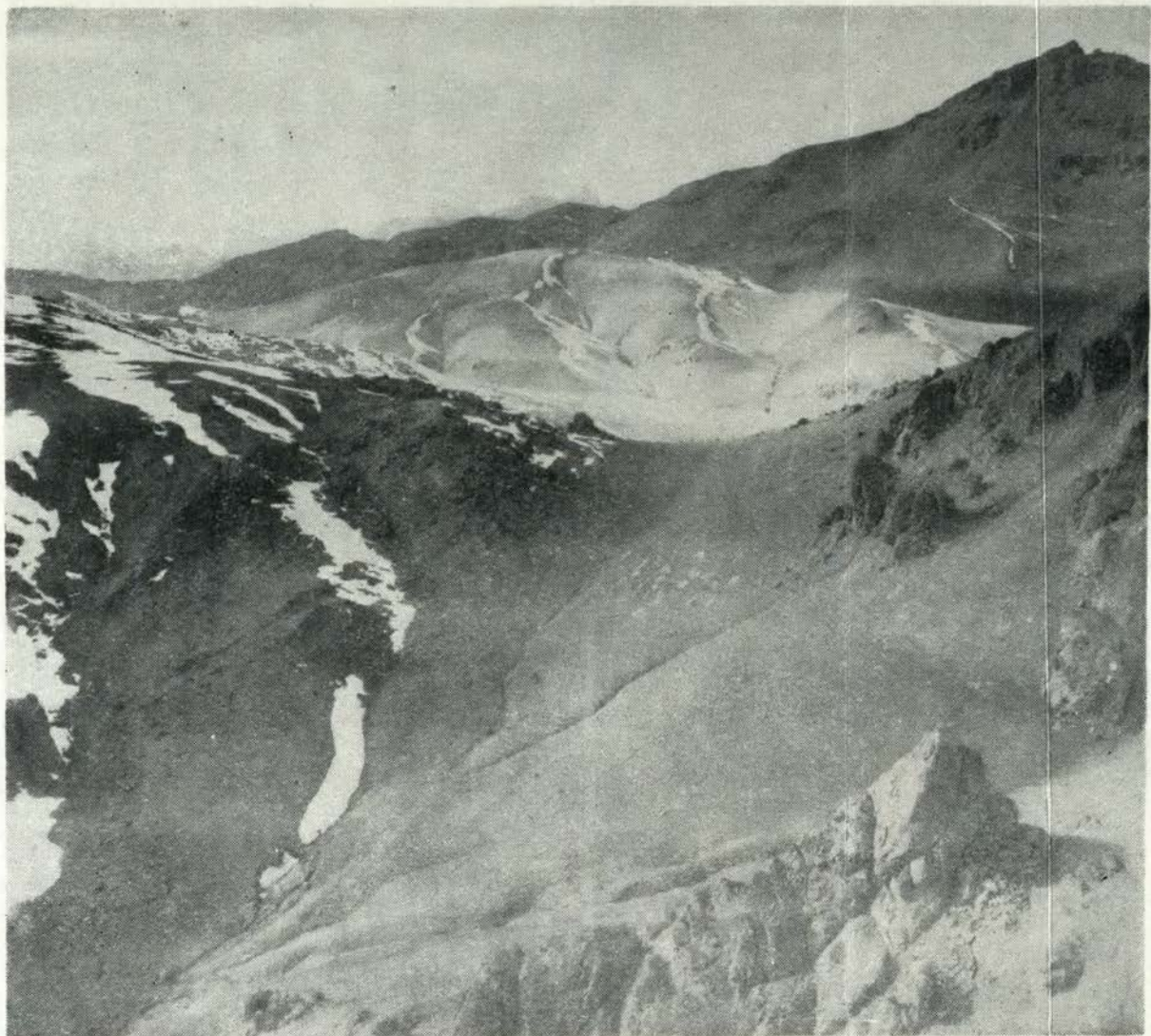
Zdjęcia lotnicze, którymi dysponowano, pokrywają obszar położony na wschód od południka  $70^{\circ}48'W$ , o powierzchni około  $4700 \text{ km}^2$ , a więc prawie  $2/3$  dorzecza, w tym całą jego część wysokogórską. Tok opracowania był następujący: dla wybranych trzech wycinków terenu, znanych autorom z autopsji, wykonano fotointerpretację zdjęć. Wyboru obszarów dokonano tak, aby reprezentowane były główne typy środowiska geograficznego w obrębie dorzecza, a więc: tereny wysokogórskie, zlodzone, tereny ze strefy brzeżnej gór, gdzie wyraźnie zaznacza się wpływ gospodarki ludzkiej oraz kotlina podgórska o silnie zaakcentowanych cechach antropogenicznych. Pierwsza faza pracy, w której wyniki obserwacji terenowych zostały uwzględnione w toku fotointerpretacji, pozwoliła ocenić możliwości wykorzystania zdjęć lotniczych dla potrzeb opracowania hydrogeograficznego poprzez ekstrapolację obserwacji terenowych na obszary nie badane bezpośrednio (56).

W drugim etapie wykonano fotointerpretację wszystkich zdjęć \*. Kalki fotointerpretacyjne zostały następnie wmontowane w arkusze mapy 1 : 100 000 San Felipe i Putaendo, powiększone mechanicznie do podziałki 1 : 70 000. Dla obszaru wschodniego, który nie ma pokrycia nowoczesną mapą 1 : 100 000, za podstawę wzięto powiększenie mapy 1 : 250 000.

Opracowane mapy, mimo że obejmują tylko skrawki Kor-dyliery Nadbrzeżnej, przedstawiają wszystkie główne typy śro-

---

\* Prace fotointerpretacyjne prowadzili przy pomocy autorów: dr A. Ręsik, mgr J. Mościbroda, mgr M. Nowacka i mgr Z. Michalczyk.



Fot. III-3-2. Strefa dział wodnego Rio Colorado. Bardzo słabo odporne skały pochodzenia wulkanicznego sprzyjają nagromadzeniu utworów luźnych także w strefie spłaszczeń na węzłach działów wodnych.

dowiska geograficznego dorzecza R. Aconcagua. Ilustrują one charakter, rozmieszczenie i wzajemny stosunek najważniejszych elementów rzeźby (mapy poza tekstem).

#### a. Grzbiety górskie

W strefie wysokogórskiej, zarówno w obszarach współcześnie zlodowaconych, jak i pozbawionych lodowców, regułą są ostre grzbiety, często mające postać skalnych grani. Do zjawisk wyjątkowych należą spłaszczenia grzbietowe. Mogą one być różnego pochodzenia. W strefie najwyższej trudno się doszukiwać spłaszczeń, które są bez wątpienia pozostałościami dawnych zrównań, chociaż geneza taka nie jest wykluczona. Przeważnie jednak spłaszczenia powstały w wyniku plejstocenijskiej lub obecnej morfogenezy i wiązać je należy z dawnymi transfluencjami lodowców lub wietrzeniem i degradacją grzbietów zbudowanych z utworów bardzo słabo odpornych na czynniki niszczące. (fot. III-3-2). W pierwszym przypadku mamy do czynienia ze spłaszczeniami na przełęczach, zajmującymi znaczne nawet powierzchnie, w drugim — z grzbietami o formach obłych, zaokrąglonych, pokrytymi zazwyczaj płaszczem zwiertrzeliny. Do konserwacji tych form przyczyniają się zwykle zalegające pod nimi bardziej odporne skały.

W strefie preandyjskiej i w Kordylierze Nadbrzeżnej łagodne formy grzbietów są stosunkowo częste. Powierzchnie grzbietowe, zarówno łagodne, jak i odznaczające się śmielszymi formami, zasłane są przeważnie utworami luźnymi. Na grzbietach widoczne są resztki powierzchni zrównań denudacyjnych. Późniejsze procesy niszczące zredukowały ich zasięg do wąskich pasów, a ruchy pionowe zróżnicowały ich wysokości bezwzględne. Rozleglejsze zrównania, kontrastujące z żywą rzeźbą obszarów otaczających, zachowały się w strefie preandyjskiej. Klasyczne formy tego rodzaju występują w zlewni E. Pocuro (fot. III-3-3). Bardzo różne wysokości bezwzględne i względne oraz różne nachylenia powierzchni zrównań wskazują na zaburzenia wywołane młodymi ruchami tektonicznymi.





Fot. III-3-3. Zrównania szczytowe w dorzeczu Estero Pocuro.

Poza systemami starych zrównań grzbietowych występują spłaszczenia w niższym położeniu. Są to fragmenty dawnych powierzchni pedymentów, oddzielających wzgórza twardziolowe, którymi bieżą linie wododziałowe.

W omawianej strefie występowanie ostrych form skalistych wiąże się z odsłonięciami w strefie grzbietowej skał odpornych na czynniki niszczące, występujących w otocze skał o dużo mniejszej odporności. Ostrością form odznaczają się grzędy pomiędzy dolinkami rozcinającymi stoki. Formy najśmielsze występują często w pobliżu den dolin i kotlin i mogą być wówczas uformowane nawet w materiale skalnym mało odpornym na erozję wodną.

#### b. Stoki i zbocza

Z uwagi na cel opracowania na mapie geomorfologicznej wydzielono tylko dwie kategorie stoków: skalne i z pokrywą zwietrzelinową. Istnienie zwietrzeliny, jej charakter i miąższość, decyduje wraz z nachyleniem terenu o roli stoku w pro-



cesie krążenia wody. Informacji o procesach morfogenetycznych, które wpłynęły na współczesny charakter stoku, dostarczają oznaczone na mapie formy erozyjne i akumulacyjne związane ze stokami. Do powszechnie występujących należą młode rozcięcia erozyjne i stożki usypiskowo-napływowe.

Największe urozmaicenie przedstawiają stoki w strefie wysokogórskiej ze zjawiskami glacialnymi. Mamy tu nałożone na siebie stare i współczesne formy glacialne oraz formy pochodzenia grawitacyjnego. Do form glacialnych należą pozostałości moren bocznych, niekiedy w pobliżu czoła lodowca listwy martwego lodu pokryte warstwą zwietrzeliny (fot. III-3-4) oraz moreny usypiskowe poniżej niecek niwacyjnych.



Fot. III-3-4. Listwy martwego lodu pokrytego cienką warstwą utworów luźnych u stóp zboczy doliny Rio Juncal.

Trudną do zakwalifikowania formą są pozostałości dawnych pól martwego lodu występujące na stokach. Usypiska luźnego materiału, który jeszcze związany jest częściowo lodem tkwiącym w głębi, ale niemal zatracił zdolność poruszania się, nazy-

wa Lliboutry (29) „lodowcem gruzowym amorficznym”. Zbocza z tego rodzaju materiałem występują w najwyższych partiach dolin zlodowaconych i w formie szczątkowej w niektórych dolinach pozbawionych czynnych lodowców. Pod względem hydrologicznym lodowce amorficzne mają podobne własności, jak lodowce typowe. Śniegi zalegają tu dłużej, a po ich stopieniu woda przesiąka w głąb i wiązana jest znowu w lód. Jej uwolnienie następuje stopniowo w okresie trwania przez czas dłuższy temperatur dodatnich.

W najwyższych partiach dolin obecnie niezlodzonych spotyka się formy rzeźby glacialnej o dobrym stopniu zachowania. Świadectwem ich świeżości jest bardzo słaby rozwój stożków usypiskowych. Nie zdążyły się one jeszcze nagromadzić po ustąpieniu lodowca, który poprzednio odtransportował luźny materiał w dół doliny. Takie zakonserwowane formy można znaleźć między innymi w wysoko położonych dolinkach zlewni R. Hidalgo, R. Rocin i R. Colorado.

Największe rozprzestrzenienie w wysokich Andach mają stoki pokryte łączącymi się ze sobą stożkami usypiskowymi. Tylko stoki o wielkim nachyleniu pozbawione są pokrywy gruzowej. Dotyczy to przede wszystkim partii podszczytowych. Kulminacje terenu wyglądają jakby przebijały się przez masy materiału luźnego, ponad którymi sterczą jak liczne, ale nie zajmujące wielkich przestrzeni wyspy. Nawet w najwyższych górach odsłonięte stoki skalne ustępują pod względem powierzchni stokom pokrytym gruzem. Zasypanie jest w dużej mierze uzależnione od odporności skał. Znaczne partie gór zbudowane są ze skał mało odpornych, jak: tufy, tufity, brekcje wulkaniczne i inne. Dużą rolę odgrywa też silne strzaskanie tektoniczne, które ułatwia procesy niszczenia. Efekty wietrzenia skał i osypania materiału luźnego są w wielu regionach andyjskich dorzecza R. Aconcagua tak potężne, że całe zbocza dolin utworzone są z łączących się stożków. Stożki sięgają często aż pod same grzbiety, gdzie rozpoczynają się w niewielkich przełęczach.

Do procesu osypywania dołączają się w wielu miejscach

inne rodzaje ruchów grawitacyjnych, modelując stoki. We wszystkich częściach obszaru górskiego występują stoki, które noszą ślady ruchów osuwiskowych. Osuwiska, często o potężnych wymiarach, wykazują różne stadia przeobrażenia. Najczęściej jednak są to formy na tyle stare, że nisze osuwiskowe pokryte są materiałem ułożonym w stożki nasypowe, zaś jezor osuwiska przecięty młodymi bruzdami erozyjnymi. Ruchy masowe są przyczyną wybitnej asymetrii stoków w wysokogórskiej części dorzecza (24).

Rozcięcie stoków w wysokich górach formami erozyjnymi pozostaje w związku z zasypaniem stoków. Stoki skalne są gęsto pokryte rynnami erozyjnymi (fot. III-3-5). Część rozcięć przedłuża się na teren stożków, część kończy się na górnej granicy zasypania. Tam, gdzie niemal cały stok pokryty jest grubym płaszczem zwietrzliny, wcięcia erozyjne są dużo rzadsze.

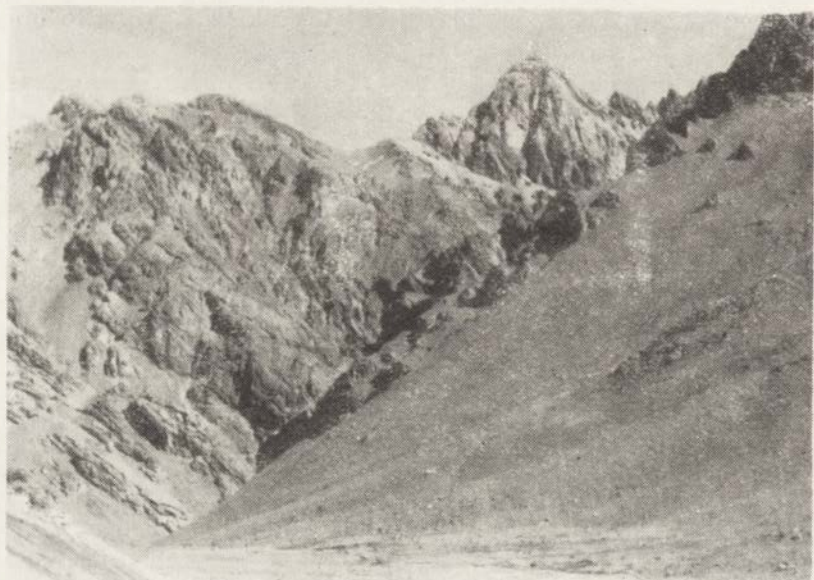


Fot. III-3-5. Zbocza doliny Estero Rieillos. W tej strefie działalność wód zaznacza się wyraźnie w krajobrazie górskim.



Przyczyna różnic w gęstości sieci rozcięć tkwi w chłonności i porowatości materiału luźnego (fot. III-3-6).

Niektóre rozcięcia powstały w wyniku działalności potoków błotno-guzowych. Warunki do tworzenia się takich potoków w strefie wysokogórskiej istnieją w okresie topnienia śniegów. Formy te wyróżniają się słabym wcięciem w powierzchnię



Fot. III-3-6. Dolina Juncalillo. Strefa najwyższych gór. Brak rozcięć erozyjnych na powierzchniach stożków.

stożka i podwyższonymi obrzeżeniami, nadbudowanymi przez materiał wypchnięty przez napierające czoło potoku błotnego. Niekiedy koryta potoków błotnych kończą się ślepo nie docierając do dna doliny. Czasem rynny utworzone przez potoki błotne są wtórnie pogłębione przez erozję wodną. Wtedy można wyróżnić dwie odrębne części rynny, które rozdziela wał czołowy potoku błotnego, przecięty formą erozyjną.

Na charakter stoków wpływ mają warunki litologiczne. Szczególnie silnie zaznacza się on tam, gdzie poprzecznie do kie-



runku nachylenia stoku występują warstwy o różnej odporności. Partie odporne zaznaczają się jako strefy skałek wynurzających się z usypisk, które ciąglą pokrywają rozpościerają się na powierzchni skał podatniejszych na wietrzenie. W północno-wschodniej części dorzecza można spotkać stoki, gdzie od samego grzbietu zaczynają się powierzchnie usypisk, strefa skałek znajduje się w środkowej części stoku, a poniżej znów cały stok tonie w usypiskach gruzu skalnego. Takie występowanie ławic skał o większej odporności może być zaakcentowane istnieniem na ich wychodniach wypływów wód podziemnych. Wypływy dają początek strugom rozcinającym stoki. Często teren przy wypływach i wzdłuż strug pokryty jest roślinnością, która przyczynia się do utrwalenia stoku.

W obszarach podgórzy i Kordyliery Nadbrzeżnej stoki kształtowane są obecnie w warunkach klimatu półsuchego i noszą znamiona procesów morfogenetycznych charakterystycznych dla tej strefy. Klimat nie sprzyja silnemu modelowaniu form starych. Borde (8) twierdzi nawet, że istnieją dobre warunki do konserwacji tych form, których genezę należy odnosić do różnych stadiów rozwoju rzeźby — od starszego trzeciorzędu poczynając. Dzięki temu, w strefie tej, zaznacza się najsilniej poligeniczny charakter rzeźby.

Współczesny wygląd stoków Borde przyrównał do draperii. Określenie to uzasadnione jest charakterem rzeźby, bardzo żywej, ze stokami o stosunkowo dużym nachyleniu, z licznymi rozcięciami erozyjnymi rozdzielonymi przez sterzące grzędy. Wrażenie regularnych fałd draperii potęgowane jest brakiem w krajobrazie jakichkolwiek form zakłócających rytm. Zarówno grzbiety, jak i zbocza, pokryte są stosunkowo grubą warstwą zwietrzliny. Form rzeźby nie maskuje roślinność — rzadki espinal pokrywający te zbocza.

Bardziej szczegółowa analiza form stoków ukazuje ich złożony charakter. Uwagę przykuwają zwłaszcza występujące dość powszechnie załamania spadku. Załamania te i bardzo wyraźnie zachowane spłaszczenie stoku, występujące na różnych wysokościach, są widowym śladem dawnych stadiów rozwoju krajo-

brazu. Można wyróżnić grupy tych form o różnym wieku i genezie. Dla pełnego wyjaśnienia morfogenezy zrównań i spłaszczeń konieczna byłaby szczegółowa analiza geomorfologiczno-geologiczna, dla której brak dostatecznej ilości danych.

Nie ulega wątpliwości, że w ewolucji stoków wielką rolę odegrały ruchy tektoniczne. Na szkicach Brüggena (12) niemal wszystkie linie zboczy otaczających kotliny dorzecza pokrywają się z liniami uskoków. Spotykane w niektórych dolinach rzecznych rozległe spłaszczenia w dolnych częściach zboczy wiążą można z poszczególnymi fazami dźwigania bloku Andów. Wtedy powierzchnie te korespondowały zapewne ze współczesnymi im dnami kotlin podandyjskich. Zrównania szczytowe stanowią ślady starszych faz ewolucji rzeźby.

Mapa geomorfologiczna nie ilustruje złożoności form stokowych, dla których przedstawienia trzebaby znacznie szczegółowszych studiów. Urozmaicające stok formy, znaczone jako młode wcięcia erozyjne, są młode tylko w sensie ich aktualnej aktywności. Wiele z nich powstało w dawnych cyklach morfogenetycznych, a współczesna działalność erozyjna wód płynących w bardzo niewielkim stopniu wpływa na ich rozwój. W dolnych partiach zboczy wcięcia erozyjne przeważnie zanikają w strefie stożków napływowo-usypiskowych. Stożki w większości należą do form starych, stosunkowo dobrze ustabilizowanych, porośniętych roślinnością. Tylko niektóre z nich rozcięte są świeżymi bruzdami erozyjnymi. (fot. VI-1-3). Młode formy akumulacyjne są raczej niewielkie i nie stanowią istotnego elementu krajobrazu.

Zbocza i dna dolin w strefie pogórzy i Kordyliery Nadbrzeżnej noszą wyraźne piętno działania klimatu suchego. Jednakże granica między zboczami i dnami dolin ma często przebieg wyraźny, nietypowy dla strefy półsuchej. Cecha ta jest konsekwencją szybkiego podnoszenia się den dolinnych w wyniku intensywnej akumulacji aluwii znoszonych z wyższych obszarów górskich. Zbocza są obecnie poddane głównie działaniu zmywu powierzchniowego. Jednak nasilenie tego procesu w stosunku do akumulacji dolinnej jest stosunkowo niewielkie,

zwłaszcza w obrębie kotlin położonych na przedpolu Kordyliery Andyjskiej. Ostre załamanie spadku pomiędzy zboczem i dnem doliny bywa często jeszcze podkreślone działaniem erozji bocznej błędzących w aluwiach koryt rzecznych (fot. III-3-7). Takie wypukłe, podcięte w dolnej partii stoki występują we wszyst-



Fot. III-3-7. Kotlina Los Andes.

kich odcinkach przelomowych doliny R. Aconcagua. Charakterystyczne są też dla grzęd i ostróg skalnych wysuwających się ze zboczy na dna dolin rzecznych. Łagodne przejście zboczy w dna dolin towarzyszy formom zwanym „rinconada”. Występuje również tam, gdzie zachowały się resztki pedymentów. Większe powierzchnie zrównań podstokowych ukryte są prawdopodobnie pod aluwiami wypełniającymi doliny, a sięgającymi aż do wypukłej części stoków.

Jednym z najbardziej charakterystycznych zjawisk, świadczących o potędze ostatniej fazy akumulacji, jest występowanie w obrębie den dolin i kotlin skalnych „wzgórz wyspowych”. W dorzeczu R. Aconcagua są to pagóry twardestielowe wyprepa-



rowane niegdyś w wyniku procesów denudacyjnych z cofających się zboczy. Obecnie sterczą one z den dolinnych, odcinając się od nich bardzo wyraźnym załamaniem zboczy. U stóp wzgórz wyspowych brak śladów powierzchni pedymentalnych; mogą być one zagrzebane pod kilkudziesięciometrową nawet warstwą aluwii.

### c. Dna dolin rzecznych i kotlin

W strefie wysokogórskiej ze współczesnymi zjawiskami lodowcowymi obserwuje się na dnach dolin duże bogactwo form związanych z plejstoceniowym i aktualnym zlodowaceniem. Rzadko jednak występują typowe formy glacialne. Przeważnie mamy do czynienia z formami powstałymi w wyniku nakładania się procesów glacialnych, peryglacialnych i ruchów masowych różnego rodzaju.

Współczesne lodowce typu dolinnego zajmują niewielką powierzchnię w południowo-wschodniej części dorzecza. Tylko kilka z nich kończy się czołem, spod którego wypływa uformowana struga wodna. Niektóre lodowce mają wprawdzie wyraźnie zarysowane pole firnowe i jezora lodowcowe, ale powierzchnia jezora jest pokryta grubą warstwą materiału morenowo-usypiskowego, przez co lodowiec nie ma wyglądu typowego. Większość lodowców występuje w postaci zredukowanej i najczęściej pod powłoką skalną. Formy tych nietypowych lodowców różnią się znacznie od klasycznych form wytworzonych przez lodowce typu alpejskiego.

Lodowce z jezorami zasłanymi materiałem skalnym nazywa Lliboutry (28, 29) lodowcami podziemnymi lub przykrytymi (glaciers souterrains, couverts, enterrés) (fot. III-3-8). Moreny czołowe takich lodowców często trudno oddzielić od samego jezora lodowcowego. W czasie regresji lodowców przykrytych pozostają w strefie moreny czołowej znaczne ilości martwego lodu, który w warunkach klimatycznych tej strefy bardzo długo nie ulega stopnieniu (37), a często trwa i rozwija się jako lodowiec „gruzowy” (fot. III-3-9). W niektórych dolinach pozostały

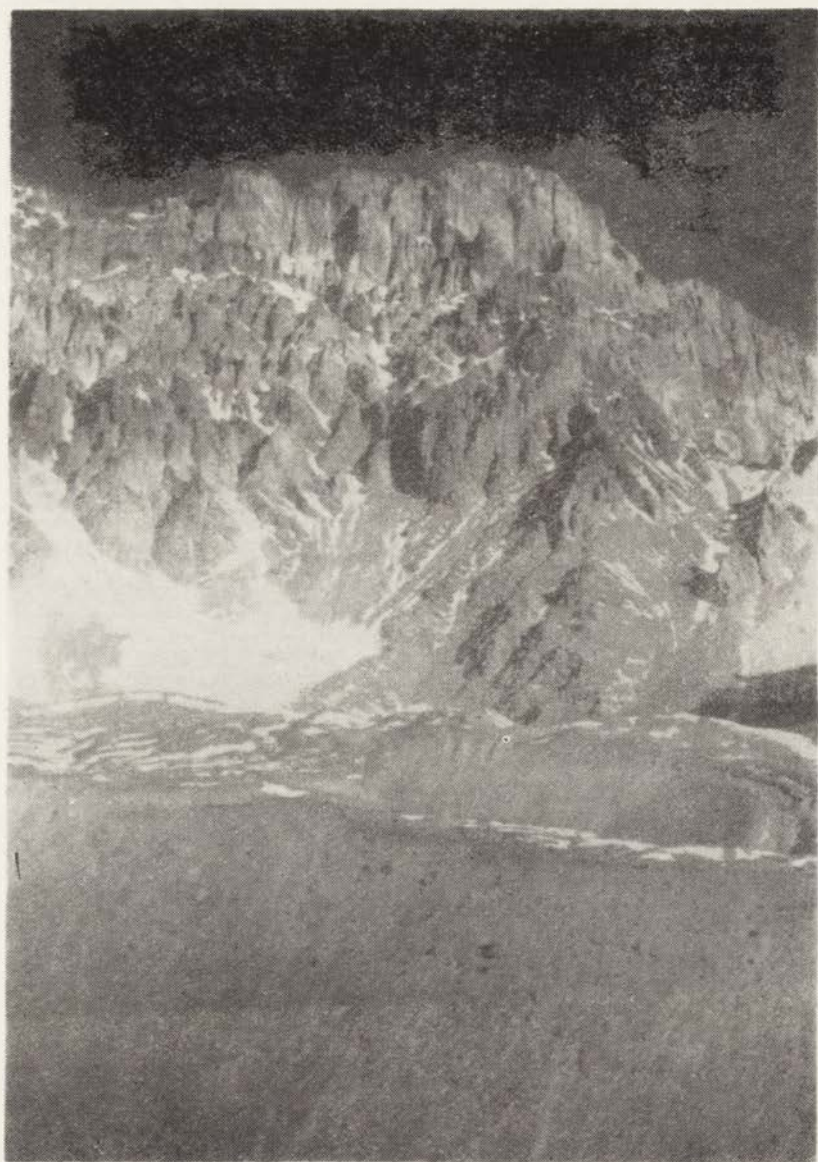




Fot. III-3-8. Górne partie doliny Estero Novarro z rozwiniętymi zjawiskami lodowcowymi. W centrum zdjęcia „lodowiec przykryty”.



Fot. III-3-9. „Lodowiec gruzowy” w dolinie Rio Blanco.



Fot. III-3-10. Czołowa powierzchnia „lódowca pogrzebanego” w Cajon San José.

takie „martwe” lodowce nawet po zaniku pola firnowego, które dawniej zasilało jezior lodowcowy. (fot. III-3-10).

Obecność znacznej ilości lodu w grubej warstwie materiału luźnego sprzyja rozwijaniu się różnego typu zjawisk peryglacialnych (fot. III-3-11) i „paraglacjalnych”. To drugie określe-



Fot. III-3-11. „Gleby smugowe” na powierzchni martwego lodu w Cajon San José.

nie używane jest na oznaczenie zjawisk krioniwalnych, podobnych do peryglacialnych, ale występujących tam, gdzie ani w pobliżu, ani w podłożu nie ma lodowca. W dorzeczu R. Aconcagua różnego rodzaju lodowce „martwe” i zjawiska paraglacjalne mają zasięg dużo szerszy od zjawisk glacialnych klasycznych. Strefa widocznego oddziaływania procesów krioniwalnych sięga zarówno poniżej występowania klasycznych zjawisk glacialnych, jak i do obszarów wzniesionych wysoko, ale otrzymujących małą ilość opadów. Podobne obserwacje poczyniono też w Nowej Zelandii (31).



Duży zasięg pionowy zjawisk związanych z występowaniem lodu w masie utworów luźnych tłumaczyć można specyficznymi cechami klimatu. W szerokiej strefie wysokościowej Andów podczas długiego okresu w ciągu roku temperatury oscylują wokół  $0^{\circ}$ , amplitudy temperatury są znaczne i duża insolacja. W ciągu dnia śnieg na powierzchni łatwo przepuszczalnych utworów topi się, a powstała w ten sposób woda zamarza w ciągu nocy. Zamarzanie jest ułatwione zaleganiem lodu w podłożu.

Bez szczegółowych badań specjalistycznych nie można określić wszystkich form powstałych w wyniku działania wymienionych procesów. Występowanie i klasyfikacja zjawisk lodowo-skalnych jest ciągle jeszcze problemem stosunkowo nowym w literaturze glaciologicznej, stąd nazwy form są nieujednoliczone. W literaturze polskiej niemal brak danych na ten temat, dlatego użyte terminy stanowią przeważnie prowizoryczne tłumaczenie terminów obcojęzycznych.

Sz szczególnie trudne do wyróżnienia na zdjęciu lotniczym, a także w terenie są formy związane z „lodowcem gruzowym amorficznym” (29) (fot. III-3-12) i „lodowcami skalnymi zboczy



Fot. III-3-12. „Lodowiec gruzowy amorficzny” w dolinie Rio Blanco.



doliny” (usypisk zboczowych), opisanymi z terenu Colorado Range (35). Niektóre z tych form powstać mogły w wyniku ruchów masowych przez nagromadzenie dużej ilości materiału luźnego, słabo związanego z podłożem — w tym przypadku z lodem (36). Mogą to być formy złaziskowe i osuwiskowe. W warunkach bardzo silnej działalności sejsmicznej tego obszaru bardzo częste są formy powstałe prawdopodobnie jako osuwiska moreny lodowców pokrytych całkowicie utworami luźnymi. Tego typu zjawiska, znane z Alaski (43), są zapewne w opisywanym terenie stosunkowo powszechne. Ruchy masowe — niezależnie od przyczyny ich powstania — mogą przemieścić materiał skalny nasiąknięty wodą lub zawierający martwy lód. W tym drugim przypadku dalszy rozwój formy może być różny, jak to stwierdzono na Szpicbergenie (9). Obecna faza recesji lodowców w Andach sprzyja szczególnie rozwojowi form złaziskowych i osuwiskowych w strefie zlodzonej (19). Specjalnie trudny jest do wyznaczenia zasięg listew martwego lodu, występujących pod zboczami dolin (fot. III-3-4). Aktywne stożki usypiskowe grzebią te lody tak, że określenie ich granic byłoby możliwe tylko w specjalnych badaniach terenowych.

Wszystkie formy akumulacyjne w dnach dolin zbudowane są z jednakowego niemal materiału, niewysortowanego i nieobrobionego. Jest to wynik stałego zasilania dolin świeżym materiałem ze stożków osypiskowych. Rodzaj materiału nie może więc być brany jako kryterium przy wyróżnianiu form pochodzenia glacialnego. Podobnie zawodne może być kryterium formy na zdjęciu lotniczym. Aktywne formy glacialne ujawniają wprawdzie mniej lub bardziej wyraźne cechy fluidalne, ale podobną postać mogą mieć formy powstałe w wyniku soliflukcji. Niekiedy morena czołowa aktywnego lodowca przedłużona jest przez język soliflukcyjny. Materiał tego języka może jeszcze przemieszczać się w dół doliny jako potok gruzowo-błotny. Istnieją też lodowce gruzowe nie wykazujące niemal śladów ruchu, zalegające się z wyraźnie rozwiniętymi i ustalonymi zespołami stożków usypiskowo-napływowych. W wielu przypadkach analiza zdjęcia lotniczego może dać klucz do rozpo-

znania formy morfologicznej, jednak napotkać też można takie formy lub zespoły form, które przy obecnym stanie rozpoznania terenu stanowią problem trudny do rozwiązania. Są to nagromadzenia utworów luźnych, których sytuacja geomorfologiczna i postać nie pozwalają na zakwalifikowanie do którejkolwiek z wymienionych kategorii.

Poniżej strefy występowania form akumulacji lodowcowej ciągną się często odcinki dolin o szerokim dnie, których zbocza — choć zamaskowane przez stożki — noszą wyraźne piętno morfologii glacialnej (fot. III-3-1). Płaskie dna tych dolin są obszarami akumulacji materiału fluwioglacialnego w dawnych zbiornikach jeziernych. Na istnienie w górnym biegu E. Junca-lillo kilku generacji spłaszczeń dolinnych, rozdzielonych morenami czołowymi, zwrócił uwagę Brüggén (12). On to przypisał im genezę jezierną. Brak większej ilości jezior w tym terenie wskazuje dobitnie na rolę tak akumulacyjną, jak i erozyjną wód schyłkowego okresu epoki lodowej. Niemal wszystkie jeziora zostały częściowo zasypane, a progi ich rozcięte głęboko poniżej poziomu akumulacyjnego dna jeziora.

Charakterystyczną cechą Kordyliery Andyjskiej jest występowanie form akumulacyjnych pochodzenia glacialnego niemal wyłącznie w strefie wysokich gór. W odróżnieniu od obszarów położonych dalej na południe, w dorzeczu R. Aconcagua formy akumulacji glacialnej i fluwioglacialnej w niższych odcinkach dolin uległy niemal całkowitemu zniszczeniu przez wody płynące lub zamaskowaniu przez stożki usypiskowo-koluwalne. Tłumaczyć to można fazą gwałtownej działalności wód płynących w okresie recesji lodowców w połączeniu z kataklizmami wulkanicznymi (8). Przyczyną mogło być także późnoplejstoceńskie zapadanie bloku przedandyjskiego. Wiele dolnych odcinków dolin ma postać kanionów i gardzieli, powyżej których zaznaczają się wyraźne półki skalne — być może pozostałości plejstoceńskiego dna dolin (E. Riecillo, R. Blanco). Brak jest jednak danych, potwierdzających obecność materiału akumulacji glacialnej lub fluwioglacialnej na tych półkach, pokrytych zresztą przeważnie grubą warstwą osypisk. Aktualne dna dolin

rzecznych w Kordyliery Andyjskiej, poza zasięgiem zjawisk glacialnych, są więc zazwyczaj wąskie i ograniczają się do kamieńca, przy niższych stanach wody częściowo wynurzonego i tworzącego wąskie pasma terasy nadzalewowej.

Dna dolin i kotlin poza obszarem Kordyliery Andyjskiej mają różną genezę i wiek. Inną ewolucję przechodziły dna dolin w całości znajdujących się w strefie pogórzy i Kordyliery Nadbrzeżnej. Niemalą rolę musiała odegrać odmienna przeszłość tektoniczna obu obszarów. O długiej i urozmaiconej historii dolin świadczy zachowanie licznych poziomów terasowych. W dolnym biegu R. Aconcagua Caviades (14) wyróżnia trzy systemy teras. Wydaje się jednak, że z hydrologicznego punktu widzenia dna dolin i kotlin można potraktować jako obszar dość jednolity. Przyczyna jednolitości tkwi w opisanej uprzednio budowie geologicznej. Wszystkie te obszary zbudowane są z miększych serii osadów akumulacji wodnej, pochodzących głównie ze skał wulkanicznych.

Utwory powierzchniowe, decydujące o charakterze współczesnych den dolin i kotlin, przytransportowane zostały z wysokich Andów lub z otaczających obniżenia wzniesień. Z wysokich gór dostarczany jest materiał nieco lepiej wysortowany, z pobliskich zaś wzniesień głównie osad wód torrencjalnych, mających niekiedy charakter potoków błotno-gruzowych. Podkreślić jednak należy, że i z wysokich gór rzeki mogą wynosić materiały słabo wysortowane. Przykłady dostarczają utwory terasowe R. Putaendo, w których zwraca ponadto uwagę duży udział frakcji najdrobniejszych. Wyniki badań składu granulometrycznego utworów pobranych z terasy nadzalewowej w Los Patos podano w tabeli III-3-2. Dla porównania zamieszczono też dane o składzie utworów zboczowych, znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie terasy.

Wszystkie czynniki: geologiczne, morfologiczne i klimatyczne sprzyjają bardzo szybkiej akumulacji osadów na dnach dolin i kotlin. Czynniki geologiczne — to słaba odporność większości skał na wietrzenie, ich silne strzaskanie tektoniczne i współczesna ruchliwość sejsmiczna. Do geomorfologicznych

Skład granulometryczny utworów terasowych i zboczowych z okolicy Los Patos

	Frakcja											
	> 10	10-6	6-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	< 0,002
utwory terasowe	21,0	6,0	13,1	5,4	6,5	3,9	6,8	4,9	10,2	7,8	7,2	7,2
utwory zboczowe	5,4	3,8	16,1	7,1	11,0	7,8	11,0	10,0	6,0	5,2	8,3	8,3

należą: niezwykle duże deniwelacje w strefie wysokogórskiej, żywa rzeźba gór otaczających obniżenia, bliskość bazy erozyjnej i bardzo silne załamanie spadku wszystkich rzek wypływających z gór na obszar podgórski. Klimat wysokogórski sprzyja wietrzeniu i ruchom masowym, a klimat półsuchy również akumulacji dolinnej w strefie pogórzy i Kordyliery Nadbrzeżnej.

Ważnym czynnikiem wpływającym na proces akumulacji jest także gospodarka człowieka. Dna dolin i kotlin w dorzeczu R. Aconcagua zajmują stosunkowo niewielki odsetek powierzchni ogólnej, lecz są obszarem, w którym skupia się niemal cała ludność i koncentruje działalność gospodarza. Obszar ten zasiedlony został w czasach przedhiszpańskich, a od około 200 lat jest w całości użytkowany rolniczo. Przekształcenia antropogeniczne datują się najwyżej od kilkuset lat, lecz typ gospodarki prowadzi do znacznych zmian w naturalnym środowisku geograficznym. Zmiany te są wywołane bezpośrednio działalnością ludzką — budową kanałów, sypaniem grobli, niwelowaniem pól oraz pośrednio przez wylesianie zboczy i przez nawadnianie. Sposób gospodarowania wodą sprzyja w szczególności akumulacji substancji mineralnych na terenach uprawnych. Wody rzek górskich obciążone materiałem wleczonym, zawieszonym i rozpuszczonym rozprowadzane są po całym obszarze den dolin i kotlin. W wyniku zabiegów irygacyjnych



niema! cały ładunek wód zostaje osadzony na polach nawadnianych. Jest to zresztą jednym z celów nawadniania, gdyż poprzez kolmatację gleba zostaje wzbogacona w składniki mineralne, a gleby lekkie, kamieniste, łatwoprzepuszczalne poprawiają swe właściwości wodne. Dzięki działalności ludzkiej dna dolin i kotlin mają obecnie niemal jednakowe warunki przepuszczalności, a pierwotne zróżnicowanie powierzchni akumulacyjnych zostało już nie tylko zamaskowane, ale w dużym stopniu zlikwidowane.

W obrębie den dolin i kotlin element wyróżniający się stanowi terasa zalewowa, osiagająca nawet 1,5 km szerokości. Pierwotnie miała ona głównie charakter kamieńca i była niemal w całości corocznie przekształcana w okresie wezbrań. Poszukując terenów nadających się pod uprawę sięgnięto, po zagospodarowaniu teras nadzalewowych, po tereny położone w obrębie terasy zalewowej na nieco wyżej wzniesionych „kępach”. Proces stopniowego wkraczania obszarów uprawnych na teren kamieńca doprowadził do zajęcia pod uprawę wszystkich niemal wzniesień w łóżyskach rzek. Użytkownicy starają się poprzez nawadnianie poprawić gleby tych obszarów. Występujące okresowo na R. Aconcagua katastrofalne wylewy powodują z reguły niszczenie urządzeń nawadniających, a często prowadzą do zmian łóżyska małej wody, pochłaniając i rozmywając użytkowane rolnicze „kępy”.

Szczególnym elementem krajobrazu obszarów poza strefą Kordyliery Andyjskiej są formy zwane „rinconada” (od hiszpańskiego rincón — kąt, zakątek). Są to jakby szerokie zatoki płaskich den dolin i kotlin, wrzynające się w zbocza i stoki. Depresje zboczy, które dały im początek mogły mieć różną genezę. Zapewne dużą rolę grała predyspozycja tektoniczna i litologiczna. Formą wyjściową mogła być dolina założona na wychodniach skał o małej odporności lub obniżenie tektoniczne. Szerokość i półkolisty zarys wielu depresji nasuwa przypuszczenie, że mogły być one we wczesnych stadiach rozwoju „zatkami pedymentalnymi”.

Intensywna akumulacja aluwiów w dolinach prowadzą-

cych wody z obszaru wysokich Andów powodowała szybkie podwyższenie lokalnych baz erozyjnych dolinek uchodzących do depresji. Przyczyną zmian bazy erozyjnej mogła być też tektoniczna ruchliwość omawianego obszaru. W warunkach klimatu półsuchego dna depresji wypełniane były szybko materiałem stożków torrencjalnych i osadami koluwalnymi. W górnych partiach „rinconadas” można niekiedy wyróżnić jeszcze wyraźne zespoły stożków biorących początek z licznych suchych rozcięć erozyjnych. Zmniejszanie natężenia procesów denudacyjnych na stokach przy stale silnej akumulacji na dnach dolin doprowadziło do wyrównania powierzchni „rinconadas”, kształtowanych w coraz większym stopniu przez procesy spływu powierzchniowego. Obecnie powierzchnie te określane przez Borde'a jako „glacis colluviaux” są dość wyrównane. Młode wcięcia erozyjne słabo zaznaczają się na powierzchni „rinconadas”. Najczęściej głębokość ich nie przekracza kilkudziesięciu centymetrów w górnych partiach, gdzie następuje koncentracja spływu powierzchniowego z okolicznych stoków. W niższych partiach „rinconadas” nieużytkowanych rolniczo, zachowane są rozdzielające się i łączące anastomatycznie płytkie koryta cieków okresowych. Duże ilości słabo sortowanego materiału, zniesionego ze stoków przez wody torrencjalne i przykrywające „rinconadas” stanowiąc mogą pojemne zbiorniki, w których ginie woda prowadzona przez epizodyczne ciek.

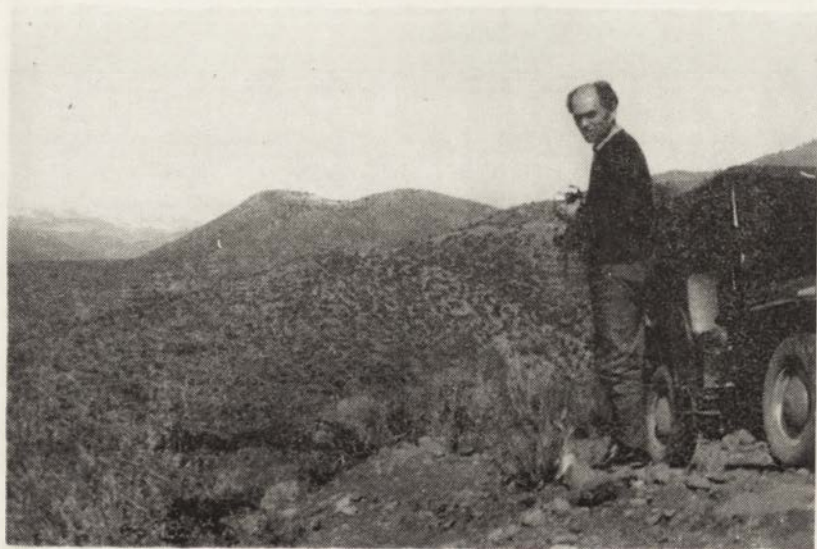
„Rinconadas” są zajmowane pod uprawę wszędzie tam, gdzie można na nie grawitacyjnie doprowadzić wodę. Niektóre z nich są nawadniane na całej powierzchni, inne tylko w częściach niższych. Obszary systematycznie nawadniane wzbogacają się poprzez kolmatację we frakcje najdrobniejsze i ulegają przekształcaniu podobnie, jak właściwe dna dolin.

#### 4. SZATA ROŚLINNA

Roślinność środkowego Chile zaliczana jest do antarktycznego państwa roślinnego. Skład florystyczny zbiorowisk roś-

linnych występujących w tej części Chile jest specyficzny dla tego tylko regionu, inny niż w całym państwie neotropikalnym i odznacza się dużym bogactwem gatunków (33, 47). Dorzecze R. Aconcagua należy według przyrodników chilijskich do „prowincji mezomorficznej”. Wyróżniono tu następujące formacje roślinne: Estepa con *Acacia caven* — step z akacją *caven*, Formacion de los matorrales arborescentes de la Cordillera de la Costa — wysoki matorral Kordyliery nadbrzeżnej, Matorral espinoso subandino — matorral kolczasty subandyjski, Formacion xeromorfica andina — formacja kseromorficzna andyjska. Stosunkowo niewielkie powierzchnie dorzecza zajmują formacje: Estepa costera de arbustos i hierbas mesofitos — step nadbrzeżny z krzewami i mezofizycznymi roślinami zielnymi, Estepa andina — step andyjski.

Większość wymienionych formacji ma wygląd rzadkich lub gęstych krzaczastych zarośli. Na siedliskach niedogodnych krzewy rosną zdala od siebie, na siedliskach uprzywilejowa-



Fot. III-4-1. Dorzecze Estero Pocuro. Wyższe partie stoków porośnięte rzadkim matorralem.

nych roślinność zbliża się pokrojem do karłowatego lasu z bogatym podszyciem. Wyznaczenie zasięgu poszczególnych formacji następuje duże trudności z powodu bardzo daleko idącego wyniszczenia przez człowieka roślinności pierwotnej, zubożenia jej poprzez wyłączenie niektórych gatunków o większej wartości ekonomicznej i poprzez wycinanie dorodniejszych okazów gatunków powszechnie spotykanych.

Wszystkie formacje — oprócz wysokogórskiej i nadbrzeżnej — łączy wspólna cecha. Można wyróżnić w nich trzy warstwy: krzewów oraz niskich drzewek, podszycia i runa. Z reguły krzewy i drzewa nie tworzą w żadnej z formacji zwartej pokrywy, podszycie i runo też rosną rzadko, często kępami, pomiędzy którymi pozostają płyty nagiej ziemi (fot. III-4-1). Im większe uprzywilejowanie siedliska pod względem zasobności w wodę, tym więcej okazów może osiągnąć postać drze-



Fot. III-4-2. Matorral w dolinie Estero Pocuro. Na uprzywilejowanych siedliskach bliżej łożyska potoku widoczne formy drzewiaste.





Fot. III-4-3. Bogaty matorral w niższych partiach doliny Estero San Francisco.

wiastrą (fot. III-4-2). Tylko wyjątkowo, najczęściej na zboczach i dnach bardziej niedostępnych dolin, i to tych tylko, które są wyraźnie wilgotne, roślinność wszystkich warstw staje się bardziej zwarta (fot. III-4-3), aż do wytworzenia niskiego, trudnego do przebycia lasu z obfitym udziałem krzewów, najczęściej kolczastych. Z reguły jednak zbocza i grzbiety porasta rzadka roślinność krzewiasta. Najważniejsze odmiany warstwy krzewiasto-drzewiastej to:

*Acacia cavenia* — espino

*Lithracea caustica* — litre

*Peumus boldus* — boldo

*Quillaya saponaria* — quillay (kwilaja — drzewo mydlane)

*Cryptocarya alba* — peumo

*Colliguaya odorifera* — colliguay

*Kagenckia oblonga* — boyen, bollén

*Porlieria chilensis* — guayacan

*Maytenes boaria* — maitén

*Proustia pungens* — huañil

*Trevoa trinervis* — trevo

*Prosopis juliflora* — algarrobo (jadłoszyn)

*Schinus latifolius*, *Schinus dependens* — molle

Postać drzewiastą w dogodnych warunkach osiągają najczęściej: litre, boldo, peumo i maiten. Poza wyżej wymienionymi, jako stałe składniki wszystkich (poza wysokogórską) formacji spotyka się *Cereus chilensis* (quisco), osiągający niekiedy do 5—6 m wysokości (fot. III-4-4), różne gatunki opuncji (tuna), *Echinocactus* (sandillon), osiągający do 1 m średnicy. W dogodnych warunkach siedliskowych, szczególnie w strefie bliższej Oceanu, występują z bromeliowatych — *Puya chilensis* i *Puya coarctata* (puya), jeden z gatunków „bambusa chilijskiego” — *Chusquea parvifolia* (colihue) oraz liczne gatunki starców — *Senecio* (hualtata). W dolnej partii doliny R. Aconcagua zachowały się resztki formacji rzadkiego lasu palmowego z podszyciem zbliżonym do stepu z *Acacia cavenia*. Rośnie tu palma *Jubaea Chilensis*.

Formacje roślinne występujące na tym terenie mają zasięgi



Fot. III-4-4. Kaktusy „quisco” na zboczach doliny Estero El Cobre.

bardzo skomplikowane, mozaikowe, przy czym dominującym czynnikiem ich zróżnicowania jest ilość dostępnej wilgoci. Do wysokości 1300—1500 m rola wzniesienia i warunków termicznych jest trudna do stwierdzenia. Nawet w wyższych partiach, gdzie corocznie pada śnieg i zalega często przez kilka tygodni, występują potężne okazy quisco i sandillon. W dolnej części doliny R. Blanco i na dnie doliny R. Aconcagua na wysokości około 1500 m skrawki terenu zajmuje las, w którym drzewa quillay osiągają ponad 20 m wysokości.

Charakterystyczną cechą większości roślin runa — we wszystkich formacjach roślinnych tego terenu — jest bardzo szybki rozwój związany z koniecznością wykorzystania krótkiego okresu pory wilgotnej. Rośliny runa wykazują jeszcze większą wrażliwość na warunki wodne niż rośliny wyższych pięter. W miejscach wilgotnych występuje runo złożone z wielkiej ilości gatunków, w większości charakterystycznych tylko dla zachodnich stoków Andów. Jednak na całym niemal terenie dorzecza warstwa runa jest silnie zubożana, wyniszczeniu



oparło się niewiele gatunków. Na stokach wzgórz dominuje często trawa *Vulpia* (cola de raton — mysie ogony), uważana przez ludność miejscową za bardzo słabą paszę dla bydła (pasto delgado). Na siedliskach mniej niszczonej występują lokalne gatunki ostnic (*Stipa*) i kostrzew (*Festuca*) oraz rodzaju *Nasella* — (cepilla). To bardzo silne zniszczenie podszycia i runa matorralu powoduje, że zbocza wzgórz są narażone na intensywną erozję gleb.

Powyżej piętra formacji krzewiasto-drzewiastych, matorralu, występuje formacja kseromorficzna andyjska, na tym terenie niezmiernie fizjonomicznie zróżnicowana. Na dnach dolin i na osłoniętych częściach stoków względnie ustalonych rośnie jeszcze niekiedy roślinność krzewiasta, m.in. *Fabiana imbricata* (pichi). Najbardziej jednak dla tej formacji charakterystyczne są rośliny poduchowate — „llaretas” i rośliny kępiaste. „Llaretas” występują zarówno w siedliskach suchych — tam rosną *Laretia acaulais*, kilka gatunków *Azorella* i in. — jak i w miejscach wypływu wód podziemnych na powierzchnię (vegas, vegas con lagunillas), gdzie spotyka się np. *Oxychloe andina*, *Scirpus hieronymii* i in. (fot. III-4-5). Zarówno na obszarach łąk górskich podmokłych (vegas) jak i suchych hal, gdzie roślinność rozwija się niezmiernie szybko tuż po stajaniu śniegu, występują lokalne gatunki ostnic i kostrzew. Od tych ostatnich ludność miejscowa nazywa te hale „coiron”.

Wyniszczenie roślinności pierwotnej rozpoczęło się, na tym terenie zapewne jeszcze przed konkwistą. Najpierw uległa człowiekowi roślinność na dnie doliny R. Aconcagua. Roślinność pierwotna została tu wytępiona zupełnie i obecnie trudno stwierdzić, jakie zbiorowiska roślinne zajmowały te tereny. Jednak występowanie daleko na południu gatunków, które zachowały się w szczątkowych płatach lasu Fray Jorge i Tallinay nad Limari, pozwala przypuszczać, że mogły one występować również w dolinie R. Aconcagua. Chodzi tu głównie o *Drimys Winteri* (canelo), *Aexotoxicon punctatum* (olivillo) i *Nothofagus obliqua* (roble), których obecny północny zasięg nie przekracza działu R. Aconcagua. Jedyna, piękna palma





Fot. III-4-5. Dolina Estero Blanco, dopływu Rio Colorado. Roślinność poduchowata „llaretas” i trawiasta towarzyszy wypływowi wód podziemnych w strefie pozbawionej niemal pokrycia roślinnego.

chilijska, *Jubaea chilensis*, rosła dawniej powszechnie na stokach niższych wzgórz. Wycinana w celu pozyskania słodkiego soku (miel de palma), zachowała się w niewielu okazach w okolicy Ocoa (26).

Niszczenie roślinności drzewiastej przybrało już w okresie kolonialnym formę tak gwałtowną, że w 1557 r. w okolicy Santiago nakładano ogromną karę — 50 sztuk złota — za wycięcie drzewa bez pozwolenia władz. Niestety, zarządzenia nie były potem respektowane. Niszczenie roślinności trwa do dzisiaj. Przede wszystkim intensywnie wypasane są wszystkie tereny nieuprawiane od wybrzeży Oceanu po najwyższe hale górskie. Szczególnie silne jest niszczenie roślinności drzewiastej na opał, gdyż na wsi chilijskiej chrust i suszony nawóz są jedynym materiałem opałowym. Wycinanie krzewów i zwożenie chrustu do wsi stanowi podstawowe zajęcie najuboższych właścicieli zwierząt jucznych. Użytkowane są przede wszystkim krzewy litre, espino i quillay — głównie dlatego, że jest ich obecnie najwięcej. Pomimo pewnych prób reglamentacji w niektórych gminach (jedna „carga” muła na gospodarstwo na tydzień) ogoławanie zboczy prowadzi nieuchronnie do zwiększenia intensywności procesów zmywu powierzchniowego i rozwoju wcięć erozyjnych. Matorral, dawniej bogaty w gatunki, na dużych obszarach zmienił się wskutek wieloletniego niszczenia w kolczastą niską formację prawie bez podszycia i runa, zwaną „espinal”. Rosną w nim głównie krzewy litre, espino, boldo i bollén. Na pogórzach andyjskich przeważa niekiedy colliguay i bollén. Jeszcze bardziej kolczasta jest roślinność zboczy górskich w większych wysokościach, gdzie pojawia się m.in. *Colletia spinosa* (chacai), więcej krzewów huamil i trevo, oraz w dużych ilościach kaktusy.

Hale górskie wypasane są także intensywnie, szczególnie w okresie, gdy po zejściu śniegów następuje gwałtowny rozwój roślinności. Poduchowate llaretas eksploatowane są powszechnie na opał, a pasterze andyjscy mają zwyczaj zapalania krzewów „dla obrony przed pumą” (która tu właściwie już się nie pojawia), często po prostu z nudów.

Wyniszczenie roślinności pierwotnej w pewnym stopniu usiłuje się zrekompensować przez sadzenie drzew obcych, głównie australijskich eukaliptusów oraz europejskich wierzb i topoli. Rosnąc głównie wzdłuż dróg i kanałów, stanowią one główne źródło zaopatrzenia w drewno dla celów budowlanych.

## 5. WPLYW CZYNNIKÓW TERENOWYCH NA OBIEG WODY

Warunki terenowe wpływają pośrednio i bezpośrednio na krążenie wody. Oddziaływanie pośrednie odbywa się głównie poprzez klimat, którego elementy uzależnione są od hipsometrii i rzeźby terenu. Zagadnienia te są treścią następnej części pracy, tutaj ograniczymy się do omówienia oddziaływania bezpośredniego. Wielkie urozmaicenie rzeźby i budowy geologicznej dorzecza R. Aconcagua stwarza bardzo różnorodne warunki dla spływu i wsiąkania wody oraz dla jej krążenia podziemnego.

### A. Spływ i wsiąkanie

Duże spadki terenu sprzyjają spływowi powierzchniowemu, wielkość spływu jednakże jest silnie zróżnicowana w przestrzeni i w czasie. O różnicach przestrzennych decyduje, oprócz rzeźby, przepuszczalność podłoża. Tam, gdzie na powierzchni występuje skała lita, spływ powierzchniowy może osiągać znaczne nasilenie. Nagromadzenie skał luźnych, nawet na stokach o dużych nachyleniach mocno ogranicza spływ. Jaskrawe kontrasty występują w wysokogórskiej części dorzecza, na co wskazuje rozmieszczenie form erozyjnych. Na skalistych stokach liczne bruzdy erozyjne są dziełem spływających po powierzchni wód. Wiele takich form kończy się stożkami napływowymi przy górnej linii strefy zasypania i nie ma przedłużenia w dolnej części stoków. Wskazuje to na przenikanie wody w luźne utwory powierzchniowe. Mimo wielkich spadków infiltracja wód jest znaczna, co niewątpliwie ma związek z formą opadów. Zasilanie w strefie wysokogórskiej



odbywa się z topniejących śniegów, a proces topnienia nie osiąga takiej intensywności, jak opad. W niższych górach, gdzie występują deszcze, może zachodzić duży spływ powierzchniowy, wywołany opadami typu burzowego, nawet na stokach pokrytych utworami luźnymi. Jednak także w tej strefie bardzo wyraźnie się zaznacza wpływ rodzaju podłoża na warunki wsiąkania.

Załączone mapy geomorfologiczne pozwalają na wyróżnienie w obrębie dorzecza dosyć wyraźnie zarysowujących się prowincji o różnych zespołach form, kształtujących warunki spływu i wsiąkania. W poszczególnych prowincjach wyodrębnione typy form mogą się powtarzać, lecz różne są proporcje zajętych przez nie powierzchni i różnie mogą one oddziaływać na obieg wody w zależności od cech klimatu.

W strefie wysokogórskiej ze zjawiskami lodowymi stosunkowo duże powierzchnie zajmują skały bez pokrywy zwietrzelinowej. W obszarze tym warunki sprzyjające wsiąkaniu istnieją tylko w miejscach silnego spękania skał. Poza tym występują lodowce odkryte i pokryte utworami luźnymi, utwory akumulacji glacialnej, nieskonsolidowane stożki usypiskowe oraz stoki i zbocza pokryte grubą warstwą zwietrzliny. Rozległe powierzchnie utworów łatwo przepuszczalnych, bądź wiążących wodę z opadów, sprzyjają dużej retencji powierzchniowej i podziemnej. Dzięki warunkom klimatycznym spływ powierzchniowy w tej strefie może formować się tylko w wyjątkowych wypadkach.

W strefie wysokogórskiej bez zjawisk lodowych dominującymi typami powierzchni są stoki pokryte zwietrzeliną i zespoły stożków usypiskowo-napływowych. Stoki skalne występują powszechnie, ale zajmują niewielkie powierzchnie. Niższe partie stoków są częściowo ustalone przez roślinność. Warunki klimatyczne determinują spływ powierzchniowy w okresie jesieni i wiosny, a charakter podłoża sprzyja tworzeniu się potoków gruzowo-błotnych i osuwisk. Duże nachylenie stoków może w warunkach gwałtownego topnienia śniegów lub na-



walnego deszczu doprowadzić do spływu powierzchniowego nawet na bardzo przepuszczalnym podłożu.

W obszarze pogórzy i Kordyliery Nadbrzeżnej przeważają stoki pokryte zwietrzeliną i porośnięte rzadkim matorralem. Stoki skalne, jak i nieskonsolidowane stożki nasypowo-napływowe zajmują małe odsetki powierzchni. Stosunkowo liczne są spłaszczenia grzbietowe i wysoko wzniesione terasy. Okresowo występujące gwałtowne spływy powierzchniowe powodują intensywny transport materiału, zwykle na niewielkie odległości. Stoki gór noszą liczne ślady tej działalności w postaci głębokich rozcięć i stożków, zbudowanych z niewysortowanego materiału. Rozwojowi erozji sprzyja brak zwartej pokrywy roślinnej, a jej efektywność zależy od ilości i charakteru opadu. Ogromna zmienność opadów z roku na rok sprawia, że stosunek ilości wody spływającej do wsiąkającej ulega wielkim wahaniom.

Na dnach dolin i kotlin oraz w obrębie form „rinconadas” istnieją dobre warunki wsiąkania, wywołane małymi nachyleniami i obfitością utworów przepuszczalnych. Do naturalnych warunków gospodarka ludzka dodała urządzenia, które zmniejszają spływ, a wzmagają wsiąkanie.

## B. Warunki krążenia wód podziemnych

Warunki krążenia wód podziemnych związane są ściśle z budową geologiczną. Stosunkowo słabe rozpoznanie geologiczne w obrębie dorzecza nie pozwala na ustalenie dokładnej regionalizacji hydrogeologicznej. Można jednak wydzielić pewne obszary charakteryzujące się odrębnymi warunkami występowania wód podziemnych w zależności od całego kompleksu cech środowiska.

W Kordylierze Andyjskiej przewaga utworów powierzchniowych łatwo przepuszczalnych, ogromne spękanie tektoniczne skał, występowanie skał porowatych (tufy, tufity) i krasowiejących (gipsy, wapienie), wszystko to ułatwia przenikanie wód do zbiorników podziemnych. Przenikanie to zahamowane

jest tam, gdzie pod utworami luźnymi występują większe masy lodu. Woda wsiąkająca wiązana jest w lód i uwalniana zgodnie z tempem topnienia lodów. Po uwolnieniu woda ta jednak tylko w części wydostaje się na powierzchnię, część jej zaś penetruje w głąb. Drogi krążenia wód podziemnych w tym rejonie są całkowicie nieznanne, brak bowiem jakichkolwiek badań hydrogeologicznych. Bardzo silne rozcięcie dolinami rzek sprzyja intensywnemu drenowaniu zbiorników podziemnych. O ich zasobności świadczy mnogość źródeł i wysięków występujących w dolinach rzek.

Źródła związane są przeważnie z dnami dolin. Zasypane materiałem luźnym stoki i zbocza przewodzą wodę podziemnie, a wypływy koncentrują się w osiach dolin, często w samym korycie rzeki. Większość wypływów, zwłaszcza w północnej części dorzecza, ma niewielkie wydajności, do kilku litrów na sekundę. O wzroście przepływu w dół biegu decydują głównie źródła korytowe. W wysokich górach, gdzie wegetacja roślin jest bardzo uboga, miejsca wypływu wód podziemnych stwarzają korzystniejsze warunki dla życia roślin. Dzięki temu wokół wypływów rozwija się roślinność, nadając im charakter młak.

Źródła o znacznych wydajnościach, rzędu od kilkunastu litrów do kilku (lub więcej) metrów sześciennych na sekundę występują z reguły u wylotu dolin bocznych. Najsilniejsze źródła grupują się w południowo-wschodniej części dorzecza. Do największych, zarejestrowanych w czasie badań terenowych wypływów, należą źródła w górnym odcinku doliny R. Juncal, poniżej wylotu doliny E. de Los Monos de Agua (fot. III-5-1). Zajmują one rozległy obszar w dnie doliny, robiący wrażenie ogromnej młaki. Cały teren, pokryty mchami i roślinnością trawiastą jest podmokły i dostępny tylko po przemarznięciu gruntu. Wśród roślinności odsłaniają się liczne małe powierzchnie wodne, niektóre silnie pulsujące. W tę podmokłą powierzchnię wcięte jest koryto rzeki na głębokość do 2 m. W korycie występują również liczne wypływy, zalewane w okresie wyższych stanów, a odsłonięte w okresie ni-



Fot. III-5-1. Wyflwy wód podziemnych na powierzchnię u zbiegu dolin Estero Monos del Agua i Rio Juncal. Roślinność nadaje wyflwowi charakter młaki.

zówki. Dokoła wznoszą się zbocza doliny silnie zasypane i zupełnie bezwodne. Poniżej tego obszaru źródliskowego w dolinie górnego R. Juncal aż do ujścia E. Navarro istnieją dość liczne wpływy, ale o znacznie mniejszych wydajnościach.

Obfite wpływy występują w dwóch miejscach doliny E. Navarro. Jedne znajdują się przy wylocie bocznej doliny E. San José w rozszerzeniu doliny głównej, zwanym La Lagunilla. Ujściowy odcinek doliny E. San José został zablokowany utworami morenowymi i przypuszczalnie zagrzebanym w nich martwym lodem. Bardzo silne wywierzyisko usytuowane jest na dnie doliny głównej. Drugi, mniej obfity wpływ znajduje się w rozcięciu erozyjnym moreny. Sama dolina E. San José, rozległa i rozgałęziona, z licznymi, pokrytymi gruzem lub od-



słoniętymi masami martwego lodu, jest bezwodna. Położenie źródeł i brak rzeki w dolinie nasuwają wnioski o podziemnym odwodnieniu doliny, z której wody wydobywają się dopiero w wywierzyiskach. Nie można też wykluczyć odwodnienia typu krasowego, na co wskazuje oprócz charakteru wypływu, także materiał skalny otaczających gór, wśród którego dużą rolę odgrywają marmury, wapienie i gipsy.

W dolnym odcinku doliny E. Novarro, w pobliżu jej wylotu do doliny R. Juncal znajduje się drugi zespół obfitych źródeł. Na niewielkim stożku przy samym korycie potoku można wyróżnić 9 miejsc skoncentrowanego wypływu. Źródła nie są położone przy ujściu bocznej doliny i występowanie ich należy wiązać raczej z przebiegiem spękań tektonicznych.

Silny wypływ istnieje w dolinie R. Juncal u wylotu doliny E. de los Ojos de Agua, tuż przy szosie do Portillo. Powyżej wywierzyiska boczna dolina jest mocno zasypana materiałem luźnym. Młode stożki nasypowe są niemal pozbawione śladów wody płynącej. Tylko w osi doliny płynie na krótkim odcinku niewielki potok ze źródła położonego około 80 m powyżej wywierzyiska. Źródło to stanowi wypływ potoku, który odwadnia górną część doliny, a w jej środkowej części płynie podziemnie.

Wszystkie opisane zespoły źródeł mają duże wydajności, rzędu co najmniej kilku metrów sześciennych. Rozmieszczenie ich wskazuje na rolę form dolinnych wypełnionych luźnymi utworami w odwodnieniu podziemnym. Wydajność i charakter źródeł nasuwa też przypuszczenie o znaczeniu spękań tektonicznych w krążeniu podziemnym wód. W strefie największych zaburzeń tektonicznych uskoku brzeżnego Kordyliery Andyjskiej istnieją prawdopodobnie warunki do wydobywania się na powierzchnię wód z dużych głębokości. Wskazują na to źródła termalne i mineralne (Baños de Jahuel, San Esteben, El Barro, La Totorá).

Wzniesienia Kordyliery Nadbrzeżnej nie odznaczają się bogactwem wód podziemnych. Wprawdzie rodzaj skał i ich spękanie oraz przepuszczalna zwietrzelina sprzyjają przenikaniu



wody w głąb, ale zasilanie wodami opadowymi jest małe. Długotrwałe deszcze o małej intensywności występują rzadko, zaś opady nawalne wywołują przede wszystkim spływ powierzchniowy. Małe ilości wody przenikające niegłęboko w utwory pokrywowe ulegają następnie wyparowaniu i transpiracji. Na obfitsze zbiorniki wód podziemnych można natrafić w tych terenach na liniach większych spękań tektonicznych.

Do obszarów najbogatszych w wody podziemne należą kotliny i doliny większych rzek. Formy te wypełnione są utworami aluwialnymi o różnej, często dużej miąższości (profile studni wierconych przedstawiono na końcu rozdziału). Mała ilość wierceń nie pozwala na dokładniejsze określenie tej miąższości. W kotlinie San Felipe najgłębsze wiercenie — 86 m — nie sięgnęło podłoża skalnego, a w innym miejscu (Los Andes) dotarło do niego na głębokości 56,5 m. Te znaczne głębokości podłoża sąsiadują z wyłaniającymi się spośród aluwii wzniesieniami skalnymi. Wskazuje to na duże urozmaicenie powierzchni podłoża, a zatem i na zróżnicowaną miąższość utworów luźnych.

Utwory te odznaczają się też dużą różnorodnością, wynikającą ze zmienności i warunków osadzania. Przeważają osady słabo wysegregowane, w których żwiry zmieszane są z piaskiem i łem. Oprócz nich występują warstwy dobrze przemytych utworów gruboziarnistych, jak również utworów jednorodnych bardzo drobnoziarnistych. Te ostatnie oraz niektóre słabo wysortowane osady na przykład typu potoków błotnych, są praktycznie nieprzepuszczalne. Zmienność utworów ilustrują załączone profile wierceń hydrogeologicznych.

Rozmieszczenie osadów cechuje również wielka nieregularność stanowiąca konsekwencję nakładania się na siebie utworów dalekiego transportu z gór oraz z pobliskich stoków, ruchliwości tektonicznej terenu w okresie osadzania się utworów luźnych, a także ukształtowania obszarów akumulacji (rozszerzenia i zwężenia dolin, różna wielkość i kształt kotlin).

Wymienione cechy aluwii wypełniających kotliny i doliny rzek rzutują na obfitość i charakter występowania wód pod-

ziemnych. Liczne są lokalne poziomy wód o zróżnicowanej zasobności w wyklinowujących się utworach przepuszczalnych. Notuje się też istnienie przepuszczalnych utworów całkowicie pozbawionych wody na skutek pełnej izolacji warstwami nieprzepuszczalnymi. Nie brak też rozległych i bardzo bogatych zbiorników podziemnych. Duże wydajności jednostkowe studni czerpiących z tych poziomów, przekraczające  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  na 1 m depresji, wskazują na wielką zdolność filtracyjną utworów.

Zasobność poziomów wodonośnych zależy od sposobu ich zasilania. Głównym dostawcą wód są rzeki wypływające z wysokich Andów. Utwory luźne kotlin podgórskich chłoną wodę z koryt tych rzek oraz zasilane są drogą podziemną z aluwii dolin rzecznych. Znacznie mniejszą rolę w alimentowaniu zbiorników podziemnych odgrywa bezpośrednio przenikanie wód spływających ze stoków otaczających kotliny. Istnieje też prześiakanie wód irygacyjnych rozprowadzanych nieuszczelnianymi doprowadzalnikami na pola.

#### PROFILE GEOLOGICZNE STUDNI WIERCONYCH

##### 1. LOS ANDES, CALLE LARGA. STUDNIA NIEEKSPLOATOWANA

- 0,0 — 0,5 m gleba
- 0,5 — 2,8 m kamienie, rumosz
- 2,8 — 4,0 m kamienie, rumosz, piasek
- 4,0 — 7,2 m kamienie, rumosz, piasek, glina
- 7,2 — 10,5 m glina, kamienie, rumosz
- 10,5 — 11,2 m kamienie, rumosz, piasek
- 11,2 — 12,4 m kamienie, rumosz, trochę gliny
- 12,4 — 13,9 m kamienie, rumosz, piasek
- 13,9 — 15,0 m kamienie, rumosz, trochę gliny
- 15,0 — 17,0 m kamienie, rumosz, piasek, trochę gliny
- 17,0 — 24,0 m kamienie, rumosz, glina
- 24,0 — 34,5 m rumosz, kamienie, glina
- 34,5 — 39,8 m zwietrzelina skalna ze zwartą gliną

- 39,8 — 45,2 m zwietrzelina skalna, konglomerat ze zwartą  
gliną
- 45,2 — 49,0 m zwietrzelina skalna zwartą
- 49,0 — 49,5 m zwietrzelina skalna szaro ołowiana
- 49,5 — 53,8 m zwietrzelina skalna różowa
- 53,8 — 56,5 m zwietrzelina mniej zwietrzała, nieco wody
- 56,5 — 59,8 m skała lita

2. SANTA MARIA, FUNDO JAHUEL. ROK BUDOWY 1954

- 0,0 — 7,2 m gruby żwir, piasek i kamienie
- 7,2 — 36,2 m glina żwir i piasek
- 36,2 — 39,0 m przemyty piasek 1 poziom wodonośny
- 39,0 — 39,6 m glina ze żwirem
- 39,0 — 39,8 m glina ze żwirem
- 41,6 — 50,6 m konglomerat, glina, żwir i piasek
- 50,6 — 51,9 m gruby przemyty piasek ze żwirkiem  
2 poziom wodonośny
- 51,9 — 56,0 m konglomerat, glina żwir i piasek
- 56,0 — 57,3 m gruby piasek i żwirek przemyty  
3 poziom wodonośny
- 57,3 — 59,3 m konglomerat, glina, piasek i żwirek
- 59,3 — 61,3 m gruby piasek i żwirek przemyty  
4 poziom wodonośny
- 61,3 — 64,3 m glina i żwirek z piaskiem
- 64,3 — 69,0 m konglomerat, glina i gruby piasek
- 69,0 — 73,0 m gruby piasek i żwirek przemyty  
5 poziom wodonośny
- 73,0 — 78,2 m konglomerat, glina, piasek i żwirek
- 78,2 — 81,2 m piasek i żwir ostrokrawędzisty
- 81,2 — 82,0 m konglomerat
- 82,0 — 82,2 m zielona glina
- 82,2 — 83,6 m skała formacji porfirowej

3. SANTA MARIA (COMO) FUNDO JAHUEL. ROK BUDOWY 1955

- 0,0 — 11,8 m żwir i piasek z kamieniami
- 11,8 — 14,0 m konglomerat gliniasty (woda)



14,0 — 19,0 m	konglomerat gliniasty z rumoszem	} poziom wodonośny
19,0 — 24,0 m	rumosz ze znaczną ilością piasku	
24,0 — 25,0 m	glina i drobny rumosz	
25,0 — 28,0 m	rumosz z piaskiem, trochę gliny	
28,0 — 32,0 m	rumosz z gliną	
32,0 — 32,6 m	rumosz z piaskiem	
32,6 — 33,5 m	rumosz gruby i piasek, trochę gliniasty	

4. SANTA MARIA, FUNDO JAHUEL. ROK BUDOWY 1960

0,0 — 21,0 m	brak danych
21,0 — 22,5 m	ił, glina
22,5 — 42,3 m	glina, drobny i gruby piasek
42,3 — 45,3 m	glina
45,3 — 51,0 m	piasek, żwir i głązy
51,0 — 65,0 m	glina, nieco piasku
65,0 — 68,0 m	piasek, żwirek
68,0 — 75,0 m	glina

poziom statyczny 37,6  
maksymalna wydajność 38 l/sek  
depresja 7,4 m

5. SAN FELIPE, CALLE 12 DE FEBRERO. ROK BUDOWY 1963

0,0 — 0,5 m	gleba
0,5 — 20,0 m	kamienie, rumosz, piasek i glina
20,0 — 26,0 m	kamienie, rumosz i piasek
26,0 — 40,0 m	konglomerat gliniasty z kamieniami
49,0 — 58,0 m	kamienie, rumosz i piasek
58,0 — 60,0 m	kamienie, rumosz, piasek i glina
60,0 — 63,5 m	konglomerat gliniasty

poziom statyczny 11,53 m  
maksymalna wydajność 56 l/sek  
depresja 2,43 m

#### 6. SAN FELIPE, DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS

- 0,0 — 26,0 m rumosz i głązy, nieco piasku
- 26,0 — 40,7 m konglomerat z otoczków, rumosz i piasek
- 40,7 — 43,0 m kamienie, rumosz, piasek i nieco gliny
- 43,0 — 49,0 m gliniasty konglomerat z głązów rumoszu  
i nieco gliny
- 49,0 — 52,0 m głązy i piasek, 10% gliny
- 52,0 — 55,0 m konglomerat piaszczysty, rumosz, 25% gliny
- 55,0 — 60,5 m rumosz i głązy z piaskiem, nieco gliny
- 60,5 — 66,0 m konglomerat z piaszczystego rumoszu i gliny  
poziom statyczny 10,2 m  
maksymalna wydajność 50 l/sek  
depresja 1,44 m.

#### 7. SAN FELIPE, DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS

- 0,0 — 0,5 m gleba
- 0,5 — 2,0 m rumosz piaszczysty, głązy
- 2,0 — 23,0 m głązy, rumosz i piasek z gliną
- 23,0 — 41,0 m konglomerat gliniasty, głązy
- 41,0 — 56,0 m głązy, rumosz, piasek i glina
- 56,0 — 86,0 m głązy, rumosz, piasek i nieco gliny  
poziom statyczny 11,3 m  
maksymalna wydajność 60 l/sek  
depresja 1,9 m.

### IV. CZYNNIKI KLIMATYCZNE

#### 1. TERMIKA

##### A. Charakterystyka ogólna

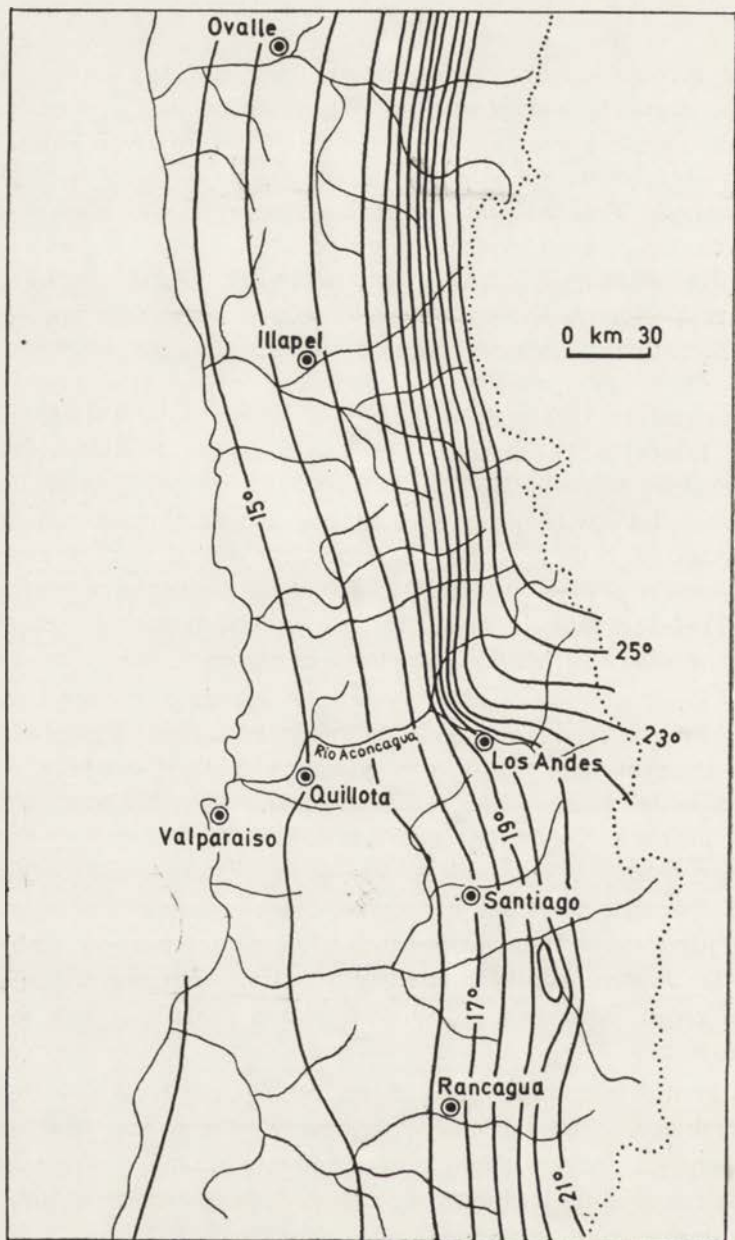
Stosunki termiczne środkowego Chile są dość wyjątkowe. Niezależny od szerokości geograficznej przebieg izoterm rocznych zredukowanych do poziomu morza, które na dużym obsza-

rze utrzymują kierunek południkowy, jak również ich zagęszczenie, stanowią wskazówkę, że o termice decydują w dużym stopniu: ocean i ukształtowanie powierzchni. Wpływ zimnego prądu Humboldta na stosunki termiczne zachodnich wybrzeży Ameryki Południowej jest powszechnie znany. Na skutek jego działania stacje położone nad oceanem i na stoku Kordyliery Nadbrzeżnej — Valparaiso, Zapallar, Peña Blanca — wykazują ujemne anomalie termiczne w średnich temperaturach rocznych, wynoszące około  $4^{\circ}\text{C}$ . Mniej znane jest stosunkowo duże uprzywilejowanie termiczne pogórzy andyjskich. H. Fuenzalida (16) podaje przykład stacji Jahuel (1 200 m npm), leżącej w dorzeczu R. Aconcagua, gdzie średnia roczna temperatura wynosi  $15,6^{\circ}$ , to znaczy o  $1,2^{\circ}$  więcej niż w Valparaiso i  $1,4^{\circ}$  więcej niż w Zapallar. Uwzględniając spadek temperatury z wysokością otrzymujemy różnicę w stosunku do wybrzeży wynoszącą około  $7^{\circ}$ . Mapa izotermiczna E. Arroyo (ryc. IV-1-1) wskazuje, że dodatnie anomalie termiczne osiągają mogą na obszarze górskim wartości dochodzące nawet do  $10^{\circ}$ .

Te kontrasty i anomalie występują wyraźnie tylko na mapach izoterm zredukowanych do poziomu morza. Przeciwnie, mapa izoterm na poziomie rzeczywistym ukazuje znaczne wyrównanie termiczne całego niemal obszaru. Jedynie w wyższych partiach Kordyliery zaznacza się stopniowy spadek temperatur zgodny z wysokością. Wyrównanie to jednak dotyczy tylko średnich wartości rocznych. Średnie miesięczne ujawniają już duże zróżnicowanie przestrzenne temperatur (tabela IV-1-1). Jeszcze silniej kontrasty między wybrzeżem i wnętrzem kraju zaznaczają się w wartościach ekstremalnych temperatury.

Klimat środkowego Chile zaliczany jest do typu śródziemnomorskiego. Standardowe parametry termiczne dorzecza R. Aconcagua odpowiadają temu typowi klimatu. Kotlina San Felipe ma średnie temperatury zbliżone do oceanicznej odmiany klimatu śródziemnomorskiego, charakterystyczne dla Portugalii (tabela IV-1-2).





Ryc. IV-1-1. Izotermi roczne na poziomie morza (wg E. Arroyo).

Tabela IV-1-1

Średnie temperatury miesięczne, roczne i średnie maksima stycznia w wybranych stacjach

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok	max I
Ovalle	19,8	19,8	17,5	15,2	13,3	11,6	11,1	11,9	13,4	14,8	16,8	18,6	15,3	28,5
Llay-Llay	18,7	18,7	16,8	13,9	12,2	9,3	9,2	10,3	12,5	14,5	16,3	18,2	14,2	28,3
Quillota	18,4	17,9	16,5	14,2	12,4	10,6	10,3	11,1	12,4	14,1	16,1	17,8	14,3	26,9
Los Andes	22,2	21,3	19,0	15,4	11,7	9,0	9,1	10,4	12,5	15,6	18,6	21,0	15,5	31,9
Valparaiso	17,6	17,5	16,3	14,5	13,2	12,0	11,5	11,7	12,5	13,7	15,4	16,9	14,4	22,5
Santiago	20,6	19,8	17,4	14,0	10,8	8,2	8,0	9,3	11,5	14,2	17,0	19,5	14,0	29,4
Pena Blanca	19,6						9,6						14,8	27,2
Zappallar	17,7						11,2						14,2	22,6
El Rincon	20,1						9,4						14,4	28,2
Cerro Alegre	17,6						11,5						14,4	
Quilpue	19,2						9,9						14,4	26,1
Jahuel	22,1						10,1						15,6	30,8
San Felipe	21,5						8,7						14,8	32,3
El Teniente	15,2						4,4						9,5	

Porównanie charakterystycznych temperatur trzech stacji

Miejscowość	Średnia t° najcieplejszego miesiąca	Średnia t° najzimniejszego miesiąca	Średnia t° roku	Amplituda roczna
Lizbona	21,7	10,2	15,5	11,5
Valparaiso	17,6	11,5	14,4	6,1
Los Andes	22,2	9,1	15,5	13,2

Na podkreślenie zasługuje fakt, że dane termiczne Lizbony są bardziej zbliżone do danych Los Andes niż do wartości Valparaiso, mimo iż leży ono nad oceanem. Porównanie oparte na wartościach średnich prowadzi jednak do mylnych wniosków. W rzeczywistości średnie wartości temperatur kotlin podandujskich kryją kontrasty termiczne nietypowe dla klimatu śródziemnomorskiego pozostającego pod wpływem morza.

H. Fuenzalida (16) podkreśla wyraźne cechy kontynentalne klimatu środkowego Chile. Na typowy kontynentalizm nie wskazują wprawdzie roczne amplitudy temperatury, nie dochodzące 13°, a więc mniejsze niż gdziekolwiek nad Morzem Śródziemnym. Natomiast wskaźniki kontynentalizmu obliczone dla kilku stacji dorzecza ujawniają — mimo rozbieżności wyników uzyskanych różnymi metodami — niezwykle zróżnicowanie tej cechy na badanym obszarze tabela (IV-1-3).

Tabela IV-1-3

## Wskaźniki kontynentalizmu

Stacja	Amplituda roczna	Iloraz termozodromiczny	Wskaźnik Chromowa
Ovalle	8,7	+2,48	66,7
Llay-Llay	9,5	-3,41	69,4
Quillota	8,1	+0,66	64,1
Los Andes	13,2	-0,82	78,0
Valparaiso	6,1	+6,21	52,4
Santiago	12,6	-0,86	77,0



$$\text{(Iloraz termoizodromiczny } \theta = \frac{t_x - t_{IV}}{A} \sin \varphi \cdot 100$$

gdzie  $t_x$ ,  $t_{IV}$  — średnie temperatury października i kwietnia

$A$  — amplituda roczna temperatury i  $\varphi$  szerokość geograficzna.

$$\text{Wskaźnik kontynentalizmu Chromowa } K = \frac{A - 5,4 \sin \varphi}{A} W)$$

Rozpiętość wskaźnika Chromowa od 52 do 78 na przestrzeni około 50 km jest raczej wyjątkowa, nawet w skali światowej.

Na przeszkodzie w wyjaśnieniu wszystkich przyczyn wielkiego zróżnicowania termiki dorzecza R. Aconcaqua stoi brak szczegółowych danych klimatycznych. Analizę oparto na krótkich seriach obserwacyjnych, przeważnie 6-letnich (1946—1951), pozwalających na porównanie stosunków termicznych 5 stacji z dorzecza. Do wyciągnięcia wniosków z tak szczupłego materiału upoważnia w pewnym stopniu znaczna stabilność warunków termicznych opisywanego obszaru (59,5). Na stabilność tę wskazują mała zmienność średnich miesięcznych temperatur. W okresie 15 lat rozpiętość średnich miesięcznych temperatur w Los Andes dla żadnego miesiąca nie przekroczyła  $3,6^\circ$ . Są to różnice mniejsze niż w typowym klimacie śródziemnomorskim, a bardzo małe w porównaniu z analogicznymi wartościami na terenie Polski (tabela IV-1-4).

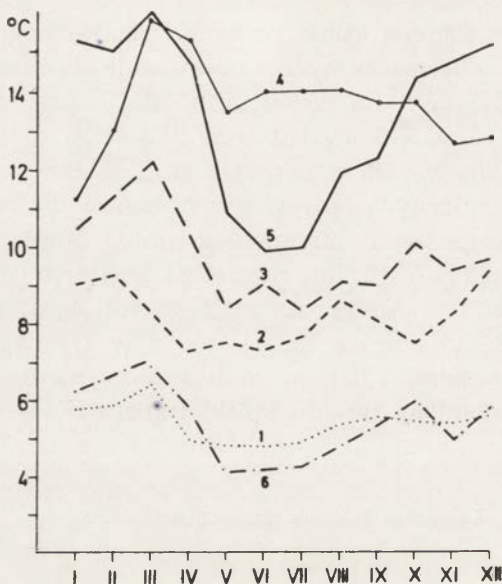
Tabela IV-1-4

Zmienność średnich miesięcznych temperatur

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Poronin*	8,0	14,3	8,4	6,7	6,4	2,9	2,8	2,7	3,9	3,5	6,7	7,1	okres 10-letni wg Hessa)
Rdzawka*	7,2	13,4	8,3	7,2	6,8	3,5	3,7	3,5	4,0	4,1	6,8	6,6	
Los Andes	3,1	2,0	2,2	2,8	3,1	3,6	3,6	3,5	3,2	3,6	3,1	2,2	okres 15-letni

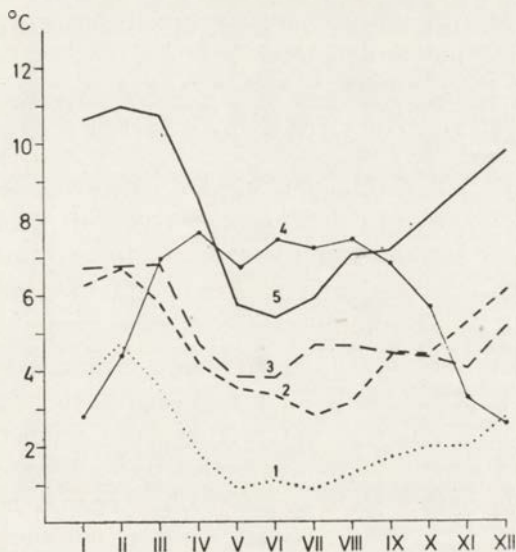
\* wg. Hessa.

Standardowe wartości średnich rocznych i miesięcznych temperatur nie ujawniają w pełni charakteru zróżnicowania termicznego opisywanego obszaru. W celu uzyskania pełniejszego obrazu wyliczono dla kilku stacji wskaźniki, które charakteryzują bieg dobowy temperatury w poszczególnych stacjach w różnych porach roku. Zostały więc wyliczone średnie temperatury poszczególnych terminów obserwacyjnych ( $8^h, 14^h, 19^h$ ) dla każdego miesiąca i każdej stacji. Na tej podstawie określono wskaźniki  $t_{14}-t_8$  (miernik amplitudy Teisseyre'a (50))  $t_{19}-t_{14}$  oraz  $t_{19}-t_8$ . Obliczenia przedstawiono na wykresach (ryc. IV-1-2 i IV-1-3).



Ryc. IV-1-2. Miernik amplitudy  $t_{14}-t_8$ .

1. Valparaiso
2. Peña Blanca
3. Quillota
4. Llay-Llay
5. Los Andes
6. El Teniente



Ryc. IV-1-3. Miernik amplitudy  $t_{19}-t_8$ .

1. Valparaiso
2. Peña Blanca
3. Quillota
4. Llay-Llay
5. Los Andes

Uzyskane wyniki wskazują na bardzo wyraźne zróżnicowanie reżimu termicznego wszystkich badanych stacji. Zróżnicowanie to przybiera odmienne formy w okresie lata i zimy. Przyczyn różnego przebiegu zjawisk należy się dopatrywać zarówno w stosunkach orograficznych obszaru, w których występuje szereg izolowanych kotlin, oddzielonych stosunkowo wysokimi grzbieciami górskimi, jak i w ścieraniu się wpływów Andów i oceanu. Zasięg wpływu gór i oceanu jest różny, odmienny też jest charakter oddziaływania. Wytworzeniu się tak silnego zróżnicowania klimatycznego sprzyja niewątpliwie utrzymywanie się nad badanym obszarem wyżów przez przeważającą część roku. Związana z tym znaczna stabilność atmo-



sfery prowadzi do powstawania sytuacji inwersyjnych i do izolacji bliskich nawet obszarów.

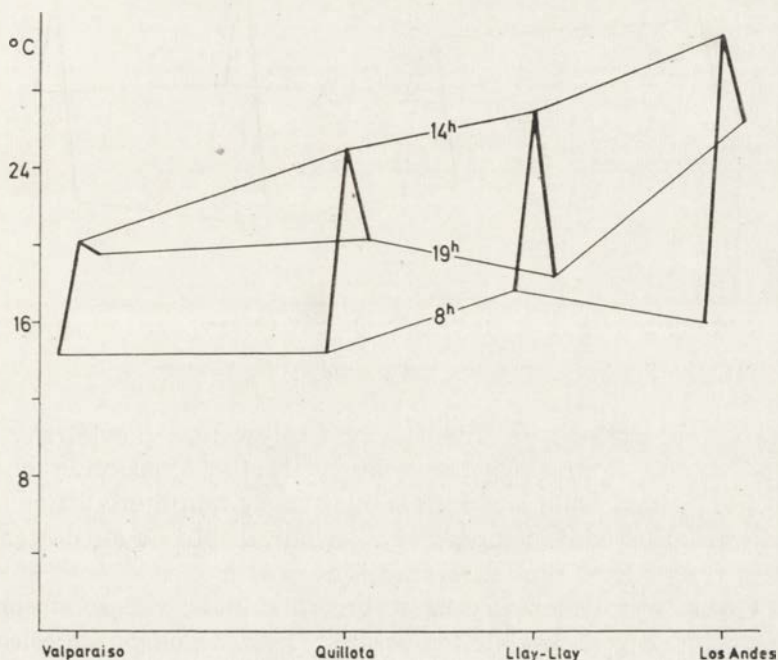
## B. Prowincja oceaniczna

W obręb dorzecza wchodzi niewielki skrawek terenu należący do nadoceanicznej dziedziny klimatycznej. Teren ten charakteryzuje się najmniejszą zmiennością temperatury. Wyraźnie chłodniejsze niż we wnętrzu kraju lata i łagodniejsze nieco zimy sprawiają, że amplituda roczna nie przekracza tu 7°C.

Temperatury średnie najcieplejszego miesiąca są podobne, jak w Polsce. Maksima temperatury są niskie. Średnie maksima nie osiągają nawet wartości średniej temperatury najcieplejszego miesiąca w strefie kotlin podandyjskich. Temperatury 30° nie notuje się corocznie. Zima odznacza się wyjątkową łagodnością. Średnie temperatury najzimniejszego miesiąca są wyższe niż nad Morzem Śródziemnym. Temperatury ujemne nie występują.

Omawianą odmianę klimatu charakteryzują dane dwóch stacji: Valparaiso-Punta Angeles i Zapallar. Jedna z nich leży kilka kilometrów na południe, druga na północ od ujścia R. Aconcagua. Prześledzenie przebiegów rocznych i dobowych temperatury wskazuje, że — pomimo silnie zaznaczającego się wpływu oceanu — klimat wybrzeża pozostaje również pod wpływami lądu. Miarą tego wpływu może być wartość „miernika amplitudy”  $t_{14} - t_8$ , wyraźnie większa, niż w typowych klimatach oceanicznych zachodniej Europy. Przyczynę względnie dużych dobowych wahań termicznych można znaleźć rozpatrując typowy przebieg dobowy temperatury w okresie letnim w Valparaiso. Cechą szczególną jest niezwykle opóźnienie dobowego maksimum temperatury nawet do późnych godzin wieczornych. Dzieje się to na tyle często, że w niektórych przypadkach (II i XII 1958, XII 1951, II i XII 1949) średnia miesięczna temperatura z godziny 19 jest wyższa niż średnia z godziny 14. Wyjątkowe to zjawisko spowodowane jest wielką regularnością występowania bryzy i morki (sottaviento i barlo-

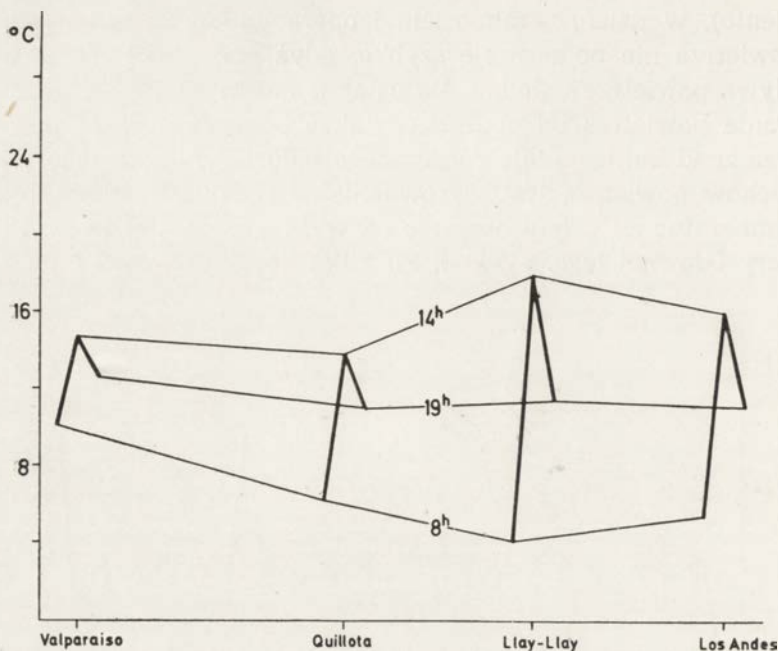
viento). W dzień, pomimo silnej operacji Słońca, temperatura powietrza nie podnosi się szybko, gdyż stale znad morza napływa powietrze chłodne. Po ustaniu morki następuje nagrzewanie powietrza od podłoża, a także napływ ciepłego powietrza znad bardzo silnie rozgrzanego lądu. Wynikiem tego typu ruchów powietrza jest wyrównanie w godzinach wieczornych temperatur na całym obszarze od wybrzeży do stoków Kordyliery Głównej (ryc. IV-1-4). Po kilku godzinach znad lądu za-



Ryc. IV-1-4. Przekrój termiczny wzdłuż doliny R. Aconcagua, (lato - I)

czyną napływać powietrze oziębione wskutek silnego wypromieniowania. Jest ono przyczyną stosunkowo niskich temperatur notowanych tuż nad oceanem w porannym terminie obserwacyjnym.

Opisane zjawiska są charakterystyczne tylko dla lata. W zi-



Ryc. IV-1-5. Przekrój termiczny wzdłuż doliny R. Aconcagua. (zima - VII)

mie — ze względu na intensywny napływ mas powietrznych znad oceanu — przebieg temperatury traci swój osobliwy charakter. Jednocześnie znacznie zmniejsza się amplituda dzienna, zaś wartości średnie temperatury powietrza zbliżają się do temperatury wody w prądzie Humboldta.

Godną wymieniającą cechę wybrzeża stanowi stałość stosunków termicznych. Średnie temperatury poszczególnych miesięcy zmieniają się nieznacznie. Wahania ich z roku na rok należą do najmniejszych w tych szerokościach geograficznych.

### C. Prowincja kotlin

Z wzrastającą odległością od oceanu rosną kontrasty termiczne. Kontrasty te jednak nie polegają — jak w klimacie kontynentalnym — na dużych różnicach temperatury pomiędzy

wyraźnie odrębnymi porami roku, lecz przede wszystkim na znacznej zmienności temperatury w okresach krótszych, na możliwości występowania dni bardzo upalnych i silnych ochłodzeń w małych odstępach czasu, na znacznych amplitudach dobowych. Małe zachmurzenie sprzyja silnemu nagrzewaniu się powietrza w dzień i spadkom temperatury w ciągu nocy, spowodowanym wyprowienianiem. Nocne oziębienia potęgowane bywają przez dopływ chłodnych mas powietrza z gór w kotlinie. Większa lub mniejsza możliwość docierania i stagnowania chłodnych mas powietrza z gór powoduje nie tylko zróżnicowanie termiczne kotlin oraz grzbietów i zboczy, ale także poszczególne kotlinowate rozszerzenia doliny R. Aconcagua.

Najbliżej wysokich gór położoną kotlinę reprezentują stacje Los Andes i San Felipe, kotlinę w środkowej części dorzecza — stacja Llay-Llay. Niestety, na zboczach i grzbietach górskich brak jest stacji pomiarowych, poza stacją Jahuel, z której dane są bardzo niekompletne.

Różnice w przebiegu dobowych temperatur i różnice wartości temperatur średnich z poszczególnych terminów obserwacyjnych wskazują na największą częstość spływów chłodnego powietrza z gór w okresie letnim. W okresie zimy spływy występują rzadziej, mogą jednak powodować silne oziębienia.

Temperatury średnie dla poszczególnych miesięcy z różnych terminów obserwacyjnych posłużą — w braku danych termograficznych — do wykazania odrębności warunków termicznych poszczególnych kotlin i wyjaśnienia niektórych przyczyn ich osobliwego reżimu termicznego. W okresie lata w kotlinie Los Andes średnie różnice pomiędzy temperaturami z godziny 19 i godziny 8 sięgają powyżej  $10^{\circ}$ , co wskazuje na silne oziębienie dna kotliny w okresie nocy wskutek spływu zimnego powietrza z gór. W ciągu dnia następuje szybki wzrost temperatury. Spadek temperatury między godziną 14 i 19 jest powolny i w godzinach wieczornych występują jeszcze temperatury stosunkowo wysokie, przeciętnie ponad  $25^{\circ}\text{C}$ . Oziębienie następuje dopiero w ciągu nocy. Tymczasem w kotlinie Llay-Llay popołudniowy spadek temperatury jest bardzo szybki i w okresie lata



osiąga wartości do  $10^{\circ}$  w ciągu 5 godzin. Duże obniżenie temperatury w okresie popołudniowym wyróżnia stację Llay-Llay spośród wszystkich badanych.

Nocne spadki temperatury, wywołane zapewne różnymi przyczynami, doprowadzają do wyrównania temperatur w okresie nocy na obszarze od wybrzeża po próg Andów. Różnice temperatur o godzinie 8 pomiędzy poszczególnymi stacjami wynoszą zaledwie  $3,5^{\circ}$ , podczas gdy o godzinie 14 aż  $11,1^{\circ}$ , a o godzinie 19 —  $7,1^{\circ}$ .

Średnie temperatury lipca w Llay-Llay i w Los Andes różnią się zaledwie o  $0,1^{\circ}$ , jednakże Llay-Llay odznacza się w okresie zimowym większą zmiennością temperatury w ciągu doby. Powodem są silniejsze i częstsze niż w Los Andes nocne spadki temperatury. Zjawisko tak poważnych różnic w przebiegu dziennym temperatury można wiązać z mniejszym zachmurzeniem w Llay-Llay niż w Los Andes, które jest położone w strefie, gdzie masy powietrza niesione znad oceanu zaczynają się wznosić nad pierwsze masywy wysokich Andów. Znaczne są też różnice w częstości występowania nocnych przymrozków; Llay-Llay ma w ciągu zimy 22% dni z temperaturą poniżej  $0^{\circ}$ , podczas gdy Los Andes tylko 8%.

Dla obu stacji najchłodniejszym miesiącem jest częściej czerwiec niż lipiec. Badanie dobowych przebiegów temperatury wykazało, że przyczyna tego przesunięcia minimum rocznego leży nie w występowaniu częstszych i silniejszych ochłodzeń, charakterystycznych zwłaszcza dla lipca lecz w dużo niższych maksimumach temperatury w czerwcu.

Llay-Llay wyróżnia się spośród wszystkich badanych stacji możliwością występowania bardzo wysokich temperatur w okresie zimy. Tak średnie, jak i absolutne maksima temperatury miesięcy zimowych są w tej stacji nieco wyższe, niż w Los Andes i o kilka stopni wyższe, niż w pozostałych pobliskich stacjach.

Obie kotliny odznaczają się stosunkowo dużymi amplitudami dobowymi, mimo znacznych różnic w dobowym przebiegu temperatury. W San Felipe i Los Andes amplitudy dobowe

w lecie wynoszą średnio około 20°, zaś w zimie około 14°, zaś stacja Llay-Llay — sądząc na podstawie miernika amplitudy — ma amplitudy dobowe w ciągu całego roku bliskie 20°.

Takie wartości wskazują na kontynentalizm kotlin. Dopiero jednak badanie temperatur skrajnych pozwala ocenić właściwe cechy termiczne tego regionu. Niemal w ciągu całego roku mogą występować tu bardzo wysokie maksima dobowe temperatury. Średnie maksimum dla stycznia wynosi w Los Andes 31,9°, a w San Felipe 32,3°. Maksima miesięcy letnich niemal w każdym roku przekraczają 35°, często zbliżając się do 40°. To niezwykle uprzywilejowanie termiczne kotlin wyraźnie wychodzi na mapie średnich maksimum najcieplejszego miesiąca opracowanej przez E. Arroyo (2).

Dodatkowy czynnik uprzywilejowania stanowi szczególnie duża ilość dni upalnych w kotlinie. W rocznikach meteorologicznych Chile podana jest liczba dni z temperaturą przekraczającą 25°C. W tabeli IV-1-5 zestawiono procentowy udział takich

Tabela IV-1-5

Częstotliwość występowania dni upalnych i przymrozków w %

Stacja	zima		wiosna		lato		jesień	
	> 25°	< 0°	> 25°	< 0°	> 25°	< 0°	> 25°	< 0°
Valparaiso	0	0	7	0	27,6	0	8	0
Llay-Llay	14,4	22	43,5	1	88,2	0	49,0	0
Los Andes	12,0	8	62,1	1	89,1	0	54,7	0
Ovalle	5	0	43,0	0	96,3	0	37,1	0
Santiago	0	3	34,9	0	95,3	0	36,3	0

dni w poszczególnych porach roku. Dla porównania podano te same wartości dla Santiago, leżącego w sąsiedniej kotlinie i dla stacji Ovalle położonej nad R. Limari, 50 km od wybrzeża i 2° szerokości geograficznej bliżej równika. Okazuje się, że kotliny w dorzeczu R. Aconcagua mają w lecie nieco mniej dni upalnych, niż porównywane stacje. Za to wiosna, jesień i zima obfitują w takie dni, a różnice na korzyść kotlin San Felipe

i Llay-Llay występują niezależnie od tego, czy pod uwagę weźmie się całe pory roku, czy też poszczególne ich miesiące.

Dna kotlin narażone są także na silne chłody. W Los Andes i Llay-Llay notuje się temperatury poniżej  $-4^{\circ}\text{C}$ . Ochłodzenia nocne występują we wszystkich porach roku. Stacje położone na dnach kotlin — Los Andes, San Felipe, Llay-Llay — wyróżniają się niższymi temperaturami minimalnymi (absolutnymi, miesięcznymi, średnimi) niż stacje wybrzeża, stoków Kordyliery Nadrzeżnej, a nawet niższych partii pogórzy andyjskich. Zjawisko to uzewnętrznia się najsilniej w częstości występowania temperatur ujemnych. Nawet w porównaniu z kotliną Santiago kotliny dorzecza R. Aconcagua narażone są bardziej na chłody. W Santiago notuje się przeciętnie 44 dni w ciągu roku z przymrozkami przygruntowymi, w kotlinach San Felipe i Llay-Llay przymrozki są niemal regułą od maja do listopada, stanowiąc silne zagrożenie dla delikatniejszych upraw.

Wydaje się, że trudno przyjąć za H. Fuenzalidą (16) tłumaczenie tych ochłodzeń wyłącznie wpływem chłodnym mas powietrza z wysokich gór. Dużo większa częstotliwość nocnych ochłodzeń w kotlinie Llay-Llay niż w Los Andes nasuwa przypuszczenie, że kotliny wypełniają się w ciągu nocy zimnym powietrzem ochłodzonym wskutek silnego wypromieniowania „in situ” oraz na bliższych stokach łańcuchów Kordyliery Nadrzeżnej i pogórzy andyjskich. Za przewagą radiacyjnego pochodzenia ochłodzeń przemawiać może także wyraźna koincydencja niższych, w stosunku do Los Andes, średnich minimów dobowych i średniego zachmurzenia w Llay-Llay. Podkreślić należy, że Llay-Llay osłonięte jest ostrogą górską od wiatrów z kierunku wschodniego, które nie są w tej stacji notowane. Spływ powietrza z wysokich Andów niewątpliwie istnieje — o godzinie 8 w Los Andes występują niemal wyłącznie wiatry z kierunku wschodniego — lecz prawdopodobnie nie jest on najważniejszą przyczyną występowania silnych nocnych ochłodzeń w kotlinach dorzecza R. Aconcagua.

Możliwość występowania dużych dobowych wahań temperatury rzutuje na wysokie wartości miesięcznych amplitud tem-

peratury. W ciągu jednego miesiąca mogą być notowane zarówno upały ponad 30°, jak i ochłodzenia poniżej 0°. Odnosi się to w szczególności — choć nie wyłącznie — do przejściowych pór roku, wiosny i jesieni (tab. IV-1-6).

Tabela IV-1-6

Skrajne temperatury wybranych miesięcy

	Rok	Miesiąc	Maksimum	Minimum	Amplituda
Los Andes	1949	IX	33,2°	—0,9°	34,1°
	1951	IX	35,2°	—0,5°	35,7°
Llay-Llay	1948	VIII	30,9°	—3,2°	34,1°
	1951	IX	36,2°	—1,8°	38,0°

Tego typu wahania temperatury są charakterystyczne dla klimatu o cechach kontynentalnych, jednak w przypadku kotlin podandyjskich inna jest geneza i inny przebieg zjawisk powodujących duże amplitudy miesięczne. W klimacie kontynentalnym wielkie zmiany temperatury w ciągu miesiąca związane są z gwałtownym przejściem z pory ciepłej do zimnej lub odwrotnie. Początek i koniec tego samego miesiąca może należeć do różnych pór klimatycznych roku. W kotlinach podandyjskich zmiany temperatury uzależnione od pozornego rocznego ruchu Słońca odbywają się wolno. Różnice średnich wieloletnich temperatur dobowych w obrębie miesiąca są niewielkie. Przyczyny dużych amplitud miesięcznych tkwią wyłącznie w gwałtownych oziębieniach występujących nieregularnie i w dużym stopniu niezależnych od pór roku.

Cechy klimatyczne wybrzeża i kotlinowatych rozszerzeń doliny R. Aconcagua są odmienne, jednakże wyznaczenie granicy obu stref nastęrcza trudności. Porównanie danych ze stacji Valparaiso-Punta Angeles oraz stacji Peña Blanca, El Belloto i Quillota, leżących w odległości około 20—25 km od wybrzeża, wskazuje na wielką rolę rzeźby w regulowaniu zasięgu wpływów oceanu. Generalnie można twierdzić, że strefa wpływu



mas oceanicznych jest nader wąska. Stacja Peña Blanca, położona na działle wodnym rzeczki Marga-marga i R. Aconcagua, 20 km od wybrzeża i około 120 m nad poziomem morza, wykazuje cechy termiczne znacznie bardziej zbliżone do klimatu kotlin niż wybrzeża. Nieco większym wpływom oceanu poddane są dolne części doliny R. Aconcagua, na co wskazują dane ze stacji Quillota, leżącej około 25 km od ujścia rzeki. Jednak kilkustopniowe różnice niemal wszystkich wskaźników termicznych pomiędzy wymienionymi stacjami skłaniają do przyjęcia tezy o kilkukilometrowym zaledwie zasięgu strefy klimatycznej, której cechy termiczne określono jako oceaniczne na podstawie danych z Valparaiso i Zapallar.

#### D. Prowincja górська

Warunki termiczne w strefie górskiej są bardzo trudne do określenia ze względu na prawie całkowity brak wiarygodnych danych. Jedyna stacja wysokogórska w dorzeczu R. Aconcagua, z której dane publikowano w rocznikach meteorologicznych, to Cristo Redentor (La Cumbre), utrzymywana przez linie lotnicze Grace Airways. Dane są niekompletne i obejmują zaledwie dwa lata. Niepublikowane dane z lat 1942—1952 opracował Lliboutry (28), dając w swej Glacjologii pewne wiadomości na temat stosunków termicznych wyższych partii Andów. Znacznego poszerzenia znajomości warunków klimatycznych w terenach wysokogórskich można się spodziewać w związku z uruchomieniem w 1957 roku stacji badawczej Infernillo (4320 m) na działle wodnym R. Aconcagua i R. Maipo. Dla niższych partii Andów, dla zboczy górskich wznoszących się bezpośrednio nad obszarami zagospodarowanymi i dla dolin andyjskich zamieszkałych i wykorzystanych gospodarczo brak jakichkolwiek danych.

Wydaje się jednak, że dla celów orientacyjnych można ekstrapolować na teren dorzecza cechy termiczne klimatu niższych partii Andów, charakteryzowane na podstawie danych ze stacji El Teniente (Sewell — 2134 m) założonej przy kopalni

miedzi w dolinie Cachapoal, około 120 km na południe od dorzecza R. Aconcagua. Do ekstrapolacji upoważniają wyraźne analogie stosunków termicznych kotliny San Felipe i części leżącego bezpośrednio poniżej El Teniente zapadliska podandyskiego, w którym funkcjonuje stacja Rancagua (500 m). Z porównania danych wynika, że u stóp łańcucha górskiego, w którego obrębie leży El Teniente, panuje ten sam typ stosunków termicznych, co w dolinie R. Aconcagua.

Dane z El Teniente wskazują, że w ciągu całego roku występują tu anomalie w spadku temperatury z wysokością. Spadek ten jest wolniejszy niż spotykany w warunkach przeciętnych, niezależnie od pory roku i warunków pogodowych. Według Lliboutry (29) temperatury rosną od Santiago aż do wysokości około 1500 m i dopiero powyżej tej wysokości rozpoczyna się spadek o około  $1^{\circ}$  na 150 m wysokości.

Na podstawie dostępnych materiałów można stwierdzić, że spadek temperatury z wysokością jest różny w różnych porach roku. Szybciej temperatura obniża się w okresie wiosennym, gdy zalegające w górach śniegi nie pozwalają na intensywne ogrzewanie powietrza, gdyż pochłaniają dużo ciepła na topnienie i odbijają znaczną ilość promieniowania. Odwrotnie jest w jesieni, gdy w górach panuje z reguły piękna pogoda i średnie temperatury w El Teniente i w kotlinach podgórskich niewiele od siebie odbiegają. Średni spadek temperatury wynosi wtedy mniej niż  $1^{\circ}$  na 500 m, podczas gdy w okresie wiosennym temperatura obniża się o  $1^{\circ}$  mniej więcej na 200 m. W zimie i w lecie notuje się wartości pośrednie w stosunku do wymienionych.

Dane ze stacji Cristo Redentor pozwalają przypuszczać, że powyżej 2000 m spadek temperatury następuje szybciej. Ale i tam istnieją różnice w ciągu roku. W jesieni spadek temperatury o  $1^{\circ}$  wypada na około 200 m, a na wiosnę na 150 m.

Silne uprzywilejowanie termiczne niższych partii gór sprawia, że izoterma  $0^{\circ}$  w ciągu całego roku przebiega powyżej 2000 m. Dzięki dużej insolacji we wszystkich porach roku mogą występować w górach stosunkowo wysokie temperatury.

Średnie maksima dobowe w lecie sięgają 20°, a w zimie 10°. Ekstrema miesięczne w El Teniente w lecie z reguły przekraczają 25°, a w zimie 15°. Pomimo znacznego złagodzenia kontrastów termicznych w stosunku do kotlin, amplitudy dobowe przekraczają 10°. Nie istnieją więc tutaj warunki dla trwałego zalegania pokrywy śnieżnej, zaś straty wody na parowanie przy dużej z reguły suchości powietrza i silnej insolacji są zapewne znaczne.

Klimat typowo wysokogórski występuje — jak sądzić można na podstawie danych ze stacji Cristo Redentor — powyżej 3000 m. Jest to odmiana klimatu wysokogórskiego strefy podzwrotnikowej, charakteryzująca się dużym usłonecznieniem (48). Z wielkimi ilościami energii słonecznej docierającej do powierzchni Ziemi i przy stosunkowo częstym występowaniu okresów ciszy wiążą się stosunkowo wysokie maksima dobowe temperatury. Pogodne noce sprzyjają silnemu wypromieniowaniu, a więc i dużym spadkom temperatury.

Lliboutry (29) podaje następujące dane dotyczące zasięgu strefy, w której w ciągu dnia występuje dodatnia, a w nocy ujemna temperatura:

wiosna	— pochmurno	2900—3400 m
„	— pogodnie	3100—4170 m
lato	— pochmurno	3540—5000 m
„	— pogodnie	3660—5200 m

Takie warunki przy dużej suchości powietrza sprzyjają tworzeniu się „nieves penitentes”.

Na stacji La Cumbre maksimum temperatury wynosi wiosną w dni pogodne około 2°, a w dni pochmurne -3°C. Latem te różnice są mniejsze. Średnie miesięczne temperatury w tej stacji kształtują się następująco:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
5,8°	4,9	3,3	1,3	-3,7	-7,0	-6,7	-6,4	-4,8	-3,1	0,4	4,6

Łatwo te wartości skojarzyć z odpływem rzek zasilanych wodami lodowców.

Dane o dobowych wahaniami temperatury na wysokościach powyżej 3000 m, a więc na linii zasięgu jezorów lodowcowych w tej strefie pozwalają wnioskować, że topnienie przebiega stopniowo. W związku z tym uprzywilejowane jest raczej wsiąkanie w luźny materiał wody z lodowców i ze śniegu, niż jej spływ powierzchniowy, hamowany przez nocne spadki temperatury poniżej 0° w nocy, zaś w dzień przez ubytki wody na bardzo intensywne parowanie.

## 2. EWAPOTRANSPIRACJA

W dorzeczu R. Aconcagua nie były wykonywane pomiary wielkości parowania. Straty na ewapotranspirację próbowano przeto ocenić za pomocą wzorów empirycznych, głównie opracowanych na podstawie danych ze Stanów Zjednoczonych AP (metoda Blaney-Criddle'a) przy okazji szacunkowych obliczeń zapotrzebowania wody na nawadnianie. Wyniki tych obliczeń podane zostały w rozdziale dotyczącym gospodarki wodnej.

Wydaje się, że wszelkie próby określenia ewapotranspiracji na podstawie wzorów empirycznych mogą dawać w specyficznych warunkach tego terenu wyniki bardzo odbiegające od rzeczywistości. Dla zastosowania niektórych wzorów brak jest potrzebnych danych, takich, jak elementy bilansu radiacyjnego, średnie prędkości wiatru na różnych poziomach, niedosyty wilgotności i inne. Praktycznie, możliwe jest tylko użycie wzorów opartych na średnich temperaturach. Użycie jednak temperatur średnich w warunkach dorzecza R. Aconcagua może właśnie być źródłem znacznych błędów. Na przykład obliczenia wykonane metodą Thornthwaite'a dały wielkość 776 mm, jako ewapotranspirację potencjalną dla stacji Los Andes. Tymczasem dane rzeczywistych strat wody z powierzchni nawadnianej w tej strefie klimatycznej wskazują, że ewapotranspiracja potencjalna może przekraczać 1000 mm.

Różnicę można łatwo wyjaśnić. Powtarzający się niemal codziennie w okresach pięknej pogody nocny napływ ochłodzonego, lecz suchego powietrza z bliższych lub dalszych zboczy



górkich — ujawniający się w niskich minimach dobowych temperatury — powoduje, że średnie temperatury dobowe są stosunkowo niskie. Tymczasem ten typ cyrkulacji powietrza, przy bardzo wysokich maksimach dobowych temperatury i związanych z dużym dopływem energii solarnej wysokich temperaturach powierzchni gleby, stwarza warunki dla bardzo intensywnej ewapotranspiracji.

Wielkość rzeczywistej ewapotranspiracji zależna jest w tym terenie przede wszystkim od ilości wody, która może być przekazana do atmosfery. Znajdujące się niemal w identycznych warunkach klimatycznych stoki wzgórz otaczających kotliny i dna kotlin tracą na ewapotranspirację zupełnie różne ilości wody. W obrębie kotlin woda rozprowadzana jest siecią strug i kanałów powierzchniowo, a także podziemnie w przepuszczalnych utworach aluwialnych. Dzięki temu na dużych przestrzeniach możliwy jest podsiąk wody do strefy korzeniowej roślin. Powszechnie na dnach kotlin stosowanie irygacji systemem zalewowym, podawanie przesadnie dużych dawek wody i nawadnianie w ciągu dnia, gdy parowanie jest najintensywniejsze prowadzi do zwiększenia ewapotranspiracji. Znane jest zjawisko, że rośliny, które znajdują się w warunkach nagłego podwyższenia poziomu wody gruntowej mogą silnie wzmocnić transpirację, aby obniżyć poziom wody i udostępnić dopływ powietrza do górnej części systemu korzeniowego.

Stoki otrzymują wodę tylko z opadów, które w tym terenie mają głównie postać ulewnych deszczów. Charakter opadów i znaczne spadki terenu sprzyjają powierzchniowemu spływowi wody. Ilość wody dostępnej dla ewapotranspiracji jest zatem o wiele mniejsza, niż wynikałoby to ze wskaźnika opadu.

Ocena wielkości ewapotranspiracji w strefie wysokogórkich jest nadzwyczaj trudna ze względu na słabo jeszcze poznane zjawisko sublimacji pokrywy śnieżnej. Z pewnością jednak duże ilości dopływającej energii słonecznej i suchość powietrza sprzyjają intensywnemu parowaniu i sublimacji. Świadectwem procesów sublimacji w strefie najwyższej są powszechnie spotykane pola „nieves penitentes”.

### 3. OPADY

#### A. Materiały podstawowe

Dane pluwiometryczne, publikowane w Rocznikach Meteorologicznych Chile (4, 42), obejmują: miesięczne sumy opadu, ilość dni z opadem w miesiącach z podziałem na trzy klasy wydajności opadu oraz maksymalne w miesiącach opady dobowe wraz z datą. Nie publikuje się wielkości opadów dobowych. Brak też jest danych o opadach śnieżnych i pokrywie śnieżnej, mających pierwszorzędne znaczenie dla stosunków odpływu.

W obrębie dorzecza R. Aconcagua i w terenach sąsiednich znajduje się kilkadziesiąt punktów, w których dokonywano pomiaru opadu. Jednakże kilka tylko stacji ma ciągłe wieloletnie serie obserwacji. Dla większości stacji dysponujemy danymi z niewielu lat i to często niepełnymi.

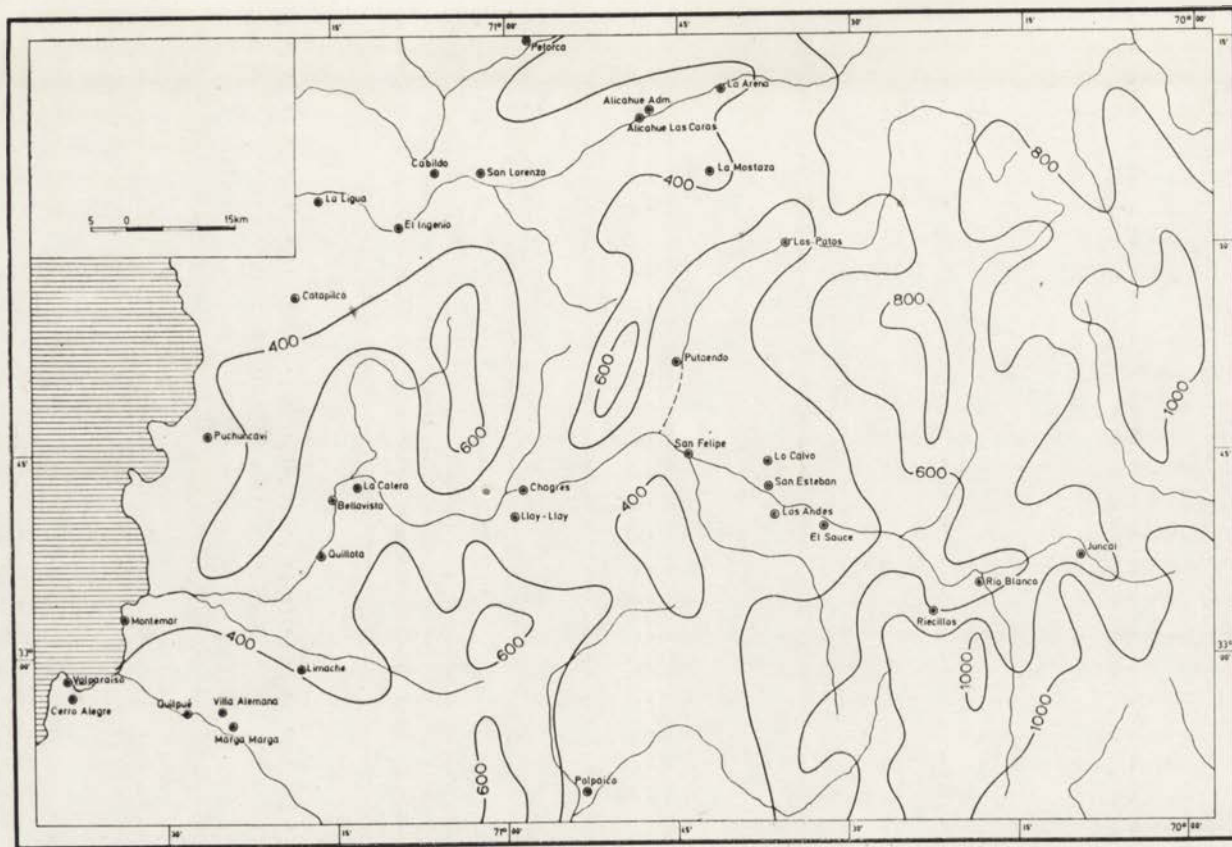
W specjalnym wydawnictwie „Pluviometria de Chile” (42), zestawiono dla wybranych stacji miesięczne sumy opadu do 1960 roku, a dla niektórych z tych stacji obliczono średnie wartości opadów miesięcznych z 30-lecia 1931—1960 oraz podano charakterystykę statystyczną opadów w tym okresie. Jedną z tak opracowanych stacji, Limache, leży w dorzeczu R. Aconcagua, pięć zaś w stosunkowo niewielkich od niego odległościach. Stacje uwzględnione w opracowaniu zestawiono w tabeli IV-3-1, a rozmieszczenie ich przedstawia mapa (ryc. IV-3-1).

Istniejące dane nie pozwalają scharakteryzować opadów w dorzeczu R. Aconcagua w sposób zadowalający. Wszystkie stacje z danymi wieloletnimi znajdują się wyłącznie w zachodniej części dorzecza; obszar wysokogórski jest ich całkowicie pozbawiony. Wszystkie też leżą na niewielkich wysokościach bezwzględnych. Nieliczne stacje położone powyżej 1000 metrów dysponują tylko kilkuletnimi seriami obserwacyjnymi. Dostępny materiał pluwiometryczny orientuje zatem w stosunkach opadowych terenów nadmorskich, kotlin śródgórskich i niższych części stoków, nie dostarcza natomiast informacji o wiel-

Stacja <sup>1</sup>	Współrzędne geograficzne		Wysokość bezwzględna w m	Okres obserwacji	Ilość lat obserwacji		Średni opad roczny w mm	
	λ	φ ujemna			w sumie	kolejnych	ze wszystkich lat	z 30-lecia 1931—1960
Valparaiso	71°38	33°01	41	1869—1965	80	67	445,4	380,4
Cerro Alegre	71 38	33 03	112	1946—1960	9	5	407,2	443*
Montemar	71 33	32 57	12	1960—1965	5	3	224,0	
Quilpué	71 28	33 04	101	1918—1965	46	33	513,7	504,6
Puchuncavi	71 26	32 44	119	1946—1965	13	5	360,9	381*
Villa Alemana	71 25	33 04	101	1946—1965	12	9	453,2	461*
Marga-Marga	71 24	33 06	160	1946—1965	10	4	405,9	
Catapilco	71 18	32 34	95	1925—1965	40	39	413,8	382,7
Limache	71 18	33 01	120	1931—1963		36	395,5	390,0
La Ligua	71 16	32 27	58	1912—1965	52	37	341,5	341,7
Quillota	71 16	32 53	130	1913—1951	36	16	431,7	400*
Bellavista	71 15	32 49	174	1947—1954	9	8	425,8	
La Calera	71 13	32 48	217	1912—1954	35	14	354,9	322*
El Ingenio	71 09	32 29	111	1946—1965	17	9	322,2	337*
Cabildo	71 06	32 25	177	1931—1962	31	27	307,0	308*
San Lorenzo	71 02	32 25	270	1917—1956		40	304,8	295*
Charges	70 59	32 48	412	1962—1965		4	279,1	
Llay-Llay	70 59	32 50	384	1946—1951		6	278,3	
Petorca	70 58	32 15	501	1927—1965		39	241,8	235,6
Polpaico	70 53	33 10	522	1939—1956	31	18	345,2	322*
Alicahue Las Casas	70 48	32 21		1954—1965	8	6	303	
Alicahue	70 47	32 19		1960—1965	7	6	271	
Putendo	70 45	32 29	794	1946—1965	12	6	258,2	277*
San Felipe	70 44	32 45	636	1946—1965	13	6	238	270*
La Arena	70 42	32 18		1954—1965	7	3	380	
La Mostaza	70 42	32 25	1100	1954—1965	7	6	337	342*
Los Patos	70 38	32 30	1216	1961—1965	4	3	338	
Lo Calvo	70 37	32 16	820	1963—1965		3	301	
San Esteban	70 37	32 48	832	1963—1965		3	288	
Los Andes	70 36	32 50	816	1907—1965	48	45	317	289*
El Sauce	70 32	32 51		1946—1951	9	6	290	
Rieccillos	70 23	32 17	1293	1960—1964		5	493	
Rio Blanco	70 19	32 55	1420	1946—1963	9	4	520	534*
Juncal	70 10	32 52	2250	1946—1952	5	2	617	

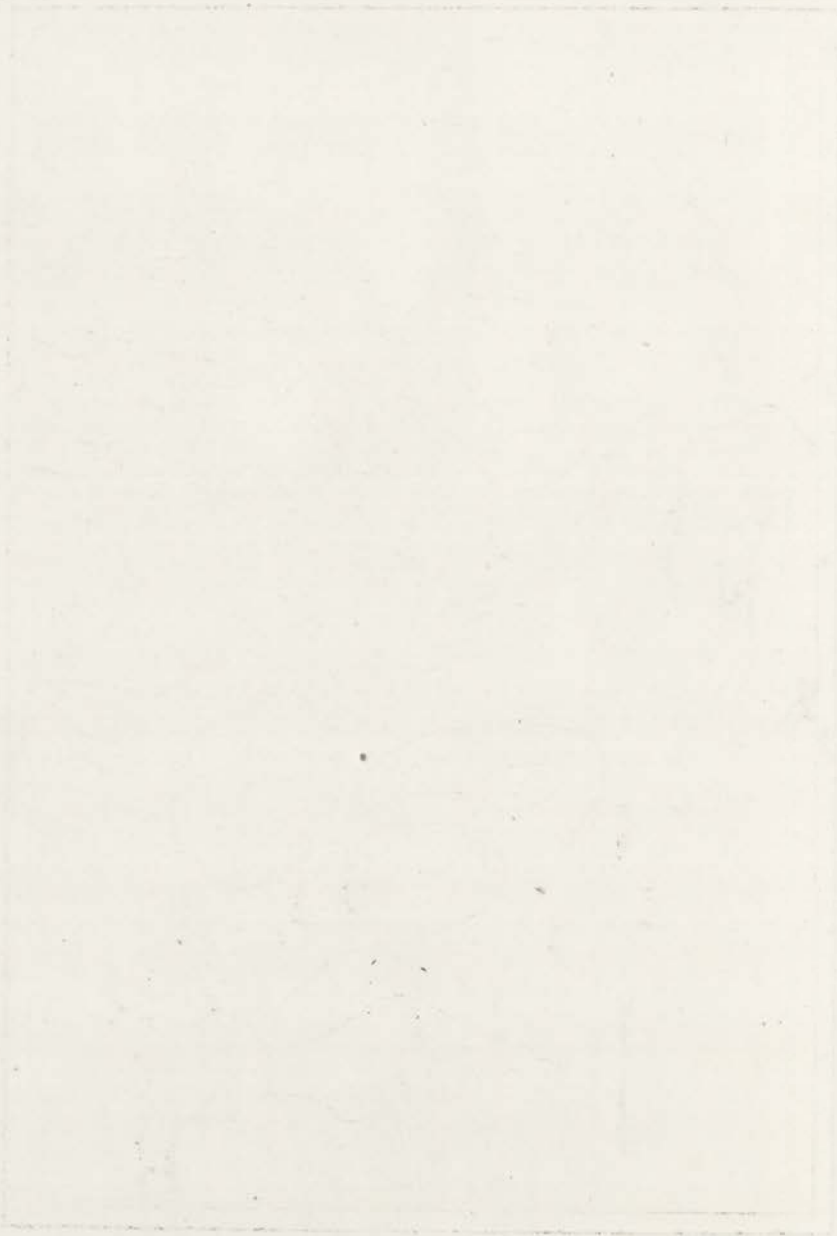
<sup>1</sup> Stacje opracowane w „Pluviometria de Chile”,

\* dane szacunkowe.



Ryc. IV-3-1. Rozmieszczenie stacji opadowych i izohiety roczne.  
<http://rcin.org.pl>

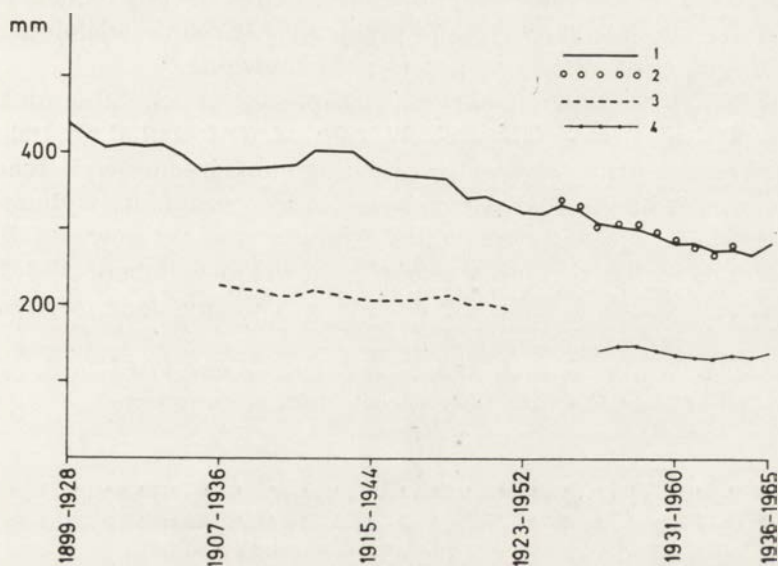




kości opadu w terenach wysokogórskich oraz w górach nadrzeźnych, a więc w obszarach otrzymujących największe opady.

## B. Średni opad roczny

Materiał obserwacyjny — jak wspomniano — jest niejednorodny, dotyczy różnych okresów, przeważnie krótkich. Nie nadaje się przeto do pełnego wyrównania, możliwe jest jednakże oszacowanie wartości wieloletnich dla stacji o krótkich okresach obserwacji. Możliwość takiego szacunku wynika z równoległości i proporcjonalności zmian rocznych sum opadu w stacjach pobliskich i położonych w podobnych warunkach geograficznych. Opierając się na podobieństwie zmienności opadów



Ryc. IV-3-2. Opad roczny — średnie konsekutywne 30-letnie.

1. Valparaiso
2. Catapilco
3. Los Andes
4. Petorca

z roku na rok oszacowano średnie opady z wielolecia w 20 stacjach, w tym 8 z dorzecza R. Aconcagua. Jako okres obliczeniowy przyjęto 30-lecie 1931—1960, dla którego opublikowane zostały dane z wybranych stacji z terytorium Chile (42, 30).

Oszacowanie sum opadu w poszczególnych stacjach dla tego samego okresu jest konieczne, gdyż — jak wynika z długoletnich serii obserwacyjnych — opady od końca ubiegłego stulecia ulegają stopniowemu zmniejszeniu. Zjawisko to da się stwierdzić przede wszystkim na przykładzie Valparaiso, gdzie pomiary dokonywane są systematycznie od 1899 roku, a z przerwami od 1869 roku. Dla stacji tej, jak również dla trzech innych, mających dłuższe serie obserwacyjne, obliczono średnie konsekwentne dla okresów 30-letnich. Wykazują one wyraźne zmniejszanie się opadu w trzech stacjach (ryc. IV-3-2). Tylko w Petorca, gdzie obserwacje obejmują okres 39 lat, tendencja taka nie ujawnia się w sposób przejrzysty. Średnie wieloletnie z różnych okresów nie są przeto porównywalne.

Nie można zatem traktować również średnich 30-letnich, jako wartości „normalnych”. W celu zorientowania się, jaki okres można uznać za dostatecznie długi, aby średnie wyliczone na jego podstawie charakteryzowały opady normalne, wyliczono średnie konsekwentne dla Valparaiso dla okresów 40, 50 i 60-letnich. Ich skrajne wartości zestawiono w tabeli IV-3-2. Średnia wyliczona z 80 lat, dla których mamy dane, wynosi

Tabela IV-3-2

Zmienność średnich wartości wieloletnich opadu rocznego  
w Valparaiso

Długość okresu w latach	Średni opad roczny	
	w mm od do	w % średniego opadu z 80 lat od do
30	367,5—537,3	82,5—120,6
40	398,3—509,0	89,4—114,3
50	421,1—492,9	94,5—110,7
60	432,8—471,9	97,2—105,9

445,4 mm. Przyjmując tę wartość za 100% stwierdzamy, że jeszcze średnie 60-letnie odbiegają od niej dość znacznie.

Istniejący materiał nie charakteryzuje przeto opadów normalnych. Tym bardziej niezbędne jest zestawianie opadów różnych stacji tylko z tych samych okresów. Dlatego dla stacji, dla których to było możliwe, oszacowano średnie opady roczne z okresu 1931—1960, opierając się w niektórych przypadkach nawet na bardzo krótkich seriach obserwacyjnych (La Mostaza 7, Rio Blanco 9 lat). Obliczenia dokonywano przyjmując, że stosunek średnich opadów z tych samych krótkich okresów obserwacji w dwóch stacjach o podobnej zmienności sum rocznych opadu jest taki sam, jak stosunek średnich z okresu trzydziestolecia.

Stacji z oszacowanym opadem jest, niestety, zbyt mało, aby przedstawić rozmieszczenie opadu rocznego w dorzeczu. Podjęto przeto próbę uzyskania mapy pluwiometrycznej na innej drodze. W rozkładzie wskaźnika opadu w środkowym Chile widać wyraźny wpływ trzech czynników: szerokości geograficznej, odległości od morza i wysokości bezwzględnej. Ilość opadów wzrasta z szerokością geograficzną. Istnieje też silnie zaznaczony kontrast między obfitymi opadami strefy wysokogórskiej i znacznie mniejszymi — obszarów niższych. Najtrudniej uchwytana jest rola odległości od morza, zacierają ją bowiem wpływy orografii terenu. Zaznacza się ona większymi sumami opadu w strefie nadmorskiej i małymi opadami w kotlinach osłoniętych od morza pasmami gór.

Te same czynniki oddziałują na terenie dorzecza R. Aconcagua. Potwierdzenie daje analiza istniejącego materiału. Postanowiono przeto wypróbować, czy da się określić związek między sumą opadu, a wymienionymi czynnikami. W szukaniu korelacji natrafiamy na trudności. Jedne wynikają z nierównomiernego rozmieszczenia stacji pluwiometrycznych i braku stacji wysokogórskich. Inne wiążą się z charakterem oddziaływania czynników kształtujących opad. Wiadomo, że opad nie wzrasta proporcjonalnie do wysokości, a na pewnych wysokościach występuje nawet inwersja opadowa. Bardzo skompliko-



wany związek istnieje między opadem i odległością do morza. Konfiguracja terenu sprawia, że opad nie maleje stopniowo ze wzrostem odległości od morza. Poza tym na wielkość opadu wpływają warunki lokalne stacji, zniekształcające wpływ czynników głównych. Wszystkie wymienione trudności nie przekreślają jednak możliwości szukania korelacji, nakazują tylko ostrożność w ocenie uzyskanych wyników.

Do rachunku korelacyjnego wzięto 20 stacji, dla których można było określić potrzebne dane: sumę opadu rocznego, wysokość bezwzględną i współrzędnę geograficzną. Długością geograficzną zastąpiono czynnik odległości od morza. Obliczenie korelacji między czterema zmiennymi wykonano metodą Doolittle'a. Współczynnik korelacji wielokrotnej wynosi  $R = 0,752$ . Wprowadzając poprawkę ze względu na małą liczebność próby według wzoru

$${}_cR^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N-1}{N-m}$$

gdzie  $N$  jest liczbą stacji, a  $m$  liczbą zmiennych korelowanych, otrzymujemy współczynnik  ${}_cR = 0,696$ .

Rachunek doprowadza do następującego równania regresji

$$P' = 0,204H + 237,1 (\lambda - 70^\circ) + 136,48 (\varphi + 30^\circ) - 352,8.$$

W równaniu  $P'$  oznacza opad roczny w mm,  $H$  — wysokość bezwzględną punktu w m,  $(\lambda - 70^\circ)$  — długość geograficzną pomniejszoną o  $70^\circ$ ,  $(\varphi + 30^\circ)$  — bezwzględną wartość szerokości geograficznej pomniejszoną o  $30^\circ$ . Pomniejszenia współrzędnych geograficznych i zmiany znaku szerokości geograficznej dokonano dla uproszczenia rachunku.

Wyniki uzyskane z obliczeń ( $P'$ ) w zestawieniu z danymi wyjściowymi ( $P$ ) przedstawiono w tabeli IV-3-3.

Dość duże różnice wyników uzyskanych ze wzoru i z danych wyjściowych, osiągające skrajnie 23%, wynikają zapewne nie tylko z trudności ścisłego uchwycenia wpływu czynników oddziałujących na opad i niedoskonałości materiału wyjściowego, ale również ze zmienności opadów rocznych.

Średni opad roczny w okresie 1931—1960

Stacja	Opad średni roczny w mm		$P' - P$	$\frac{P' - P}{P} 100$
	z okresu 30 lat P	wyliczony wg wzoru P'		
Valparaiso	380,4	454,2	73,8	19,4
Cerro Alegre	443	472,8	29,8	6,7
Quilpué	504,6	435,3	-69,3	13,7
Puchuncavi	381	383,1	2,1	0,6
Villa Alemana	461	435,5	-25,5	5,5
Catapilco	382,7	325,6	-57,1	14,9
Limache	390	392,1	2,1	0,5
La Ligua	341,7	294,5	-47,2	13,8
Quillota	400	367,9	-32,1	8,0
La Calera	322	362,9	40,9	12,7
El Ingenio	337	281,0	-56,0	16,6
Cabildo	308	274,4	-33,6	10,9
San Lorenzo	295	276,8	-18,2	6,2
Petorca	235,6	288,8	53,2	22,6
Polpaico	322	395,0	73,0	22,7
Putendo	277	325,5	48,5	17,5
San Felipe	270	325,3	55,3	20,5
La Mostaza	342	367,9	25,9	7,6
Los Andes	289	342,2	53,2	18,4
Rio Blanco	534	411,3	-122,7	23,0

Zmienność ta sprawia, że średnie sumy z 30-lecia dość znacznie mogą odbiegać od wartości normalnych. A tylko takie wartości mogłyby być określone wzorem, w którym uwzględniono jedynie niezmiennie cechy stacji. Na korzyść wzoru przemawia to, że w przypadkach stacji, dla których wynik uzyskany na podstawie wzoru dość znacznie odbiega od średniej 30-letniej, odchylenie to jest z reguły w kierunku średniej obliczonej dla dłuższego okresu czasu. Tak jest w przypadku Valparaiso, Petorca, Polpaico, Las Andes, La Calera. Różnice między opadem obliczonym ze wzoru i uzyskanym dla tych stacji z długoletniej serii są mniejsze niż podane w tabeli i w skrajnym przy-

padku sięgają 19,5% (Petorca). Największą rozbieżność między wartością obliczoną i wyjściową wykazuje Rio Blanco. Dla stacji tej mamy dane opadowe tylko z 9 lat, toteż oszacowanie średniego opadu z 30-lecia mogło dać wynik obarczony dużym błędem. Ryzykowny zabieg szacowania wykonano dlatego, że Rio Blanco jest jedyną stacją w obrębie wysokich Andów, dla której można było go zastosować.

Wydaje się, że uzyskane w oparciu o wzór dane upoważniają do podjęcia próby narysowania mapy pluwiometrycznej (ryc. IV-3-1). Konstrukcja jej może przebiegać dwójako. Można dla dowolnie wybranych punktów mapy określić potrzebne współrzędne ( $H$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ) i obliczyć opad. Można też na przecięciach siatki kartograficznej, na przykład co 15', obliczyć wielkość opadu na poziomie morza, a następnie określać, dla jakich wysokości wskaźnik opadu wynosić powinien określoną wartość, np.: 400 mm, 600 mm itd. W drugim sposobie unika się przypadkowości w wyborze punktów, a kreślenie izohiet można przeprowadzić, pełniej uwzględniając konfiguracją terenu.

Charakter zależności między opadami i pozostałymi czynnikami sprawia, że uzyskanych wyników nie można traktować jako ścisłych. Dlatego na mapie przebieg izohiet silnie zgeneralizowano, traktując ją jako mapę orientującą w rozmieszczeniu opadu, a nie jako podstawę do obliczenia wskaźnika opadu w dorzeczu. Do tego celu jest ona za mało dokładna, zwłaszcza rozmieszczenie opadu w górach ma charakter hipotetyczny.

Najuboższy w opady — poniżej 400 mm — jest środkowy pas dorzecza ciągnący się wzdłuż rzeki głównej i rozszerzający się południkowo w strefie kotliny San Felipe. Góry nadmorskie otrzymują więcej opadu, w najwyższych partiach zapewne ponad 600 mm. Największe opady zbiera Kordyliera Główna, zwłaszcza jej część południowa i wschodnia, gdzie sumy roczne przekraczają 1000 mm.

Porównując uzyskany obraz z rozmieszczeniem opadów przedstawionych na mapie pluwiometrycznej Chile przez E. Almeyda Arroyo (2), stwierdzamy zgodność w szacowaniu maksymalnych opadów w dorzeczu. Jednak według naszego sza-

Tabela IV-3-4

## Rozkład opadów w roku

Stacja	Okres obserwacji	Wyso-kość opadu	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	lato	jesień	zima	wiosna	Suma opadu w okresie V—VIII
																XII—II	III—V	VI—VIII	IX—XI	
Valparaiso	60	mm	1,8	1,4	4,0	16,9	95,0	126,0	88,4	63,1	26,7	12,1	5,7	2,9	444,1	6,1	115,9	277,5	44,5	372,5
			%	0,4	0,3	0,9	3,8	21,4	28,4	19,9	14,2	6,0	2,7	1,3	0,7	1,4	26,1	62,5	10,0	83,9
Limache	33	mm	2,6	4,2	3,1	15,6	69,9	98,6	81,8	79,9	20,4	10,5	3,9	4,9	395,4	11,7	88,6	260,3	34,8	330,2
			%	0,7	1,1	0,8	3,9	17,7	24,9	20,7	20,7	5,2	2,7	1,0	1,2	3,0	22,4	65,8	8,8	83,5
Quillota	36	mm	2,2	5,2	2,1	16,0	81,5	121,7	89,4	69,3	22,9	13,0	6,3	2,1	431,7	9,5	99,6	280,4	42,2	361,9
			%	0,5	1,2	0,5	3,7	18,9	28,2	20,7	16,1	5,3	3,0	1,5	0,5	2,2	23,1	65,0	9,8	83,8
La Calera	35	mm	1,5	3,6	0,5	14,6	73,5	93,5	73,9	60,6	17,6	9,5	4,2	1,9	354,9	7,0	88,6	228,0	31,3	301,5
			%	0,4	1,0	0,1	4,1	20,7	26,4	20,8	17,1	5,0	2,7	1,2	0,5	1,9	24,9	64,3	8,9	85,0
Putendo	12	mm	—	—	0,4	11,9	42,3	74,3	56,3	43,8	21,2	7,2	1	—	258,4	—	54,6	174,4	23,4	216,7
			%	—	—	0,2	4,6	16,4	28,7	21,8	16,9	8,2	2,8	0,4	—	—	21,2	67,4	11,4	83,8
Los Andes	48	mm	2,0	3,2	3,4	14,6	60,0	80,9	58,5	51,7	24,1	10,5	4,6	3,6	317,1	8,8	78,0	191,1	39,2	251,1
			%	0,6	1,0	1,1	4,6	18,9	25,5	18,5	16,3	7,6	3,3	1,5	1,1	2,7	24,6	60,3	12,4	79,2
Rio Blanco	9	mm	1,4	6,0	9,0	39,2	114,4	119,2	102,0	66,0	41,8	17,3	1,9	2,1	520,4	9,5	162,6	287,2	61,0	401,6
			%	0,3	1,2	1,7	7,5	22,0	22,9	19,6	12,7	8,0	3,3	0,4	0,4	1,9	31,2	55,2	11,7	77,2



cunku podobnego rzędu opady występować mogą nie tylko w źródłowych partiach R. Juncal i R. Blanco, ale również R. Colorado. Almeyda Arroyo znaczy na swej mapie duży obszar w środkowej części dorzecza z opadami poniżej 300 mm. Na podstawie wzoru uzyskuje się w tym rejonie opady przekraczające 300 mm. Sądzić można, że opad normalny jest tu rzeczywiście większy, na co wskazuje średnia wartość z 45 lat w Los Andes — 317 mm.

### C. Sezonowy rozkład opadów

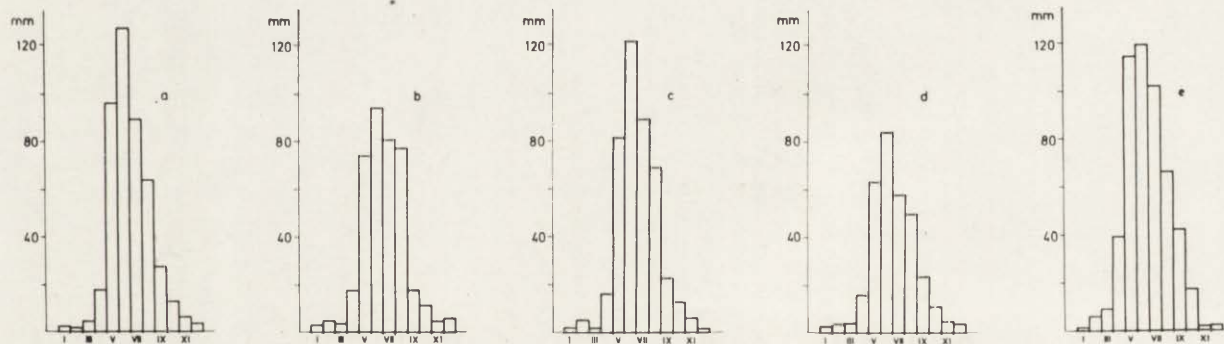
W rozkładzie opadów w ciągu roku zaznacza się wybitna sezonowość (ryc. IV-3-3). Wyjątkowo dużymi sumami opadu charakteryzują się cztery miesiące jesienno-zimowe, od maja do sierpnia. W okresie tym spada średnio 80% całorocznego opadu (tabela IV-3-4).

Pora opadowa jest typowa dla klimatu śródziemnomorskiego, kontrast jednak między suchym latem i okresem deszczowym jest znacznie silniej zaakcentowany, niż w typowym klimacie śródziemnomorskim. Ilustruje to wskaźnik okresowości, wyliczony z wzoru

$$W = \frac{\sum \left( m_i - \frac{P}{12} \right)}{P} \cdot 100$$

gdzie  $P$  jest średnim opadem rocznym, a  $m_i$  średnim opadem miesięcznym (53). Wskaźnik osiąga wielkie wartości: Los Andes 92%, Limache 100%, Valparaiso 101%, Quillota 103%, Putaendo 101%, Los Andes 92%, Rio Blanco 88%. Wartości tego rzędu są charakterystyczne dla obszarów o najsilniej na świecie zaakcentowanej sezonowości opadu i znacznie przekraczają odpowiednie wartości spotykane nad Morzem Śródziemnym (Lizbona 53%, Rzym 34%, Ateny 47%, Alger 57%, Aleksandria 70%).

Wybitna okresowość opadu jest najbardziej typowym zjawiskiem klimatycznym badanego obszaru. Powtarza się ona



Ryc. IV-3-3. Rozkład opadów w roku.

a) Valparaiso 1901—1960

b) Limache 1931—1960

c) Quillota 1913—1951

d) Los Andes 1907—1951

e) Rio Blanco 1946—1963

z roku na rok i do wyjątków należą lata, gdy w którymś z miesięcy ciepłej pory roku zanotowana zostanie większa suma opadu. Dzięki tej regularnej rytmice okresowej opadów nawet krótkie serie obserwacyjne dają wykresy średnich sum miesięcznych o typowym przebiegu (Rio Blanco na ryc. IV-3-3).

Częstość występowania dni z opadem wykazuje podobne zróżnicowanie w czasie, jak ilość opadów. W tabeli IV-3-5 zestawiono przeciętne ilości dni z opadem w stacjach, dla których opublikowane zostały szczegółowe dane. Większą częstość opadów wykazuje stacja nadmorska oraz stacje położone w większych szerokościach geograficznych (Limache, Quilpué). Wpływ morza zaznacza się również w większej częstości opadów o małej wydajności. W Valparaiso jest ich więcej niż w pozostałych stacjach.

#### D. Zmiennność opadu

Regularności rozkładu opadów w ciągu roku przeciwstawia się wielka zmienność opadu z roku na rok, zarówno w sumach rocznych, jak i miesięcznych. We wszystkich stacjach, dysponujących dostatecznie długimi seriami obserwacyjnymi, zarejestrowano zarówno lata o wybitnie dużych jak i bardzo małych sumach rocznych (tab. IV-3-6).

Charakterystyczne dla tego regionu są współczynniki nie-regularności przekraczające 10, a nawet 20, wartości niespotykane w klimacie śródziemnomorskim. Mniejsze wartości wykazują tylko te stacje, dla których brak jest danych z lat wyjątkowo suchych lub mokrych (Catapilco, Cabildo, Petorca). Ubóstwo lub obfitość opadów zaznacza się na całym obszarze równocześnie (ryc. IV-3-4). Wyjątkowo duże opady wystąpiły w latach 1914, 1926, 1941. Do ubogich należały lata: 1916, 1924, 1938, 1946. Wyjątkowo suchy był rok 1924; zaznaczył się on minimum opadowym we wszystkich stacjach.

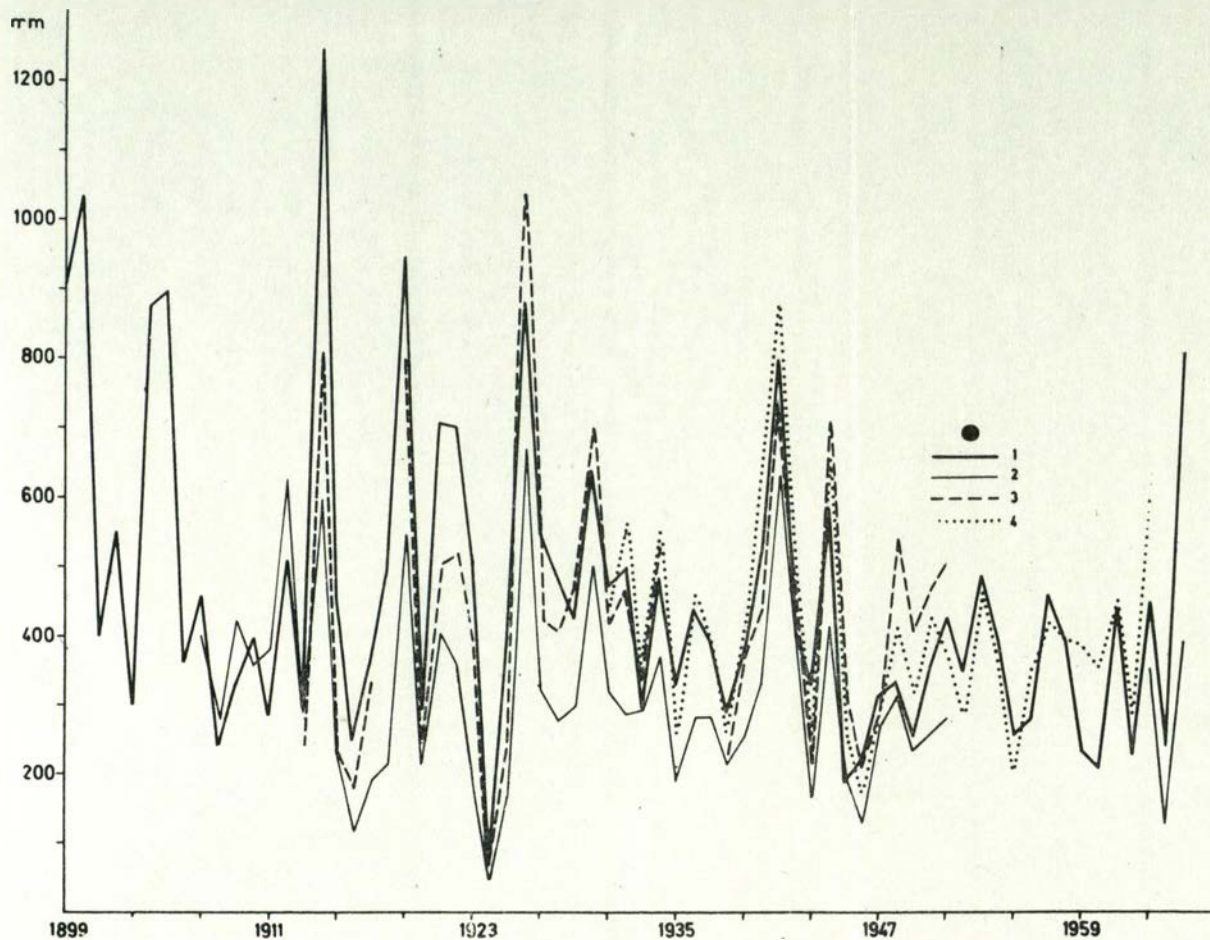
Zmienność sum miesięcznych opadu jest bardzo duża. W każdym miesiącu roku opad może być znikomo mały i nie-

Tabela IV-3-5

## Częstość występowania dni z opadem

Stacja	Wielkość opadu w mm	Przeciętna ilość dni z opadem												Rok
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Valparaiso (1911—1960)	≥0,1	0,7	0,6	0,9	2,3	6,0	7,7	6,7	6,1	3,3	2,5	1,1	0,5	38,3
	≥1,0	0,5	0,3	0,5	1,5	4,5	6,6	5,1	4,9	2,2	1,7	0,5	0,3	28,6
	≥10,0	0,1	0,1	0,1	0,3	2,4	3,4	2,5	2,1	0,6	0,5	0,1	0,2	12,4
Quilpué (1918—1960)	≥0,1	0,3	0,3	0,5	1,5	4,5	6,3	5,8	4,4	2,0	1,5	0,4	0,2	27,6
	≥1,0	0,3	0,3	0,5	1,4	4,2	6,1	5,3	4,1	1,8	1,5	0,4	0,2	26,0
	≥10,0	0,2	0,1	0,2	0,6	2,7	3,9	3,1	2,8	1,2	0,4	0,2	0,2	15,6
Catapilco (1925—1960)	≥0,1	0,2	0,3	0,2	1,0	3,6	4,5	4,4	3,7	1,7	1,1	0,3	0,2	21,1
	≥1,0	0,2	0,2	0,2	0,9	3,4	4,5	4,3	3,6	1,7	1,0	0,2	0,2	20,4
	≥10,0	0,1	0,1	0,1	0,5	2,1	2,7	2,4	2,5	0,6	0,3	0,1	0,1	11,7
Limache (1921—1960)	≥0,1	0,3	0,4	0,3	1,2	4,4	5,9	5,3	4,2	2,2	1,8	0,4	0,3	26,6
	≥1,0	0,1	0,3	0,3	1,1	4,4	5,3	4,8	3,8	1,9	1,4	0,4	0,2	24,0
	≥10,0	0,1	0,1	0,1	0,5	2,4	2,8	2,3	2,3	0,6	0,4	0,1	0,2	11,9
La Ligua (1912—1960)	≥0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	3,1	4,3	4,2	3,5	1,3	0,9	0,3	0,2	19,3
	≥1,0	0,1	0,2	0,1	0,1	3,0	4,2	3,4	2,3	1,2	0,9	0,3	0,2	17,1
	≥10,0	0,0	0,1	0,0	0,6	2,0	2,4	2,2	2,1	0,5	0,4	0,1	0,1	10,8





Ryc. IV-3-4. Zmienność sum rocznych opadu.

1. Valparaiso
2. Los Andes
3. Quillota
4. Limache

## Największe i najmniejsze opady roczne

Stacja	Opad roczny				Ilość lat obserwacji	Współczynnik nieregularności
	największy		najmniejszy			
	mm	rok	mm	rok		
Valparaiso	1247,0	1914	61,8	1924	80	20,2
Quilpue	1121,0	1941	61,3	1294	46	18,3
Catopilco	1185,6	1926	151,8	1955	40	7,8
Limache	889,0	1941	69,8	1946	36	12,7
La Ligua	833,5	1926	35,9	1924	52	23,2
Quillota	1062,9	1926	65,6	1924	36	16,2
La Calera	791,5	1926	54,0	1924	35	14,7
Cabildo	651,9	1941	160,3	1946	31	4,1
San Lorenzo	711,5	1926	39,2	1924	40	18,2
Petorca	461,5	1941	106,0	1964	39	4,4
Polpaico	921,6	1926	56,1	1924	31	16,4
Los Andes	682,6	1926	49,5	1924	48	13,8

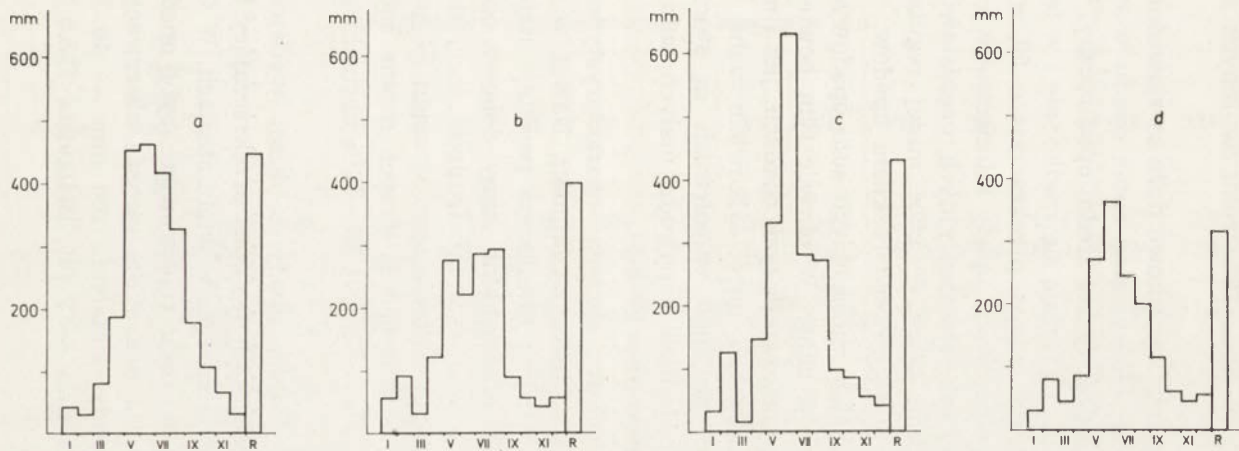
mal w żadym miesiącu może go nie być wcale. Miesiące, w których nie zanotowano opadu, stanowią w każdej stacji ponad 30% wszystkich miesięcy z prowadzonymi obserwacjami. To znaczy, że przeciętnie mniej więcej trzecia część roku pozbawiona jest opadu. W Putaendo w ciągu 12 lat zarejestrowano aż 75 miesięcy suchych, co stanowi około 52% całego okresu obserwacji.

Częstość występowania miesięcy suchych związana jest z porą roku. W tabeli IV-3-7 zestawiono procentowy udział w okresie obserwacji miesięcy bez opadu lub z opadem nie dającym się zmierzyć. Nawet w Rio Blanco, gdzie dane opadowe obejmują tylko 9 lat, zaznacza się charakterystyczny kontrast między latem, podczas którego miesiące bez deszczu są zjawiskiem pospolitym i okresem zimy, gdy miesiące posuszne zdarzają się wyjątkowo. W porze opadowej, mimo obfitości opadu, sumy miesięczne redukują się w niektórych latach do wartości minimalnych --

Tabela IV-3-7

Częstotliwość miesięcy bezdeszczowych (w %)

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	% miesięcy bez deszczu
Valparaiso	72,5	72,5	46,3	27,5	2,5	1,3	—	1,3	10,0	25,0	50,0	58,8	30,6
Limache	78,8	75,8	75,8	45,5	3,0	3,0	3,0	—	9,1	30,3	72,7	81,8	39,9
Quillota	83,3	69,4	50,0	25,0	5,6	—	—	—	5,6	8,3	38,9	75,0	30,1
Petorca	87,2	87,2	82,1	48,1	5,1	5,1	2,6	2,6	25,6	41,0	79,5	84,6	45,9
Putando	100	100	75,0	58,3	8,3	8,3	8,3	—	33,3	41,7	91,7	100	52,1
Los Andes	81,3	81,3	62,5	35,4	6,3	—	8,3	4,2	8,3	20,8	62,5	81,3	37,7
Rio Blanco	55,6	66,7	44,4	33,3	11,1	—	—	11,1	33,3	55,6	77,8	88,9	39,8



Ryc. IV-3-5. Największe zanotowane sumy miesięczne opadu.

- a) Valparaiso — 80 lat
- b) Limache — 33 lata
- c) Quillota — 36 lat
- d) Los Andes — 48 lat
- R — średni opad roczny



w Valparaiso 2,5 mm w lipcu 1950 roku, w innych stacjach 1 mm lub mniej.

Miesięczne sumy opadu wyjątkowo duże są zjawiskiem częstym w porze zimowej. Maksymalna suma opadu w czerwcu niemal w każdej stacji przewyższa średni opad roczny. W lecie miesiące z dużym opadem zdarzają się rzadko, ale i w tej porze roku notuje się niekiedy sumy przekraczające 50, a nawet 100 mm. Największe zanotowane opady miesięczne w czterech stacjach o długich seriach obserwacyjnych przedstawiono na wykresach (ryc. IV-3-5), które — choć mniej regularne — przypominają wykresy sezonowego rozkładu opadów.

Zmienność bezwzględna miesięcznych sum opadowych jest, oczywiście, największa w zimie. W okresie tym bowiem zdarzają się miesiące o wyjątkowo dużych opadach, jak i miesiące niemal opadu pozbawione lub nawet całkowicie suche. Odchylenia zaś od wartości średnich wieloletnich są stosunkowo większe w miesiącach letnich z powodu małych sum opadu w przekroju wieloletnim (tab. IV-3-8).

Dla całego omawianego obszaru charakterystyczne jest występowanie opadów o dużej wydajności. Nawet w okresie jesienno-zimowym cała suma miesięczna powstaje najczęściej tylko z kilku opadów. Maksymalne sumy dobowe opadu są tego samego rzędu, co w Polsce. W Quilpué zarejestrowano największy w omawianym regionie opad w ciągu 24 godzin — 193 mm. Na podstawie istniejących danych można sądzić, że maksymalny opad dobowy stanowi 30—40% normalnego opadu rocznego.

W porównaniu z Polską opady o dużej wydajności są znacznie powszechniejsze. Dobowy opad przekraczający 100 mm nie jest zjawiskiem wyjątkowym w wielu stacjach. W Quilpué w sześciu miesiącach w roku rejestrowane były opady tego rzędu. Nawet w stacjach o krótkim okresie obserwacji notowano tak wysokie opady: Putaendo 108 mm — 10 lat, Rio Blanco 108 mm i 105 mm — 9 lat, Bellavista 125,5 mm — 9 lat obserwacji.

Tabela IV-3-8

## Największe i najmniejsze opady miesięczne w mm

Stacja	Okres obserwacji w latach		Miesiące											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Valparaiso	60	śr. wielolet.	1,8	1,4	4,0	16,9	95,0	126,0	88,4	63,1	26,7	12,1	5,7	2,9
		max	42,0	30,0	40,0	102,0	452,0	458,3	300,0	248,0	175,4	105,1	65,9	32,6
		min	—	—	—	—	—	—	2,5	1,9	—	—	—	—
		max-min	23,3	21,4	10,0	6,0	4,8	3,6	3,3	3,9	6,6	8,7	11,6	11,2
		śr.												
Lima	33	śr. wielolet.	2,6	4,2	3,1	15,6	69,9	98,6	81,8	79,9	20,4	10,5	3,9	4,9
		max	55,0	92,5	31,4	122,1	275,0	220,0	284,0	293,6	89,6	56,7	43,5	48,0
		min	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
		max-min	21,2	22,0	10,1	7,8	3,9	2,2	3,5	3,7	4,4	5,4	11,2	9,8
		śr.												
Los Andes	48	śr. wielolet.	2,0	3,2	3,4	14,6	60,0	80,9	58,5	51,7	24,1	10,5	4,6	3,6
		max	31,0	80,7	44,5	91,4	272,2	364,0	245,9	200,0	115,0	60,0	45,0	54,0
		min	—	—	—	—	—	0,5	—	—	—	—	—	—
		max-min	15,5	25,2	13,1	6,3	4,5	4,5	4,2	3,9	4,8	5,7	9,8	15,0
		śr.												

Tabela IV-3-9

## Maksymalny opad dobowy w mm

Stacja	Okres obserwacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Valparaiso	1911—1960	25,2	24,0	38,0	92,1	171,5	185,8	81,7	103,5	75,5	41,0	36,1	32,6
Quilpué	1918—1960	35,0	119,0	46,0	122,0	168,0	193,0	111,0	155,0	70,0	43,0	34,0	32,0
Catopilco	1925—1960	34,0	90,0	25,0	69,5	134,0	98,0	93,0	99,0	63,0	35,0	42,5	28,2
Limache	1921—1960	31,0	62,5	25,0	93,0	129,0	95,0	84,0	122,5	45,0	20,0	43,5	48,0
La Ligua	1912—1960	19,0	74,0	14,0	60,0	92,0	104,0	120,0	106,0	65,0	46,0	36,0	37,0
Petorca	1927—1960	16,0	62,0	25,0	46,5	98,5	54,6	44,7	66,0	45,8	24,9	17,0	30,0

Największe dobowe opady występują w porze jesienno-zimowej (tabela IV-3-9). Deszcze letnie i wiosenne, chociaż mogą mieć dużą intensywność, są znacznie mniej obfite. Jednakże i w tych porach roku wyjątkowo zdarzają się opady dobowe bardzo wysokie (Quilpué 119 mm w lutym, Putaendo 108 mm we wrześniu, Catapilco 90 mm w lutym).

## E. Śnieg

Wiadomości o opadach śniegu i o pokrywie śnieżnej w środkowym Chile są nadzwyczaj skąpe. Roczniki meteorologiczne nie publikują żadnych danych na ten temat, co uniemożliwia jakiegokolwiek ujęcie liczbowe zjawisk. Główne źródło informacji stanowi dzieło Lliboutry (29), w którym autor zebrał dostępne dane i wzbogacił je własnymi obserwacjami i informacjami uzyskanymi od miejscowej ludności. Gołubiew (18), który w 10 lat po ukazaniu się pracy Lliboutry usiłował znaleźć nowe materiały do określenia warunków formowania się lawin w Andach nie dotarł do żadnych materiałów — poza obserwacjami ze stacji przy kopalni Sewell — mogących rozszerzyć znajomość zagadnienia. Gołubiew przeprowadził krótkie serie własnych pomiarów zimą 1965 roku i odbył w tym czasie kilka lotów nad obszarem andyjskim. Na podstawie tego materiału podał kilka interesujących uogólnień dotyczących formowania się i zanikania pokrywy śnieżnej.

W dorzeczu R. Aconcagua opad śnieżny nie występuje w kotlinach podandyjskich i w dolnych częściach stoków, gdzie skupione są niemal wszystkie stacje obserwacyjne. W leżącym nieco dalej na południe, niż dorzecze R. Aconcagua, Santiago (540 m) śnieg zdarza się raz na kilka lat (8). Im wyżej, tym zjawisko śniegu jest częstsze, ale pokrywa śnieżna utrzymuje się dopiero na znacznych wysokościach. W górach na północo-wschód od Santiago (Farellones) nie spotyka się jej poniżej 1800 m. Na wysokości 2600 m pokrywa śnieżna ma już dużą trwałość, zalega od połowy maja do połowy września. W dorzeczu R. Aconcagua, położonym bliżej równika i ma-



jącym mniejsze opady, linia, powyżej której śnieg może tworzyć pokrywą utrzymującą się jakiś czas, wznosi się do większej wysokości, zwłaszcza w północnej części dorzecza.

Opady występują najczęściej w formie gwałtownych śnieżyc, oddzielonych okresami bezopadowymi. Według Lliboutry w miesiącach zimowych wypada przeciętnie po 8 dni z opadem śnieżnym. Jedna śnieżyca dostarcza niejednokrotnie kilkadziesiąt, a nawet ponad 100 mm śniegu. Obfity opad w jesieni lub na początku zimy może dać w wysokich górach początek pokrywie, która zalega przez całą zimę.

Na charakter pokrywy śnieżnej wpływ mają warunki meteorologiczne i terenowe. Gwałtowność opadu, któremu towarzyszą silne wiatry, sprawia, że akumulacja śniegu jest bardzo nierównomierna. Jednorazowy opad zgromadzić może w dogodnych warunkach pokrywą kilkumetrowej nawet grubości. Akcji przemieszczania spadłego śniegu sprzyjają wielkie spadki terenu. Powyżej 3000 m działanie wiatru ułatwione jest występowaniem śniegu w postaci pyłu. W zależności od stanu pogody akumulacja śniegu doprowadza do powstania pokrywy śnieżnej o różnej postaci, a zespół warunków w wysokich górach powoduje, że charakter jej jest bardzo zróżnicowany w przestrzeni. Obserwacje czynione z samolotów potwierdzają zróżnicowanie przestrzenne pokrywy śnieżnej. Ujawniają one, że na tych samych wysokościach śnieg znacznie obficie gromadzi się na stokach wystawionych bezpośrednio na działanie wiatrów z nad oceanu.

Pokrywa śnieżna ulega silnej transformacji, zależnie od warunków zalegania śniegu, przede wszystkim od wysokości bezwzględnej, ekspozycji i nachylenia stoków. Po kilku dniach po opadzie pokrywa śnieżna w warstwie powierzchniowej ulega przemianie w szreń lub lodoszreń w strefie niższych partii stoków, a powyżej w formacje mikropenitentów lub penitentów na dużych wysokościach.

Jednym z ważnych procesów przekształcania pokrywy są lawiny śnieżne. Zmieniają one grubość i właściwości pokrywy. W dorzeczu R. Aconcagua zagadnienie to nie jest dotychczas

opracowane. Wiadomo, że bardzo narażone na lawiny są okolice Portillo, a w dolinie R. Blanco działa specjalna służba lawinowa mająca za zadanie ochronę przed lawinami instalacji znajdującej się tam kopalni.

Duży wpływ mają warunki pogodowe. Przeciętnie w każdym miesiącu zimowym przypada 10 dni słonecznych i 10 dni, w których niebo pokryte jest chmurami w 20—80%. Silna insolacja powoduje duże straty na parowanie. Nawet przy temperaturach ujemnych w suchym powietrzu proces sublimacji zachodzi intensywnie. Przy temperaturach dodatnich sublimacja ma mniejsze znaczenie, występuje natomiast obfite topnienie. Jak wynika z obliczeń Gołubiewa (18), w strefie wysokości 2000—2500 m bilans promieniowania jest dodatni przez cały rok, w związku z tym na tej wysokości procesy ablacyjne zachodzą w ciągu całej zimy. Nasilenie ablacji jest bardzo zróżnicowane przestrzennie, zależy od aktualnego stanu pokrywy śnieżnej i jej położenia w strefie wysokości oraz od ekspozycji.

Ocena roli hydrologicznej śniegu przy aktualnym stanie badań jest trudna do przeprowadzenia. Dla pełnego naświetlenia zagadnienia niezbędne są dokładniejsze dane o opadach śnieżnych, a ponadto o warunkach powstawania, transformacji i zanikania pokrywy śniegowej. Zróżnicowana trwałość pokrywy i duże straty na parowanie sprawiają, że szczegółowe nawet obserwacje opadu śnieżnego nie byłyby wystarczające. Wiadomo na przykład, że śnieg spadający w miesiącach wiosennych — mimo dobrych warunków topnienia — nie bierze prawie udziału w odpływie na skutek wielkich strat na parowanie.

Z rozmieszczenia opadów w dorzeczu R. Aconcagua wynika, że rola hydrologiczna śniegu musi być bardzo duża. Analiza dostępnych materiałów pozwala jednak wnioskować, że sposób zanikania pokrywy śniegowej przyczynia się do osłabienia wiosenno-letniego wezbrania, gdyż część wód odpływa w okresie zimowym.

Nieregularność zarówno tworzenia się, jak i zanikania pokrywy śniegowej silnie odbija się na odpływie. Znane są przypadki nagłego stopnienia śniegu nawet w strefie wysokogórskiej, gdy nad Andy wtłoczone zostają masy ciepłego powietrza powodujące opad deszczowy.

## V. ODPLÝW

### 1. MATERIAŁ LICZBOWY

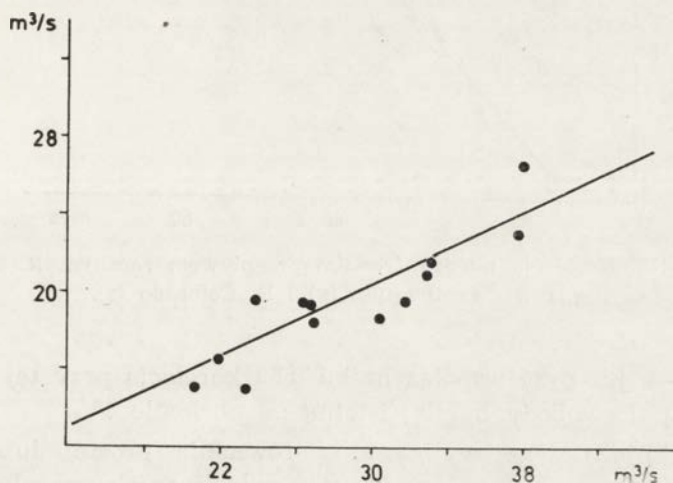
W dorzeczu R. Aconcagua pomiary hydrometryczne wykonywane były w 24 profilach. W zestawieniu z wielkością dorzecza liczba stacji pomiarowych jest duża. Dane hydrometryczne nie są jednak zadowalające. Stacje zakładane były i obsługiwane przez różne instytucje, co nie sprzyjało ciągłości i jednolitości obserwacji. Tylko nieliczne serie obserwacyjne obejmują co najmniej kilkanaście lat bez luk. Z wielu stacji dane są niekompletne lub zupełnie fragmentaryczne. Takie fragmentaryczne dane, zwłaszcza z obszaru dolnej części dorzecza, nie mają znaczenia dla statystyki odpływu, gdyż w terenie, gdzie na ilość wody w korycie rzeki wpływa w sposób decydujący gospodarka ludzka, nie istnieje korelacja między wielkością odpływu w różnych stacjach.

Materiał liczbowy dotyczący miesięcznych przepływów otrzymano w gotowej formie z przedsiębiorstwa hydroelektrycznego ENDESA w Santiago de Chile. Analiza wykazuje, że jest on obarczony błędami zwłaszcza w latach dawniejszych. Kontrolę materiału liczbowego wszystkich stacji przeprowadzono pod kątem eliminacji rażących błędów i uzupełnienia luk w celu wydłużenia zbyt krótkich serii. Wykonano szereg wykresów dla stwierdzenia istnienia korelacji między średnimi przepływami rocznymi i miesięcznymi stacji sąsiednich lub zamykających zlewnie o podobnych warunkach geograficznych. Dla przykładu podano wykresy współzależności między średnimi przepływami rocznymi R. Aconcagua w Rio

Blanco i w Chacabucuito (ryc. V-1-1) oraz R. Aconcagua w Chacabucuito i R. Colorado przy ujściu (ryc. V-1-2). Współczynniki korelacji wynoszą odpowiednio 0,89 i 0,92 i są statystycznie istotne. Stosując test Fishera

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

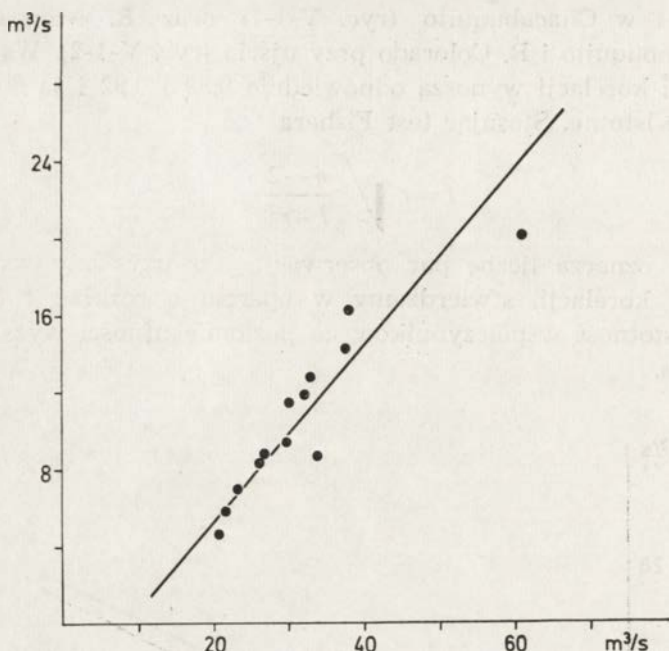
gdzie  $n$  oznacza liczbę par obserwacji, a  $r$  uzyskany współczynnik korelacji, stwierdzamy w oparciu o rozkład  $t$  Studenta istotność współczynników na poziomie ufności wyższym od 0,1%.



Ryc. V-1-1. Korelacja między średnim przepływem rocznym R. Aconcagua w Rio Blanco ( $y$ ) i w Chacabucuito ( $x$ ).

Korelacja między średnimi przepływami miesięcznymi nie występuje tak wyraźnie, ale i ta dla niektórych stacji jest wystarczająca dla uzupełnienia danych. Dla przykładu podano wykres współzależności średnich przepływów grudnia R. Aconcagua i R. Blanco w profilach Rio Blanco (ryc. V-1-3). Współczynnik korelacji jest w tym przypadku bardzo wysoki —



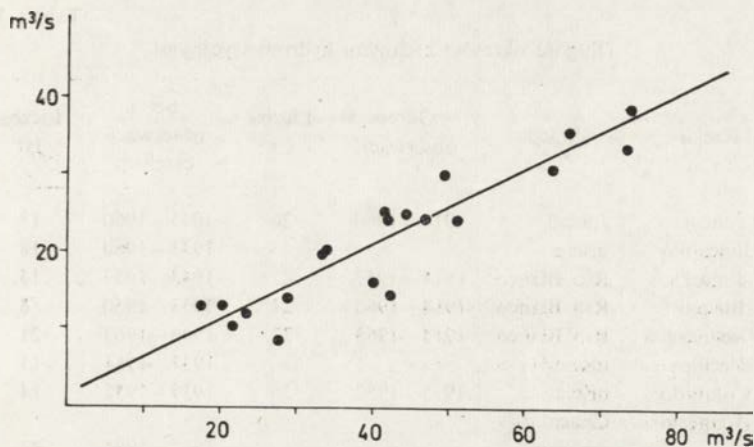


Ryc. V-1-2. Korelacja między średnim przepływem rocznym R. Aconcagua w Chacabuquito (x) i R. Colorado (y).

0,93 — a już przy współczynniku 0,59 korelacja przy tej liczbie stopni swobody byłaby istotna na poziomie 1%.

Brakujące dane wyliczono z równania prostej lub też uzupełniono je przyjmując, że stosunek średnich przepływów miesięcznych stacji jest równy stosunkowi wartości średnich wieloletnich z okresu, dla którego istnieją dane z obu stacji.

Do obliczeń statystycznych przygotowano ostatecznie materiał z 10 stacji, mających dane z okresów co najmniej kilkunastoletnich, ale niejednoczesnych, nierównych, a często i nieciągłych. Ponadto trzy stacje mają dane dla kolejnych 6 lat (tab. V-1). Pozostałe dysponują danymi skąpyimi, a dla dwóch nie ma ani jednego roku z ciągłymi obserwacjami (Panquehue i Puento Colmo).



Ryc. V-1-3. Korelacja między średnim przepływem w grudniu R. Aconcagua w Rio Blanco (x) i R. Blanco (y).

Rozmieszczenie stacji o dostatecznie długich seriach jest raczej korzystne (ryc. II-1). Są to stacje wysokogórskiej części dorzecza stanowiącej główny obszar alimentacji. Dla statystyki odpływu podstawowe znaczenie mają dwie stacje: Chacabucuito, zamykająca górną zlewnię R. Aconcagua u wylotu z głównego łańcucha Andów i Los Patos u wylotu z wysokich gór R. Putaendo, głównego dopływu R. Aconcagua. Dwie te stacje wraz z Sifon na E. Pocuro kontrolują dużą część wody wypływającej z obszarów wysokogórskich. Poza kontrolą znajdują się wody odprowadzane kanałami irygacyjnymi, zaczynającymi się powyżej wymienionych stacji, wody zużywane na nawodnienia lokalne w obszarach górskich oraz te, które spływają z głównego pasma gór systemem E. Quilpué.

## 2. ŚREDNI ODPLYW ROCZNY

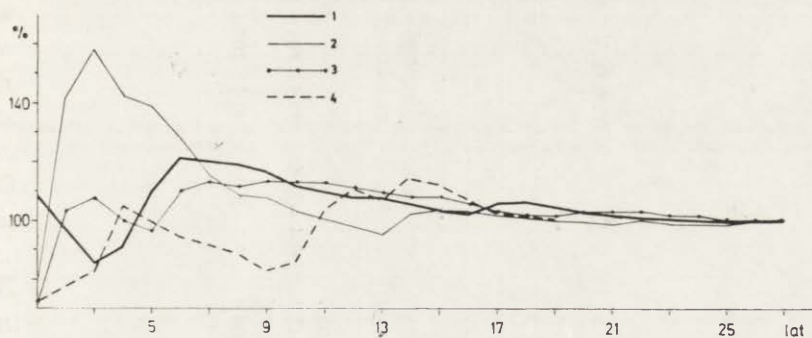
Nasuwa się pytanie, czy dla badanego ustroju rzecznej serie danych są wystarczające, aby z dostatecznym przybliżeniem określić moduł przepływu. W celu zanalizowania zagad-

Długość okresów z danymi hydrometrycznymi

Rzeka	Stacja	Okres obserwacji	Liczba lat	Seria obserwacji ciągłych	Liczba lat
R. Juncal	Juncal	1914—1960	26	1943—1960	18
E. Juncalillo	ujście			1943—1960	18
R. Juncal	Rio Blanco	1914—1957	27	1943—1957	15
R. Blanco	Rio Blanco	1914—1960	21	1953—1960	8
R. Aconcagua	Rio Blanco	1915—1963	27	1943—1963	21
E. Riecillos	ujście			1931—1941	11
R. Colorado	ujście	1915—1952	28	1939—1952	14
R. Aconcagua	Chacabuquito			1937—1963	27
E. Pocuro	Sifon			1931—1949	19
R. Putaendo	Los Patos			1940—1965	26
R. Blanco	Saladillo			1943—1948	6
E. Hualtatos	ujście			1930—1935	6
E. Rabuco	ujście			1960—1965	6

nienia wykonano obliczenia wskazujące, jak zmienia się wartość średniego przepływu rocznego wraz z wydłużaniem okresu obserwacji. Wyniki przedstawiono na wykresie (ryc. V-2-1). Dla każdej stacji liczono średni przepływ (w m<sup>3</sup>/sek) kolejno z 2, 3, 4 i większej liczby lat i każdą wartość wyliczano w procentach średniego przepływu z wielolecia, który przyjęto za 100% bez względu na długość serii obserwacyjnej. Okresy kilkuletnie dają, jak widać na wykresie, różnice średniej wartości bardzo duże. Dopiero okresy kilkunastoletnie mają wartości zbliżone do średnich wieloletnich.

Przy takim obliczeniu o przebiegu krzywej, obrazującej zmienność wartości średniej w zależności od długości serii obserwacji, decyduje w dużej mierze to, czy początkowe lata mają wartości zbliżone do średniej wieloletniej (Chacabuquito), czy też od niej znacznie odbiegające (Los Patos, Sifon). Lata o odpływach wyjątkowo dużych lub małych mają mniejszy wpływ na przebieg krzywej, jeśli zdarzają się pod koniec okre-



Ryc. V-2-1. Zależność wartości średniego odpływu rocznego (w % średniej wieloletniej) od długości serii obserwacyjnej.

1. R. Aconcagua — Chacabuquito
2. R. Putaende — Los Patos
3. R. Juncal — Juncal
4. E. Pocuro — Sifon

su obserwacji. Aby uniezależnić się od wpływu początkowych lat serii na wynik, obliczono średnie wartości konsekwentne dla okresów o różnej długości (tabela V-2-1). Średnie z okresu kilkunastu lat mogą się różnić o kilkanaście procent, a w Los Patos nawet średnie dwudziestoletnie różnią się niemal o 10%. Serie z okresów krótszych niż 20 lat trzeba zatem traktować jedynie jako wartości orientacyjne.

Średni przepływ roczny obliczono dla każdej z wybranych 10 stacji ze wszystkich lat obserwacji. Serie obejmują od 11 do 28 lat i to w różnych okresach czasu od 1914 do 1963 roku, nie nadają się więc do wyrównania. Aby uzyskać wartości bardziej zbliżone do „normalnych” posłużono się krzywymi kumulacyjnymi prawdopodobieństwa. Dla każdej stacji wyliczono częstotliwość średnich przepływów rocznych w procentach prawdopodobieństwa metodą Dębskiego oraz wartość średniego przepływu wieloletniego\*. Jest sprawą oczywistą, że

\* Wykonane dla kontroli obliczenia metodą Fostera dały wartości przepływu średniego niemal identyczne.



Tabela V-2-1

## Średni przepływ roczny

Rzeka i stacja	Średnie konsekwtywne					
	10-letnie		15-letnie		20-letnie	
	w m <sup>3</sup> /sek	w % średniej wieloletniej	w m <sup>3</sup> /sek	w % średniej wieloletniej	w m <sup>3</sup> /sek	w % średniej wieloletniej
R. Juncal w Juncal	5,6—5,9	96,6—101,7	5,6—5,9	96,6—101,7		
R. Aconcagua w Chacabuquito	29,2—37,4	90,1—115,1	29,2—36,1	91,3—111,1	30,4—33,6	93,5—103,4
E. Pocuro w Sifon	0,89—1,24	85,6—119,2	1,03—1,17	99,0—112,5		
R. Putaendo w Los Patos	6,6—8,9	77,2—104,1	7,6—9,1	88,9—106,4	7,7—8,6	90,1—103,4

w ten sposób uzyskane wartości średnie zależą od materiału wyjściowego, to jest od serii przyjętej do obliczeń. Zaciera się jednak nieco przypadkowość i nawet krótkie serie — jeśli nie odznaczają się wybitnymi anomaliami — pozwalają na obliczenie wartości mniej odbiegającej od średniej wieloletniej. O tym, które z uzyskanych wartości przyjęto, jako wartości średnie przepływu, zdecydowała kontrola całego materiału, umożliwiającą wybór wyników najbardziej wiarygodnych. Kontrolę przeprowadzono różnymi sposobami. Jako przykład niech posłuży analiza danych z trzech stacji w Rio Blanco. Średni przepływ R. Aconcagua w tym profilu wyniósł w 1915 r. według danych  $32,4 \text{ m}^3/\text{sek}$ , podczas gdy suma przepływów R. Juncal ( $31,9 \text{ m}^3/\text{sek}$ ) i R. Blanco ( $18,6^3/\text{sek}$ ) aż  $50,5 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Przy bezbłędnych pomiarach suma objętości przepływów obu rzek powinna się równać przepływowi R. Aconcagua, bowiem stacje pomiarowe leżą blisko siebie. Na błąd w określeniu średniego rocznego przepływu wskazuje rachunek prawdopodobieństwa. Z obliczeń wynika, że średni przepływ roczny o częstotliwości  $0,1\%$  powinien wynosić na R. Aconcagua około  $38 \text{ m}^3/\text{sek}$ , na R. Blanco około  $20 \text{ m}^3/\text{sek}$  i na R. Juncal około  $23 \text{ m}^3/\text{sek}$ , a więc w tej ostatniej stacji znacznie mniej, niż podano dla 1915 roku. Przy obliczaniu średniego rocznego przepływu dane dla R. Juncal z 1915 roku uznano za błędne i odrzucono je. Mimo tej korekty wartość sumaryczna przepływu R. Blanco i R. Juncal pozostała wyższa od przepływu R. Aconcagua o  $1,5 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Analizując średnie odpływy jednostkowe zlewni stwierdzamy, że odpływ R. Blanco ( $26,5 \text{ l}/\text{sek}, \text{ km}^2$ ) jest zbyt duży w stosunku do odpływu R. Juncal ( $24,7 \text{ l}/\text{sek}, \text{ km}^2$ ). Istnieją dwie możliwości błędu — albo odpływ R. Juncal jest oceniony zbyt nisko, albo odpływ R. Blanco zbyt wysoko. Rozkład geograficzny wartości odpływu jednostkowego wskazuje raczej na drugą ewentualność. Jeśli przyjąć przepływ średni R. Blanco jako różnicę przepływów R. Aconcagua i R. Juncal ( $20,5 - 11,7 = 8,8$ ), otrzymujemy wartość niemal dokładnie równającą się średniemu przepływowi z okresu ośmiolecia 1953—1960, dla którego istnieją dane bez więk-

szych luk. Wydaje się zatem słuszne, aby tę wartość przyjąć, jako najbardziej prawdopodobną dla średniego przepływu R. Blanco.

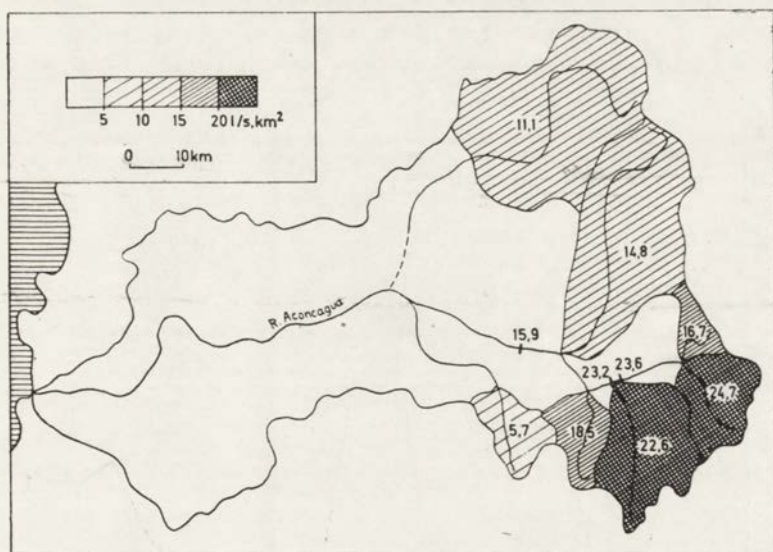
Zestawienie wartości średniego przepływu, uzyskanych w różny sposób, podano w tabeli V-2-2.

Zróznicowanie przestrzenne odpływu w dorzeczu R. Aconcagua przedstawiono na mapce (ryc. V-2-2). Liczby umieszczone w obrębie zlewni cząstkowych dotyczą odpływów jednostkowych w l/sek, km<sup>2</sup>, obliczonych dla profilów zamykających zlewnie. Ponadto podano wartości odpływów jednost-

Tabela V-2-2

Średni przepływ wieloletni w m<sup>3</sup>/sek

Rzeka i stacja	Przepływ średni wyliczony				Powierz- chnia zlewni w km <sup>2</sup>	Odpływ jednost- kowy w l/sek, km <sup>2</sup>
	ze wszyst- kich lat obser- wacji	z okresu ciąglego obser- wacji	z krzywej prawdo- podo- bieństwa	przyjęty		
R. Juncal w Juncal	6,2	5,8	6,1	6,1	246,9	24,7
E. Juncalillo u ujścia		1,48	1,48	1,48	88,8	16,7
R. Juncal w Rio Blanco	11,7	11,2	12,0	11,7	500,1	23,4
R. Blanco w Rio Blanco	10,2	8,7	10,5	8,8	385,0	22,9
R. Aconcagua w Rio Blanco	20,5	20,4	20,5	20,5	885,1	23,2
E. Riecillos u ujścia		2,7	3,0	3,0	161,9	18,5
R. Colorado u ujścia	11,9	11,5	12,1	12,1	818,8	14,8
R. Aconcagua w Chacabu- quito		32,4	32,9	32,9	2075,2	15,9
E. Pocuro w Sifon		1,04	1,03	1,03	181,3	5,7
R. Putaendo w Los Patos		8,6	9,4	9,4	848,8	11,1



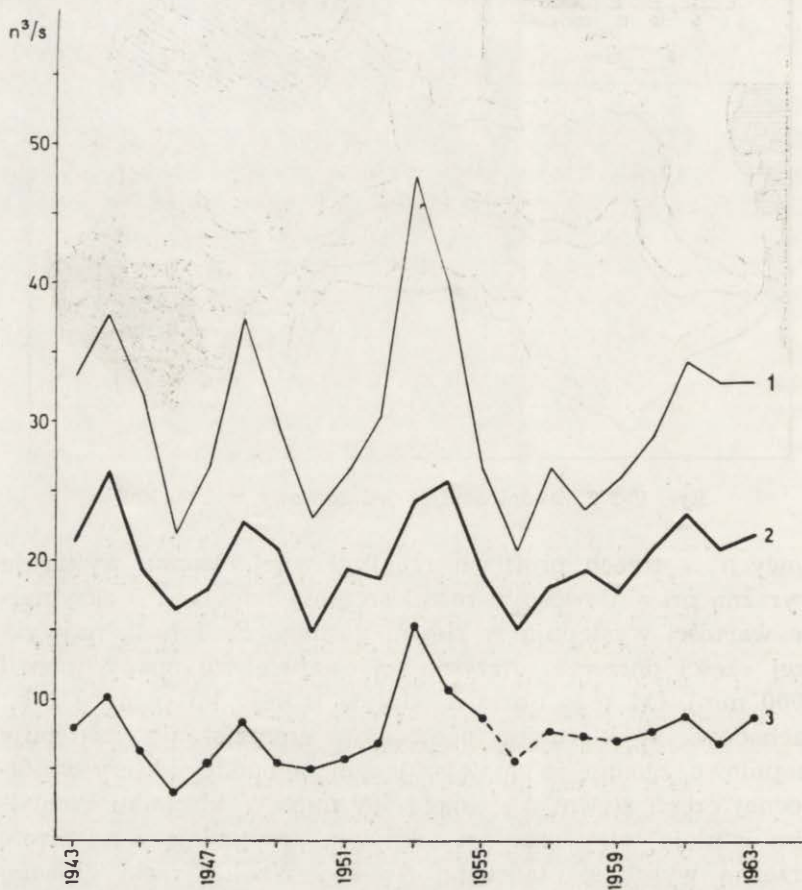
Ryc. V-2-2. Średni odpływ jednostkowy w l/sek,km<sup>2</sup>

kowych w trzech profilach rzeki głównej. Mapa wykazuje wyraźną prawidłowość w rozmieszczeniu odpływu. Maksymalne wartości występują w zlewni górnego E. Juncal, najwyższej części dorzecza, otrzymującej największe opady (ponad 1000 mm). Od tego obszaru odpływ maleje ku północy i ku zachodowi. W kierunku północnym zmniejszanie następuje stopniowo, zgodnie ze zmniejszającym się opadem, który w północnej części zlewni nie osiąga 500 mm. W kierunku zachodnim istnieje ostry gradient odpływu, przypadający na strefę brzeżną wysokiego łańcucha Andów. Wzdłuż rzeki głównej zmniejszanie się odpływu jednostkowego następuje w dół biegu, w miarę jak dorzecze powiększa się o zlewnie coraz mniej obfitujące w wodę.

### 3. ZMIENNOŚĆ ODPLYWU Z ROKU NA ROK

Dla scharakteryzowania zmienności rocznego odpływu materiał statystyczny jest niewystarczający. Serie danych są





Ryc. V-3-1. Średnie przepływy roczne w okresie 1943—1963.

1. R. Aconcagua — Chacabuquito
2. R. Aconcagua — Rio Blanco
3. R. Putaendo — Los Patos

krótkie, mogą nie obejmować lat o odpływach wyjątkowo małych lub wielkich. Nie odnoszą się też do tych samych okresów czasu, co utrudnia porównanie zmienności rocznych odpływów. Dla porównywalności zaś równoczesność danych jest istotna, gdyż wielkość odpływu z roku na rok przypuszczalnie zmienia się — mimo zróżnicowania dorzecza — podobnie na całym obszarze. Wskazuje na to porównanie odpływów średnich rocznych dla tego samego okresu 1943—63 w trzech przekrojach, z których dwa: R. Aconcagua w Rio Blanco i R. Putaendo w Los Patos leżą w obszarach odległych i o odmiennych warunkach (ryc. V-3-1).

Zestawienie skrajnych wartości średniego odpływu rocznego w poszczególnych stacjach (tab. V-3) pozwala — pomimo niedoskonałości danych — na wysunięcie pewnych wniosków. Znaczna rozpiętość współczynnika nieregularności (iloraz średniego przepływu rocznego największego przez najmniejszy) nie jest wynikiem tylko niejednorodności serii statystycznych, ale odzwierciedla zróżnicowanie warunków odpływu. Wpływ krótkości serii jest zapewne równoważony dużą zmiennością odpływu z roku na rok, co sprawia, że nawet w krótkich okresach czasu zdarzają się lata o odpływach skrajnie różnych. Przykładu dostarcza R. Colorado. W ciągu 14 lat w okresie 1915—1930 średni roczny przepływ zmieniał się w granicach  $3,5 \text{ m}^3/\text{sek}$  —  $22,4 \text{ m}^3/\text{sek}$ , co daje współczynnik nieregularności 6,4. W 14-leciu 1939—1952 przepływy średnie wynosiły od 4,6 do  $23,1 \text{ m}^3/\text{sek}$ , a zmienność wyrażała się współczynnikiem 5,0. Dla 38 lat (w okresie 1915—1963), których średnie przepływy roczne obliczono lub oszacowano, granice zmienności nie rozszerzyły się i współczynnik nieregularności wzrósł nieznacznie —  $23,1 : 3,5 = 6,6$ .

Małe współczynniki nieregularności występują w górnej części zlewni do R. Blanco włącznie i na rzece głównej. Wyjątkowo małą zmienność wykazuje odpływ roczny E. Juncalillo. Przyczyna tkwi w regulującej roli jeziora Laguna del Inca i w znacznym udziale odpływu podziemnego. Mała zmienność odpływu E. Juncalillo w stosunku do pobliskiego R. Jun-

Zmienność średniego rocznego przepływu

Rzeka i stacja	Liczba lat	Średni roczny przepływ w m <sup>3</sup> /sek		Współczynnik nieregularności
		największy	najmniejszy	
R. Juncal w Juncal	26	10,45	3,9	2,7
E. Juncalillo u ujścia	18	1,89	1,14	1,7
R. Juncal w Rio Blanco	27	15,8	8,0	2,0
R. Blanco w Rio Blanco	21	18,6	4,8	3,9
R. Aconcagua w Rio Blanco	27	32,4	13,0	2,5
E. Riecillos u ujścia	11	5,9	0,8	7,4
R. Colorado u ujścia	28	23,1	3,5	6,6
R. Aconcagua w Chacabuquito	27	61,4	20,8	3,0
E. Pocuro w Sifon	19	3,02	0,14	21,6
R. Putaendo w Los Patos	26	17,7	3,4	5,2

cał zaznacza się wyraźnie na wykresie, na których odpływy roczne wyrażono dla lepszej porównywalności współczynnikiem  $Q_r : Q_w$  (odpływ danego roku do średniego odpływu wieloletniego (ryc. V-3-2).

Znacznie większe współczynniki nieregularności występują na dopływach poniżej R. Blanco. Bardzo duży współczynnik — mimo krótkiej serii 19 lat — ma zwłaszcza E. Pocuro w profilu Sifon, zamykającym zlewnię niedużą, położoną w brzeżnych, stosunkowo suchych obszarach gór.

Zróznicowanie przestrzenne współczynnika nieregularności zależy od wielu czynników, przede wszystkim od wielkości i zmienności rocznego opadu, od zlodzenia zlewni i retencyjności podłoża. Zlewnie o większej średniej sumie rocznego opadu mają odpływ mniej zmienny z roku na rok. Duża ilość lodowców też wpływa na zmniejszenie wahań odpływu rocznego, gdyż topnienie jest zjawiskiem regularniejszym od opadów. Dlatego zlewnie najwyższe mają odpływ najbardziej wyrównany.

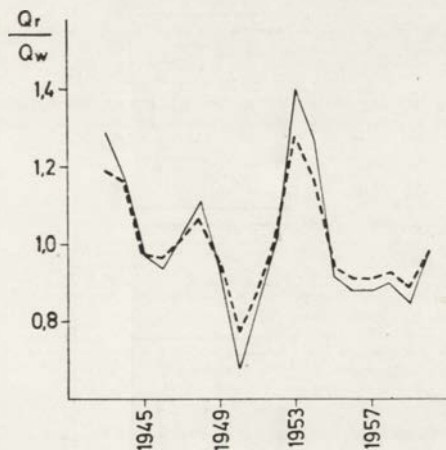
Położenie dorzecza R. Aconcagua w strefie klimatu śród-

## Średnie miesięczne przepływy i współczynniki przepływu

Rzeka i profil	Średnie przepływy w m <sup>3</sup> /sek												Rok	Miesięczne współczynniki przepływu											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
E. Juncal w Juncal	14,0	10,7	7,2	4,8	3,2	2,3	1,9	1,8	2,2	3,8	8,4	13,6	6,2	2,27	1,74	1,17	0,78	0,52	0,37	0,31	0,29	0,36	0,62	1,36	2,21
E. Juncalillo u ujścia	2,8	2,17	1,62	1,15	0,91	0,81	0,77	0,74	0,82	1,08	1,90	2,94	1,48	1,89	1,46	1,09	0,78	0,62	0,55	0,52	0,50	0,50	0,73	1,28	1,99
E. Juncal w Rio Blanco	23,6	17,5	12,3	8,3	6,3	5,6	5,2	5,2	6,1	8,9	17,3	24,6	11,7	2,02	1,50	1,05	0,71	0,54	0,48	0,44	0,44	0,52	0,77	1,48	2,10
R. Blanco w Rio Blanco	24,6	17,9	11,1	5,0	3,7	3,3	3,3	3,5	4,2	6,9	15,9	23,0	10,2 <sup>1</sup>	2,41	1,75	1,09	0,49	0,39	0,32	0,32	0,34	0,41	0,68	1,56	2,25
R. Aconcagua w Rio Blanco	42,8	33,4	21,9	12,6	8,4	7,2	7,1	7,2	9,2	15,6	33,3	47,4	20,5	2,09	1,63	1,07	0,61	0,41	0,35	0,34	0,35	0,45	0,76	1,62	2,31
R. Colorado u ujścia	20,2	13,4	8,1	5,1	5,0	4,5	4,7	5,6	8,3	13,8	24,7	29,7	11,9	1,70	1,13	0,68	0,43	0,42	0,38	0,40	0,47	0,69	1,16	2,07	2,50
E. Riecillos u ujścia	2,9	1,05	0,5	0,3	0,9	1,3	1,3	1,8	2,6	5,1	7,25	7,6	2,7	1,08	0,39	0,17	0,11	0,32	0,47	0,49	0,66	0,96	1,87	2,68	2,82
R. Aconcagua w Chacabuquito	58,2	39,5	25,3	16,8	14,3	13,7	13,7	15,9	21,0	33,3	58,9	78,6	32,4	1,80	1,22	0,78	0,52	0,44	0,42	0,42	0,49	0,65	1,03	1,82	2,43
E. Pocuro w Sifon	0,87	0,64	0,45	0,46	0,92	1,05	1,13	1,59	1,63	1,50	1,26	1,0	1,04	0,84	0,62	0,43	0,44	0,88	1,01	1,09	1,53	1,57	1,44	1,21	0,96
R. Puatendo w Los Patos	9,7	6,2	4,85	3,95	3,9	4,3	4,5	5,9	7,7	12,95	20,0	18,7	8,6	1,14	0,73	0,57	0,46	0,46	0,50	0,52	0,69	0,90	1,51	2,34	2,18
R. Blanco w Saladillo	24,5	17,4	8,3	3,75	2,1	1,55	1,63	2,35	3,35	6,0	13,9	21,7	8,9	2,76	1,96	0,93	0,42	0,24	0,17	0,18	0,26	0,37	0,67	1,56	2,44
E. Hualtatos u ujścia	0,64	0,28	0,21	0,15	0,47	0,51	0,64	0,62	1,41	1,44	2,55	1,83	0,9	0,72	0,31	0,23	0,17	0,53	0,57	0,72	0,69	1,58	1,60	2,85	2,04
E. Rabuco u ujścia	0,46	0,47	0,61	0,66	0,65	0,63	0,59	0,58	0,72	0,45	0,47	0,5	0,56	0,82	0,84	1,09	1,18	1,10	1,12	1,04	1,04	1,28	0,80	0,83	0,89

<sup>1</sup> Średnie R. Blanco wyliczone z 21 lat obserwacji. Średnie miesięczne w okresie 1953–60 różnią się niewiele od podanych w tabeli.





Ryc. V-3-2. Zmienność odpływu rocznego E. Juncalillo i R. Juncal.

Linia ciągłą — E. Juncal w Juncal

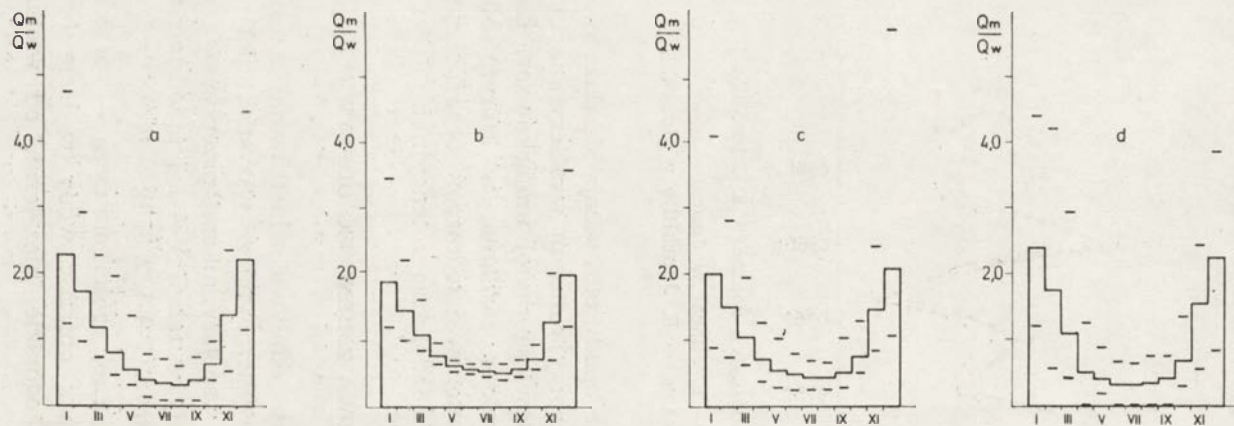
Linia przerywaną — E. Juncalillo w Juncal

ziemnomorskiego, gdzie opady odznaczają się dużą nieregularnością z roku na rok, sprzyja dużym współczynnikom. Jak na tę strefę jednak, wartości są raczej umiarkowane. Łagodzący wpływ wywiera charakter zasilania, w którym odgrywają dużą rolę: topnienie śniegów i lodowców oraz pokrywy gruzowo-pyłowe o wielkiej zdolności retencyjnej.

#### 4. SEZONOWA ZMIENNOŚĆ ODPLYWU

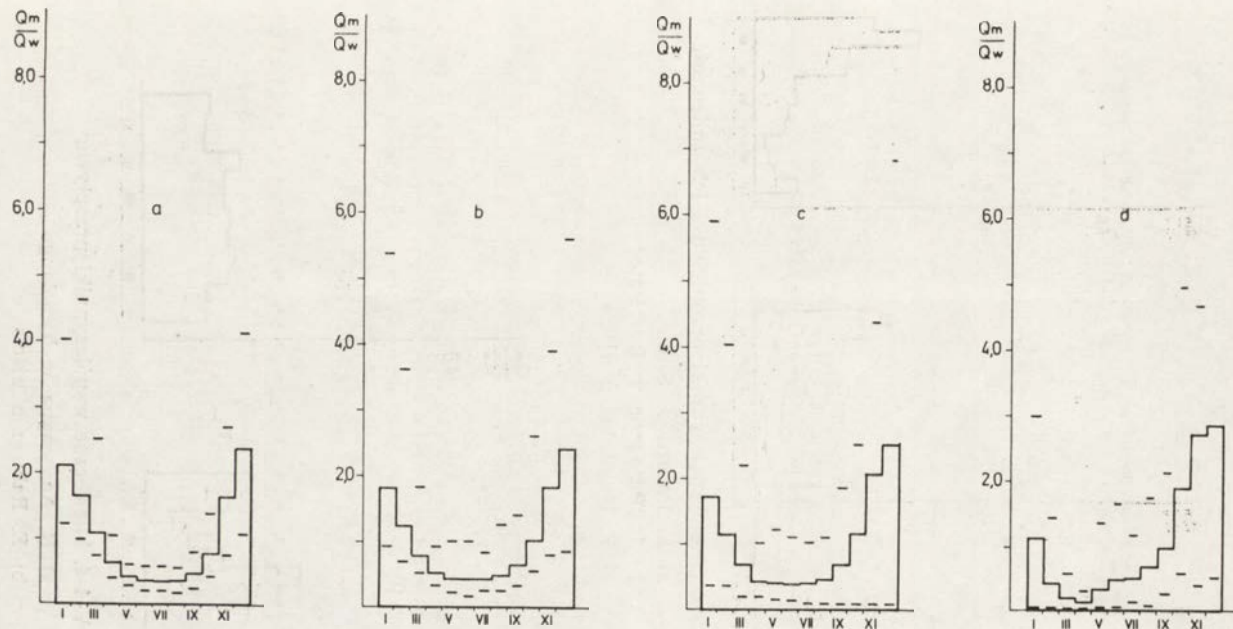
Sezonową zmienność odpływu zilustrowano miesięcznymi modułami przepływu wyliczonymi ze wszystkich lat obserwacji oraz miesięcznymi współczynnikami przepływu. Dane liczbowe zestawione zostały w tabeli V-4-1 i przedstawione graficznie na wykresach (ryc. V-4-1, 2, 3, 4).

Wszystkie stacje górnej części dorzecza — przedstawiają podobny rytm odpływu: obfitość wody w lecie i ubóstwo w zimie. Rzeki wysokogórskie, niezależnie od wielkości od-



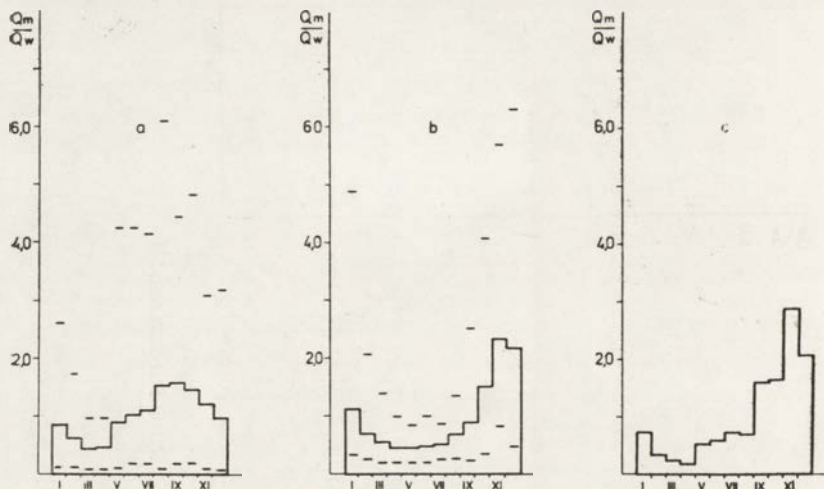
Ryc. V-4-1. Miesięczne współczynniki przepływu i ich zmienność.

- a) R. Juncal w Juncal
- b) E. Juncalillo u ujścia
- c) R. Juncal w Rio Blanco
- d) R. Blanco w Rio Blanco



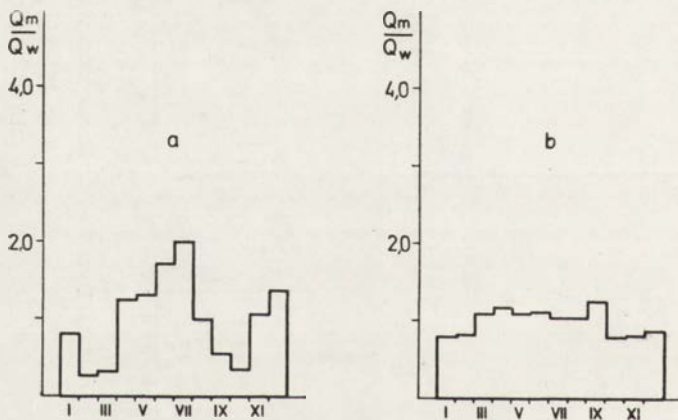
Ryc. V-4-2. Miesięczne współczynniki przepływu i ich zmienność.

- a) R. Aconcagua w Rio Blanco
- b) R. Aconcagua w Chacabuquito
- c) R. Colorado u ujścia
- d) E. Reicillos u ujścia



Ryc. V-4-3. Miesięczne współczynniki przepływu i ich zmienność.

- a) E. Pocuro w Sifon
- b) R. Putaendo w Los Patos
- c) E. Hualtatas u ujścia



Ryc. V-4-4. Miesięczne współczynniki przepływu

- a) R. Aconcagua w Tabolango
- b) E. Rabuco u ujścia



plywu, mają więc podobny ustrój, charakteryzujący się przeciwstawnością pór wzmożonego odpływu i opadu.

Bliższa analiza wykazuje jednak charakterystyczne różnice rozpatrywanych profilów. Pięć stacji — Juncal, ujście E. Juncalillo i trzy profile w Rio Blanco — ma miesięczne współczynniki przepływu większe od jedności przez pięć miesięcy w roku, od listopada do marca. Oznacza to, że średni wieloletni przepływ miesięczny jest tam większy od modułu rocznego począwszy od ostatniego miesiąca kalendarzowej wiosny (XI), przez lato (XII—II) do pierwszego miesiąca jesieni włącznie (III).

Różnice między tymi wykresami wyrażają się w kolejności miesięcy o malejących współczynnikach i w wielkości współczynników. Tylko R. Juncal w Juncal (ryc. V-4-1a) i R. Blanco (ryc. V-4-1d) mają maksima w styczniu. Mniej wody płynie tam średnio w grudniu i kolejno w lutym i listopadzie. Kolejność ta — I, XII, II, XI — odpowiada na naszej półkuli następstwu miesięcy: VII, VI, VIII, V. Jest to kolejność typowa dla ustroju lodowcowego, złagodzonego wpływem topniejących śniegów. Rzeczywiście, w obu zlewniach lodowce i wieczne śniegi zajmują największą powierzchnię w porównaniu z innymi zlewniami cząstkowymi dorzecza.

Minima odpływu występują w zimie. W Juncal przez cztery miesiące, od czerwca do października, a w Rio Blanco nawet przez sześć miesięcy, od kwietnia do listopada, współczynniki nie osiągają 0,5. Oba profile — mimo znacznych różnic w wielkości odpływu — mają podobną rozpiętość miesięcznych współczynników przepływu: Juncal od 2,27 do 0,29 i Rio Blanco od 2,47 do 0,32. Daje to niemal identyczne współczynniki nieregularności 7,8 i 7,5.

Rozpiętość miesięcznych współczynników przepływu jest mała, jak na ustrój lodowcowy, co przypisać należy regulującej roli podłoża. Tak więc górny R. Juncal i R. Blanco mają ustrój lodowcowy podwójnie złagodzony, udziałem śniegu i wpływem podłoża.

W trzech pozostałych profilach: E. Juncalillo (ryc. V-4-1b), R. Juncal w Rio Blanco (ryc. V-4-1c) i R. Aconcagua w Rio Blanco (ryc. V-4-2a) kolejność miesięcy według średnich odpływów jest inna. Styczeń ustępuje nieznacznie pierwszeństwa grudniowi. Wcześniejsza obfitość wód, bo już na początku lata, wskazuje na większą rolę śniegu, który zaciera nieco wpływ lodowców. Kolejność miesięcy: XII, I, II, XI (co odpowiada u nas VI, VII, VIII, V), pozwala sklasyfikować ustrój jako śnieżno-lodowcowy. Ustrój ten odznacza się jeszcze mniejszą rozpiętością miesięcznych współczynników przepływu. To wyrównanie odpływu występuje zwłaszcza w E. Juncalillo, którego współczynniki zmieniają się w bardzo wąskich granicach 0,5—1,99. Jak podkreślono poprzednio, odgrywa tu rolę — oprócz przepuszczalnego podłoża — jezioro. Oba te czynniki wpływają nie tylko na wyrównanie odpływu, ale powodują także przesunięcie odpływu w czasie. Zapewne dlatego E. Juancalillo wygląda z wykresu na rzekę o ustroju śnieżno-lodowcowym, chociaż w zlewni nie ma lodowców, a tylko płaty wiecznego śniegu.

Oprócz wymienionych stacji do grupy reprezentujących ustrój o wpływach lodowcowych zaliczyć trzeba Saladillo na R. Blanco. Odpływ rozłożony jest tam w czasie podobnie, jak przy ujściu R. Blanco. Większa rozpiętość współczynników, od 2,76 do 0,17 i współczynnik marca mniejszy od 1 mogą być konsekwencją większej wysokości zlewni, a zatem znacniejszej roli lodowców. Nie można jednak wykluczyć i wpływu krótkości serii obserwacyjnej (6 lat).

Część zlewni R. Aconcagua, scharakteryzowaną przez tych sześć profilów hydrometrycznych, zamyka profil w Rio Blanco (ryc. V-4-2a). Na jego podstawie górny bieg R. Aconcagua, do zbiegu R. Juncal i R. Blanco, określić można jako rzekę o ustroju złożonym śnieżno-lodowcowym. Odpływ rozłożony jest w czasie nierównomiernie: 50,2% wody odpływa w okresie lata, 23,6% w ciągu wiosny, 17,4% w jesieni i tylko 8,8% w zimie. Ponad 1/3 odpływu (36,6%) przypada na dwa miesiące lata: grudzień i styczeń. Odpływ lutego 13,6% i listopa-

da, 13,5% są niemal identyczne. Rozkład odpływu w czasie, przewaga odpływu wiosennego nad jesiennym, wskazują na znaczny udział w odpływie topniejących śniegów. Gwałtowne zmniejszanie się odpływu w jesieni (współczynnik marca 1,07, a kwietnia 0,61), a więc z początkiem pory opadowej, dowodzi znikomego bezpośredniego udziału opadów w odpływie. W wysokich górach opady występują w postaci śniegu i w większości są retencjonowane do wiosny. Natomiast jesienne opady deszczowe chłonięte są przez pokrywy zwietrzelinowe i zasilają odpływ miesięcy zimowych. Rozległością i miąższością tych pokryw da się wyjaśnić stosunkowo wysokie, nie spadające poniżej 0,34 miesięczne współczynniki przepływu, nietypowe dla ustrojów lodowcowych, a nawet śnieżnych górskich. Typowy jest natomiast długi okres niskich wód zimowych. Współczynniki miesięczne przepływu nie osiągają wartości 0,5 przez pięć miesięcy, od maja do września.

Dla zilustrowania zmienności średnich miesięcznych oznaczono na wykresach największe i najmniejsze wartości miesięcznych odpływów w okresie obserwacji. Pozwala to na stwierdzenie regularności ustrojów, które w każdym roku oznaczają się małymi wodami w okresie zimy i dużymi wodami letnimi. W miesiącach zimowych, a w większości stacji przez pięć miesięcy w roku, odpływ nie osiąga, nawet w latach bogatych w wodę, wartości modułu (współczynnik miesięczny przepływu mniejszy od 1). W grudniu i styczniu zaś odpływ nie spada nigdy poniżej modułu. Wyjątek stanowi zlewnia R. Juncal w Rio Blanco, gdzie w 1957 roku odpływ stycznia nie osiągnął wartości średniego odpływu wieloletniego.

R. Aconcagua w Rio Blanco tylko w grudniu i styczniu prowadzi zawsze więcej wody niż wynosi jej przepływ średni. Również najniższy w okresie obserwacji średni przepływ lutego zbliża się do modułu. Widać w tym wpływ lodowców, których udział w zasilaniu nie podlega tak znacznym fluktuacjom z roku na rok, jak udział śniegów. W pozostałych dziewięciu miesiącach roku średni przepływ miesięczny może spaść poniżej modułu. Najniższe wartości miesięcznego współ-



czynnika przepływu tylko wyjątkowo schodzą poniżej 0,2 w miesiącach zimowych, co świadczy o względnej zasobności w wodę rzeki w okresie zimowym w porównaniu z rzekami o typowym stroju śnieżno-lodowcowym. Bardzo duże odpływy miesięczne zdarzają się wyłącznie w lecie. Maksymalny miesięczny współczynnik przepływu w ciągu 27 lat wyniósł 4,11 w lutym. W okresie zimy i dwóch miesięcy sąsiednich (V—IX) średnie przepływy miesięczne nie dorównują nigdy modułowi. Tak więc ubóstwo wód w zimie jest dla górnej R. Aconcagua zjawiskiem jeszcze bardziej typowym, niż obfitość wód letnich.

Wbrew sugestii wykresów, na podstawie których możnaby sądzić o dużej zmienności odpływu w miesiącach letnich i małej w miesiącach zimowych, zmienność odpływu danego miesiąca z roku na rok nie wykazuje związku z porą roku. Odchyłki od średnich wieloletnich, zwłaszcza dodatnie, mają podobne wartości zarówno w lecie, jak i w zimie. Zróznicowanie amplitudy, wyraźne w liczbach bezwzględnych, zaciera się w wartościach względnych. Większa regularność zimowych okresów niskich wód niż letnich okresów wezbrań przejawia się więc nie w mniejszej zmienności odpływów, a w czasie trwania niżówek, mało zmieniającym się z roku na rok.

R. Colorado przy ujściu, E. Riecillos, E. Hualtatos, R. Putaendo w Los Patos i R. Aconcagua w Chacabucuito mają ustrój śnieżny przejściowy o zaznaczających się już wpływach deszczu. Maksima odpływu przypadają na koniec wiosny i początek lata (XI, XII). Odpływ stycznia wyraźnie ustępuje wielkością odpływowi grudnia, a nawet listopada. Drobne różnice w kolejności miesięcy wskazują na odmienne nieco zasilanie.

R. Colorado (ryc. V-4-2c) i E. Riecillos (ryc. V-4-2d) mają maksima grudniowe. Na drugim miejscu plasuje się listopad. Dalsza kolejność miesięcy jest już różna. W R. Colorado, którego zlewnia jest wyżej położona, styczeń przeważa nad październikiem. W R. Riecillos rola stycznia jest znacznie mniejsza. Jeszcze słabiej zaznacza się styczeń w odpływie E. Hualtatos (ryc. V-4-3c), którego mała zlewnia leży w brzeżnej par-



tii gór. Mniejsza wysokość zlewni odbija się w tym, że maksimum odpływu z grudnia przesunięte jest na listopad.

Rytm odpływu R. Aconcagua w Chacabucuito jest syntezą nakładających się rytmów rzek w górnej części dorzecza (ryc. V-4-2b). Kolejność miesięcy — XII, XI, I, II — jest typowa dla ustroju śnieżnego przejściowego. Odpływ rozkłada się na pory roku następująco: lato — 45,3%, wiosna — 29,1%, jesień — 14,5% i zima — 11,1%. W porównaniu z profilem R. Aconcagua w Rio Blanco zaznacza się w Chacabucuito wzrost odpływu w zimie i na wiosnę, a zmniejszenie w lecie i w jesieni. Świadczy to o wzmożonym w porównaniu z górnym biegiem znaczeniu śniegu. Dość duży współczynnik miesięczny lutego — 1,22 — większy niż października — 1,03 — wskazuje na wpływ lodowców, nie zatarty całkowicie przez dominującą rolę śniegów.

Profil Los Patos zamyka zlewnię górnej R. Putaendo, powstałej z połączenia R. Rocin i E. Chalaco (ryc. V-4-3b). Jest to najbardziej na północ wysunięta część dorzecza R. Aconcagua, obejmująca wewnętrzne i brzeżne partie głównego łańcucha Andów. R. Putaendo w Los Patos odprowadza w poszczególnych porach roku: 39,6% wody wiosną, 33,7% latem, 14,3% zimą i 12,4% jesienią. Rozkład odpływu na pory roku wskazuje na odmienne zasilanie w porównaniu z wysokogórską częścią dorzecza R. Aconcagua zamkniętą profilem w Rio Blanco. Znacznie większy udział w zlewni R. Putaendo odpływu wiosennego, przeważającego nad letnim, jest konsekwencją decydującej roli topnienia śniegu. Przewaga odpływu zimowego nad jesiennym świadczy zaś o udziale deszczów w odpływie.

Maksimum odpływu R. Putaendo przypada na listopad (19,5%), a nie na grudzień (18,2%). To przyspieszenie terminu maksimum jest związane z mniejszą szerokością geograficzną tej części dorzecza i mniejszą wysokością zlewni E. Chalaco, która dostarcza wody z topniejących śniegów wcześniej, niż wyżej położona zlewnia R. Rocin. W ciągu lata odpływ R. Putaendo szybko maleje, aby osiągnąć minimum późną jesienią.

Po majowym minimum zaczyna się bardzo powolny wzrost średnich wartości miesięcznych odpływu, spowodowany deszczami. Wody dostarcza przede wszystkim E. Chalaco, w którego zlewni opady deszczowe odgrywają poważniejszą rolę, niż w zlewni R. Rocin, otrzymującej głównie opady śnieżne.

Zlewnie R. Colorado, E. Riecillos i R. Putaendo odznaczają się znacznie mniejszą regularnością odpływu, niż zlewnie najwyższych partii górskich. W każdy miesiąc średni przepływ może być mniejszy od modułu. Nawet w lecie odpływy spadają niekiedy do bardzo niskich wartości. I przeciwnie, nawet miesiące zimowe miewają średnie przepływy przewyższające znacznie moduł. Wielką nieregularnością odpływu charakteryzują się zwłaszcza miesiące letnie. Średni przepływ grudniowy R. Colorado w ciągu 28 lat wahał się od 1,1 m<sup>3</sup>/sek. do 81 m<sup>3</sup>/sek, przy średniej 29 m<sup>3</sup>/sek. W tym samym miesiącu odpływ E. Riecillos w ciągu 11 lat zmieniał się od 1,4 m<sup>3</sup>/sek do 22 m<sup>3</sup>/sek przy średniej 2,8 m<sup>3</sup>/sek, a w R. Putaendo od 4,1 m<sup>3</sup>/sek do 54 m<sup>3</sup>/sek przy średniej 28,2 m<sup>3</sup>/sek.

R. Aconcagua w Chacabuquito przypomina swe dopływy zmiennością odpływu. Tu również średni przepływ każdego miesiąca może spadać poniżej modułu, a średnie przepływy miesięczne w zimie mogą być większe niż w okresie letnim w innych latach. Wpływ dopływów zasilanych topniejącymi lodowcami zaznacza się w tym, że odpływy miesięcy letnich nigdy nie spadają do tak niskich wartości jak w zimie. Najniższe średnie przepływy miesięczne w lecie utrzymują się na poziomie średnich wieloletnich miesięcy zimowych.

Zupełnie odmienny rytm ma R. Pocuro w Sifon (ryc. V-4-3a). Rzeka prowadzi najwięcej wody w sierpniu i wrześniu, czyli pod koniec zimy i z początkiem wiosny. Od maksimum wrześniowego wielkość odpływu stopniowo maleje aż do minimum w jesieni (III, IV). Wraz z deszczową porą przychodzi wzrost odpływu stopniowo do wiosennego maksimum. Prosty wykres o jednym maksimum ukrywa złożoność zasilania, w którym udział biorą zarówno topniejące śniegi, jak i deszcze. O roli śniegu świadczy termin maksimum odpływu, znacz-

nie przesunięty w stosunku do maksimum opadowego w czerwcu oraz obfitość wód w okresie wiosny. O udziale deszczu w zasilaniu mówi wzrost odpływu w jesieni (V) i większy od rocznego średni przepływ w miesiącach zimowych, gdy retencja śnieżna zmniejsza do minimum przepływ rzek wysokogórskich.

W środkowym i dolnym biegu R. Aconcagua rytm odpływu ulega znacznemu przekształceniu. Przyczyną jest odmienny charakter zasilania w tej części dorzecza oraz ingerencja ludzka w związku z potrzebami wodnymi rolnictwa.

Na zachód od Kordyliery Głównej opady jesienno-zimowe występują w postaci deszczu lub śniegu, który nie tworzy trwałej pokrywy. Duża zatem część opadu bierze od razu udział w odpływie. Obfitość i wielka nieregularność opadów pory chłodnej, występujących często w formie typowych dla strefy śródziemnomorskiej ulew, sprawia, że odpływ w jesieni i zimie odznacza się dużą zmiennością. Brak danych uniemożliwia bliższą jego charakterystykę. Najliczniejsze dane z dolnego odcinka R. Aconcagua odnoszą się do położonej w pobliżu ujścia stacji Tabolango. Obejmują one tylko 6 nie kolejnych lat i 6 lat z poważnymi lukami. Dane te wystarczają jednak do stwierdzenia wielkiej nieregularności odpływu. Współczynnik nieregularności dla kwietnia, wyliczony z 10 lat, w których odpływ tego miesiąca jest znany, wynosi 38 (100 m<sup>3</sup>/sek i 2,6 m<sup>3</sup>/sek). Odpływ w cieplej porze roku jest również bardzo zmienny. Średni przepływ grudnia w ciągu 9 lat wynosił od 1,3 m<sup>3</sup>/sek do 82,4 m<sup>3</sup>/sek (współczynnik 63).

Dopiero przegląd wszystkich dostępnych danych pozwala stwierdzić, że odpływ jesienno-zimowy w Tabolango przewyższa odpływ w okresie wiosny i lata. Wykres (ryc. V-4-4a) sporządzony na podstawie średnich tylko z 6 lat wykazuje dwa maksima: główne zimowe (VII), spowodowane deszczami i drugorzędne letnie (XII), wywołane sływem wody z obszarów wysokogórskich. Główne minimum przypada na koniec lata (II), gdy zmniejsza się już rola topniejących śniegów i lodów, a zużycie wody na nawadnianie jest jeszcze bardzo duże. Drugo-

Średnie miesięczne przepływy R. Aconcagua w dwóch profilach w m<sup>3</sup>/sek.

Rok	Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Średni roczny
1943	Ch	89,2	49,1	28,1	21,4	17,8	16,3	15,7	15,5	18,2	28,6	47,9	52,7	33,3
	T	62,5	17,8	23,3	22,7	25,5	32,3	30,6	32,4	10,3	16,8	20,2	29,0	26,9
1946	Ch	39,6	38,7	26,7	14,4	11,2	9,8	11,5	9,5	10,5	18,6	37,2	36,0	22,0
	T	3,6	2,5	4,5	9,4	14,4	23,1	26,5	13,9	7,3	6,0	4,0	1,3	9,7
1947	Ch	26,6	25,9	21,6	11,9	7,6	7,1	11,2	8,6	17,7	26,0	79,5	70,4	27,0
	T	2,6	1,4	1,6	2,6	5,3	13,5	42,4	19,4	10,6	3,3	46,6	24,2	14,5
1950	Ch	32,0	25,9	20,7	11,4	13,2	10,3	8,5	10,4	14,6	23,0	33,8	74,3	23,3
	T	2,8	3,35	3,5	100,0	75,0	40,0	16,6	6,6	12,0	2,5	14,0	44,0	26,7
1951	Ch	44,2	29,8	20,9	14,7	12,0	13,4	18,3	15,8	16,4	22,8	48,4	59,4	26,3
	T	12,6	1,1	1,1	6,4	16,8	45,5	76,0	26,0	8,9	1,8	18,4	22,5	19,8
1952	Ch	45,6	25,3	20,6	14,9	14,4	13,6	13,2	12,6	22,1	39,9	64,5	77,7	30,4
	T	10,4	5,2	2,8	5,4	18,0	47,5	45,0	19,6	16,4	10,8	27,5	43,0	21,0

Ch – Chacabuquito  
T – Tabolango



rzędne minimum występuje w październiku. Pora deszczowa dobiega wówczas końca, góry zaś nie dostarczają jeszcze dużo wody.

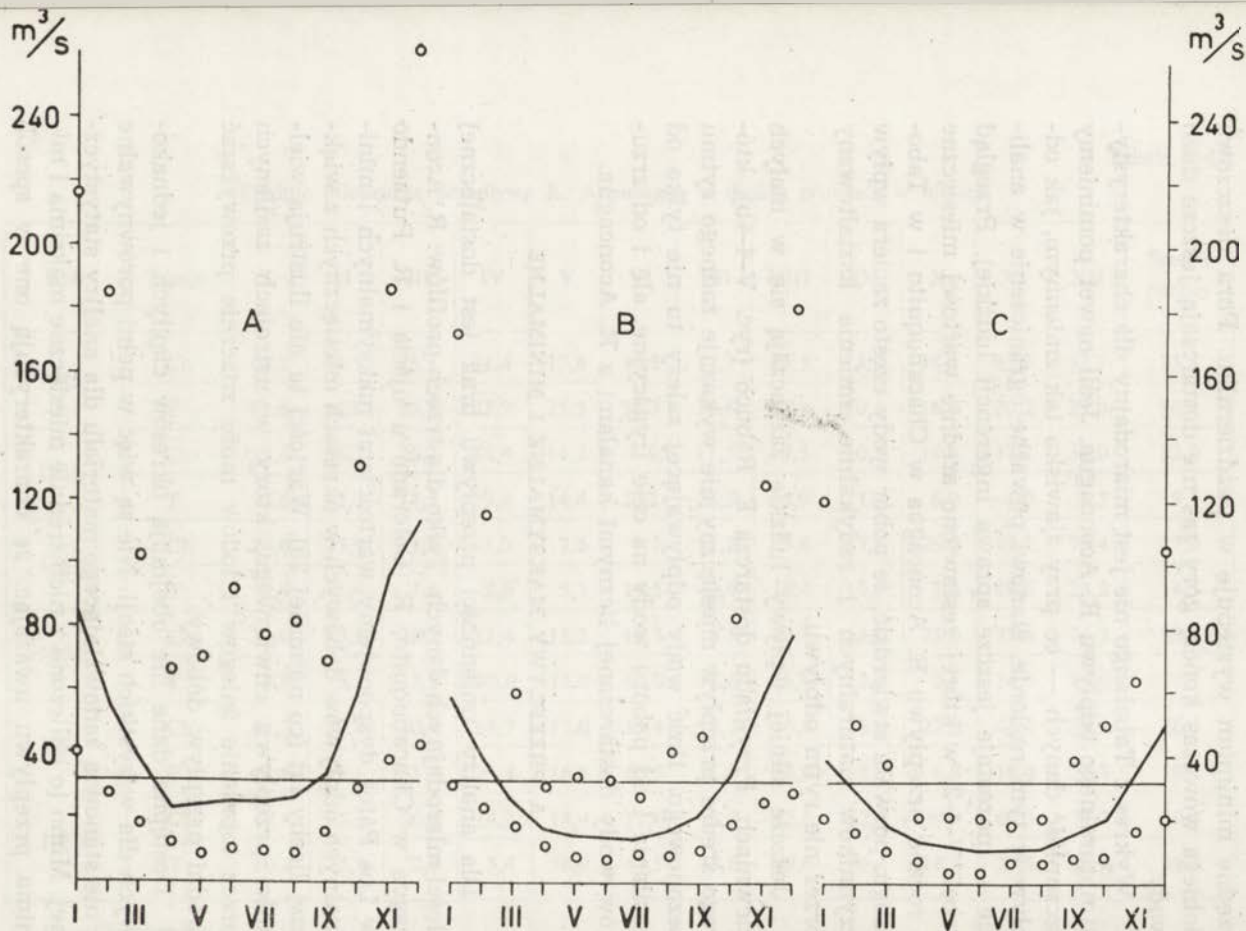
Wykres z Tabolango nie jest miarodajny dla charakterystyki naturalnego odpływu R. Aconcagua. Jeśli nawet pominiemy szczupłość danych — co przy zjawisku tak zmiennym, jak odpływ w tym regionie, stanowi poważne ograniczenie w analizie — pozostaje jeszcze sprawa ingerencji ludzkiej. Przegląd tabeli V-4-2, w której zestawiono średnie wartości miesięczne i roczne przepływu R. Aconcagua w Chacabucuito i w Tabolango, pozwala stwierdzić, że pobór wody często zaciera wpływ czynników naturalnych i radykalnie zmienia kształtowany przez nie rytm odpływu.

Jeszcze silniej wpływy ludzkie zaznaczają się w małych zlewniach. Przykładu dostarcza E. Rabuco (ryc. V-4-4b), którego średni przepływ miesięczny nie wykazuje żadnego rytmu sezonowego. Ilość wody odpływającej zależy tu nie tylko od zasilania i od poboru wody na cele irygacyjne, ale i od zrzutów wody dostarczanej licznymi kanałami z R. Aconcagua.

## 5. PRZEPIŁY WY MAKSYMALNE I MINIMALNE

Dla analizy zmienności przepływu brak jest dostatecznej ilości miarodajnych danych. Tylko dla trzech profilów: R. Aconcagua w Chacabucuito, R. Colorado u ujścia i R. Putaendo w Los Patos dysponujemy wartościami maksymalnych i minimalnych odpływów dobowych w okresach miesięcznych z większej liczby lat (co najmniej 25). Wartości te nie ilustrują wielkości przepływu chwilowego, który w ustrojach zasilanych przez topnienie śniegów i lodów może znacznie przewyższać średni przepływ dobowy.

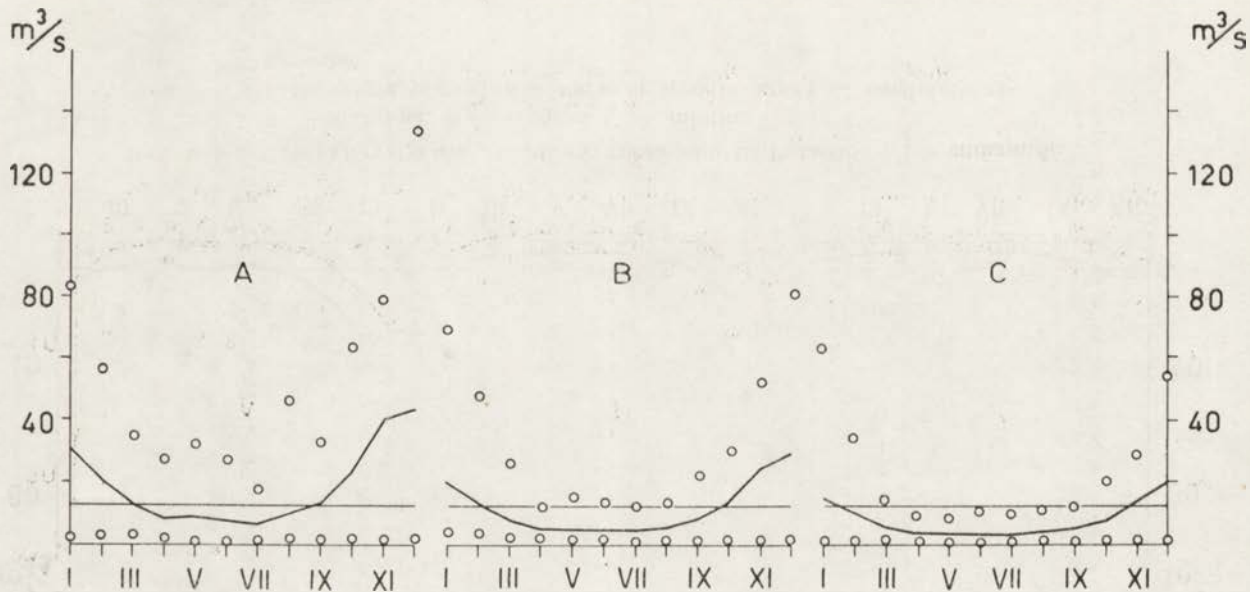
Dostępne dane nie obejmują okresów ciągłych i jednokowych dla wszystkich stacji. Nie są więc w pełni porównywalne i nie stanowią zadowalającego materiału dla analizy statystycznej. Mimo to obliczono z nich średnie miesięczne maksima i minima przepływu uważając, że charakteryzują one w sposób



Ryc. V-5-1. Charakterystyczne przepływy miesięczne R. Aconagua w Chacabuquito i ich zmienność.

A — maksima, B — średnie, C — minima

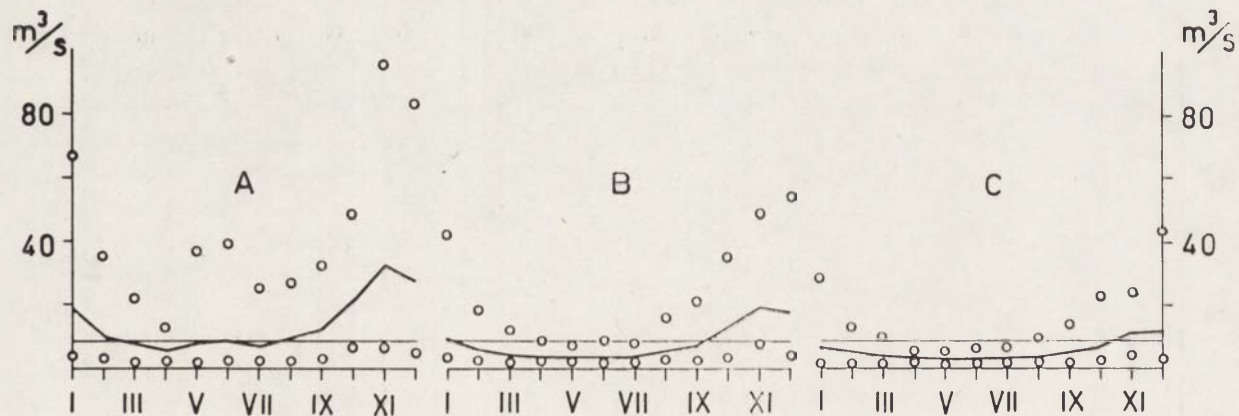
Linia ciągła przedstawia wartości średnie, kółka — wartości ekstremalne



Ryc. V-5-2. Charakterystyczne przepływy miesięczne R. Colorado i ich zmienność.

A — maksima, B — średnie, C — minima

Linia ciągła przedstawia wartości średnie, kółka — wartości ekstremalne



Ryc. V-5-3. Charakterystyczne przepływy miesięczne R. Putaendo i ich zmienność.

A — maksima, B — średnie, C — minima

Linia ciągła przedstawia wartości średnie, kółka — wartości ekstremalne



przybliżony zmienność zjawiska. Do obliczeń wzięto wszystkie dostępne dane, nawet — o ile się dało — z lat nie mających pełnych serii obserwacyjnych. Chodziło o to, aby uzyskać jak największą ilość danych wyjściowych, gdyż przepływy skrajne są zjawiskiem o dużej zmienności. Odrzucono tylko wartości niewątpliwie błędne. Średnie maksima i minima zostały zatem obliczone z różnej liczby lat (od 28 do 32), dlatego można je traktować tylko jako wartości orientacyjne.

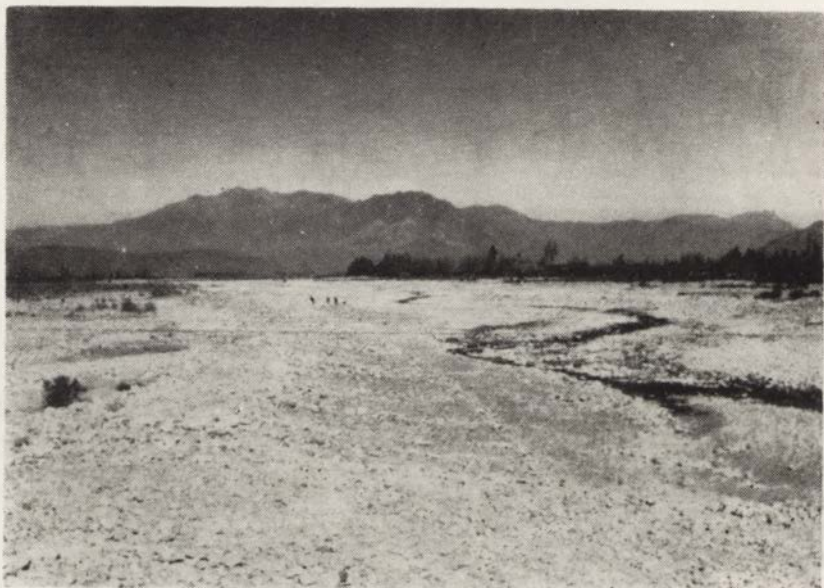
Załączone wykresy (ryc. V-5-1, 2, 3) przedstawiają średnie maksima (A) i średnie minima (C) miesięczne przepływu w  $m^3/sek$  trzech rzek. Dla porównania umieszczono również wykresy średnich przepływów miesięcznych (B). Na każdym wykresie linia ciągła oznacza wartości średnie wieloletnie. Największe i najmniejsze w okresie obserwacji wartości maksymalnych, średnich i minimalnych przepływów miesięcznych oznaczono kółkami po obu stronach linii ciągłych. W ten sposób



Fot. V-5-1. Kamieniec Rio Aconcagua przy wylocie doliny z Andów.

scharakteryzowana została zmienność zjawiska w latach, dla których dysponujemy danymi statystycznymi.

Profil Chacabuquito, który zamyka górną część zlewni R. Aconcagua, dostarczającą największej ilości wody, stanowi główny przedmiot zainteresowania (ryc. V-5-1). Wykresy średnich maksimów (A) i minimów (C) miesięcznych przepływu w tym profilu dość wiernie naśladują wykres średnich przepływów miesięcznych. Miesiące wiosenno-letnie odznaczają się w przekroju wieloletnim obfitością wody, a miesiące jesienno-zimowe jej ubóstwem (fot. V-5-1, V-5-2). Średnie minima przepływu od listopada do stycznia przewyższają moduł, czyli  $32,4 \text{ m}^3/\text{sek}$ , średnie maksima od kwietnia do sierpnia nie osiąga go. Grudzień na wszystkich wykresach zaznacza się jako miesiąc o największych przepływach. W kolejności miesięcy o malejących wartościach występują drobne, ale charakterystyczne różnice:



Fot. V-5-2. Kamieniec w dolinie Rio Putaendo w okresie małej wody.

średnie miesięczne przepływy — XII, XI, I, II, X

średnie miesięczne maksima przepływu — XII, XI, I, X, II

średnie miesięczne minima przepływu — XII, I, XI, II, X

Wysunięcie się października przed luty w średnich maksimach świadczy, że dla formowania się dużych przepływów większą rolę odgrywa tajanie śniegów wczesną wiosną, niż topnienie lodów późnym latem. Na wykresie minimów styczeń zajmuje miejsce przed listopadem, co wskazuje na dużą rolę lodowców w podtrzymywaniu odpływu w okresie letnim.

Wykresy, przedstawiając zmienność maksymalnych i minimalnych przepływów miesięcznych, charakteryzują R. Aconcagua w profilu Chacabuquito jako rzekę, w której dorzeczu zjawisko odpływu przebiega regularnie. Jest to cecha typowa wszystkich rzek, których przepływ uzależniony jest bardziej od termiki niż od opadów. Nieregularność obserwujemy tylko w rozkładzie rocznym największych maksimów miesięcznych. Tu także zaznacza się kontrast między dużymi maksimami letnimi i znacznie mniejszymi w zimie. Jednakże w miesiącach zimowych, obfitujących w opady, zdarzać się mogą również duże wezbrania.

Wykresy R. Colorado (ryc. V-5-2) i R. Putaendo (ryc. V-5-3) wykazują duże analogie z wykresem Chacabuquito. Tylko najmniejsze wartości są bardziej wyrównane w ciągu roku na wszystkich wykresach. Świadczy to o możliwości występowania niżówek we wszystkich porach roku.

Wykresy dla trzech profilów: R. Aconcagua w Rio Blanco, R. Blanco w Rio Blanco i w Saladillo (ryc. V-5-4) potwierdzają zjawisko rytmiczności odpływu, chociaż wartości średnie obliczone zostały z bardzo krótkich okresów (7—11 lat). Cecha ta jest więc typowa dla górnej części dorzecza R. Aconcagua.

Regularnemu przebiegowi zjawisk w czasie przeciwstawiła się zmienność nasilenia zjawiska przepływu. Maksymalny przepływ w każdym miesiącu może być znacznie niższy niż minimalny przepływ w tym samym miesiącu innego roku. Maksymalne przepływy R. Colorado i R. Putaendo w miesiącach let-

## Przepływy największe i najmniejsze

Rzeka i stacja	Miara	Maksima miesięczne			Minima miesięczne		
		średnie od do	największe	najmniejsze	średnie od do	największe	najmniejsze
R. Aconca- gua Chacabu- quito	Przepływ bez- względny m <sup>3</sup> /sek	23,2—114,1	262,0	9,0	10,9—50,8	114,5	3,5
	Współczynnik przepływu	0,71—3,52	8,09	0,28	0,34—1,57	3,53	0,08
	Odpływ jednostko- wy 1/sek, km <sup>2</sup>	9,4—51,7	126,3	4,3	4,9—23,9	55,2	1,7
R. Colorado przy ujściu	Przepływ bez- względny m <sup>3</sup> /sek	6,6—43,2	134,0	0,6	3,4—20,5	64,0	0,6
	Współczynnik przepływu	0,55—3,63	11,26	0,05	0,29—1,72	5,38	0,05
	Odpływ jednostko- wy 1/sek, km <sup>2</sup>	8,1—52,8	163,7	0,7	4,2—25,0	78,2	0,7
R. Putaendo  Los Patos	Przepływ bez- względny m <sup>3</sup> /sek	5,6—32,9	96,0	2,0	2,8—11,4	42,8	1,1
	Współczynnik przepływu	0,65—3,83	11,16	0,23	0,33—1,33	4,98	0,13
	Odpływ jednostko- wy 1/sek, km <sup>2</sup>	6,6—38,8	113,1	2,4	3,3—13,4	50,4	1,3



łych przepływów we wszystkich porach roku. Przepływy największe w zestawieniu z przepływami rzek o podobnym ustroju są niewielkie. Podkreślić należy, że żaden z omawianych profili hydrometrycznych nie reprezentuje całkowicie naturalnych stosunków wodnych, gdyż ludzka gospodarka wodą sięga powyżej badanych stacji.

#### 6. CZĘSTOTLIWOŚĆ MAKSYMALNYCH I MINIMALNYCH PRZEPIYWÓW ROCZNYCH I MIESIĘCZNYCH

W uzupełnieniu analizy przepływów maksymalnych wykonano obliczenia częstotliwości ich pojawiania się w dwóch stacjach: Chacabuquito na R. Aconcagua i Los Patos na R. Putaendo. Zastosowano dwie metody: Dębskiego (15) i doświadczalną krzywą prawdopodobieństwa według wzoru

$$p\% = \frac{m - 0,3}{N + 0,4} \cdot 100$$

gdzie  $m$  oznacza kolejny wyraz ciągu, a  $N$  ilość wyrazów ciągu.

Krzywe uzyskane obiema metodami mają podobny przebieg (ryc. V-6-1, 2), a przepływy o określonej częstotliwości pojawiają się zbliżone wartości (tab. V-6-1).

Tabela V-6-1

Prawdopodobieństwo pojawiania się maksymalnych przepływów rocznych w  $m^3/\text{sek}$

Stacja	Krzywa	1%	10%	50%	90%	99%
Chacabuquito	Dębskiego	325 ± 78	217 ± 29	125 ± 13	72	50
	doświadczalna	302	218	122	68	52
Los Patos	Dębskiego	115 ± 32	70 ± 12	36 ± 5	18	13
	doświadczalna	115	73	34	18	12

Nie uwzględniono w tabeli częstotliwości mniejszej od 10% (woda stuletnia), gdyż z powodu małych liczebności ciągów błąd obliczenia gwałtownie rośnie ze zmniejszaniem się częstotliwości zjawiska.

Dane obliczone metodą Dębskiego podano wraz z możliwym

$$\sigma = \xi \frac{Q_{max} \cdot C_v}{\sqrt{N}}$$

błędem obliczonym ze wzoru, w którym  $Q_{max}$  jest średnią wartością maksimumów rocznych,  $C_v$  współczynnikiem zmienności,  $N$  — liczebnością ciągu, a  $\xi$  — wartością zależną od zadanej częstotliwości i współczynnika asymetrii.

Uzyskane wyniki potwierdzają wnioski o małej potędze wezbrań w dorzeczu R. Aconcagua. Największe maksimum przepływu zanotowane na R. Aconcagua w Chacabuquito, 262 m<sup>3</sup>/sek, odpowiada częstotliwości około 3,5% zarówno na krzywej Dębskiego jak i na doświadczalnej krzywej. Były to zatem przepływ przypadający średnio raz na mniej więcej 30 lat. Podobną częstotliwość około 3% ma największy zanotowany przepływ R. Putaendo w Los Patos — 96 m<sup>3</sup>/sek.

Z gospodarczego punktu widzenia groźniejszym zjawiskiem niż wezbrania są w dorzeczu R. Aconcagua niżówki. Do ich szczegółowego zbadania brak danych w postaci codziennych odpływów. Tylko dla niektórych stacji dysponujemy wartościami minimów miesięcznych.

Częstotliwość występowania minimalnych przepływów rocznych obliczono wzorem Gumbela — Kaczmarka (23).

$$Q_{min_p} = \overline{Q_{min}} + AS$$

gdzie  $Q_{min_p}$  jest przepływem minimalnym o częstotliwości  $p$ ,  $\overline{Q_{min}}$  średnią z obserwowanych minimalnych przepływów rocznych,  $A$  wartością zależną od częstotliwości  $p$ ,  $S$  średnim odchyleniem przepływów minimalnych z danego okresu.

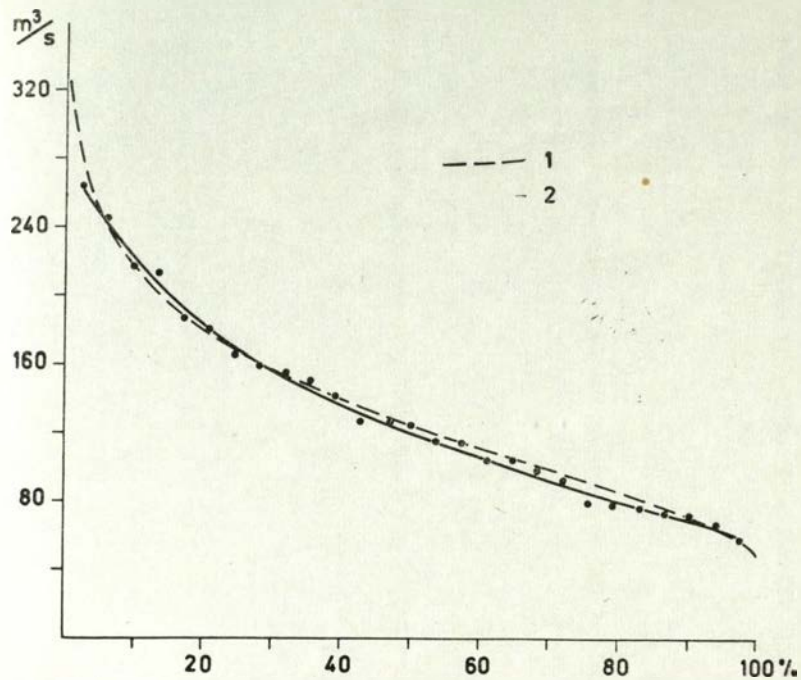
Dla Chacabuquito

$$\overline{Q_{min}} = \frac{\sum Q_{min}}{N} = \frac{235,9}{25} = 9,44 \text{ m}^3/\text{sek}$$

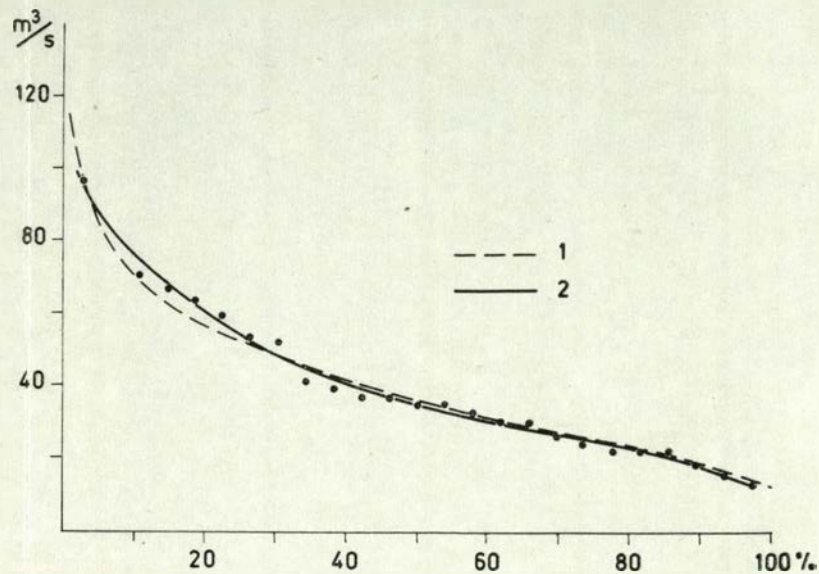
i

$$S = \sqrt{\frac{\sum Q_{min}^2}{N} - (\overline{Q_{min}})^2} = 2,64 \text{ m}^3/\text{sek}$$

Wyniki pozostałych obliczeń przedstawia lewa część tabeli V-6-2.



Ryc. V-6-1. Krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się maksymalnych przepływów rocznych R. Aconcagua w Chacabucuito.



Ryc. V-6-2. Krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się maksymalnych przepływów rocznych R. Putaendo w Los Patos.

1. Krzywa Dębskiego
2. Krzywa doświadczalna

Wartości  $Q_{min,p}$ , uzyskane na podstawie 25-letniej serii, nie określają w sposób ścisły wielkości minimalnych przepływów o danej częstotliwości. Aby otrzymać wyniki pewniejsze, obliczono przedziały, w których zawierać się powinny przepływy minimalne o danej częstotliwości dla dwóch poziomów ufności  $\alpha = 0,8$  i  $\alpha = 0,9$ , to znaczy z prawdopodobieństwem 80% i 90%. Obliczenie według wzoru

$$\Delta p = \pm t \cdot B \frac{S}{N}$$

gdzie  $t$  jest wartością zależną od poziomu ufności i wynosi dla  $\alpha = 0,8$   $t = 1,282$  i dla  $\alpha = 0,9$   $t = 1,645$ , zaś  $B$  zależy od żądanego  $p$ . Uzyskane wyniki zestawiono w prawej części tabeli V-6-2.

Tabela V-6-2

Prawdopodobieństwo pojawiania się minimalnych przepływów rocznych R. Aconcagua w Chacabuquito w  $m^3/\text{sek}$

p%	A	Q <sub>min,p</sub>	B	$\Delta_p$		Q <sub>min</sub>	
				dla $\alpha = 0,8$	dla $\alpha = 0,9$	dla $\alpha = 0,8$	dla $\alpha = 0,9$
0,0	-1,912	4,4	1,355	0,92	1,18	3,5—5,3	3,2—5,6
0,5	-1,759	4,8	1,272	0,86	1,11	3,9—5,7	3,7—5,9
1,0	-1,696	5,0	1,240	0,84	1,08	4,2—5,8	3,9—6,1
2,0	-1,606	5,2	1,195	0,81	1,04	4,4—6,0	4,2—6,2
5,0	-1,424	5,7	1,111	0,75	0,97	4,9—6,5	4,7—6,7
10,0	-1,211	6,2	1,027	0,69	0,89	5,5—6,9	5,3—7,1
20,0	-0,893	7,1	0,939	0,64	0,82	6,5—7,7	6,3—7,9
50,0	-0,114	9,1	0,967	0,66	0,84	8,4—9,8	8,3—9,9
80,0	-0,824	11,6	1,379	0,93	1,20	10,7—12,5	10,4—13,8
90,0	1,362	13,0	1,702	1,15	1,48	11,8—14,2	11,5—14,5
99,0	2,719	16,6	2,618	1,77	2,27	14,8—18,4	14,3—18,9

Z tabeli widać, że absolutnie najniższy przepływ R. Aconcagua w Chacabuquito mieści się z prawdopodobieństwem 80% w przedziale 3,5—5,3  $m^3/\text{sek}$ , a z prawdopodobieństwem 90% w przedziale 3,2—5,6  $m^3/\text{sek}$ . Przepływ minimalny o często-



tliwości 50%, a więc przypadający średnio co drugi rok, powinien z prawdopodobieństwem 90% spadać poniżej 9,9 m<sup>3</sup>/sek.

Tą samą metodą obliczono częstotliwość przepływów minimalnych rocznych R. Putaendo w Los Patos (tab. V-6-3).

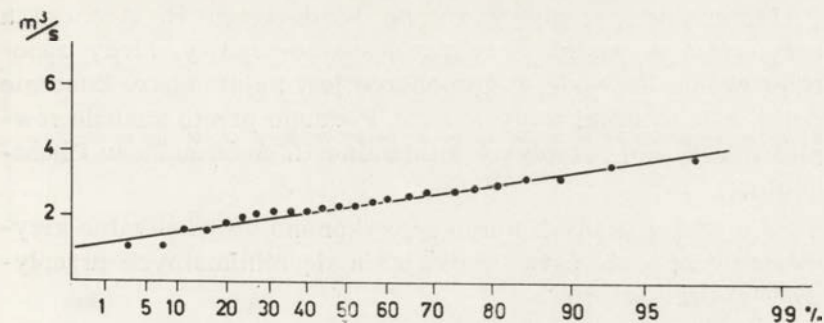
Tabela V-6-3

Prawdopodobieństwo pojawiania się minimalnych  
przepływów rocznych R. Putaendo w Los Patos

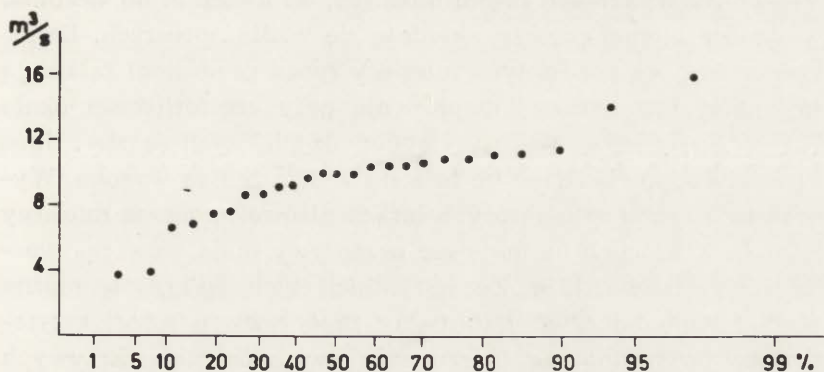
p%	Q <sub>min,p</sub>	$\Delta_p$ dla $\alpha = 0,9$	Q <sub>min,p</sub> dla $\alpha = 0,9$
0,0	1,1	0,26	0,9—1,4
1,0	1,3	0,24	1,0—1,5
5,0	1,45	0,21	1,2—1,7
10,0	1,6	0,20	1,4—1,8
50,0	2,3	0,19	2,1—2,5
90,0	3,3	0,33	3,0—3,7
99,0	4,3	0,51	3,8—4,8

Na podstawie dostępnych danych można wnosić, że minimalne przepływy roczne R. Putaendo w Los Patos powinny mieścić się z prawdopodobieństwem 90% w granicach 0,9—4,8 m<sup>3</sup>/sek.

Zarejestrowane w okresie obserwacji najniższe przepływy w obu stacjach mieszczą się w obliczonym przedziale najmniejszych możliwych przepływów. Krzywa doświadczalna prawdopodobieństwa występowania przepływów minimalnych dla profilu Los Patos (ryc. V-6-3) potwierdza wynik uzyskany obliczeniami. Nie można tego powiedzieć o krzywej dla R. Aconcagua w Chacabuquito. Narysowana w podziałce zwykłej krzywa ta ma silnie wygięte odcinki krańcowe. W podziałce prawdopodobieństwa punkty krańcowe również nie układają się na linii prostej (ryc. V-6-4). Przyczyną znacznych odchyień może być — oprócz zbyt krótkiej serii obserwacyjnej — wpływ gospodarki na przepływy niżówkowe. Wpływ ten powinien się zaznaczać najsilniej w latach najsuchszych, gdy pobór wody znacznie redukuje i tak już znikome przepływy. W latach wy-



Ryc. V-6-3. Doświadczalna krzywa prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów rocznych R. Putaendo w Los Patos.



Ryc. V-6-4. Doświadczalna krzywa prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów rocznych R. Aconcagua w Chacabuquito.

jątkowo zasobnych w wodę użytkowanie gospodarce wody najmniej zmienia naturalny odpływ, przez co najwyższe w okresie obserwacji minima roczne mogą bardziej odchyłać się od wartości przeciętnych.

Rozważając zagadnienie minimów rocznych w zlewni R. Aconcagua należałoby zatem mówić nie o przepływach naturalnych, a o przepływach przy aktualnym w danym okresie poborze wody na cele gospodarcze.

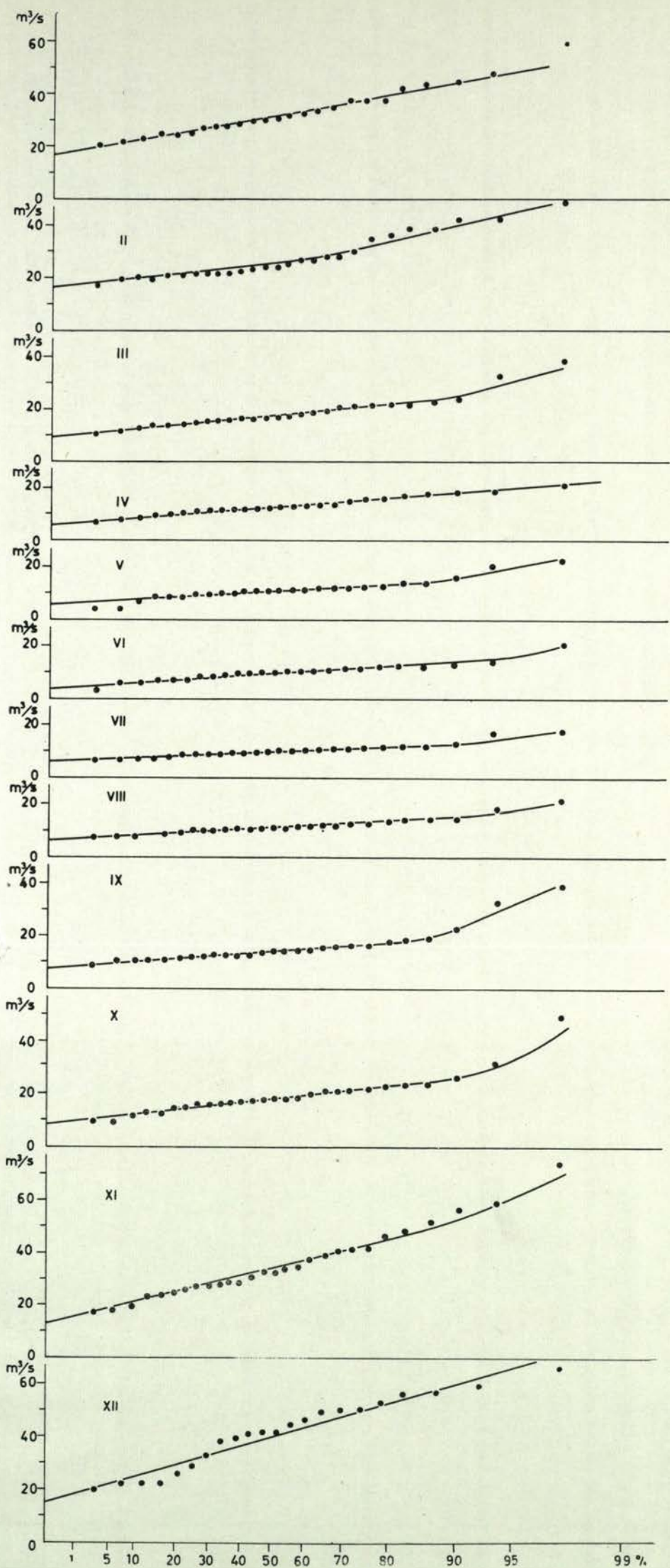
Minimalne przepływy roczne w dorzeczu R. Aconcagua przypadają z reguły na okres jesienno-zimowy, kiedy zapotrzebowanie na wodę w gospodarce jest najmniejsze. Znacznie dotkliwsze są braki wody w lecie. Poddano przeto analizie również miesięczne przepływy minimalne R. Aconcagua w Chacabucquito.

Dla poszczególnych miesięcy wykonano doświadczalne krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów według wzoru

$$p\% = \frac{m - 0,3}{N + 0,4} = 100$$

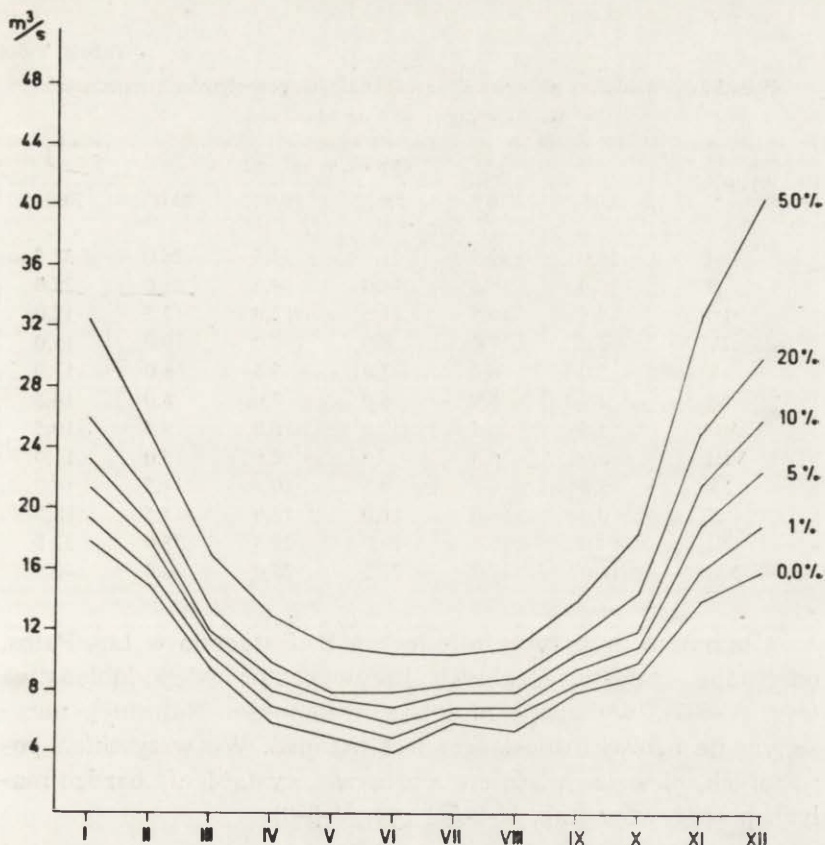
stosując na osi odciętych podziałkę prawdopodobieństwa (ryc. V-6-5). Na wykresach pięciu miesięcy, od kwietnia do sierpnia, wszystkie niemal punkty układają się wzdłuż prostych. Empiryczne krzywe pozostałych miesięcy (poza grudniem) załamują się mniej lub bardziej gwałtownie przy częstotliwości około 70—90%. Końcowe wyrazy ciągów rozdzielczych są zbyt duże i punkty odpowiadające im leżą na wykresach za wysoko. Wynika to z braku w niektórych latach niżówek podczas miesięcy letnich, w których najmniejsze przepływy mają wówczas wartości wyjątkowo duże. Ze wszystkich tych wykresów można dość pewnie odczytać minimalne przepływy o małej częstotliwości pojawiania się. Odrzucenie przy konstrukcji krzywych wyrazów największych w minimalny sposób wpływa na wielkość odczytywanych z wykresu minimalnych przepływów. Zrobiono to dla stycznia otrzymując nieznaczną różnicę wartości dopiero przy przepływach o częstotliwości pojawiania się 50%.

Tylko w grudniu sprawa komplikuje się. Wyrazy ciągu rozdzielczego nie tworzą zbioru jednorodnego. Najwyższe wartości minimalnego przepływu miesięcznego odpowiadają latom, w których przez cały miesiąc trwały wezbrania. Dlatego krzywą doświadczalną dla tego miesiąca skonstruowano po odrzuceniu danych z 6 lat, w których minima miały wartość wyższą, niż maksima tego miesiąca w latach ubogich w wodę.



Ryc. V-6-5. Doświadczalne krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów miesięcznych R. Aconcgua w Chacabuquito.





Ryc. V-6-6. Minimalne przepływy miesięczne R. Aconcagua w Chacabucquito o różnym prawdopodobieństwie pojawiania się.

Odczytane z wykresów przepływy miesięczne o określonej częstotliwości pojawiania się zestawiono w tabeli V-6-4 i przedstawiono graficznie (ryc. V-6-6).

Najniższe, a jednocześnie najmniej zmienne minima występują w miesiącach zimowych. W okresie wiosenno-letnim, gdy potrzeby wodne są najbardziej palące, przepływy minimalne są wprawdzie większe, ale odznaczają się dużą zmiennością.

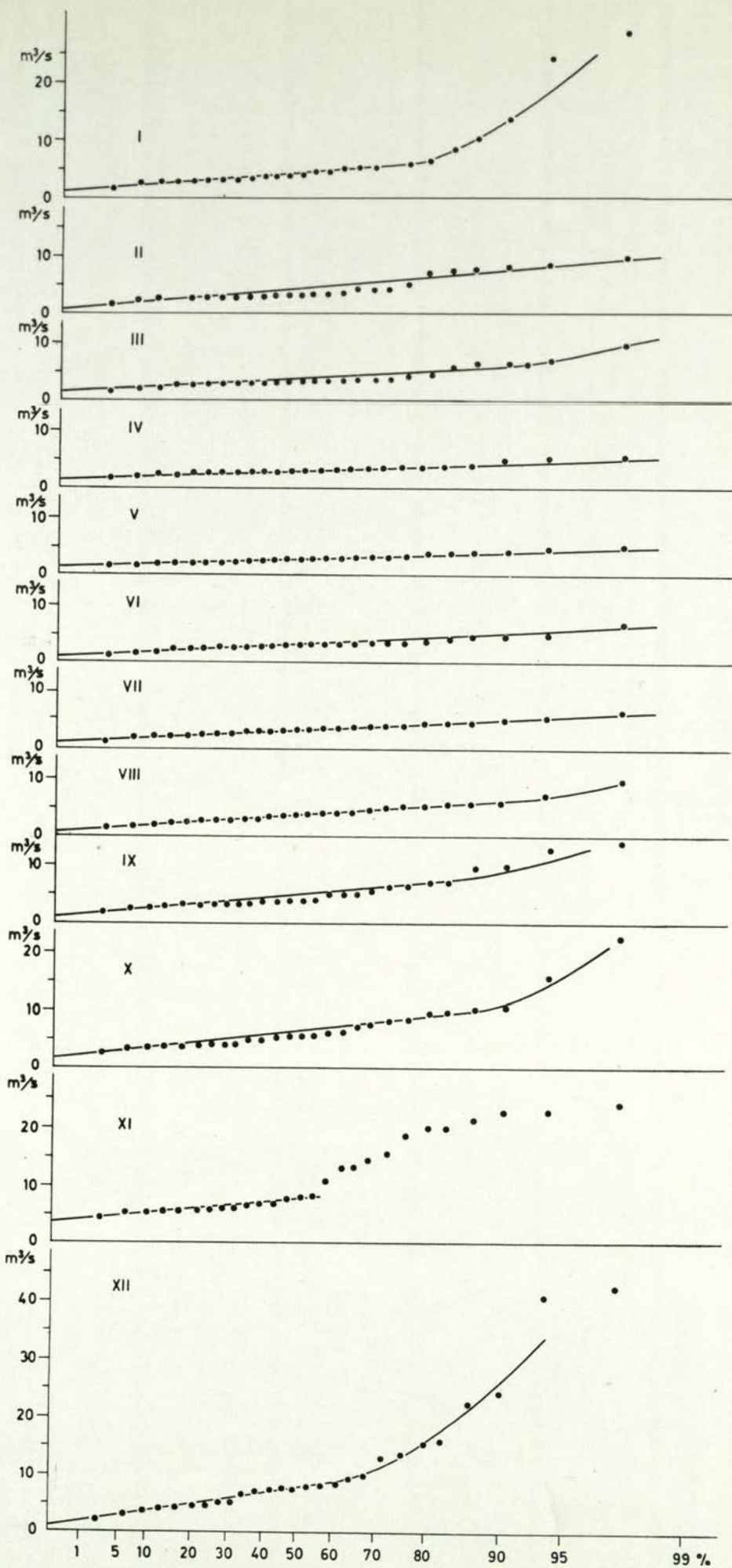
Prawdopodobieństwo pojawiania się minimalnych przepływów miesięcznych  
R. Aconcagua w Chacabuquito

Miesiąc	Qmin <sub>p</sub> w m <sup>3</sup> /sek					
	0,0%	1,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%
I	18,0	19,5	21,5	23,5	26,0	32,5
II	15,0	16,0	18,0	19,0	21,0	25,0
III	9,5	10,5	11,5	12,0	13,5	17,0
IV	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	13,0
V	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	11,0
VI	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,5
VII	5,5	6,5	7,0	8,0	8,5	10,5
VIII	6,0	6,4	7,0	8,0	9,0	11,0
IX	8,0	8,5	9,5	10,5	11,5	14,0
X	9,0	10,0	11,0	12,0	14,5	18,5
XI	14,0	16,0	19,0	21,5	25,0	32,5
XII	16,0	19,0	22,5	26,0	30,0	40,5

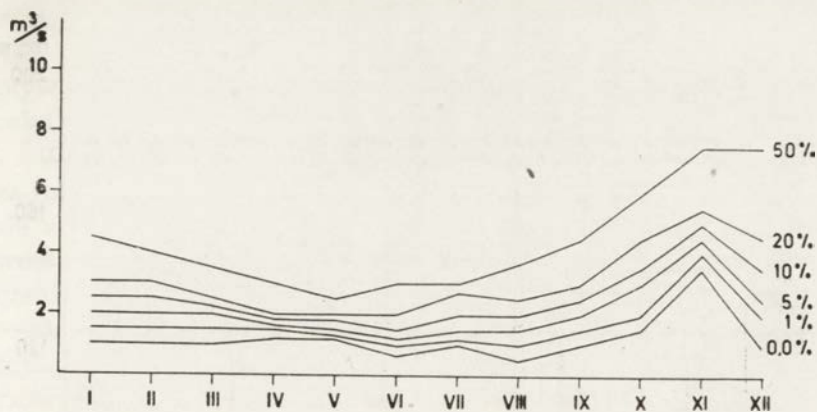
Minimalne przepływy miesięczne R. Putaendo w Los Patos, odczytane z doświadczalnych krzywych prawdopodobieństwa (ryc. V-6-7), wykazują mniejszą zmienność. Najmniej narażonym na niżówki miesiącem jest listopad. We wszystkich pozostałych miesiącach istnieje możliwość wystąpienia bardzo małych przepływów (tab. V-6-5 i ryc. V-6-8).

#### 7. ZWIĄZEK MIĘDZY ODPLYWEM I OPADEM

W wysokogórskiej części dorzecza R. Aconcagua nie ma stacji opadowych z długimi seriami obserwacyjnymi. Uniemożliwia to rozpatrzenie związku między odpływem i opadem, otrzymywanym przez ten sam obszar. W braku danych opadowych z wysokich gór zdecydowano rozpatrzyć związek między odpływem z górnej części dorzecza, zamkniętej profilem Chacabuquito i opadem notowanym w strefie podgórskiej. Wybrano stację Los Andes ze względu na jej położenie i długą serię obserwacyjną.



Ryc. V-6-7. Doświadczalne krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów miesięcznych R. Putaendo w Los Patos.



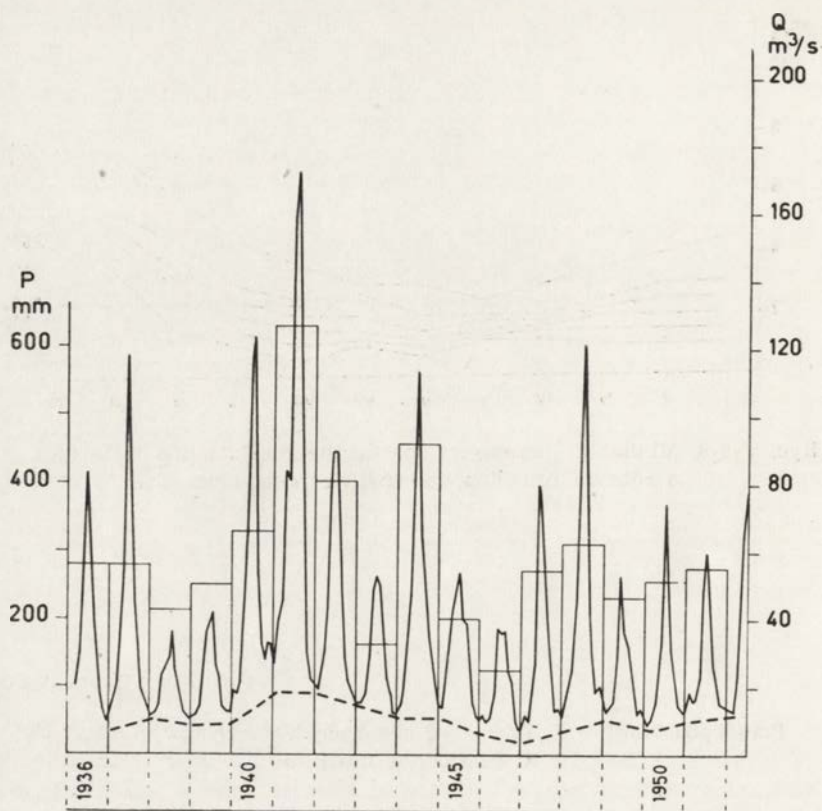
Ryc. V-6-8. Minimalne przepływy miesięczne R. Putaendo w Los Patos o różnym prawdopodobieństwie pojawiania się.

Tabela V-6-5

Prawdopodobieństwo pojawiania się minimalnych przepływów miesięcznych R. Putaendo w Los Patos

Miesiąc	Q <sub>min,p</sub> w m <sup>3</sup> /sek					
	0,0%	1,0%	5,0%	10,0%	20,0%	50,0%
I	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,5
II	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
III	1,0	1,5	2,0	2,2	2,5	3,5
IV	1,2	1,5	1,6	1,8	2,0	3,0
V	1,2	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5
VI	0,7	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0
VII	1,0	1,2	1,5	2,0	2,7	3,0
VIII	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,7
IX	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,5
X	1,5	2,0	3,0	3,5	4,5	6,0
XI	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	7,5
XII	1,0	2,0	2,5	3,5	4,5	7,5





Ryc. V-7-1. Opady w Los Andes i średnie miesięczne przepływy R. Aconcagua w Chacabucuito.

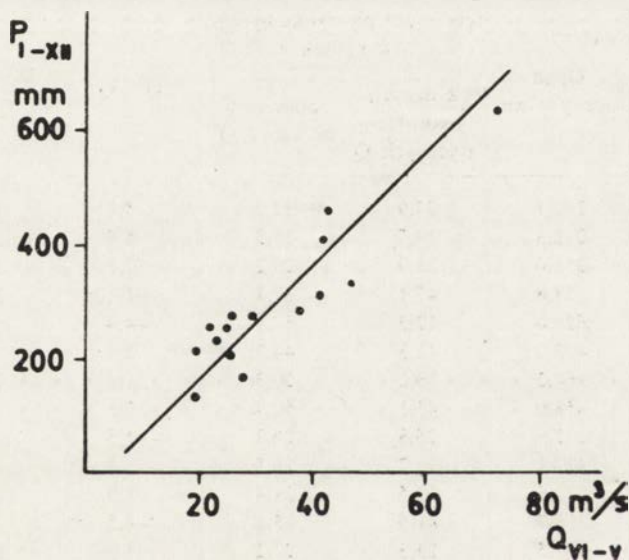
Słupkami oznaczono opad roczny, linią łamaną średnie przepływy miesięczne. Linią przerywaną połączono wartości minimalnych przepływów miesięcy zimowych.

Pierwszym sprawdzianem, czy istnieje omawiana zależność, było sporządzenie wykresu średnich miesięcznych przepływów R. Aconcagua w Chacabucuito i rocznych sum opadów w Los Andes za lata 1936—1951, dla których istnieją dane zarówno hydrometryczne, jak i pluwiometryczne. Nałożenie wykresów na siebie z półrocznym mniej więcej przesunięciem

w czasie daje uderzającą zgodność przebiegu obu zjawisk (ryc. V-7-1). Wielkość opadu danego roku decyduje o wielkości odpływu w roku hydrologicznym, obejmującym drugą połowę roku danego i pierwszą połowę roku następnego.

Wykonane próby wykazały, że najwłaściwsze jest przyjęcie za rok hydrologiczny okresu od 1 czerwca do 31 maja. Uzyskuje się wówczas największy współczynnik korelacji między odpływem i opadem roku kalendarzowego. Robiono również obliczenia biorąc odpływ z okresu 1.V—30.IV i z okresu 1.VII—30.VI, dawały one jednak wyniki nieco gorsze. Robiono też próby stosowania innych okresów opadowych niż rok kalendarzowy, nie uzyskano jednak lepszych korelacji z odpływem.

Dane opadu i odpływu dla 15 lat dających się zestawzić naniesiono w układ współrzędnych (ryc. V-7-2). Współczynnik korelacji obu zmiennych jest wysoki — 0,90, a korelacja istotna na poziomie ufności wyższym niż 0,1%.



Ryc. V-7-2. Korelacja między opadem rocznym w Los Andes i średnim rocznym przepływem R. Aconcagua w Chacabuquito.

Zależność odpływu roku hydrologicznego od opadu roku kalendarzowego ujmuje równanie

$$Q_{VI-V} = 0,1025 P + 3,5$$

lub

$$H_{VI-V} = 1,56 P + 53,2$$

gdzie  $P$  jest opadem w milimetrach w roku kalendarzowym w Los Andes,  $Q_{VI-V}$  średnim przepływem w roku hydrologicznym w  $m^3/sec$  w profilu Chacabuquito, a  $H_{VI-V}$  wskaźnikiem odpływu w milimetrach.

Średnie roczne przepływy R. Aconcagua w Chacabuquito obliczone według podanego wzoru różnią się od obliczonych na podstawie obserwacji wodowskazowych skrajnie o 33,3% (tab. V-7-1). Z 15 lat wziętych pod uwagę jeden tylko rok ma wynik

Tabela V-7-1

Opad roczny w Los Andes i średnie przepływy R. Aconcagua w Chacabuquito w roku hydrologicznym

Rok	Opad roczny w mm	Średni przepływ roku hydrol. w $m^3/sec$		Q'-Q	$\frac{(Q'-Q)}{Q} \cdot 100$
		z danych hydrometrycznych Q	obliczony ze wzoru Q'		
1937	280,1	37,9	32,2	-5,7	15,0
1938	212,3	19,7	25,3	5,6	28,4
1939	251,0	21,9	29,2	7,3	33,3
1940	328,0	47,1	37,1	-10,0	21,2
1941	628,0	72,3	67,9	-4,4	6,1
1942	402,0	42,3	44,7	2,4	5,8
1943	164,2	28,2	20,3	7,9	28,0
1944	458,0	43,1	50,4	7,3	16,9
1945	202,6	25,8	24,3	-1,5	5,8
1946	127,1	19,7	16,5	-3,2	16,2
1947	272,6	29,5	31,4	1,9	6,4
1948	308,7	41,6	35,1	-6,5	15,6
1949	231,5	23,3	27,2	3,9	16,7
1950	256,7	24,7	29,8	5,1	20,6
1951	276,4	26,3	31,8	5,5	20,9

różniący się ponad 30%, pięć lat w granicach 20—30%, trzy lata 10—20% i cztery lata poniżej 10%.

Duże odchylenia średniego przepływu obliczonego za pomocą wzoru w stosunku do danych hydrometrycznych i rozrzut punktów w stosunku do linii regresji każe myśleć o istnieniu dodatkowego czynnika, który w systematyczny sposób wpływa na zależność odpływu od opadu. Jako czynniki komplikujące zależność wchodzić mogą w rachubę przede wszystkim: retencja podziemna i temperatura. Oba poddano analizie.

Można przyjąć, że w okresie zimy zasilanie rzeki odbywa się niemal wyłącznie z retencji podziemnej. Wprawdzie jest to okres opadów, ale w górach występują opady śnieżne, nie biorące udziału bezpośrednio w odpływie. Miesięczne minima przepływu okresu zimowego charakteryzują przeto wielkość zasilania podziemnego. Na rycinie V-7-1 wykreślono w oparciu tylko o minima miesięcy zimowych zasilanie z retencji. W rzeczywistości zasilanie to jest większe, gdyż w okresie wezbrań letnich następuje niewątpliwie wzrost odpływu podziemnego. Dla naszych rozważań nie ma to jednak większego znaczenia, gdyż przedmiotem zainteresowania jest tylko ta część odpływu podziemnego, która zwiększa odpływ całkowity roku hydrologicznego. A tę charakteryzują minima poprzedzające lub rozpoczynające ów rok.

Analiza wykresu nie wskazuje na decydującą rolę retencji w odpływie. Wprawdzie zapas wód podziemnych zmienia się w dość znacznym stopniu, przypuszczalnie jednak duża przepuszczalność podłoża sprzyja szybkiej wymianie wód podziemnych. Na brak decydującej roli retencji wskazują niezgodności między wielkością odpływu i stanami retencji. I tak z lat 1937, 1940, 1941, 1943 i 1948, które wykazują nadmiar odpływu w stosunku do opadów (ryc. V-7-2), rok 1940 następuje po dość ubogich w opady dwóch latach, w czasie których zasoby podziemnych nie uległy powiększeniu. Podobnie jest z rokiem 1948. Niektóre lata z odpływem zbyt małym w stosunku do opadów na przykład rok 1942 i 1949, następują po latach obfitych w opady i mających zwiększone rezerwy podziemne. Dostępny



materiał nie potwierdza zatem dużego wpływu retencji podziemnej na wielkość odpływu i nie daje podstaw do określenia tego wpływu.

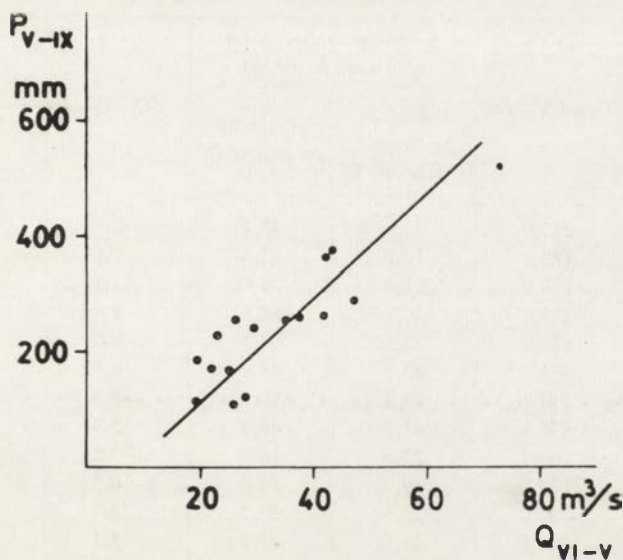
Wpływ temperatury nie jest jednokierunkowy. Wysokie temperatury lata zwiększają parowanie, ale powodują też wzrost topnienia lodowców i płatów wiecznego śniegu. W rzekach o reżimach śnieżno-lodowcowych ten drugi proces wydaje się efektywniejszy. Lata o nadmiarze odpływu w stosunku do opadów powinny przeto wyróżniać się wyższymi temperaturami cieplej pory roku.

Dostępny materiał nie potwierdza jednak przypuszczenia w sposób oczywisty. Zarówno w grupie lat o nadmiarze, jak i niedoborze odpływu w stosunku do opadu średnie temperatury letnich miesięcy są silnie zróżnicowane. W grupie lat o niedoborze odpływu średnie temperatury okresu letniego (XII—II) w Los Andes wahały się od  $21^{\circ}$  do  $22,2^{\circ}$ , a w grupie lat o nadmiarze odpływu od  $21,8^{\circ}$  do  $23,0^{\circ}$ . Obliczenia korelacyjne — być może — wykazałyby istnienie związku między wielkością odpływu i temperaturą lata, nie wykonano ich jednak, gdyż nie mają one praktycznego znaczenia dla prognozowania odpływu.

Różnice w przebiegu temperatury okresu ciepłego wpływają na rozkład odpływu w czasie. Najwyższa średnia temperatura miesiąca występuje zazwyczaj w styczniu, znacznie rzadziej w grudniu. Te dwa miesiące mają też przeważnie maksymalny odpływ. Z tym, że częściej przypada on na grudzień, a może też przydarzyć się w listopadzie. Zależność rozkładu odpływu na miesiące od przebiegu temperatury jest dość przejrzysta. Wcześniejsze maksimum odpływu notuje się w latach o stosunkowo ciepłej wiosnie. Wysokie temperatury listopada decydują o tym, że największy odpływ występuje w tym miesiącu (lata 1946, 1947, 1949) lub w grudniu (lata 1943, 1948), chociaż najwyższą temperaturę ma styczeń. Regułą jest, że po ciepłym listopadzie i grudniu odpływ w styczniu nie osiąga maksymalnych wartości. Może jednak utrzymać się na wysokim poziomie, jeśli rezerwy śnieżne nie zostały wyczerpane.

Decydującą rolę odgrywa w tym przypadku obfitość opadu z poprzedniej zimy. Po latach o wysokich opadach (1941, 1942, 1944) duży odpływ przeciąga się aż na luty następnego roku. Odpływy lutego wykazują więc wyraźniejszą zależność od opadów niż od temperatury, która oddziałuje na odpływ tego miesiąca w sposób uchwytny tylko w latach, gdy zasoby śniegu nie zostały wcześniej znacznie zubożone.

Uwzględniając przy śledzeniu zależności odpływu od opadu modyfikujący wpływ dwóch czynników: retencji podziemnej i średniej temperatury okresu letniego możemy wyjaśnić tylko niektóre nieprawidłowości korelacji. Przyczyna trudności w znalezieniu ścisłych zależności tkwi zapewne w niedoskonałości materiałów oraz w tym, że do obliczeń użyto danych opadowych stacji, położonej poza obrębem rozpatrywanej części zlewni. Można przypuszczać, że zastosowanie danych opadowych dobrze wybranej stacji z terenu wysokogórskiego pozwoliłoby na dokładniejsze określenie zależności odpływu od opadu.



Ryc. V-7-3. Korelacja między opadem 5-miesięcznym w Los Andes i średnim przepływem rocznym R. Aconcagua w Chacabuquito.

Dla celów praktycznych prognozowania odpływu w oparciu o notowany opad znacznie korzystniej jest oprzeć się, zamiast na opadach z pełnego roku kalendarzowego, na sumie opadu z krótszego okresu czasu. Na podstawie prób stwierdzono, że dla badanego przykładu najwłaściwiej jest przyjąć dla ustalenia korelacji opady z okresu pięciu miesięcy, od maja do września. Korelacja, jaka zachodzi między opadami tego okresu a odpływem roku hydrologicznego, jest duża (ryc. V-7-3). Współczynnik korelacji wynosi 0,88, co przy 13 stopniach swobody oznacza istotność korelacji na wysokim poziomie.

Równanie pozwalające na obliczenie średniego rocznego odpływu przedstawia się następująco:

$$Q_{VI-V} = 0,11 P_{V-IX} + 7,1$$

gdzie  $Q_{VI-V}$  jest średnim przepływem roku hydrologicznego

Tabela V-7-2

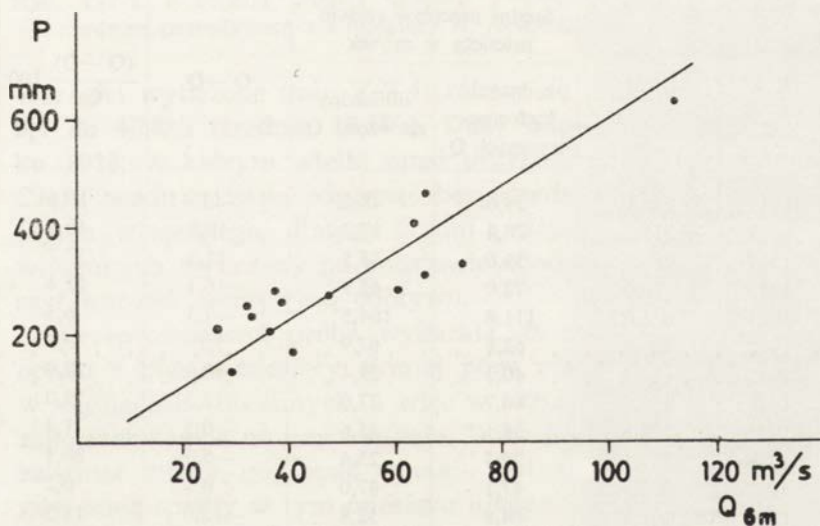
Opad 5-miesięczny (V—IX) w Los Andes i średni przepływ R. Aconcagua w Chacabucuito w roku hydrologicznym

Rok hydroł.	Opad V—IX	Średni przepływ roku hydroł. w m <sup>3</sup> /sek		Q—Q'	$\frac{(Q-Q')}{Q} 100$
		z danych hydrometrycznych Q	obliczony ze wzoru Q'		
1937	257,0	37,9	35,4	—2,5	6,6
1938	185,0	19,7	27,5	7,8	39,6
1939	168,0	21,9	25,6	3,7	16,9
1940	285,0	47,1	38,5	—8,6	18,2
1941	520,0	72,3	64,3	—8,0	11,1
1942	362,0	42,3	46,8	4,5	10,6
1943	113,0	28,2	19,5	—8,7	30,9
1944	373,6	43,1	48,8	5,7	13,2
1945	104,1	25,8	18,6	—7,2	27,9
1946	109,8	19,7	19,2	—0,5	2,5
1947	237,0	29,5	33,2	3,7	12,5
1948	261,5	41,6	35,9	—5,7	13,7
1949	224,5	23,3	31,8	8,5	36,5
1950	165,0	24,7	25,3	0,6	4,3
1951	251,2	26,3	34,7	8,4	31,9

w  $\text{m}^3/\text{sek}$ , zaś  $P_{V-IX}$  opadem w milimetrach z pięciu miesięcy, w okresie rozpoczynającym się na jeden miesiąc przed początkiem roku hydrologicznego.

Odpiływy obliczone na podstawie podanego wzoru odbiegają dość znacznie od danych wyjściowych różniąc się od nich od 2,5 do 39,6% (średnio 18,4%).

Mając na uwadze wzgląd praktyczny przeprowadzono szereg prób dla ustalenia związku między opadem rocznym lub części roku i odpływem części roku. Próby te wskazują na możliwość prognozowania odpływu w pewnej części roku. Godne uwagi są zwłaszcza dwie próby. Między całorocznym opadem w Los Andes i odpływem zlewni w profilu Chacabuquito w okresie sześciu miesięcy najbardziej obfitujących w wodę istnieje wyraźna korelacja (ryc. V-7-4). Najwięcej wody odpływa niemal z reguły w okresie od października do marca, wyjątkowo od września do lutego. Współczynnik korelacji wynosi



Ryc. V-7-4. Korelacja między opadem rocznym w Los Andes i średnim przepływem z 6 miesięcy R. Aconcagua w Chacabuquito.



0,899 i korelacja jest istotna. Otrzymane równanie ma postać

$$Q_{6m} = 0,162 P + 2,8$$

gdzie  $Q_{6m}$  jest średnim przepływem w  $m^3/\text{sek}$  sześciu miesięcy najobfitszych w wodę w roku hydrologicznym, zaś  $P$  opadem roku kalendarzowego w milimetrach.

Wyniki wyliczone według proponowanego wzoru dają w konkretnych przypadkach odchylenia od danych hydrometrycznych od 0,2 do 40,9% (średnio 19,3%).

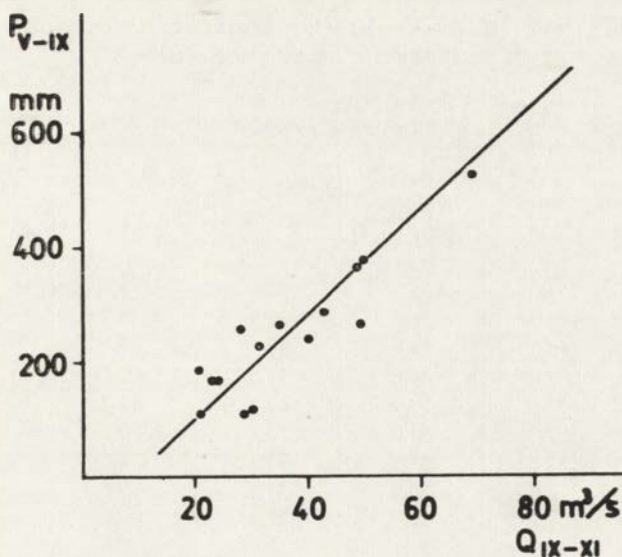
Druga próba dotyczy opadu w Los Andes w okresie pięciu miesięcy od maja do września i średniego przepływu trzech miesięcy od września do listopada (ryc. V-7-5). Współczynnik korelacji wynosi w tym przypadku 0,896, a równanie przyjmuje postać

$$Q_{IX-XI} = 0,109 P_{V-IX} + 10,75$$

Tabela V-7-3

Opad roczny w Los Andes i średni przepływ R. Aconcagua w Chacabucuito z sześciu miesięcy najobfitszych w wodę

Rok	Opad	Średni przepływ sześciu miesięcy w $m^3/\text{sek}$		$Q' - Q$	$\frac{(Q' - Q)}{Q} \cdot 100$
		z danych hydrometrycznych $Q$	obliczony ze wzoru $Q'$		
1937	280,1	59,6	48,2	-11,4	19,1
1938	212,3	26,4	37,2	10,8	40,9
1939	251,0	31,6	43,5	11,9	37,7
1940	328,0	72,0	55,9	-16,1	22,4
1941	628,0	111,8	104,5	-7,3	6,5
1942	402,0	62,8	67,9	5,1	8,1
1943	164,2	40,3	29,4	-10,9	27,0
1944	458,0	64,7	77,0	12,3	19,0
1945	202,6	36,1	35,6	-0,5	1,4
1946	127,1	29,3	23,4	-5,9	20,1
1947	272,9	47,1	47,0	0,1	0,2
1948	308,7	64,8	52,8	-12,0	18,5
1949	231,5	32,7	40,3	7,6	23,2
1950	256,7	37,7	44,4	6,7	17,8
1951	276,4	37,1	47,6	10,5	28,3



Ryc. V-7-5. Korelacja między opadem 5-miesięcznym w Los Andes i średnim przepływem z 3 miesięcy R. Aconcagua w Chacabuquito.

Wartości wyliczone (tab. V-7-4) różnią się od wyjściowych od 0,4 do 45,8% (średnio 15,5%). Duży błąd odnosi się do roku 1938, w którym wielki opad przypadł na maj (106 mm). Część opadu musiała odpłynąć bezpośrednio i nie zasiliła odpływu wiosennego, dlatego średni przepływ trzech miesięcy wiosennych wyliczony na podstawie opadu, znacznie przewyższył wartość rzeczywistą odpływu.

Przeprowadzona próba wykazała, że można na podstawie opadu z pięciu miesięcy zimnej pory roku szacować odpływ w miesiącach wiosennych, a więc w okresie, gdy jest już duże zapotrzebowanie na nawadnianie. Duży błąd w szacunku może zaistnieć wtedy, gdy opad w maju jest w postaci deszczu lub gdy śnieg spadły w tym miesiącu ulegnie stopnieniu przed nadejściem zimy.

Wielkie znaczenie prognozowania odpływu rzecznego dla

Suma opadu z pięciu miesięcy (V—IX) w Los Andes i średni przepływ R. Aconcagua w Chacabuquito z trzech miesięcy (IX—XI)

Rok	Opad z 5 miesięcy w mm	Średni przepływ trzech miesięcy w m <sup>3</sup> /sek		Q'—Q	$\frac{Q'-Q}{Q} \cdot 100$
		z danych hydrome- trycznych Q	obliczony ze wzoru Q'		
1937	257,0	35,7	38,8	3,1	8,7
1938	185,0	21,2	30,9	9,7	45,8
1939	168,0	24,4	29,1	4,7	19,3
1940	285,0	44,0	41,8	—2,2	5,0
1941	520,0	70,1	67,4	—2,7	3,9
1942	362,0	50,0	50,2	0,2	0,4
1943	113,0	31,3	23,1	—8,2	26,2
1944	373,6	50,9	51,5	0,6	1,2
1945	104,1	29,7	22,1	—7,6	25,6
1946	109,8	22,1	22,7	0,6	2,7
1947	237,0	41,1	36,6	—4,5	10,9
1948	261,5	50,7	39,3	—11,4	22,5
1949	224,5	32,3	35,2	2,9	9,0
1950	165,0	23,8	28,7	4,9	20,6
1951	251,2	29,2	38,1	8,9	30,5

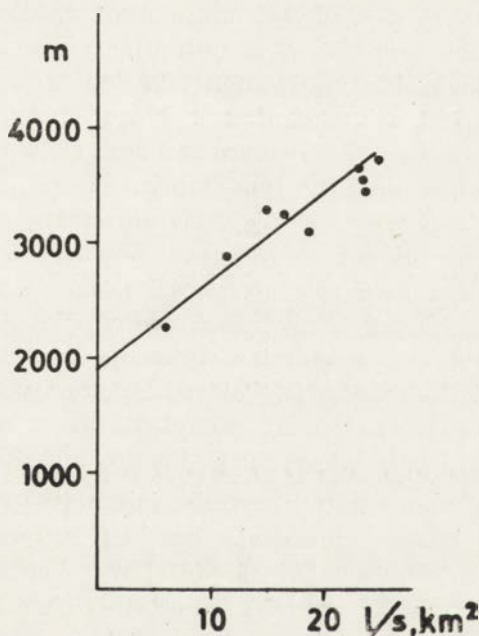
gospodarki rolnej w dorzeczu R. Aconcagua usprawiedliwia poszukiwania korelacji, które umożliwiłyby szacunek ilości odpływającej wody. Nawet te wzory, które w konkretnych przypadkach dają wyniki znacznie odbiegające od rzeczywistych wartości odpływu, mogą być przydatne. Równolegle bowiem z obliczeniem przeprowadzona analiza przebiegu temperatury i stanu retencji podziemnej pozwala przewidzieć, czy obliczona wielkość odpływu zostanie w rzeczywistości przewyższona, czy też nie osiągnięta.

#### 8. ZWIĄZEK MIĘDZY ODPLYWEM I WYSOKOŚCIĄ ZLEWNI

Zlewnie cząstkowe dorzecza R. Aconcagua o największych wysokościach bezwzględnych mają największe odpływy jed-

nostkowe, niżej wzniesione odznaczają się mniejszymi odpływami. Zachęca to do ujęcia liczbowego zależności odpływu od wysokości zlewni. Wprawdzie ilość zlewni o znanym odpływie jednostkowym jest bardzo mała, jednakże oczywistość zależności usprawiedliwia podjęcie próby.

Do obliczenia współczynnika korelacji wzięto dane z dziesięciu zlewni, dla których ustalono uprzednio odpływy jednostkowe. Pominęto jedynie zlewnię E. Juncalillo, z której odpływ odbywa się częściowo drogą podziemną. Z krzywych hipsograficznych obliczono średnie wysokości zlewni cząstkowych. Współczynnik korelacji między odpływem jednostkowym i średnią wysokością zlewni wypada wysoki — 0,941 i korelacja jest — mimo małej liczebności danych — istotna na



Ryc. V-8-1. Korelacja między wysokością zlewni i odpływem jednostkowym.



poziomie powyżej 1%. Linia regresji (ryc. V-8-1) określona jest równaniem

$$Q = 13,49 H - 26,3$$

gdzie  $Q$  jest odpływem jednostkowym w l/sek,km<sup>2</sup>, a  $H$  średnią wysokością zlewni w kilometrach.

Zestawiając odpływy obliczone na podstawie wzoru z odpływami otrzymanymi z danych hydrometrycznych stwierdzamy znaczne różnice do 23,6% (tab. V-8-1). Mogą być one spowodowane dwoma rodzajami przyczyn. Jedna z przyczyn tkwi na pewno w materiale, który nie jest bezbłędny. Błędami mogą być obarczone zarówno dane odpływu, jak i średnie wysokości, które obliczono z mapy 1 : 250 000, stosunkowo mało dokładnie przedstawiającej stosunki hipsometryczne.

Druga przyczyna odchyień może mieć źródło w dodatkowych wpływach czynników, modyfikujących omawianą zależność. Czynnikiem, który powinien taki dodatkowy wpływ wywierać, jest szerokość geograficzna. W tej części Chile wzrost opadów w kierunku południowym zaznacza się w sposób bardzo wyraźny. Jednocześnie w tym samym kierunku obniża się temperatura, a przez to zmniejszają się straty na parowanie. Ze wzrostem szerokości geograficznej powinno więc zwiększać się zasilanie. Na taką rolę szerokości geograficznej wskazują same wyniki obliczeń. Największe odchylenia od danych hydrometrycznych przez nadmiar wykazują odpływy wyliczone dla zlewni R. Putaendo i R. Colorado, położonych najdalej na północ. Największe natomiast odchylenia przez niedobór mają odpływy zlewni południowych: E. Pocuro i E. Riecillos.

Aby uwzględnić istotny czynnik, jakim jest szerokość geograficzna, wykonano obliczenia korelacji trzech zmiennych: odpływu jednostkowego ( $X_1$ ), średniej wysokości ( $X_2$ ) i szerokości geograficznej zlewni ( $X_3$ ). Tę ostatnią określano jako szerokość geograficzną równoleżnika, dzielącego zlewnię mniej więcej na równe części, wyrażając ją w stopniach i dziesiątych częściach stopnia.

Współczynniki korelacji zmiennych wynoszą:  $r_{1,2} = 0,9414$ ,  $r_{1,3} = 0,4308$  i  $r_{2,3} = 0,2231$ , a ogólny współczynnik korelacji  $R = 0,9684$ . Wprowadzając poprawkę na tendencyjność zgodnie ze wzorem

$${}_cR^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{N - 1}{N - m}$$

gdzie  $m$  jest liczbą zmiennych korelowanych, otrzymuje się współczynnik poprawiony  ${}_cR = 0,9577$ .

Równanie związku korelacyjnego otrzymuje postać

$$q = 12,747 H + 7,202 \varphi - 260,57$$

gdzie  $q$  jest odpływem jednostkowym w l/sek, km<sup>2</sup>,  $H$  średnią wysokości zlewni w kilometrach,  $\varphi$  szerokością geograficzną równoleżnika dzielącego zlewnię na połowy, wyrażoną w stopniach.

Wyniki uzyskane w oparciu o ten wzór są bardziej zgodne z danymi wyjściowymi (tab. V-8-1). Maksymalne odchylenie wynosi 13,8%. Tylko w przypadku zlewni R. Blanco wynik jest wyraźnie gorszy niż przy zastosowaniu wzoru pierwszego. Wskazuje to na możliwość błędu w oszacowaniu średniego przepływu R. Blanco na podstawie analizy danych hydrometrycznych.

W obu próbach największe odchylenie dotyczy danych R. Colorado. Przyczyna częściowo tkwić może w kształcie zlewni. Wyciągnięcie południkowe zlewni i położenie najwyższych jej partii w części północnej i północno-wschodniej powoduje zwiększenie wyniku uzyskanego ze wzoru. Dużą bowiem wysokość średnią zlewnia zawdzięcza terenom położonym w mniejszych szerokościach geograficznych, o przyjętej zaś do wzoru szerokości geograficznej decydują również obszary południowe, nisko położone.

Bardzo prawdopodobne jest również, że dane wyjściowe dotyczące odpływu ze zlewni R. Colorado są nieścisłe. W tym przypadku wyjaśniałoby się zmniejszenie wartości odpływu

Odpiwy jednostkowe a średnia wysokość i szerokość geograficzna zlewni

Rzeka i profil	Średnia wysokość zlewni w m	Średnia szerokość geograficzna zlewni	Odpiwy jednostkowy w l/sek, km <sup>2</sup>			q <sub>1</sub> -q	$\frac{q_1-q}{q} 100$	q <sub>2</sub> -q	$\frac{q_2-q}{q} 100$
			z danych hydrometrycznych q	obliczony ze średniej wysokości q <sub>1</sub>	obliczony ze średniej wysokości i szerokości geogr. q <sub>2</sub>				
E. Juncal w Juncal	3777	32°95	24,7	24,7	24,9	0,0	0,0	0,2	0,8
E. Juncal w Rio Blanco	3475	32°92	23,4	20,6	20,8	-2,8	12,0	-2,6	11,1
R. Blanco w Rio Blanco	3665	33°05	22,9	23,1	24,2	0,2	0,9	1,3	5,7
R. Aconcagua w Rio Blanco	3568	32°95	23,3	21,8	22,2	-1,4	6,0	-1,0	4,3
E. Riecillos u ujścia	3132	33°02	18,5	16,0	17,1	-2,5	13,5	-1,4	7,6
R. Colorado u ujścia	3305	32°65	14,8	18,3	16,7	3,5	23,6	1,9	12,8
R. Aconcagua w Chacabuquito	3278	32°90	15,9	17,9	18,1	2,0	12,6	12,2	13,8
E. Pucoro w Sifon	2286	32°98	5,7	4,6	6,1	-1,1	19,3	0,4	7,0
R. Putaendo w Los Patos	2928	32°40	11,1	13,2	10,1	2,1	18,9	-1,0	9,0

obliczonego ze wzoru w stosunku do danych wyjściowych we wszystkich niemal zlewniach.

Z obu wzorów można wyliczyć, dla jakiej średniej wysokości odpływ ze zlewni redukuje się do zera. Na podstawie wzoru pierwszego otrzymujemy wysokość średnią 1947 m. Według wzoru drugiego wynosi ona 2080 m dla szerokości geograficznej  $32^{\circ}5'$  i 1798 m dla szerokości geograficznej  $33^{\circ}$ . Wynikałoby z tego, że ze zlewni cząstkowych w dolnej części dorzecza R. Aconcagua nie odbywa się odpływ, co nie jest zgodne z rzeczywistością. Należy zatem stwierdzić, że wzory nie mogą być stosowane dla zlewni położonych poza obrębem głównego łańcucha Andów. Tam bowiem wchodzi w rachubę jeszcze nowy czynnik — odległość od morza. Sprawia on, że zlewnie w strefie Kordyliery Nadbrzeżnej otrzymują nieco więcej opadu niż zlewnie o podobnych wysokościach, położone w głębi lądu. Ujęcie liczbowe tego czynnika jest jednak niemożliwe ze względu na brak danych hydrometrycznych z dolnej części dorzecza.

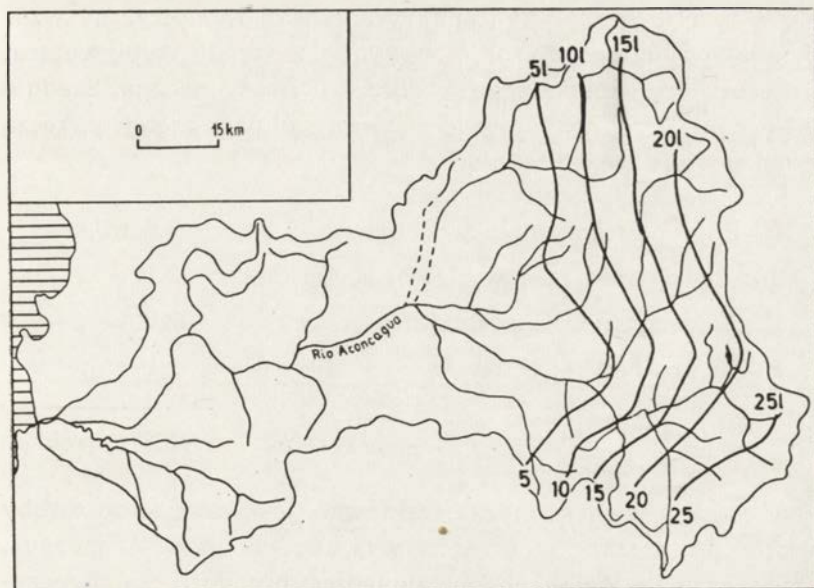
Jednak nawet dla wysokogórskiej części zlewni określenie średnich wysokości zlewni cząstkowych, z których już nie odbywa się odpływ, nie może być ścisłe. W wyjściowym materiale hydrometrycznym odpływy ze zlewni niżej położonych są pomniejszone wskutek poboru wody. Nie dotyczy to zlewni położonych wysoko. Wskutek tego zależność między wysokością zlewni i odpływem jest nieco zmieniona w stosunku do stanu naturalnego. Gdyby stosunki odpływu nie były modyfikowane przez człowieka zależność ta miałyby inny wyraz liczbowy. Linia regresji wyrażająca związek obu zmiennych miałyby inne nachylenie i punkt odpływu zerowego odpowiadałby mniejszej wysokości średniej zlewni. Mimo to wzory, a zwłaszcza wzór drugi, mogą być użyte do określenia odpływu z dowolnej zlewni wysokogórskiej bez ryzyka popełnienia dużego błędu.

Na podstawie wzoru drugiego obliczono odpływ jednostkowy z 24 zlewni cząstkowych w obrębie wysokich Andów i na ich obrzeżeniu (tab. V-8-2). Uzyskane dane pozwalają stwier-



Odptywy jednostkowe wyliczone na podstawie średniej wysokości i szerokości geograficznej zlewni

Zlewnia	Powierzchnia zlewni w km <sup>2</sup>	Średnia wysokość zlewni w m	Średnia szerokość geograficzna zlewni	Odptyw jednostkowy w l/sek, km <sup>2</sup>
E. Juncal do Juncalillo	246,9	3777	32,95	24,9
E. Juncalillo	88,8	3459	32,79	19,7
E. Juncal poniżej Juncalillo	164,4	3050	32,95	14,9
R. Blanco do Saladillo	313,1	3784	33,05	25,7
R. Blanco poniżej Saladillo	71,9	3296	32,94	18,7
R. Aconcagua od R. Blanco do R. Colorado	88,1	2357	32,90	6,4
E. Riecillos do R. Aconcagua bez E. Hultatos	122,5	3294	33,02	19,2
E. Hultatos	39,4	2735	32,97	11,7
E. Colorado do E. Riecillos	441,9	3586	32,57	19,7
E. Riecillos, do R. Colorado	235,6	2456	32,69	18,9
R. Colorado poniżej E. Riecillos	141,3	2362	32,81	5,8
E. Pucuro do Sifon	181,3	2286	32,98	6,1
E. S. Francisco (Quilpué)	193,8	2509	32,69	6,8
E. El Cobre (Quilpué)	127,5	2416	32,65	5,4
E. Jahuel i E. del Solino (Quilpué)	55,6	2126	32,61	1,4
R. Rocin do R. Hidalgo	396,3	3311	32,36	14,7
E. Hidalgo	156,9	3065	32,50	12,6
R. Rocin poniżej R. Hidalgo	105,6	2271	32,51	2,5
E. Chalaco	190,0	2339	32,40	2,6
Q. E. Espino (Putando)	48,1	2410	32,54	4,5



Ryc. V-8-2. Zróżnicowanie przestrzenne odpływu jednostkowego w wysokogórskiej części dorzecza R. Aconcagua.

dzić, że rozmieszczenie odpływu jednostkowego w obrębie wysokogórskiej części dorzecza R. Aconcagua wykazuje przejrzysty porządek przestrzenny. Jeśli wartość odpływu jednostkowego z danej zlewni odniesie się do punktu leżącego mniej więcej w środku ciężkości powierzchni zlewni, to można otrzymać obraz izarytmiczny, który ilustruje tendencję przestrzennego zróżnicowania zjawiska (ryc. V-8-2). Odpływ jednostkowy wzrasta od brzegów łańcucha głównego ku wschodowi, a równocześnie z północy na południe. W związku z tym gradient w kierunku równoleżnikowym zmienia się z szerokością geograficzną. W północnej części dorzecza różnica wielkości odpływu jednostkowego między partiami brzeżnymi i wnętrzem gór wynosi zapewne niewiele ponad 15 l/sek,km<sup>2</sup>, podczas gdy w części południowej ponad 25 l/sek,km<sup>2</sup>.

W oparciu o dane hydrometryczne oraz o empiryczny wzór określający odpływ można oszacować ilość wody wypływającej z obszaru wysokogórskiego w dorzeczu R. Aconcagua. Średnie wieloletnie przepływy roczne z poszczególnych części dorzecza przedstawiają się następująco:

R. Putaendo poniżej Los Patos	9,6 m <sup>3</sup> /sek
górskie odcinki rzek w zlewni E. Quilpue	2,1 „
R. Aconcagua w Chacabuquito	32,9 „
E. Pocuro poniżej Sifon	1,1 „
razem	45,7 m <sup>3</sup> /sek

Uzyskaną wartość można traktować, jako przeciętne zasoby wodne, dostarczane z obszarów wysokogórskich R. Aconcagua, stanowiących główny obszar alimentacyjny dorzecza. Rzeczywiste zasoby strefy wysokogórskiej są większe o ilości wód, które odprowadza się ze zlewni kanałem Chacabuco (średnio około 1 m<sup>3</sup>/sek oraz o trudne do oszacowania ilości wód użytkowanych na nawadnianie w obrębie gór.

## VI. PROBLEMY GOSPODARKI WODNEJ

Naturalne stosunki hydrologiczne dorzecza R. Aconcagua sprawiają, że gospodarka tego obszaru związana jest ściśle ze świadomym oddziaływaniem człowieka na obieg wody. Obecny i przyszły rozwój gospodarczy zależy w głównej mierze od umiejętnego wykorzystania zasobów wodnych. Głównym konsumentem wody w dorzeczu R. Aconcagua jest rolnictwo. Ono też przyczynia się najsilniej do przekształcania obiegu wody. Potrzeby wodne rolnictwa i ich zaspokojenie stanowią przeto główny problem gospodarki wodnej, a przez to samo najważniejszy problem gospodarczy regionu.

### A. Rozwój systemów irygacyjnych

Pierwsze urządzenia nawadniające w dorzeczu R. Aconcagua zostały wybudowane przez Indian w okresie przedkoleonialnym. Przymuszczalnie były to jedynie prymitywne kanaliki prowadzące wodę na pola położone w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki. Na większą skalę zakrojone prace przy budowie systemów nawadniających wykonane były w XVII wieku. Według źródeł chilijskich (32) przypisać je należy Jezuitom, do których w dorzeczu R. Aconcagua należały dobra w okolicy San Pedro i Ocoa. W tym czasie osadnicy hiszpańscy prowadzili głównie gospodarkę hodowlaną, pozostawiając Indianom uprawę ziemi. W miarę wzrostu zaludnienia kraju i potrzeb żywnościowych oraz powstawania warstwy ubogich chłopów — najczęściej mieszańców — coraz szerzej stosowano nawadnianie dla celów rolniczych. Sądząc po zachowanych urządzeniach, systemy irygacyjne stanowiły wynik adaptacji i rozwinięcia starych budowli indiańskich przez przybyszów z Półwyspu Iberyjskiego, głównie Murcji i Andaluzji.

Całkowite zagospodarowanie ziem dawniej uprawianych przez Indian i zajęcia pod uprawę tych terenów, które można nawodnić za pomocą najprostszych budowli irygacyjnych nastąpiło w XVIII wieku. W wieku XIX podjęto budowę nowych systemów, w szczególności większych kanałów, dla realizacji których tworzyły się spółki właścicieli latyfundiów. Bodźcem dla wykonania tych prac było otwarcie nowych rynków zbytu na produkty rolne w górniczej północy kraju, w Peru i nawet w Kalifornii (po gorączce złota w 1846 roku). Produktem zbytu była pszenica oraz pasze, niezbędne dla tysięcy zwierząt jucznych i pociągowych pracujących w kopalniach (jeszcze pod koniec XIX wieku w kopalni Caracoles było 9000 mułów).

Często powtarzające się susze doprowadzały do sytuacji konfliktowych pomiędzy poszczególnymi użytkownikami wód lub też ich grupami. Już więc na początku intensywnego wy-



korzystywania wód dla celów irygacyjnych zagwarantowane zostały prawa do wyłącznego użytkowania wody z określonych jej źródeł. Zmuszało to budowniczych nowych systemów do prowadzenia wody kanałami, często na znaczne odległości, równoległe do kanałów istniejących. Wprowadzenie nowoczesnej techniki górniczej (odstrzały) i budowlanej (cement) umożliwiło w końcu XIX i XX wieku budowę kilku nowych systemów doprowadzających wodę na pola, niezależnie od starych. To nakładanie się faz budowy urządzeń nawadniających wytworzyło wyjątkowo skomplikowaną sieć kanałów, akweduktów, rurociągów i tuneli (ryc. VI-1). Zasadniczy jednak system nawodnień należy datować na wiek XVIII i początek XIX.

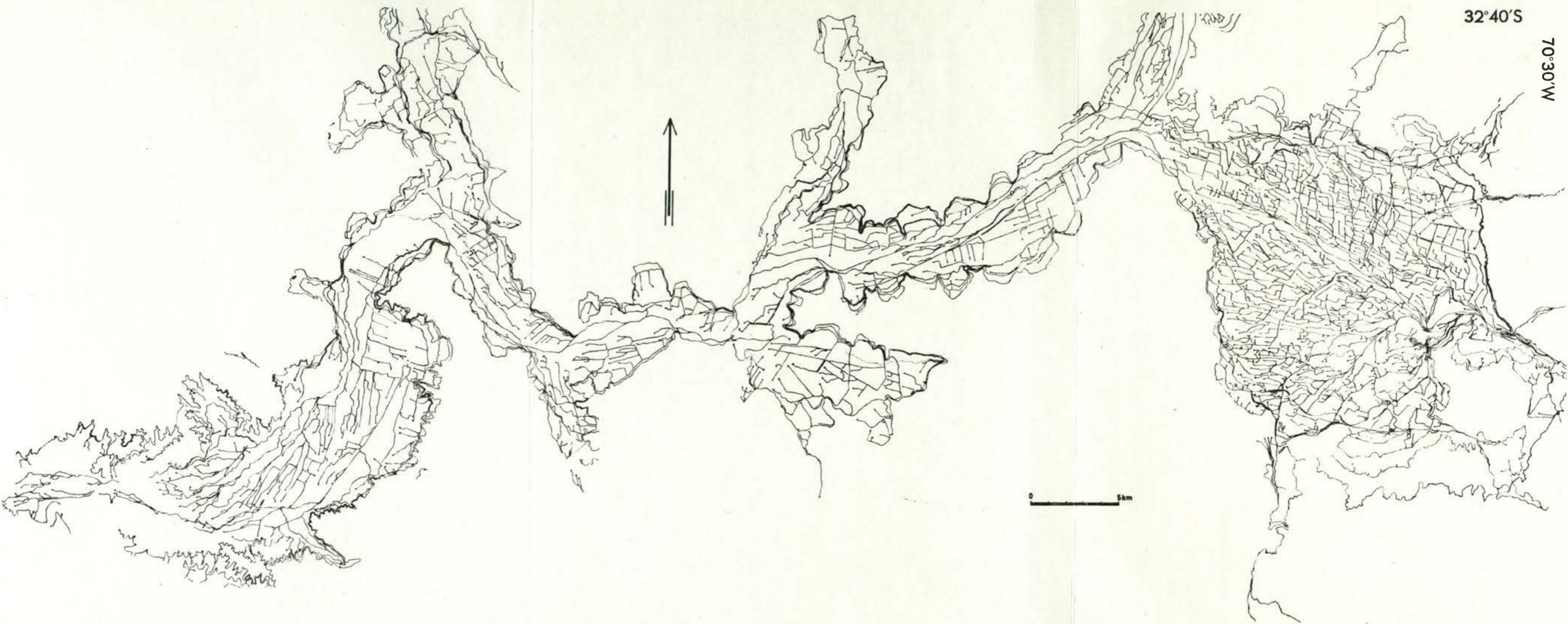
Niemal wszystkie kanały zaczynają się w korytach rzek,



Fot. VI-1-1. Prymitywny jaz w korycie rzeki (R. Aconcagua).

32°40'S

70°30'W



Ryc. VI-1. Sieć wodna w dolinie R. Aconcagua.

<http://dm.org.pl>

tak R. Aconcagua, jak i jej dopływów. Jaz, przegradzający zazwyczaj część koryta i często zbudowany bardzo prymitywnie z kamieni, gałęzi i słomy (fot. VI-1-1), skierowuje część wody rzecznej do kanału — głównego doprowadzalnika (asequia grande, canal matriz). Druga przegroda, już w kanale, reguluje ilość wpływającej wody, której nadmiar powraca do rzeki specjalnym kanałem ulgi. Ujęcia wody znajdują się zwykle znacznie powyżej obszarów nawadnianych, tak że kanały mają duże spadki.

Stopniowa rozbudowa sieci kanałów zaznacza się w szczególności sposób w krajobrazie. Od ujęć wody kanały biegną wzdłuż zboczy doliny. Niekiedy na zboczu występują jeden nad drugim trzy, a nawet cztery doprowadzalniki (fot. VI-1-2). Często oddalają się one od rzeki na duże odległości, wchodząc we wszystkie boczne dolinki. Wskutek tego długość ka-



Fot. VI-1-2. Kanały-doprowadzalniki na zboczach doliny Estero El Cobre.



nałów jest z reguły znacznie większa niż odległość od miejsca ujęcia wody do obszaru nawadnianego. Kanały — z nielicznymi wyjątkami — są otwarte, a ograniczające je groble zbudowane z materiału miejscowego bez żadnego uszczelnienia. Znaczą się one w krajobrazie rzędami drzew i krzewów, które wykorzystują większe uwilgotnienie gleby w pobliżu kanału. Niektóre doprowadzalniki przechodzą przez wzniesienia tunelami. W innych miejscach przekraczają doliny potoków po betonowych mostkach lub syfonami.

Doprowadzalniki wymagają corocznych napraw i czyszczenia, gdyż ilość unoszonego materiału w wodzie podczas wezbrań górskich rzek jest znaczna. W okresie nawodnień prowadzi się stały dozór, jednak ma on na celu głównie uniemożliwienia „kradzieży” wody. Biorąc pod uwagę prymitywizm struktur, jak i skomplikowany zarys trasy kanałów, można zrozumieć, że użytkownicy pól, przez które przebiegają kanały prowadzące „cudzą” wodę, są stale kuszeni, aby ją „kraść” (tapar) w okresach posuchy.

W pobliżu obszaru nawadnianego od kanału głównego odgałęziają się kanały niższego rzędu (ganchos, ramales), kierujące wodę na pola użytkowników. Powszechnie stosuje się system zalewowy nawadniania. Rozprowadzaniu wody po powierzchni nawadnianej służą rowki, których przebieg może być stały w ciągu szeregu lat, lub też zmienny w zależności od rodzaju uprawy i obfitości wody w danym sezonie.

Powszechną praktyką jest nawadnianie pól tylko w okresie dnia. Nocą woda odpływa bezużytecznie kanałami. W niektórych większych posiadłościach istnieją zbiorniki retencyjne, magazynujące odpływ nocny. Woda dostępna użytkownikom kierowana jest na pola bez ograniczenia ilości, wśród rolników panuje bowiem przekonanie, że im więcej wody dostarczy się roślinom, tym plon będzie wyższy.

Sieć kanałów wykorzystywana jest nie tylko w celu doprowadzenia wody na pola uprawne w okresie sezonu wegetacyjnego. Dostarcza ona również wody do zaspokojenia wszelkich potrzeb — do celów pitnych, sanitarnych, dla hodowli. Płynąca



kanałami woda stanowi jedyne źródło zaopatrzenia ludności wiejskiej. Tylko większe osiedla i niektóre przedsiębiorstwa przemysłowe korzystają z wód podziemnych.

## B. Użytkowanie gruntów a nawadnianie

Grunty użytkowane rolniczo można z punktu widzenia gospodarki wodnej podzielić teoretycznie na cztery kategorie: obszary uprawne nawadniane systematycznie (tierras regadas con derechos permanentes), obszary uprawne nawadniane sporadycznie (con derechos eventuales), pastwiska nawadniane sporadycznie oraz pastwiska naturalne wraz z nieużytkami. W rzeczywistości jednak podział taki trudny jest do ścisłego przeprowadzenia. Nawet bardzo szczegółowe opracowanie terenowe w połączeniu z fotointerpretacyjnym nie pozwala na wydzielenie bez wątpliwości obszarów poszczególnych kategorii. Trudność wynika głównie ze zmian w zasięgach różnych typów użytkowania gruntów, co związane jest z ubóstwem lub obfitością wody w danym okresie.

Według statystyk do gruntów uprawnych nawadnianych systematycznie należą te, które mają prawnie zagwarantowaną pewną ilość wody z określonego źródła (najczęściej z większej rzeki). Jest to kategoria terenów, których zasięg można stosunkowo łatwo wyznaczyć, opierając się głównie na sieci kanałów nawadniających. Dobrą podstawę dają zdjęcia lotnicze. Znacznie trudniejsza jest sprawa z terenami uprawnymi nawadnianymi sporadycznie. W tej kategorii, oprócz obszarów nawadnianych tylko w latach obfitujących w wodę, mogą znaleźć się również grunty nawadniane rok rocznie. W dobrze bowiem prosperujących wielkich majątkach istnieją — dzięki racjonalnie stosowanym dawkom wody i urządzeniom magazynującym wodę — możliwości nawodnienia powierzchni większych niż te, które podaje się w zestawieniach służących do rozdziału wody. Pozatem część obszarów nawadnia się nie z cieków głównego lub jego dopływów, których wody znajdują się pod kontrolą, a z mniejszych strumieni stałych lub okreso-

wych, nie objętych lub objętych tylko częściowo systemem rozdziału wody. W statystykach grunty te zaliczane są do kategorii „sin derechos inscritos”. O użytkowaniu tych wód nie mówią żadne przepisy prawne. Zazwyczaj decydują o tym właściciele majątków, po których obszarze płyną strugi. Wielka zmienność odpływu sprawia, że powierzchnia nawadniania ulega znacznym wahaniom.

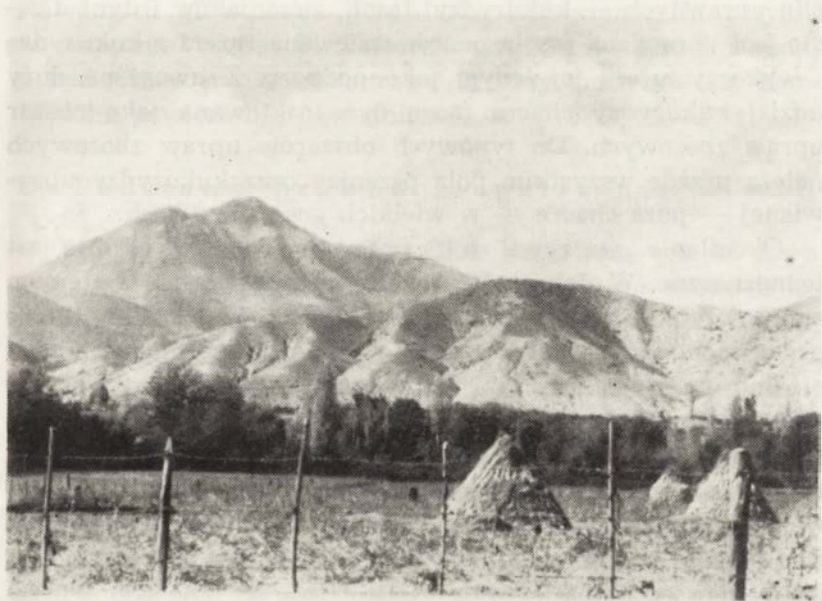
Część gruntów nawadnianych systematycznie lub sporadycznie jest także użytkowana jako pastwiska. Odnosi się to w szczególności do gruntów wielkiej własności. Najczęściej są to pola zasiewane lucerną, dlatego można je zaliczyć do kategorii obszarów uprawnych. W obrębie dorzecza R. Aconcagua obszary stale użytkowane jako pastwiska i nawadniane systematycznie lub sporadycznie stanowią znikomy procent powierzchni. Usytuowane są często w wyższych partiach bocznych dolinek, powyżej obszaru objętego nawadnianiem z rzeki głównej lub przy zakończeniach głównych kanałów biegnących po zboczach.

Cały obszar poza terenami nawadnianymi i nieużytkami jest wykorzystywany jako pastwiska naturalne. Jako nieużytki traktować trzeba powierzchnie zajęte przez lodowce, wieczne śniegi i niedostępne turnie. Pozbawione roślinności są ponadto aktywne stożki osypiskowe zajmujące znaczne powierzchnie w najwyższych partiach górskich. Z powodu deficytu paszy, jako pastwiska wykorzystywane są najwyższe nawet łąki górskie, związane najczęściej z obszarami źródlisk, a także tereny o bardzo skąpej lub efemerycznej roślinności. Na terenach niższych spasa się pobocza dróg i koryta cieków okresowych. Wszystkie tereny pastwisk są stosunkowo mało zasobne w pasze, co powoduje stałe wędrowki stad. W tradycji pasterskiej tego regionu istnieje ustalona kolejność wykorzystywania poszczególnych terenów przez wędrujące stada. Najwyższe pastwiska użytkowane są w okresie lata i późnej wiosny. Niższe wzgórza wokół kotlin służą jako pastwiska w okresie zimowym. Jesienią spasa się pola uprawne na terenach nawadnianych.

Wzgórza otaczające kotliny są najintensywniej pozbawione roślinności (fot. IV-1-3), gdyż w ciągu całego roku pasą się na nich kozy, osły i muły, a ponadto roślinność krzewiasta ścinana jest na opał. Z uwagi na ubóstwo wegetacji eksploatacja drzew i krzewów jest tradycyjnie reglamentowana do określonych ilości przypadających na jedno gospodarstwo. Nie zabezpiecza to jednak terenu przed nadmiernym niszczeniem roślinności.

### C. Struktura zasiewów w obszarach nawadnianych

Ilości wody zużywanej przez rolnictwo zależą nie tylko od powierzchni gruntów nawadnianych, ale i od rodzaju upraw. Niestety, nie ma wiarygodnych materiałów statystycznych do-



Fot. VI-1-3. Pola uprawne na dnie kotliny Los Andes. Otaczające wzgórza niemal pozbawione roślinności.

tyczących struktury zasiewów. Opublikowane szacunki wykazują znaczne różnice, wynikające — przynajmniej częściowo — z odmiennego grupowania roślin uprawnych. Wollman (58) przytacza, opracowane przez Cepal, dla strefy Aconcagua-Linares następujące dane o obszarach zajętych przez różne rodzaje upraw: zbożowe — 46,8%, warzywa — 5,6%, owoce — 4,6%, winnice — 5,6%, pastewne — 37,4%. W opracowaniu Recursos Hidraulicos (30) znajdujemy dla dorzecza R. Aconcagua inne szacunki: owoce — 10%, chacza — 20%, warzywa — 20%, pastewne — 40%, zbożowe — 10%. Zwraca uwagę przede wszystkim wielka niezgodność w szacowaniu powierzchni upraw zbożowych. Niezgodność może wynikać z różnego potraktowania upraw, zwanych chacza. Termin ten dotyczy specyficznego dla tego regionu zespołu roślin uprawianych na jednym polu i przeznaczonych głównie na własne potrzeby gospodarstwa. Zespół ten składa się najczęściej z czterech roślin uprawnych — kukurydzy, fasoli, ziemniaków i dyni. Często jest uprawiana fasola pnąca, zasiewana razem z kukurydzą i wykorzystująca jej łodygi jako podporę. Z uwagi na duży udział kukurydzy chacza może być traktowana jako obszar upraw zbożowych. Do typowych obszarów upraw zbożowych należą przede wszystkim pola pszenicy oraz kukurydzy uprawianej — poza chacza — w wielkich gospodarstwach.

Określenie „warzywa” lub „uprawy ogrodowe” też nie jest jednoznaczne. W dolinie R. Aconcagua uprawia się systemem ogrodniczym — oprócz warzyw — bardzo różne rośliny, które prawdopodobnie zostały włączone do tej grupy upraw, gdyż nie można ich zaliczyć do żadnej innej. Dostyć rozpowszechnione są: konopie indyjskie, papryka, czosnek, cebula, tytoń, soczewica oraz wyka (na ziarno). Udział zasiewów tych roślin zmienia się z roku na rok w zależności od popytu na rynku wewnętrznym i zagranicznym. W okresie II wojny światowej gwałtownie wzrósł popyt na konopie, to też uprawiano je wtedy powszechnie).

Na produkcję sadowniczą nastawionych jest szereg wielkich gospodarstw. Poza tym istnieje wielka ilość małych sadów przy



każdym niemal gospodarstwie rolnym drobnej własności. Rozmaitość hodowanych drzew jest bardzo duża; przeważają typowe dla strefy śródziemnomorskiej: cytrusowe, brzoskwinie, morele, migdałowe, figi, pigwy, granaty, orzechy włoskie, a ponadto jabłonie, grusze, śliwy i w mniejszym stopniu gatunki południowoamerykańskie. Winnice — podobnie jak sady — mają bardzo różne powierzchnie. Wielkie należą do wyspecjalizowanych przedsiębiorstw rolnych, małe znajdują się niemal przy każdym wiejskim domu.

Wśród roślin pastewnych najważniejsza jest lucerna, która ma stare tradycje w kulturze rolnej hispano-amerykańskiej. Uprawia się ją głównie w wielkich majątkach, gdzie nie brak ziemi, ani wody do irygacji (lucerna wymaga największej, poza ryżem, ilości wody). Szczególnie rozpowszechniona jest ta uprawa w latyfundiach leżących u stóp Kordyliery Andyjskiej, obejmujących ogromne powierzchnie pastwisk w górach i nastawionych głównie na gospodarkę hodowlaną. Na przykład w majątku Vicuña - El Tartaro pastwiska w górach zajmują ponad 80000 ha, a na uprawę lucerny poświęca się ponad 1000 ha powierzchni nawadnianej.

#### D. Podstawy prawne zaopatrzenia w wodę

W prowincjach środkowego Chile woda stanowiła od pierwszej fazy kolonizacji pożądane dobro, którego dostatek był podstawą dobrobytu. Użytkowanie jej określały coraz liczniejsze akty prawne, powstające często w wyniku sporów między użytkownikami. W czasach Republiki podstawą orzekania o prawach do zaopatrzenia w wodę był Kodeks Cywilny, wzorowany na Kodeksie Napoleońskim. Kodeks Napoleoński jednak redagowany był w kraju, gdzie nawodnienia nie odgrywały większej roli, podczas gdy w Chile są one podstawą gospodarki rolnej. Niedostatki Kodeksu Cywilnego i późniejszych aktów, opartych na nim, zostały wyrównane przez uchwalenie w 1951 roku specjalnego aktu prawnego — Código de Aguas. Według tej ustawy wszystkie wody dzielą się na dwie kate-

gorie: publiczne i prywatne. Do pierwszej należą: a) wszystkie rzeki bez względu na wielkość i znaczenie, b) jeziora dostępne dla statków ponad 100 ton, c) strumienie, które wypływają ze źródeł na jednej posiadłości i płyną przez inną. Do wód prywatnych zalicza się: a) strumienie rodzące się i kończące w obrębie jednej posiadłości, b) jeziora niedostępne do statków ponad 100 ton, c) wody ziemne, d) wody deszczowe.

Jeśli idzie o użytkowanie wód publicznych, to pozostawiono w mocy dawniej obowiązujące przepisy. Jednakże nowy akt daje prezydentowi Republiki prawo do skierowania pewnej ilości wody dla określonego użytku z wyłączeniem innych celów. Nadto może uznać, że niektóre wody są tak wykorzystywane, że nie wolno ich przydzielać żadnemu nowemu użytkownikowi. Prawo do poboru pewnej ilości wód publicznych może być przedmiotem dzierżawy, przekazania lub sprzedaży.

Kodeks ustanawia kolejność praw do poboru, gdy występuje kolizja pomiędzy różnymi użytkownikami wód publicznych. Kolejność jest następująca:

- 1 — zaopatrzenie w wodę pitną ludności,
- 2 — potrzeby sanitarne ludności,
- 3 — potrzeby kolei żelaznych i przedsiębiorstw wydobywania soli,
- 4 — nawadnianie,
- 5 — potrzeby zakładów produkujących energię,
- 6 — potrzeby zakładów przemysłowych i młynów,
- 7 — inne potrzeby.

Dzięki takiej hierarchii Valparaiso — mimo niekorzystnego położenia w stosunku do R. Aconcagua — ma zapewnione pierwszeństwo użytkowania wody z tej rzeki, niezależnie od użytkowników w obrębie dorzecza.

Kodeks Wodny, jak podkreślono, nie zmienia dawniej ustanowionych praw do użytkowania wody. Nowy kodeks w pewnym stopniu uściślił je tylko i uporządkował. W dorzeczu R. Aconcagua — w związku z dawnym zasiedleniem i zagospodarowaniem tego obszaru oraz intensywnym poborem wód

dla celów irygacyjnych — istnieją skomplikowane, datujące się na początek ubiegłego stulecia, przepisy dotyczące rozdziału wody.

Instytucją nadrzędną zajmującą się gospodarką wodną w rolnictwie jest powstała w 1929 roku Dyrekcja Nawodnień (Dirección del Riego), podległa Ministerstwu Robót Publicznych. Poza planowaniem i budową dużych urządzeń technicznych oraz ochroną przeciwpowodziową Dyrekcja ma za zadanie opiekę i nadzór nad organizacjami użytkowników wody: Radami Nadzorczymi Rzek (Juntas de Vigilancia de Rios), Stowarzyszeniami Użytkowników Kanałów (Asociaciones de Canalistas) i Spółkami Wodnymi (Comunidades de Regantes). Nie należy natomiast do jej kompetencji interweniowanie w sprawy dotyczące użytkowania wody „przydzielonej” danej organizacji, ani w sprawy techniki nawadniania.

Wyżej wymienione organizacje użytkowników mają różny zasięg działania, funkcje i zadania. Rady Nadzorcze Rzek obejmują swoim zasięgiem działania wszystkich użytkowników danej rzeki lub, gdy dorzecze jest duże a wody użytkowane intensywnie, pewnego jej sektora. Rada nadzoruje rozdział wody, która może być przydzielona Stowarzyszeniom Użytkowników Kanału, Spółkom Wodnym, a nawet indywidualnym właścicielom gruntów, mającym zagwarantowane prawo do wody. Jurysdykcja Rady nie rozciąga się poza koryto rzeki, nadzorowi jej podlegają tylko ujęcia kanałów pobierających wodę z koryta. Do poszczególnych ujęć woda kierowana jest przez Sędziego Rzeki (Jefe del Rio), który — jako przedstawiciel Rady — nadzoruje osobiście podział wody i bez którego wiedzy i zgody nie mogą być czynione żadne zmiany w ujęciach. Sędzia Rzeki jest według tradycji lokalnych ostatecznym autorytetem przy podziale wody, choć dokonuje jej „na oko” opierając się tylko na własnym doświadczeniu. Urząd sędziego jest obieralny, ale wysokie wymagania stawiane kandydatom do objęcia tego stanowiska sprawiają, że sędzia raz wybrany piastuje godność nawet kilkadziesiąt lat. Tradycje tego urzędu sięgają połowy XVIII wieku, a w dokumencie

dotyczącym praw do korzystania z wód R. Aconcagua z 1872 roku kompetencje sędziego zostały dokładnie określone.

Stowarzyszenia Użytkowników Kanału są również organizacjami o starej tradycji, a od 1908 roku mają osobowość prawną. Jednoczą one wszystkich użytkowników wody z danego kanału głównego. Statuty Stowarzyszeń muszą być zgodne z Kodeksem Wodnym i zatwierdzone przez prezydenta Republiki. Z przynależności do Stowarzyszenia wypływają liczne obowiązki. Gdy użytkownicy wody nie mogą dojść do porozumienia na tyle, by stworzyć Stowarzyszenie, jednoczą się w Spółce Wodnej, która jest organizacją luźniejszą, bez osobowości prawnej. Zarówno stowarzyszenia, jak i spółki, mają wybieralne dyrekcje i zatrudniają, również wybieralnych, sędziów niższych stopni, którzy rozdzielają wodę użytkownikom bezpośrednio z kanału głównego lub z jego odgałęzień. W obrębie swej posiadłości właściciel gospodaruje przydzieloną wodą w sposób niezależny.

### E. Podstawy podziału wody

Za podstawę przydziału wody użytkownikowi uważa się, zgodnie z iberyjską tradycją, ilość ziemi nawadnianej, będącej w jego posiadaniu. Jednak obecna sytuacja własnościowa nie jest miarodajna. Podstawę stanowi — niezależnie od późniejszych zmian — podział ziemi i związki poszczególnych wycinków terenu z odpowiednimi kanałami według stanu z okresu pierwszych zestawień, datujących się w środkowym Chile na drugą połowę ubiegłego wieku. Dla R. Aconcagua obowiązuje tradycyjnie Spis Kanałów (Rol de Canales) z 1872 roku. Dla R. Putaendo istnieją dokumenty jeszcze starsze; obecny system opiera się w zasadzie na podziale wody z 1809 roku. Drobne zmiany wprowadzono w 1866 roku.

Przydziału wody z R. Aconcagua dokonuje się biorąc za podstawę powierzchnię ziemi nawadnianej z danego kanału w 1872 roku. Tak na przykład najwyższy sektor R. Aconcagua, od źródeł do mostu w San Felipe, obejmował ujęcia wody do



kanałów nawadniających 12 741 kwadr (kwadra wynosi 1,5725 ha). Sędzia powinien zatem kierować na przykład do kanału Ahumada, który prowadził wodę do 800 kwadr,  $\frac{800}{12741}$  czyli

około  $\frac{1}{16}$  całkowitego odpływu. Tak więc ilość ujęć wody do

kanałów nawadniających (a przez to i powierzchnia nawadnianych gruntów) uległa w pewnym sensie „zamrożeniu” według stanu datującego się z ubiegłego stulecia. Tego status quo strzegą pilnie ci właściciele nawadnianych gruntów, którzy nie mają potrzeby lub możliwości rozszerzenia terenu upraw.

W ciągu lat zachodziły jednak pewne zmiany w dawnym rozdziale. Przeprowadzano je tak, aby nie naruszyć praw, które zagwarantowały użytkownikom ziem dokumenty z 1872 roku przechowywane w urzędach San Felipe i Los Andes. Zgodnie z tradycją właścicielom gruntów nowo przystosowanych do nawodnienia przyznawano prawo do poboru wody tylko w przypadku, gdy istniała dostateczna jej ilość w korycie rzeki dla zabezpieczenia potrzeb użytkowników starych kanałów, doprowadzających wodę do gruntów nawadnianych systematycznie. Nowe kanały przeznaczone były przeto dla obszarów nawadnianych sporadycznie. Określenie warunków, kiedy nie dopuszcza się poboru wody przez te kanały, było ustalane odrębnie dla każdego ujęcia. I tak na przykład kanał Chacabuco może pobierać wodę z R. Aconcagua, gdy przepływ w Chacabucuito przekracza 23 m<sup>3</sup>/sek. Do kanałów Riecillos i Los Chacayes skierowuje się wodę, gdy jest przerwa w poborze wody przez inne kanały.

Naruszeniem dawnego systemu poboru było zainstalowanie w korycie R. Aconcagua ujęć wody pitnej dla szeregu miast: San Felipe i Los Andes w górnym biegu rzeki w okolicy ujścia E. Riecillos; Valparaiso, Viña del Mar, La Calera, Quilpué, Limache i kilku mniejszych osiedli. Ujęcia te— zgodnie z Kodeksem Wodnym — mają priorytet poboru w stosunku do wszystkich innych ujęć wody.

## F. System podziału wody między użytkowników

Na uwagę zasługuje sposób podziału wody między użytkowników wówczas, gdy zgłoszą oni poprzez swoje organizacje brak wody dla pełnego zaspokojenia potrzeb. Stosuje się wtedy praktykę kolejnego przydziału wody oraz kontroli ilości i czasu jej poboru. W związku z zawiłym przebiegiem kanałów, rozdrobnieniem gruntów i tradycyjnymi metodami pomiaru zastosowany sposób przydziału jest bardzo skomplikowany. Jako przykład niech posłuży system rozdziału wody R. Putaendo, powstały w wyniku sporów i kolejnych porozumień pomiędzy użytkownikami na przestrzeni ponad 200 lat.

W momencie, gdy użytkownicy któregośkolwiek z kanałów zasygnalizują brak wody, rozpoczyna się intensywne działanie wszystkich zainteresowanych nawadnianiem — sędziów rzeki, sędziów niższych stopni, rozdzielających wodę między kanały drugorzędne i użytkowników oraz strażników wodnych. A użytkownicy przygotowują się do wykorzystania wody, gdy zostanie im udostępniona.

Dolina R. Putaendo została podzielona na dwa sektory: górny i dolny. Kolejno cała woda płynąca rzeką zostaje przydzielona sektorowi górnemu na cztery dni i dolnemu na sześć dni. Połowa wody powinna być skierowana do kanałów po lewej stronie rzeki, a połowa do kanałów po prawej stronie. Jeśli występują ostre braki wody, wówczas oddzielnie każda strona dostaje swoją porcję. A więc każda strona górnego sektora otrzymuje całą wodę przez dwa dni, a następnie każda strona sektora dolnego całą wodę przez trzy dni. W każdej sekcji woda kierowana jest do kilkunastu kanałów, a podziału dokonuje sędzia rzeki, racjonując ilość i czas poboru. Przykładowo, w strefie dolnej kanał po stronie prawej, Silva Viejo, pobiera  $\frac{1}{8}$  całości przepływu w ciągu trzech dni, a kanał Gancho Chacay  $\frac{1}{32}$  w ciągu trzech dni. Po stronie lewej kanał Araya bierze całość wody, ale tylko przez jedną dobę, a kanał La

Higuera połowę całkowitego przepływu drugiego dnia kolejki od godziny 12 do 18.

Ten system jest konsekwentnie stosowany dalej przy rozdziale wody na odgałęzienia kanałów, służące grupom użytkowników i na jeszcze niższym stopniu poszczególnym właścicielom. W ten sposób niektórzy właściciele otrzymują wodę do nawodnień co 10 dni w ciągu kilku godzin, godziny, a w skrajnych przypadkach w ciągu kilku minut. W wyniku zmian własności gruntów przez podziały rodzinne i kupno często jeden właściciel ma wodę z kilku kanałów w różnych terminach. Ilość jej zależy od tego, ile wody otrzymywał dawny właściciel i jaką część jego posiadłości stanowi przekazana działka.

Przekonanie użytkowników, że otrzymują ilości wody proporcjonalne do nawadnianej powierzchni, opierać się musi na zaufaniu do tradycyjnych metod podziału, uzgodnień między dawnymi użytkownikami i nieomyślności wybranych sędziów wodnych. Jednakże niemal wszyscy uważają się za pokrzywdzonych. Stosowany system nie może, rzeczywiście, zabezpieczyć przed niesprawiedliwym podziałem wody. Wyjaśnia to przejrzyste przykłady doliny R. Putaendo. Cztery sektory doliny nawadniane w ciągu kolejnych okresów dwu lub trzydniowych nie mają jednakowych powierzchni. Według szacunków sektor górny ma 3000 ha gruntów nawadnianych, na których gospodarują trzy wielkie majątki i nieliczni drobni właściciele. W sektorze dolnym na 3100 ha jest 1376 działek, w większości bardzo drobnych. W sektorze tym po stronie prawej znajduje się 1856 ha gruntów, a po stronie lewej 1250 ha. Kanały i ich odgałęzienia prowadzące wodę do sektorów dolnych są, oczywiście, znacznie dłuższe, niż kanały w sekcji górnej. Przy równym podziale wody skierowanej do kanałów o różnej długości różne jej ilości docierają na pola wskutek strat na parowanie i infiltrację. Według raportu inż. Matusa w okresie niskich wód sekcja dolna otrzymuje około  $\frac{2}{3}$  wód skierowanych do niej, podczas gdy  $\frac{1}{3}$  jest tracona w łożysku rzeki jeszcze przed mostem Mal Paso, stanowiącym granicę sektorów. Straty powiększają się w obrębie sekcji dolnej,

gdzie małe ilości wody rozprowadzane są na odległości przekraczające nawet 10 km. Ponadto podkreślić należy, że podział wody dokonywany jest „na oko”, a czas poboru mierzony za pomocą zwykłego zegarka.

Z niedoskonałości systemu podziału wody zdają sobie sprawę zarówno pracownicy Dyrekcji Nawodnień, jak i światlejsi właściciele gospodarstw. Rada Nadzorcza Rzeki pierwszego sektora R. Aconcagua opracowała projekt instalacji przepustów betonowych połączonych z limnimetrami dla precyzyjnego pomiaru wody kierowanej do poszczególnych kanałów (nadal w ilościach zgodnych z systemem podziału wody z 1872 roku), brak jednak zgody wszystkich użytkowników oraz funduszy na zrealizowanie projektu (44).

#### G. Ilość wody zużywanej na nawadnianie

Jak podkreślono, brak dotychczas w Chile materiałów dotyczących ilości wody zużywanej na nawadnianie w zależności od strefy klimatyczno-hydrograficznej, rodzaju gleby i typu uprawy. Wszystkie prace projektowe oparte były na szacunkach, w których przyjmowano dawki z terenów o podobnym klimacie (Kalifornia), lub stosowano wzory empiryczne, najczęściej opracowane w Stanach Zjednoczonych A.P. Wyniki tych prac, mających różne założenia wstępne, nie są w pełni wiarygodne i porównywalne.

W projektach zużycia wody opracowanych dla niektórych dorzeczy Chile środkowego znajdujemy następujące dawki roczne wody w m<sup>3</sup> na 1 ha dla poszczególnych upraw:

owocowe	7140
chacra	7505
ogrodowe	8000
pastewne	9762
zbożowe	3170
średnio dla dorzecza R. Aconcagua	7637
dawka średnia + 25% na straty	9564



Dawka wody doprowadzanej na pole, określona została również przez prof. P. Carmonę (58), zajmującego się problemami nawodnień. W jego szacunkach potrzeby transpiracyjne roślin zostały zwiększone o 30%. Dla strefy Aconcagua—Linares dawki wody na 1 ha określił on następująco:

zbożowe	5000 m <sup>3</sup>
ogrodowe	10000 „
owocowe	9000 „
winnice	9000 „
pastewne	11000 „
ryż	17000 „

Dla tej samej strefy dawki wody stosowane i optymalne wynoszą wg E. Basso (7):

	dawka stosowana	dawka optymalna	dawka optymalna / dawka stosowana %
pastewne	9000	5700	63,3
ogrodowe	6200	5000	80,6
owocowe	9700	6000	61,9
zbożowe	2800	2300	82,1
winnice	9700	9700	100

Cytowany przez E. Basso J. Dominigues określa średnią dawkę nawodnień w strefie R. Aconcagua na 10 000 m<sup>3</sup>/ha, rok. N. Wollman (58) szacuje obecne zużycie wody na 12000 m<sup>3</sup>/ha. Dla określenia projektowanego zużycia dokonał on przeliczeń według norm stosowanych przez Ministerstwo Rolnictwa Stanów Zjednoczonych A.P. w sposób następujący:

- 1 — dawka irygacyjna : 1,3 = zużycie wody przez rośliny
- 2 — zużycie wody przez rośliny : 0,55 = woda dostarczana na pole
- 3 — woda dostarczana na pole : 0,55 = pobór wody

- 4 — pobór wody — zużycie wody przez rośliny = straty wody po drodze z rzeki na pole  
 5 — straty wody: 2 = zwrot wody do cieków  
 6 — pobór wody — zwrot wody do cieków — zużycie wody netto.

Według tej metody uzyskano dla strefy Atacama—Linares wartości średnie w tys. m<sup>3</sup>/ha dawek wody na tereny nawadniane:

	dawka irygacyjna	potrzeby roślin	woda dostarczona na pole	pobór	straty	zwrot	zużycie netto
grunty rolne z pastwiskami	9,1	7,0	12,7	23,1	16,1	8,1	15,1
bez pastwisk	8,5	6,5	11,8	21,5	15,0	7,5	14,0

Wollman określa także średnie dawki miesięczne w prowincji Aconcagua i Valparaiso. Procentowy rozkład w ciągu roku przedstawia się następująco:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
14,8	12,6	7,8	4,5	0,5	0,1	0,0	5,6	9,1	12,9	17,3	14,8

#### H. Możliwości zaspokojenia potrzeb irygacyjnych

Według „Los Recursos Hidraulicos de Chile” (30) obszary nawadniane w dorzeczu R. Aconcagua wynosiły w latach 50-tych 72.013 ha. Aby ocenić, czy obszar ten stanowi kres możliwości nawadniania, należy zestawić potrzeby irygacyjne rolnictwa z zasobami wodnymi. Przyjmiemy za wymienionym źródłem wysokości dawek wody potrzebnych do nawadniania głównych użytków rolnych (tab. VI-1-1).

Dawki wody potrzebne do nawodnień w m<sup>3</sup>/ha\*

Miesiąc	Rodzaje upraw				
	owocowe	chacras	ogrodowe	pastewne	zbożowe
Czerwiec	—	—	—	—	—
Lipiec	—	—	—	—	—
Sierpień	494	—	498	338	560
Wrzesień	644	591	677	881	730
Październik	747	685	784	1021	847
Listopad	905	834	951	1237	1026
Grudzień	979	897	1027	1337	—
Styczeń	1022	937	1074	1397	—
Luty	919	843	965	1256	—
Marzec	776	711	815	1060	—
Kwiecień	649	—	682	887	—
Maj	—	—	527	347	—

\* Według „Los Recursos Hidraulicos de Chile”

Jeśli przyjmimy też analogiczną strukturę upraw, to znaczy 10% powierzchni pod drzewa owocowe, 20% chacras, 20% uprawy ogrodowe, 40% rośliny pastewne i 10% zbóż, to potrzeby wodne rolnictwa na 1 ha w rozbięciu na użytki rolne i miesiące wyniosą (tab. VI-1-2):

Za wodę, która jest do dyspozycji, uznać można odpływ z wysokogórskiej części dorzecza. Nie uwzględnione zostaną natomiast wody opadowe z uwagi na wielką nieregularność deszczów, zwłaszcza w letniej połowie roku oraz odpływ rzek biorących początek w Kordylierze Nadbrzeżnej, gdyż służy on do nawodnień lokalnych. Jak oszacowano (rozdział V-8), średni odpływ z obszaru wysokogórskiego wynosi 46,7 m<sup>3</sup>/sek (wraz z wodą odprowadzaną kanałem Chacabuco), co daje rocznie około 1472,7 mln m<sup>3</sup> wody \*. Gdyby po całkowitym uregulowaniu odpływu wszystką wodę zużyć na nawadnianie, to przy dawce 9564 m<sup>3</sup>/ha można by nawodnić około 154 000 ha. Przy

\* W „Los Recursos...” przyjęto jako odpływ roku średniego 1368,9 mln m<sup>3</sup>.

Potrzeby irygacyjne w m<sup>3</sup>/ha\*

Miesiąc	owocowe 0,1 ha	chacaras 0,2 ha	ogrodowe 0,2 ha	pastewne 0,4 ha	zboża 0,1 ha	razem 1 ha	z dodatkiem 25% na straty
Czerwiec	—	—	—	—	—	—	—
Lipiec	—	—	—	—	—	—	—
Sierpień	49	—	100	135	56	340	425
Wrzesień	64	118	135	352	73	742	927
Październik	75	137	157	408	85	862	1079
Listopad	91	167	190	495	103	1046	1310
Grudzień	98	180	205	535	—	1018	1270
Styczeń	102	188	215	560	—	1065	1330
Luty	92	169	193	503	—	957	1200
Marzec	78	142	163	425	—	808	1010
Kwiecień	65	—	136	355	—	556	695
Maj	—	—	106	137	—	243	318

\* Wg „Los Recursos Recursos de Chile”.

założonych potrzebach roślin, strukturze rolnej i stratach wody powierzchnię tę należy uznać za górną granicę możliwości nawodnień w dorzeczu R. Aconcagua własnymi zasobami wodnymi.

Potrzeby i odpływ zmieniają się w czasie, toteż dla właściwej oceny możliwości nawodnień niezbędne jest zestawienie danych dla krótszych odcinków czasu. Znając rozkład odpływu w ciągu roku w trzech stacjach: Chacabuquito na R. Aconcagua, Los Patos na R. Putaendo i Sifon na E. Pocuro, kontrolujących ponad 90% odpływu, oszacowano średni odpływ miesięczny z całej wysokogórskiej części dorzecza. Wartości w m<sup>3</sup>/sek i w mln m<sup>3</sup>/miesiąc zamieszczono w tabeli VI-1-3. Zestawiając je z potrzebami wodnymi na 1 ha ziemi uprawnej obliczono, ile hektarów można nawodnić daną ilością wody.

Jak wynika z zestawienia, w roku średnim możliwe jest nawodnienie bez regulowania odpływu około 88000 ha gruntów. Dla oceny zasobów dyspozycyjnych w latach suchych



Zestawienie zasobów wodnych i potrzeb irygacyjnych

Mie- siąc	Średni przepływ w m <sup>3</sup> /sek	Średni odpływ w mln m <sup>3</sup>	Średnie potrzeby wodne w m <sup>3</sup> /ha	Obszar moż- liwy do na- wodnienia w tys. ha	Odptyw w roku hydrol. 1946/47 w mln m <sup>3</sup>	Obszar moż- liwy do na- wodnienia w tys. ha	Minimalny odpływ mie- sięczny o prawdopodo- bieństwie 10% w m <sup>3</sup> /sek	Obszar moż- liwy do na- wodnienia w tys. ha
VI	21,2	54,7	—	—	39,1	—	9,4	—
VII	21,4	57,3	—	—	41,2	—	11,0	—
VIII	26,0	69,6	425	163,8	34,8	81,9	11,0	69,3
IX	33,6	87,1	927	93,4	35,5	38,3	14,3	40,0
X	53,1	142,2	1079	—131,8	62,9	58,3	14,9	37,0
XI	89,0	230,7	1310	176,1	123,9	94,6	24,2	47,9
XII	109,1	292,2	1270	230,1	115,4	90,9	32,5	68,5
I	76,4	204,6	1330	153,8	114,6	86,2	28,6	57,6
II	51,4	124,3	1200	103,6	74,0	61,7	23,7	47,8
III	34,0	91,1	1010	90,2	68,0	67,3	15,6	62,8
IV	23,6	61,2	695	88,0	38,4	55,3	11,9	44,4
V	21,2	56,8	318	178,6	27,3	85,8	10,2	85,9
Rok	24,6	1471,8	9564	153,9	775,1	81,0		

wzięto pod uwagę rok hydrologiczny 1946/47, odznaczający się wyjątkowo małym odpływem. Obszar możliwy do nawodnienia przy nieregulowanym odpływie wynosi dla tego roku 38 300 ha.

Przebiegi rzek ulegają zmianie w obrębie miesiąca i spadać mogą znacznie poniżej wartości średniej miesięcznej. Dla oceny sytuacji w okresach posusznych wzięto pod uwagę ilości wody, jakie na podstawie rachunku prawdopodobieństwa odpływają podczas minimalnych przepływów miesięcznych o częstotliwości 10%. Przepływy takie, przypadające średnio raz na 10 lat, pozwalają na nawodnienie około 37 000 ha w czasie niszówek październikowych, 40 000 ha we wrześniu i 44 000 ha w kwietniu.

Z zestawienia liczb wynika, że w przeciętnym roku wody powinno wystarczyć na potrzeby irygacyjne gruntów obecnie użytkowanych pod uprawę. Braki mogą być tylko chwilowe. W latach suchych wody dyspozycyjnej może być za mało przez kilka miesięcy (IX, X, II, III, IV). W czasie katastrofalnego zmniejszenia się przepływów, jakie może zdarzyć się średnio raz na dziesięć lat, wody brakuje na pokrycie potrzeb w każdym miesiącu.

Zabezpieczenie potrzeb rolnictwa przy obecnym obszarze nawadnianym, a tym bardziej ewentualne powiększenie terenów uprawnych, zależy przede wszystkim od uregulowania odpływu. Celowe też wydaje się rozważenie zmiany struktury zasiewów. Obecną strukturę należy uznać za niekorzystną z uwagi na możliwości wodne dorzecza. Przeznaczenie 40% obszarów rolnych pod uprawę roślin pastewnych, mających największe wymagania wodne, bardzo podnosi średnią dawkę wód irygacyjnych na 1 ha. Z punktu widzenia gospodarki ogólnonarodowej pożądane byłoby zmniejszenie powierzchni tych upraw na korzyść zwłaszcza sadów i ogrodów. W związku z reformą rolną można też liczyć się ze zwiększeniem się powierzchni „chacras”. Przyjmując inną strukturę zasiewów (owocowe — 15%, chacras — 25%, ogrodowe — 25%, pa-

Tabela VI-1-4

Dawki wody irygacyjnej w m<sup>3</sup>/ha

Miesiąc	owo- cowe 0,15 ha	chac- ras 0,25 ha	ogrodowe 0,25 ha	pastwne 0,2 ha	zboża 0,15 ha	razem 1 ha	wraz ze stratami 25%
VI	—	—	—	—	—	—	—
VII	—	—	—	—	—	—	—
VIII	74	—	125	68	84	351	439
IX	97	148	169	176	110	700	875
X	112	171	196	204	128	811	1014
XI	136	209	238	247	155	985	1231
XII	147	224	257	267	—	895	1119
I	153	234	269	280	—	936	1170
II	139	211	241	251	—	842	1053
III	116	178	204	122	—	710	888
IV	97	—	171	177	—	445	556
V	—	—	132	69	—	201	251
Razem	1071	1375	2002	1951	477	6876	8596

stewne — 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, zbożowe 15<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) można znacznie zmniejszyć wielkość dawek wody na 1 ha (tab. VI-1-4).

Biorąc za podstawę dawki irygacyjne obliczono raz jeszcze powierzchnię obszaru możliwego do nawodnienia w roku średnim i suchym (tabela VI-1-5). Przy takiej strukturze upraw, maksymalne możliwości nawodnień w roku średnim wzrastają do 171000 ha, a nawodnień bez regulowania odpływu do 100000 ha. W roku suchym odpowiednie powierzchnie wynoszą 90000 ha i 41000 ha.

Opierając się na danych roku suchego 1946/47 można przyjąć, że po uregulowaniu odpływu w dorzeczu R. Aconcagua nawodnieniami da się objąć około 90 000 ha gruntów. Wydaje się jednak, że wartość tę można by powiększyć bez dużego ryzyka do 100 000 ha. Wprawdzie w takim przypadku w roku wyjątkowo suchym, jak rok 1946/47, wystąpiłyby bezwzględne deficyty wody, ale po pierwsze lata tak suche zdarzają się rzadko (w serii 27 lat rok 1946/47 był najsuchszy), a po wtóre można zapas wody zgromadzić z roku poprzedniego.

Obszary możliwe do nawodnienia przy niższych dawkach wody

Miesiąc	Średnie potrzeby irygacyjne w m <sup>3</sup> /ha	Obszar możliwy do nawodnienia w roku przeciętnym w tys. ha	Obszar możliwy do nawodnienia w roku suchym w tys. ha
VI	—	—	—
VII	—	—	—
VIII	439	158,5	79,3
IX	875	99,5	40,6
X	1014	140,2	62,0
XI	1231	187,4	100,6
XII	1119	261,1	103,1
I	1170	174,4	97,9
II	1053	118,0	70,3
III	888	102,6	76,6
IV	556	110,1	69,1
V	251	226,3	108,8
Rok	8596	171,2	90,2

Przy założeniu, że nawodnieniami obejmie się 100000 ha, uzyskuje się łatwo w roku przeciętnym zaspokojenie potrzeb po niewielkim uregulowaniu odpływu. Przedstawiono to na przykładzie roku hydrologicznego 1962/63, w którym odpływ był nieco niższy od średniego wieloletniego — 40,0 m<sup>3</sup>/sek z całego obszaru wysokogórskiego i 29,85 m<sup>3</sup>/sek w profilu Chacabuquito (tab. VI-1-6). W roku suchym (1947/47) w 7 miesiącach występują deficyty wody i ich suma znacznie przewyższa sumę nadwyżek miesięcznych. Uwzględniając zużycie wód odpływających jałowo w czerwcu i w lipcu (80,3 mln m<sup>3</sup>) nie dochodzi się jeszcze do zrównoważonego bilansu rocznego. Rok kończy się deficytem 84,5 mln m<sup>3</sup>. Ilość zretencjonowanej wody musiałaby być większa. Wielkość tę w tabeli podano w ostatniej rubryce, w której zsumowano deficyty i nadwyżki z okresu deficytowego (a więc te, które zmniejszają deficyt). Zbiorniki retencjonujące około 170 mln m<sup>3</sup> wody dyspozycyjnej, mogą zaspokoić potrzeby nawodnień w roku tak suchym, jak



Zestawienie zasobów wodnych i potrzeb irygacyjnych  
(przy zmniejszonych dawkach wody)

Miesiąc	Zapotrzebowanie wody na nawodnie- nie 100 tys. ha w mln m <sup>3</sup>	Rok 1962/62		Rok 1945/46		Rok 1946/47			Niezbędna retencja w mln m <sup>3</sup>
		odpływ w mln m <sup>3</sup>	deficyty w mln m <sup>3</sup>	odpływ w mln m <sup>3</sup>	deficyty w mln m <sup>3</sup>	odpływ w mln m <sup>3</sup>	deficyty i nadwyżki w mln m <sup>3</sup>	bilans odpływu i zużycia w mln m <sup>3</sup>	
VI	—	47,7	—	53,7	—	39,1	39,1	39,1	—
VII	—	61,6	—	50,4	—	41,2	41,2	80,3	—
VIII	43,9	60,8	—	61,1	—	34,8	—9,1	71,2	9,1
IX	87,5	60,1	27,4	76,5	11,0	35,5	—52,0	19,2	61,1
X	101,4	123,2	—	114,6	—	62,9	—38,5	—19,3	99,6
XI	123,1	276,3	—	121,6	—	123,9	0,8	—18,5	99,6
XII	111,9	245,1	—	148,9	—	115,4	3,5	—15,0	95,3
I	117,0	131,8	—	128,6	—	114,6	—2,4	—17,4	97,7
II	105,3	99,2	6,1	108,9	—	74,0	—31,3	—48,7	129,0
III	88,8	73,1	15,7	85,4	3,4	68,0	—20,8	—69,5	149,2
IV	55,6	45,9	9,7	48,0	7,6	38,4	—17,2	—86,7	167,0
V	25,1	35,6	—	40,7	—	27,3	2,2	—84,5	
Rok	859,6	1260,4		1038,4	775,1				167,0

1946/47. Ilość wody potrzebna do ich wypełnienia mogłaby być zgromadzona w roku poprzednim, który kończy się nadwyżką znacznie większą, bo 198,8 mln m<sup>3</sup>, co razem z odpływem w czerwcu i lipcu 1946 roku daje 279,1 mln m<sup>3</sup>.

W celu zabezpieczenia potrzeb irygacyjnych rolnictwa w dorzeczu R. Aconcagua należałoby zbudować kilka zbiorników retencyjnych w obszarze wysokogórskim o łącznej pojemności użytkowej 170 mln m<sup>3</sup>. Warunki terenowe są sprzyjające dla inwestycji tego rodzaju, a ich powstanie uniezależniłoby rolnictwo od zmiennych warunków wodnych i pozwoliło na rozszerzenie obszaru upraw. Dalsze zwiększenie powierzchni irygowanej byłoby możliwe wraz ze zmianą systemu nawodnień, który w obecnej formie powoduje bardzo duże straty wody w czasie jej transportu.

Określenie wielkości powierzchni możliwych do nawodnienia jest zgodne z szacunkiem podanym w „Los Recursos Hidraulicos de Chile”. Nie wydaje się natomiast słuszne sugerowane przez to opracowanie uzupełnianie nawodnień z zasobów podziemnych. Uregulowanie odpływu powierzchniowego może całkowicie zabezpieczyć potrzeby rolnictwa nawet na większej, niż podano, powierzchni. Wody podziemne należałoby zarezerwować dla potrzeb komunalnych i przemysłowych.

## 2. WODA DLA POTRZEB PRZEMYSŁU I HYDROENERGETYKI

W dorzeczu R. Aconcagua znajduje się kilka dużych zakładów przemysłowych. Nie mają one dotychczas kłopotów z zaspokojeniem potrzeb wodnych. Sprawia to dogodna lokalizacja zakładów w stosunku do źródeł zaopatrzenia w wodę. Największym obiektem przemysłowym dorzecza jest cementownia El Melon o zdolności produkcyjnej do 960 000 ton cementu rocznie. Wybudowana została w 1908 roku i jest jedną z największych na kontynencie Ameryki Południowej. Położona opodal miasta La Calera w dolinie E. El Melon korzysta z własnych ujęć wód powierzchniowych (zbiornik retencyjny na ma-

łym strumieniu) i podziemnych. Brak jest danych dotyczących ilości zużywanej wody.

Drugim dużym zakładem jest rafineria ropy naftowej w Concon, w ujściowym odcinku R. Aconcagua. Wodę czerpie się tam z ujęć podziemnych w korycie rzeki w ilości około 25 mln m<sup>3</sup> rocznie, używając ją głównie do chłodzenia. Planowana rozbudowa rafinerii ma pociągać zużycie wody do około 100 mln m<sup>3</sup>. Jednocześnie zamierza się zastosować zamknięty obieg wody, co spowoduje znaczną oszczędność w jej zużyciu.

We wszystkich niemal miastach położonych w dorzeczu R. Aconcagua istnieją małe zakłady przemysłu spożywczego, głównie fabryki konserw owocowych i warzywnych. Poza okolicami Santiago jest to główny w Chile okręg grupujący te zakłady. Większość z nich korzysta z komunalnych ujęć wody, niektóre mają własne ujęcia wód podziemnych. Zużycie wody nie jest znane, nie osiąga jednak znacznych rozmiarów, bowiem przedsiębiorstwa są niewielkie.

W dolinie R. Blanco, wysoko w górach trwa rozbudowa wielkiej kopalni miedzi. Planuje się tam lokalizację zakładu rafineryjnego o zdolności produkcyjnej do 60000 ton — 30% koncentratu rocznie. Obecnie kopalnia w rozbudowie zużywa minimalne ilości wody. W dolinie E. El Cobre istnieje niewielka kopalnia o tej nazwie, korzystająca z własnego zbiornika retencyjnego. Niewielkie kopalnie kruszców miedzionośnych rozrzucone na terenie dorzecza nie są użytkownikami wody dla celów produkcyjnych. Autorzy opracowania „Los Recursos Hydraulicos de Chile” (30) ocenili zużycie wody dla celów przemysłowych w dorzeczu R. Aconcagua w 1956 roku na 25 mln m<sup>3</sup> rocznie, przewidując jego wzrost w 1980 roku do 54 mln m<sup>3</sup>. Nie przewidują oni trudności w dostarczeniu tych ilości wody dla przemysłu.

W dorzeczu istnieją dwie niewielkie hydroelektrownie, umiejscowione w górnym biegu rzeki głównej pomiędzy Los Andes i Rio Blanco. Dostarczają one energii elektrycznej cementowni El Melon. Hydroelektrownie wpływają w znikomy

sposób na stosunki wodne. Nie mają większych zapór, ani zbiorników retencyjnych, tylko kilkumetrowe jazy. Woda zużyta do produkcji energii wraca do rzeki powyżej wszystkich innych ujęć.

### 3. ZAOPATRZENIE LUDNOŚCI W WODĘ

W dorzeczu R. Aconcagua tylko większe miasta mają komunalne systemy zaopatrzenia w wodę, o bardzo ograniczonym zresztą zasięgu. Woda dla celów komunalnych pobierana jest tak z ujęć podziemnych, jak i powierzchniowych. Największe ujęcie wody dla celów komunalnych znajduje się w miejscowości Las Vegas w dolnym biegu rzeki. Zbudowano je dla zaspokojenia potrzeb miasta Valparaiso i jego satelitów: Viña del Mar, Cerro Alegre, Peña Blanca, Villa Alemana i innych. Część wody kierowana jest też do systemów wodociągowych innych miast leżących w pobliżu ujęcia (Quillota, La Calera) lub na trasie rurociągu (Quilpué, Limache). Ujęcie w Las Vegas czerpie wodę z aluwii doliny R. Aconcagua za pomocą galerii infiltracyjnej znajdującej się pod łożyskiem rzeki. Mniejsze ujęcia wód aluwialnych służą miastom Llay-Llay i Catemu.

Los Andes i San Felipe korzystają z wód powierzchniowych ujętych w górskim biegu R. Aconcagua, koło ujścia E. Riecillos. Wodę doprowadza się do obu miast rurociągiem. Miejscowość Putaendo zaopatrywana jest za pomocą otwartego kanału prowadzącego wodę z R. Putaendo.

Część ludności miast i ludność wiejska korzysta wyłącznie z wód prowadzonych kanałami systemu irygacyjnego, którymi płynie woda pochodząca z rzek górskich przez cały rok, także poza sezonem nawodnień. Nawet w okresach niedostatku wody na potrzeby irygacyjne, gdy zgodnie z systemem rozdziału woda kierowana jest kolejno do różnych kanałów, te doprowadzalniki, które dostarczają wodę dla potrzeb komunalnych, stale otrzymują pewną jej ilość. Te minimalne dawki zostały prawnie zastrzeżone dla uniknięcia zdarzających się dawniej



sytuacji, gdy w czasie suszy całe osiedla pozbawione były całkowicie wody pitnej.

Obecny system zaopatrzenia w wodę ludności wiejskiej nie może być w żadnym razie uznany za zadowalający. Wprawdzie zabezpieczono wieś przed całkowitym brakiem wody, jednakże w okresie suszy ludność nie otrzymuje jej w wystarczających ilościach. Poza tym korzystanie z wód irygacyjnych jest niewskazane ze względów sanitarnych, istnieje bowiem stałe niebezpieczeństwo ich skażenia bakteriologicznego lub chemicznego. W dolnym biegu R. Aconcagua, gdzie do kanałów kierowane są wody obciążone ściekami wielu osiedli, zagrożenie ludności już obecnie jest duże. Wzrośnie ono jeszcze bardziej — i to nie tylko dla ludności wiejskiej — po uruchomieniu zakładów przeróbki miedzi w dolinie R. Blanco, nawet jeśli zostaną pobudowane urządzenia do pełnego oczyszczania ścieków.

Właściwym kierunkiem rozwoju gospodarki wodnej w zakresie zaopatrzenia ludności miast i wsi w wodę komunalną wydaje się dążenie do zaspokojenia tych potrzeb z zasobów wód podziemnych. Mimo braku dostatecznych danych hydrogeologicznych sądzić można, że zasoby są wystarczające dla pełnego pokrycia zapotrzebowania w tym zakresie nawet w dość odległej przyszłości.

#### 4. ZANIECZYSZCZENIE WÓD

Jedynym dotychczas sektorem dorzecza, w którym stwierdzono znaczniejsze zanieczyszczenie wód powierzchniowych jest odcinek ujściowy R. Aconcagua. Zrzucające się tu nieoczyszczone ścieki z rafinerii ropy naftowej w Concon. Zanieczyszczenie to nie było notowane jako szkodliwe przez żadnych użytkowników wody w obrębie dorzecza, ponieważ poniżej ujścia kanału ściekowego nie ma ujęć wody. Jedynie rybacy łowiący w oceanie bezpośrednio przy ujściu rzeki stwierdzili zanik życia biologicznego. To wyniszczenie fauny morskiej było przedmiotem badań specjalnej komisji.

Poza odcinkiem ujściowym rzeki zanieczyszczenia wód nie były nigdzie stwierdzone, chociaż żaden z zakładów przemysłowych w dorzeczu, ani żadne miasto nie ma zakładu oczyszczania ścieków. Niewielka w stosunku do objętości przepływu R. Aconcagua ilość ścieków, nawet w okresie niskich wód, nie stworzyła sytuacji, w której użytkownicy wody z rzeki odczuli w wyraźny sposób skutki zanieczyszczenia.

Główną groźbą w przyszłości dla czystości wód R. Aconcagua jest — oprócz wzrostu miast — planowana rozbudowa kopalni i zakładów wzbogacających rudy miedzi w dolinie R. Blanco. Zakłady te, zlokalizowane powyżej wszystkich ważniejszych ujęć wody, mogą spowodować sytuację podobną do tej, jaka powstała w dolinie R. Cachapoal w wyniku zatrucia tej rzeki przez kopalnię i zakłady Sewell. Rozwiązanie problemu ścieków z zakładów miedziowych w dolinie R. Blanco jest jednym z ważnych zadań gospodarki wodnej w dorzeczu R. Aconcagua z uwagi przede wszystkim na użytkowanie wód rzecznych dla celów konsumpcyjnych.

## VII. ZAKOŃCZENIE

Analiza stosunków wodnych dorzecza w powiązaniu z całym środowiskiem geograficznym pozwala na wysunięcie ogólnych wniosków dotyczących gospodarowania wodą.

Wielkość odpływu kwalifikuje dorzecze R. Aconcagua jako obszar ubogi w wodę. Wprawdzie wskaźnik odpływu wynosi dla dorzecza, jako całości, ponad 200 mm, a więc więcej niż dla Polski, ale musi on pokryć potrzeby transpiracyjne roślin uprawnych. Rozkład opadów w ciągu roku w dorzeczu R. Aconcagua sprawia, że nie odgrywają one roli jako źródło wód dla rolnictwa. W krajach natomiast o letniej porze opadowej potrzeby rolnicze zaspokajane są przede wszystkim wodami deszczowymi, podczas gdy inne wody stanowią tylko uzupełnienie opadów. W dorzeczu R. Aconcagua wszystkie potrzeby — łącznie z rolniczymi — muszą znaleźć pokrycie w odpływie.

Określenie zasobów dyspozycyjnych dorzecza napotyka na trudności z powodu braku danych o odpływie z obszarów środkowej i dolnej części dorzecza. Gdyby średni odpływ z części wysokogórskiej oszacowany na 46,7 m<sup>3</sup>/sek, potraktować jako zasoby dyspozycyjne, to po ich zużyciu środkowy i dolny bieg rzeki byłby niemal pozbawiony wody, gdyż odpływ z obszarów Kordyliery Nadbrzeżnej służy dla zaspokojenia miejscowych potrzeb i znikomo zasila rzekę główną. Przyjęcie wymienionej wartości odpływu jako podstawy dla określenia zasobów dyspozycyjnych nie stwarza jednak groźby zachwiania równowagi hydrologicznej dorzecza, dlatego przyjęto ją do rozwiązań. Dla pełnego i racjonalnego wykorzystania zasobów wodnych potrzebne byłoby dokładniejsze ich rozeznanie. Wymagałoby to uzupełnienia pomiarowej sieci hydrologicznej. Użyteczne byłyby zwłaszcza stacje hydrometryczne na dopływach dolnej R.Aconcagua oraz stacje opadowe w terenach górskich.

Głównym konsumentem wody w dorzeczu R. Aconcagua jest rolnictwo i sytuację taką obecnie i w dającej się przewidzieć przyszłości należy uznać za właściwą. Zasoby wodne stwarzają możliwość powiększenia powierzchni uprawnej w stosunku do stanu dzisiejszego. Obszar 100 000 ha — nie licząc małych obszarów rolnych w górnych partiach dolin — można by nawadniać bez większych trudności wodnych. Warunkiem zapewnienia wody na potrzeby irygacyjne jest uregulowanie odpływu przez budowę zbiorników retencyjnych w obszarze górskim o pojemności użytkowej około 170 mln m<sup>3</sup>. Dla podniesienia rolnictwa konieczne są zmiany w skomplikowanym i nieekonomicznym, z przyrodniczego punktu widzenia, systemie kanałów irygacyjnych. Unowocześnienia wymaga też prawo wodne, a praktyka rozdziału wód radykalnej zmiany.

Zaopatrzenie ludności — zwłaszcza wiejskiej — w wodę komunalną jest niezadowolające pod względem ilościowym i jakościowym. Zaspokojenie tych potrzeb mogłaby zostać zrealizowane z zasobów wód podziemnych, które są zdolne pokryć w całości zapotrzebowanie na wodę komunalną i dostarczyć cennych jakościowo wód przemysłowi. Nie wydaje się nato-

miast uzasadnione postulowanie użytkowania tych wód dla celów irygacyjnych. Stan poznania wód podziemnych jest słaby i dla racjonalnego ich wykorzystania potrzebne są gruntowne badania stosunków hydrogeologicznych.

Dorzecze R. Aconcagua nie ma dobrych warunków dla rozwoju przemysłu wodochłonnego. Istnieją natomiast możliwości znacznego wzrostu tych gałęzi przemysłu, które wymagają wody w niewielkich ilościach, ale wysokiej jakości.

Zagadnienie zanieczyszczenia wód nie ma dotychczas w dorzeczu większego znaczenia, wymaga jednak pilnej uwagi na przyszłość z powodu bardzo małych przepływów niżówkowych wszystkich rzek. Niebezpieczeństwo zanieczyszczeń związane jest zwłaszcza z rozwojem przemysłu miedziowego w dolinie R. Blanco.

Dorzecze R. Aconcagua — mimo dobrych warunków klimatycznych i pięknych krajobrazów — nie jest terenem o rozwiniętej turystyce. W przyszłości ruch turystyczny może tu znacznie wzrosnąć. W planowaniu inwestycji wodnych zagadnienie wykorzystania rekreacyjnych walorów wód powierzchniowych powinno być wzięte pod uwagę.



## LITERATURA

1. Aguirre Le Bert L. Geologia de Los Andos de Chile Central. Instituto de Investigaciones Geologicas Bol. Nr. 9, Santiago de Chile 1960.
2. Almeyda Arroyo E., Saez Solar F. Recopilacion de datos climaticos de Chile y mapas sinopticas respectivos. Santiago de Chile 1958.
3. Anuario Hidrologico de Chile 1961—1962. Comite Coordinador de Hidrometeorologia, Proyecto Hidrometeorologico — Naciones Unidas — Gobierno de Chile.
4. Anuario Meteorologico de Chile. Santiago de Chile.
5. Arctowski H. O wahaniach temperatury obserwowanych w Arequipie i w kilku innych stacjach w ciągu lat 1910—1919. „Kosmos” XLIX, Lwów 1924.
6. Baraona R., Aranda X., Santana R. Valle de Putaendo (Estudio de estructura agraria). Santiago de Chile 1961.
7. Basso E. Inventario de Recursos Hidrologicos Superficiales de Chile. Santiago de Chile 1963.
8. Borde J. Les Andes de Santiago et leur avant-pays. Bordeaux 1966.
9. Boulton G. S. Flowtills and related deposits. Journal of Glaciology Vol. 7, No 51, 1, Cambridge 1968.
10. Börgel R. Mapa geomorfologico de Chile. Descripcion Geomorfologica del territorio Santiago de Chile 1965.
11. Börgel R. Cuaternario en la cuenca de Santiago. Evidencias geomorfologicas para un intento de datacion relativa. Informaciones Geograficas. Santiago de Chile 1969.
12. Brüggén J. Fundamentos de la geologia de Chile. Santiago 1950.
13. Carter W. D., Aguirre L. Structural Geology of Aconcagua Province and its relationships to the Central Valley Graben, Chile. Geological Society of America Bull. 76, Washington 1965.
14. Caviedes Lopez C. Las Terrazas del Aconcagua Inferior. Revista Geografica de Valparaiso. Vol. 1, No 1, 1967.
15. Dębski K. Prawdopodobieństwo zjawisk hydrologicznych i meteorologicznych. PIHM, Instrukcje i podręczniki nr 30, Warszawa 1954.
16. Geografia Economica de Chile. Santiago de Chile 1965.

17. Gołubiew G. N. Pitanie riek Czili. Wiestnik Moskowskiego Uniwersytetu nr 2, Moskwa 1969.
18. Golubev G. Avalanchas y corrientes de barro en Chile. Informaciones Geograficas, Numero unico 1967. Santiago de Chile 1969.
19. Gołubiew G. N. Glacijalnyje sieli. Wiestnik Moskowskiego Uniwersytetu nr 4, Moskwa 1964.
20. Guilcher A. Précis d'hydrologie marine et continentale. Paris 1965.
21. Instrukcja opracowania Mapy Hydrograficznej Polski 1:50 000. Dokumentacja Geograficzna nr 2, Warszawa 1964.
22. Jaroš J., Zelman J. La relacion structural entre los formaciones Abanico y Farellones en la Cordillera del Meson, Provincia del Aconcagua, Chile. Repto-de Geolog. Publ. No 34, Santiago 1969.
23. Kaczmarek Z. Częstotliwość przepływów niżówkowych. Przegląd Geofizyczny II (X), 4, Warszawa 1957.
24. Klafner W. Glazialmorphologische Probleme in den Hochgebirgen Vorderasiens. Erdkunde Bd XXIII, H. 3, Bonn 1969.
25. Klohn Giehm C. Geologia de los Andes de Chile Central, Provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geologicas Bol. 8, Santiago de Chile 1960.
26. La Sobrevivencia de Chile. Ministerio de Agricultura. Santiago de Chile 1958.
27. Levi B. Burial metamorphic episodes in the Andean geosyncline, Central Chile. Geologische Rundschau Bd 59, H. 3, Stuttgart 1970.
28. Lliboutry L. Traité de Glaciologie. Paris 1965.
29. Lliboutry L. Nieves y glaciares de Chile. Fundamentos de Glaciologia. Santiago de Chile 1965.
30. Los Recursos hidraulicos de America Latina, Chile. Naciones Unidas, Mexico 1960.
31. Mc Gregor V. R. Holocene moraines and rock glaciares in the Central Ben Ohau Range, South Canterbury, New Zealand. Journal of Glaciology Vol. 6, No 47, Cambridge 1967.
32. Morales M. El uso del agua y problemas regionales en la cuenca del rio Rapel. Informaciones Geograficas, Numero unico 1966. Santiago de Chile 1969.
33. Motyka J. Geobotanika. Warszawa 1953.
34. Olszewski A. Niektóre problemy zlodowaceń współczesnych i plejstocenijskich Ameryki Południowej. Czasopismo Geograficzne XXXVIII, z. 3, Wrocław 1967.
35. Outcalt S. I., Benedict J. B. Photo-interpretation of two types of rock glacier in the Colorado Front Range USA. Journal of Glaciology Vol. 5, Nr 42, Cambridge 1965.

36. Østrem G. Ice-cored moraines in Scandinavia. *Geografiska Annaler* Vol. 46, No 3, Stockholm 1964.
37. Østrem G. Problems of dating Ice-cored Moraines. *Geografiska Annaler* Vol. 47A, No 1, Stockholm 1965.
38. Pardé M. *Potamologie*. Grenoble 1949.
39. Pardé M. *Fleuves et rivières*. Paris 1955.
40. Pardé M. Les facteurs des régimes fluviaux. *Norois* No 27, Poitiers 1960.
41. Pardé M. Etudes à faire sur la Loire et ses affluents. *Conseils de Méthodologie*. *Norois* No 32, Poitiers 1961.
42. *Pluviometria de Chile*. Fasc. II. Santiago de Chile 1965.
43. Reid J. R. Effects of a debris slide on „Sioux Glacier” South Central Alaska. *Journal of Glaciology* Vol. 8, No 54, Cambridge 1969.
44. Rivacoba Bertelsen C. Memoria de las obrac de media y reparticion de las aguas. Los Andes 1925.
45. Roche M. *Hydrologie de surface*. Paris 1963.
46. Santana Aguilar R. Rasgos de la Glaciacion cuaternaria en „El Manzanar”, Valle del Cachapoal. Andes de Rancagua. *Revista Geografica de Valparaiso*, Vol. 1, No 1, Valparaiso 1967.
47. Schimper A. F. W. *Pflanzengeographie*. Jena 1936.
48. Stenz E. Przebieg roczny i dobowy temperatury w Oruro — Boliwia. *Instytut Geofizyki i Meteorologii Uniwersytetu Jana Kazimierza Komun.* nr 46, Lwów 1929.
49. Szafer W. *Ogólna geografia roślin*. Warszawa 1964.
50. Teisseyre H. O wahaniach amplitudy przebiegu dziennego temperatury w Skandynawii. *Kosmos* T. L, Lwów 1925.
51. Thomas H. Geologia de la Cordillera de la Costa entre el Valle de la Ligua y la Cuesta de Barriga. *Instituto de Investig. Geolog.* Bol. 2, Santiago de Chile 1958.
52. Tricart J., Hirsch A. R., Griesbach J. C. Géomorphologie et eaux souterraines dans le bassin de Santiago du Chili. *Bull. de la Faculté des Lettres de Strasbourg* V. 43, No 7, 1965.
53. Wilgat T. Okresowość opadów na kuli ziemskiej. *Annales UMCS, Sectio B, V. III, 9*, Lublin 1948.
54. Wilgat T. Wyprawa jachtem „Śmiały” do Ameryki Południowej *Polskie Towarzystwo Geograficzne w pięćdziesiąt rocznicę działalności*. Warszawa 1968.
55. Wilgat T., Wojciechowski K. Rzeki chilijskie. *Czasopismo Geograficzne* T. XLI, z. 2, Wrocław 1970.
56. Wilgat T., Kęsik A., Wojciechowski K. Charakterystyka hydrograficzna fragmentów dorzecza Río Aconcagua (Chile). *Przeгляд Geograficzny* T. XLI, z. 1, Warszawa 1969.





## SPIS TABEL

- II-1. Podział dorzecza Rio Aconcagua.
- III-1. Hipsometria dorzecza R. Aconcagua i niektórych dopływów.
- III-2. Litologia i jednostki stratygraficzne osadów geosynkliny andyjskiej w środkowym Chile. Według B. Levi (27).
- III-3-1. Chronologia czwartorzędu w kotlinie Santiago według R. Börgela.
- III-3-2. Skład granulometryczny utworów terasowych i zboczowych z okolicy Los Patos.
- IV-1-1. Średnie temperatury miesięczne, roczne i średnie maksymalna stycznia w wybranych stacjach.
- IV-1-2. Porównanie charakterystycznych temperatur trzech stacji.
- IV-1-3. Wskaźniki kontynentalizmu.
- IV-1-4. Zmienność średnich miesięcznych temperatur.
- IV-1-5. Częstotliwość występowania dni upalnych i przymrozków w ‰/‰.
- IV-1-6. Skrajne temperatury wybranych miesięcy.
- IV-3-1. Średni opad roczny.
- IV-3-2. Zmienność średnich wartości wieloletnich opadu rocznego w Valparaiso.
- IV-3-3. Średni opad roczny w okresie 1931—1960.
- IV-3-4. Rozkład opadów w roku.
- IV-3-5. Częstość występowania dni z opadem.
- IV-3-6. Największe i najmniejsze opady roczne.
- IV-3-7. Częstość występowania miesięcy bezdeszczowych (w ‰).
- IV-3-8. Największe i najmniejsze opady miesięczne w mm.
- IV-3-9. Maksymalny opad dobowy w mm.
  - V-1. Długość okresów z danymi hydrometrycznymi.
  - V-2-1. Średni przepływ roczny.
  - V-2-2. Średni przepływ wieloletni w m<sup>3</sup>/sek.
  - V-3. Zmienność średniego przepływu rocznego.
  - V-4-1. Średnie miesięczne przepływy i współczynniki przepływu.
  - V-4-2. Średnie miesięczne przepływy R. Aconcagua w dwóch profilach.
  - V-5. Przepływy największe i najmniejsze.
  - V-6-1. Prawdopodobieństwo pojawiania się maksymalnych przepływów rocznych.
  - V-6-2. Prawdopodobieństwo pojawiania się minimalnych przepływów rocznych R. Aconcagua w Chacabucuito.

- V-6-3. Prawdopodobieństwo pojawiania się minimalnych przepływów rocznych R. Putaendo w Los Patos.
- V-6-4. Prawdopodobieństwo pojawiania się minimalnych przepływów miesięcznych R. Aconcagua w Chacabucuito.
- V-6-5. Prawdopodobieństwo pojawiania się minimalnych przepływów miesięcznych R. Putaendo w Los Patos.
- V-7-1. Opad roczny w Los Andes i średnie przepływy R. Aconcagua w Chacabucuito w roku hydrologicznym.
- V-7-2. Opad pięciomiesięczny (V—IX) w Los Andes i średni przepływ R. Aconcagua w Chacabucuito w roku hydrologicznym.
- V-7-3. Opad roczny w Los Andes i średni przepływ R. Aconcagua w Chacabucuito z sześciu miesięcy najobfitszych w wodę.
- V-7-4. Suma opadu z pięciu miesięcy (V—IX) w Los Andes i średni przepływ R. Aconcagua w Chacabucuito z trzech miesięcy (IX—XI).
- V-8-1. Odpiły jednostkowe a średnia wysokość i szerokość geograficzna zlewni.
- V-8-2. Odpiły jednostkowe wyliczone na podstawie średniej wysokości i szerokości geograficznej zlewni.
- VI-1-1. Dawki wody potrzebne do nawodnień w m<sup>3</sup>/ha.
- VI-1-2. Potrzeby irygacyjne w m<sup>3</sup>/ha.
- VI-1-3. Zestawienie zasobów wodnych i potrzeb irygacyjnych.
- VI-1-4. Dawki wody irygacyjnej w m<sup>3</sup>/ha.
- VI-1-5. Obszary możliwe do nawodnienia przy niższych dawkach wody.
- VI-1-6. Zestawienie zasobów wodnych i potrzeb irygacyjnych (przy zmniejszonych dawkach wody).

## SPIS FOTOGRAFII

- III-1. Najwyższe partie Andów Centralnych. Na drugim planie Aconcagua.  
*fol. T. Wilgat*
- III-3-1. Dolina Rio Colorado. Wielkie stożki usypiskowe stanowią najwybitniejszy obok nagich grzbietów skalnych element krajozbrazu.  
*fol. B. Siadek*
- III-3-2. Strefa działu wodnego Rio Colorado. Bardzo słabo odporne skały pochodzenia wulkanicznego sprzyjają nagromadzeniu utworów luźnych także w strefie spłaszczeń na węzłach działów wodnych.  
*fol. B. Siadek*
- III-3-3. Zrównania szczytowe w dorzeczu Estero Pocuro.  
*fol. K. Wojciechowski*
- III-3-4. Listwy martwego lodu pokrytego cienką warstwą utworów luźnych u stóp zboczy doliny Rio Juncal.  
*fol. T. Wilgat*
- III-3-5. Zbocza doliny Estero Riecillos. W tej strefie działalność wód zaznacza się wyraźnie w krajobrazie górskim.  
*fol. K. Wojciechowski*
- III-3-6. Dolina Juncalillo. Strefa najwyższych gór. Brak rozcięć erozyjnych na powierzchni stożków.  
*fol. K. Wojciechowski*
- III-3-7. Kotlina Los Andes.  
*fol. K. Wojciechowski*
- III-3-8. Górne partie doliny Estero Novarro z rozwiniętymi zjawiskami lodowcowymi. W centrum zdjęcia „lodowiec przykryty”.  
*fol. T. Wilgat*
- III-3-9. „Lodowiec gruzowy” w dolinie Rio Blanco.  
*fol. K. Wojciechowski*
- III-3-10. Czołowa powierzchnia „lodowca pogrzebanego” w Cajon San José.  
*fol. T. Wilgat*

- III-3-11. „Gleby smugowe” na powierzchni martwego lodu w Cajon San José.  
fot. K. Wojciechowski
- III-3-12. „Lodowiec gruzowy amorficzny” w dolinie Rio Blanco.  
fot. T. Wilgat
- III-4-1. Dorzecze Estero Pocuro. Wyższe partie stoków porośnięte rzadkim matorralem.  
fot. K. Wojciechowski
- III-4-2. Matorral w dolinie Estero Pocuro. Na uprzywilejowanych siedliskach bliżej łożyska potoku, widoczne formy drzewiaste.  
fot. K. Wojciechowski
- III-4-3. Bogaty matorral w niższych partiach doliny Estero San Francisco.  
fot. T. Wilgat
- III-4-4. Kaktusy „quisco” na zboczach doliny Estero El Cobre.  
fot. K. Wojciechowski
- III-4-5. Dolina Estero Blanco, dopływu Rio Colorado. Roślinność poduchowata „llaretas” i trawiasta towarzyszy wypływowi wód podziemnych w strefie pozbawionej niemal pokrycia roślinnego.  
fot. B. Siadek
- III-5-1. Wypływ wód podziemnych na powierzchnię u zbiegu dolin Estero Monos del Agua i Rio Juncal. Roślinność nadaje wypływowi charakter młaki.  
fot. T. Wilgat
- V-5-1. Kamieniec Rio Aconcagua przy wylocie doliny z Andów.  
fot. K. Wojciechowski
- V-5-2. Kamieniec w dolinie Rio Putaendo w okresie małej wody.  
fot. T. Wilgat
- VI-1-1. Prymitywny jaz w korycie rzeki (R. Aconcagua).  
fot. T. Wilgat
- VI-1-2. Kanały-doprowadzalniki na zboczach doliny Estero El Cobre.  
fot. T. Wilgat
- VI-1-3. Pola uprawne na dnie kotliny Los Andes. Otaczające wzgórza niemal pozbawione roślinności.  
fot. K. Wojciechowski



## SPIS RYCIN

- II-1. Dorzecze Rio Aconcagua.
- II-2. Rozwój dorzecza Rio Aconcagua.
- III-1-1. Hipsometria dorzecza Rio Aconcagua.
- III-1-2. Krzywa hipsograficzna dorzecza R. Aconcagua.
- III-1-3. Prostokąt równoważny dorzecza R. Aconcagua.
- III-1-4. Krzywe hipsograficzne wybranych dorzeczy.
- III-2-1-. Szkic geologiczny dorzecza R. Aconcagua (wg Mapy Instituto de Investigaciones Geologicas 1:1000000).
- III-2-2. Schematyczny profil geologiczny przez Chile Środkowe. (wg B. Levi).
- IV-1-1. Izotermy roczne na poziomie morza (wg E. Arroyo).
- IV-1-2. Miernik amplitudy  $t_{14}-t_8$ .
- IV-1-3. Miernik amplitudy  $t_{19}-t_8$ .
- IV-1-4. Przekrój termiczny wzdłuż doliny R. Aconcagua. (lato - I).
- IV-1-5. Przekrój termiczny wzdłuż doliny R. Aconcagua. (zima - VII).
- IV-3-1. Rozmieszczenie stacji opadowych i izohiety roczne.
- IV-3-2. Opad roczny — średnie konsekwtywne 30-letnie.
- IV-3-3. Rozkład opadów w roku.
- IV-3-4. Zmienność sum rocznych opadu.
- IV-3-5. Największe zanotowane sumy miesięczne opadu.
- V-1-1. Korelacja między średnim przepływem rocznym R. Aconcagua w Rio Blanco (y) i w Chacabucuito (x).
- V-1-2. Korelacja między średnim przepływem rocznym R. Aconcagua w Chacabucuito (x) i R. Colorado (y).
- V-1-3. Korelacja między średnim przepływem w grudniu R. Aconcagua w Rio Blanco (x) i R. Blanco (y).
- V-2-1. Zależność wartości średniego odpływu rocznego (w % średniej wieloletniej) od długości serii obserwacyjnej.
- V-2-2. Średni odpływ jednostkowy w l/sek,km<sup>2</sup>.
- V-3-1. Średnie przepływy roczne w okresie 1943—1963.
- V-3-2. Zmienność odpływu rocznego E. Juncalillo i R. Juncal.
- V-4-1. Miesięczne współczynniki przepływu i ich zmienność.
- V-4-2. Miesięczne współczynniki przepływu i ich zmienność.
- V-4-3. Miesięczne współczynniki przepływu i ich zmienność.
- V-4-4. Miesięczne współczynniki przepływu i ich zmienność.

- V-5-1. Charakterystyczne przepływy miesięczne R. Aconcagua w Chacabuquito i ich zmienność.
- V-5-2. Charakterystyczne przepływy miesięczne R. Colorado i ich zmienność.
- V-5-3. Charakterystyczne przepływy miesięczne R. Putaendo i ich zmienność.
- V-5-4. Charakterystyczne przepływy miesięczne R. Aconcagua w Rio Blanco (A), i R. Blanco w Rio Blanco (B) i w Saladillo (C).
- V-6-1. Krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się maksymalnych przepływów rocznych R. Aconcagua w Chacabuquito.
- V-6-2. Krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się maksymalnych przepływów rocznych R. Putaendo w Los Patos.
- V-6-3. Doświadczalna krzywa prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów rocznych R. Putaendo w Los Patos.
- V-6-4. Doświadczalna krzywa prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów rocznych R. Aconcagua w Chacabuquito.
- V-6-5. Doświadczalne krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów miesięcznych R. Aconcagua w Chacabuquito.
- V-6-6. Minimalne przepływy miesięczne R. Aconcagua w Chacabuquito o różnym prawdopodobieństwie pojawiania się.
- V-6-7. Doświadczalne krzywe prawdopodobieństwa pojawiania się minimalnych przepływów miesięcznych R. Putaendo w Los Patos.
- V-6-8. Minimalne przepływy miesięczne R. Putaendo w Los Patos o różnym prawdopodobieństwie pojawiania się.
- V-7-1. Opady w Los Andes i średnie miesięczne przepływy R. Aconcagua w Chacabuquito.
- V-7-2. Korelacja między opadem rocznym w Los Andes i średnim rocznym przepływem R. Aconcagua w Chacabuquito.
- V-7-3. Korelacja między opadem 5-miesięcznym w Los Andes i średnim przepływem rocznym R. Aconcagua w Chacabuquito.
- V-7-4. Korelacja między opadem rocznym w Los Andes i średnim przepływem z 6 miesięcy R. Aconcagua w Chacabuquito.
- V-7-5. Korelacja między opadem 5-miesięcznym w Los Andes i średnim przepływem z 3 miesięcy R. Aconcagua w Chacabuquito.
- V-8-1. Korelacja między wysokością zlewni i odpływem jednostkowym.
- V-8-2. Zróżnicowanie przestrzenne odpływu jednostkowego w wysokogórskiej części dorzecza R. Aconcagua.
- VI-1. Sieć wodna w dolinie R. Aconcagua.

## SUMMARY

### Chapters I—III

The river basin of Rio Aconcagua, located in the middle of Chile, covers an area of 7221.8 km<sup>2</sup> and its absolute heights vary from 0 to 6110 m. The conditions of the area exercise a strong influence upon the water circulation. The considerable declivities of the region promote the occurrence of surface runoff, but its dimensions vary in time and space. The accumulation of the unconsolidated rocks considerably decreases the surface runoff even on steep slopes. The given geomorphological maps help to differentiate some more or less separate areas with different sets of forms shaping the condition of the surface runoff and the infiltration within the river basin.

In the high mountain zone with ice formations quite large areas are occupied by rocks without the degraded layer. The conditions which promote the infiltration are to be found there only in places with numerous fissures in the rocks. Besides, there are open glaciers and those covered with rock debris, formations of glacial accumulation, non-consolidated talus cones, and slopes covered with a thick layer of rock-waste. The vast areas of formations, either easily penetrable or binding rain water, encourage a strong surface and underground retention. Due to the climatic conditions the surface runoff can be formed only exceptionally in this zone.

In the high mountain zone without ice formations the dominant types of surface are slopes covered with rock-waste and sets of alluvial and talus cones. The rocky slopes are common, but they occupy small areas. The lower parts of the slopes are partly consolidated by the flora. The climatic conditions determine the surface runoff in the Autumn and Spring and the character of the bedrock promotes the formation of rubble-and-mud streams and also of landslides. The considerable decline of the slopes may, in conditions of rapid melting of snow or violent rains, lead to surface runoff even on the easily penetrable subsoil.

Slopes covered with rock-waste and with sparse growth of matorral on them, prevail in the areas of the preandean hills and the Coast Range. The rocky slopes and the unconsolidated alluvial and talus cones cover a small per cent of the area. The occurrence of the ridge flattenings and high terraces is very frequent. The surface runoff occurring periodically causes large amounts of the material to be moved, usually for short distances. The traces of this activity can be seen on the mountain slopes: the deep fissures and the taluses built from the unsorted material. The lack of a solid plant covering promotes the development of erosion. The effectiveness of erosion depends on the amount and character of the precipitation. The great changeability of precipitation during the following years results in a very varied relation of the amount of surface runoff to the infiltrating water.

At the bottoms of dales and valleys and within the limits of the "rinconadas" forms there exist favourable conditions for infiltration. They are due to the small decline and the abundant occurrence of permeable deposits. These areas are among best provided with ground water. The changeability of the unconsolidated deposits filling the dales and valleys causes the water-bearing levels to be very varied as to abundance.

#### Chapter IV

The thermal conditions of the Rio Aconcagua river basin, although their mean values make the analogous to the Mediterranean climate, have contrasts alien to the Mediterranean climate. Independently of the evident differences in the sea-shore climate, influenced by the Humboldt current and the high mountain climate, considerable differences occur in the thermal conditions of the separate dales and the mountains surrounding them. The oscilation of the temperature, both during twenty-four hours and longer periods, are evident and preserve a particular rhythm. This fact raises questions as to the usefulness of applying to this region the formulas generally accepted in climatology, especially those used for the estimate of evapotranspiration. The thermal advantage of the mountain slopes almost to the line of perpetual snow and the occurrence of enormous thermal contrasts in the dales, which are not clearly evident in the mean values, are very important features.

The distribution of precipitation in the river basin shows a dependence on absolute altitude, geographic latitude and distance from the sea. This dependence is shown in a formula which permits an approximative evaluation of the amount of yearly precipitation in each part of the basin. The seasonal distribution of precipitation,



typical for the subtropical climate with a rainy winter season, is very evidently periodical. This feature, together with the great changeability of the amounts of yearly and monthly precipitation and with the frequent occurrence of droughts are factors that determine the irregularity of precipitation. An important part in the forming of the runoff is played by the form of the precipitation, in the high mountain area consisting almost exclusively of snow. Within the limits of the Coast Range very violent rains occur frequently.

## Chapter V

The runoff from the high mountain part of the river basin which constitutes the main water supply area, was estimated on the average as 46.7 m<sup>3</sup>/sec. The rhythm of the streamflow, although it is similar in the whole of the high mountain part of the river basin, shows a characteristic differentiation caused by the distribution of glaciers and the contribution of snow and rain to the runoff. Down the Aconcagua River the discharge is entirely dependent on the consumption of water for the needs of irrigation.

The river discharges in the basin of Rio Aconcagua shows great changeability. The estimate of the probability of maximum and minimum discharge shows that the high-waters are moderate, and the smallest discharges can be very small indeed. The smallest discharges occur in winter, but the summer low-water, which are most harmful to agriculture, are more varied.

The evident connection between the amount of the yearly precipitation and the streamflow during the hydrological year (VI—V) resulted in the development of several formulas determining this dependence. They enable a forecast of the yearly streamflow or the streamflow over a few months, from the basin of the higher Rio Aconcagua on the basis of the amounts of precipitation in Los Andes. A correlation was also estimated between the discharge and the absolute height and the geographic latitude of the high mountain river basin, which helped to draw the isolines of the unit discharge in liters per second per square kilometer. The complete chapter concerning the runoff will be published in French in the periodical entitled "Geographia Polonica".

## Chapter VI—VII

The evaluation of the disposition resources of water in the basin of the Rio Aconcagua meets the difficulties caused by the lack of the data concerning the runoff areas of the middle and lower parts of the river basin. If the mean streamflow from the high mountain area were

considered as the disposition resource, it would appear that after its exploitation the middle and low parts of the river would be almost completely devoid of water, because the runoff from the Coast Range supplies the local needs and scarcely contributes to the main river. Still, taking the high mountain runoff as the basis for the evaluation of the disposition water resources does not threaten the hydrological balance of the river basin, and so the value of  $46.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ , was taken for the balance equation. A more detailed knowledge of the water resources would be needed for their full and rational exploitation. The measuring hydrometeorological network would have to be completed. Hydrometric stations on the affluents of the lower Rio Aconcagua would be very useful and also precipitation stations in the mountain areas.

The Rio Aconcagua basin must be treated as deficient considering the amount of runoff. Although the annual runoff for the river basin is 200 mm, the streamflow has to meet all the water needs as well as the agricultural needs. Agriculture is the main consumer of the water in the river basin and this situation has to be regarded proper both now and in the predictable future. According to the "Los Recreos Hidraulicos de Chile" in the fifties the irrigated areas in the Rio Aconcagua basin covered about 72,000 ha. The balance sheet of the disposition water resources and the present needs of agriculture show that in an average year 88,000 ha can be irrigated without regulating the streamflow and in a dry year only 37,000 ha. If the agricultural structure were changed — especially after reducing the cultivation of the fodder plants having the greatest water demands — the areas could increase respectively to about 103,000 ha. and 41,000 ha. The increase of the agricultural area and the guarantee of enough water in the dry years is possible only after the streamflow has been regulated. Without great difficulty an area of about 100,000 ha. could be irrigated provided the water were retained in reservoirs with a total content estimated at about 170 million cubic meters. In order to improve the agricultural situation changes are necessary in the complicated system of irrigation channels which is uneconomical, from the point of view of Nature. The water law requires its modernization and the system of water-distribution should be completely changed.

The supply of communal water for people, especially the village-inhabitants, is unsatisfactory. This refers to both quantity and quality. These needs could be supplied by the underground water resources which are sufficient to satisfy the need for communal water and supply with the water of required quality. The proposal to use this water for irrigation purposes does not seem well-motivated. The present state of knowledge concerning the underground water is poor and if

the water is to be rationally used, detailed investigations on the hydro-geological conditions are necessary.

The hydrological conditions of the Rio Aconcagua basin do not favour the development of industry using a great deal of water. The development of those branches of industry which need small amounts of water, but of high quality, could be greatly increased.

The problem of water pollution does not play an important part in the river basin as yet, still the problem must not be overlooked because of the very small water discharge of all the rivers. The danger of pollution is connected especially with the development of the copper industry in the Rio Blanco valley.

The river basin of Rio Aconcagua, in spite of its good climatic conditions and beautiful landscape, does not have a developed tourism. In the future tourism can evidently be increased here. In the planning of water control investments the problem of the use of the recreation values of the surface waters should be taken into consideration.

## LIST OF TABLES

- II—1 Rio Aconcagua basin subdivision
- III—1—1 Hypsometry of the Rio Aconcagua basin and some tributary basins
- III—2—1 Lithology and stratigraphy of the Andean geosyncline (Rio Aconcagua basin zone (after B. Levi)
- III—3—1 The Santiago basins' quaternary chronology (after R. Börgel)
- III—3—2 Granulometric composition of the terrace and slope deposits from the Los Patos vicinity
- IV—1—1 Annual and monthly mean temperatures, mean maximal January temperature — for selected stations
- IV—1—2 Comparison of the temperature indexes for three stations
- IV—1—3 Continentality index
- IV—1—4 Mean monthly temperature variability
- IV—1—5 Hot days and days with frost
- IV—1—6 Extremal temperatures for selected months
- IV—3—1 Mean annual precipitation
- IV—3—2 Variability of the annual precipitation in Valparaiso
- IV—3—3 Mean annual precipitation (1931—1960)
- IV—3—4 Seasonal distribution of precipitation
- IV—3—5 Frequency of days with rain
- IV—3—6 Maximum and minimum annual precipitation
- IV—3—7 Frequency of months without rain
- IV—3—8 Maximum and minimum monthly precipitation
- IV—3—9 Maximum daily precipitation
- V—1—1 Length of the hydrometric record series
- V—2—1 Mean annual discharges
- V—2—2 Normal annual discharges in  $m^3/sec.$
- V—3—1 Mean annual discharges variability
- V—4—1 Mean monthly discharges and discharge coefficients
- V—4—2 Mean monthly Rio Aconcagua discharges, two stations
- V—5—1 Maximum and minimum discharges
- V—6—1 Probability of occurrence of the maximum annual discharge
- V—6—2 Probability of occurrence of the minimum annual discharges, Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—6—3 Probability of occurrence of the minimum annual discharges, Rio Putaendo in Los Patos



- V—6—4 Probability of occurrence of the minimum monthly discharges, Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—6—5 Probability of occurrence of the minimum monthly discharges, Rio Putaendo in Los Patos
- V—7—1 Annual precipitation in Los Andes and mean annual discharges of Rio Aconcagua in Chacabuquito (hydrological year)
- V—7—2 5-months' precipitation and mean hydrological year discharge of Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—7—3 Annual precipitation in Los Andes and the water-richest 6-months' mean discharge of Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—7—4 5-months' precipitation (V—IX) in Los Andes and mean 3-months' (IX—XI) discharge of Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—8—1 Unit discharges v.s. mean elevation and geographical latitude of the river basin
- V—8—2 Unit discharges computed on the basis of the mean elevation and geographical latitude of the river basin
- VI—1—1 Necessary irrigation rates in  $m^3$
- VI—1—2 Irrigation needs in  $m^3$ /hectare
- VI—1—3 Water resources and irrigation needs
- VI—1—4 Irrigation rates in  $m^3$ /hectare
- VI—1—5 Irrigable areas provided irrigation rates diminished
- VI—1—6 Water resources and irrigation needs (when water rates diminished)

## LIST OF PHOTOGRAPHS

- III—1 Highest peaks of the Central Andes. In the foreground Mt. Aconcagua
- III—3—1 Rio Colorado valley. Great talus cones and bare rock ridges constitute the main landscape features
- III—3—2 Rio Colorado watershed zone. Very unresistant volcanic rocks cause the accumulation of the unconsolidated material also in the zone of the flattenings of the watershed areas
- III—3—3 Ridge flattenings in Estero Pocuro basin
- III—3—4 Dead ice shelves under thin rock-debris cover, Rio Juncal valley side
- III—3—5 Estero Riecillos valley sides. In this zone water morphogenetic activity is strongly accented
- III—3—6 Juncalillo valley — highest peaks zone. Talus cones surfaces undissected
- III—3—7 Los Andes basin
- III—3—8 Good developed glacial phenomena in the upper part of the Estero Novarro valley. "Covered glacier" in the centre
- III—3—9 "Rock glacier" in Rio Blanco valley
- III—3—10 Head surface of the "covered glacier" in Cajon San José valley
- III—3—11 "Striated soils" on the dead ice surface, Cajon San José
- III—3—12 Amorphical rock glacier, Rio Blanco valley
- III—4—1 Estero Pocuro river basin. More elevated parts of the slopes covered by scarce "matorral"
- III—4—2 "Matorral" in the Estero Pocuro valley
- III—4—3 Dense "matorral" in the lower parts of the Estero San Francisco valley
- III—4—4 "Quisco" cactuses on the Estero El Cobre valley sides
- III—4—5 The valley of Estero Blanco, tributary of the Rio Colorado. Cushionlike plants "llaretas" as well grasses follow the underground water outflow within the zone nearly quite vegetationless
- III—5—1 Underground water outflow in the confluence of the Estero Monos del Agua and Rio Juncal valley

- V—5—1 Gravel and boulder Rio Aconcagua floodplain near Los Andes
- V—5—2 Gravel and boulder Rio Putaendo floodplain, low water period
- VI—1—1 Primitive da min the river bed (R. Aconcagua).
- VI—1—2 Irrigation canals on the Estero El Cobre valley sides
- VI—1—3 Cultivated fields on the Los Andes basin floor. Nearby hill-sides are vegetationless

## LIST OF ILLUSTRATIONS

- II—1 Rio Aconcagua basin
- II—2 Rio Aconcagua basin increment diagram
- III—1—1 Hypsometry of the Rio Aconcagua basin
- III—1—2 Hypsographic curve of the Rio Aconcagua basin
- III—1—3 Equivalent rectangle of the Rio Aconcagua basin
- III—1—4 Hypsographic curves of the selected tributary basins
- III—2—1 Generalized geology of the Rio Aconcagua basin (based on the map 1:1,000,000 of the "Instituto de Investigaciones Geologicas")
- III—2—2 Simplified geological profile across Central Chile (From B. Levi)
- IV—1—1 Air temperatures reduced to sea level (after E. Arroyo)
- IV—1—2 Amplitude index  $t_{14} - t_8$
- IV—1—3 Amplitude index  $t_{19} - t_8$
- IV—1—4 Air temperature profile along Rio Aconcagua valley (summer I)
- IV—1—5 Air temperature profile along Rio Aconcagua valley (winter VII)
- IV—3—1 Annual isohyets, distribution of rain gauge stations
- IV—3—2 Annual precipitation — 30-year moving means
- IV—3—3 Seasonal distribution of precipitation
- IV—3—4 Variability of the annual precipitation
- IV—3—5 Maximum monthly precipitation
- V—1—1 Correlation between mean annual discharge of Rio Aconcagua in Rio Blanco (Y) and Rio Aconcagua in Chacabuquito (X)
- V—1—2 Correlation between mean annual discharges: Rio Aconcagua in Chacabuquito (X) and Rio Colorado (Y)
- V—1—3 Correlation between mean December discharges: Rio Aconcagua in Rio Blanco (X) and Rio Blanco (Y)
- V—2—1 Rate of dependence of the mean annual flow (in per cent of the normal) from the length of the record series
- V—2—2 Mean unit discharge in  $l/sec., km^2$
- V—3—1 Mean annual discharges from the period 1943—1963
- V—3—2 Rio Juncal and Estero Juncalillo annual flow variability
- V—4—1 Monthly flow coefficients and their variability
- V—4—2 Monthly flow coefficients and their variability



- V—4—3 Monthly flow coefficients and their variability
- V—4—4 Monthly flow coefficients and their variability
- V—5—1 Characteristic monthly discharges and their variability, Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—5—2 Characteristic monthly discharges and their variability, Rio Colorado
- V—5—3 Characteristic monthly discharges and their variability, Rio Putaendo
- V—5—4 Characteristic monthly discharges and their variability, Rio Aconcagua in Rio Blanco (A), Rio Blanco in Rio Blanco (B) and in Saladillo (C)
- V—6—1 Probability curves of the occurrence of maximum annual discharges, Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—6—2 Probability curves of the occurrence of maximum annual discharges, Rio Putaendo in Los Patos
- V—6—3 Empirical probability curve of the occurrence of minimum annual discharges, Rio Putaendo in Los Patos
- V—6—4 Empirical probability curve of the occurrence of minimum annual discharges, Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—6—5 Empirical probability curves of the occurrence of minimum monthly discharges, Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—6—6 Minimum monthly discharges of Rio Aconcagua in Chacabuquito with different occurrence probability
- V—6—7 Empirical probability curves of the occurrence of minimum monthly discharges, Rio Putaendo in Los Patos
- V—6—8 Minimum monthly discharges of Rio Putaendo in Los Patos with different occurrence probability
- V—7—1 Precipitation in Los Andes and mean monthly discharges of Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—7—2 Correlation between annual precipitation in Los Andes and mean annual discharge of Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—7—3 Correlation between 5-months' precipitation in Los Andes and mean annual discharge of Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—7—4 Correlation between annual precipitation in Los Andes and 6-months' mean discharge of Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—7—5 Correlation between 5-months' precipitation in Los Andes and 3-months' mean discharge of Rio Aconcagua in Chacabuquito
- V—8—1 Correlation between basin elevation and unit discharge
- V—8—2 Spatial differentiation of the unit discharge in high-mountainous part of the Rio Aconcagua basin
- VI—1 Rio Aconcagua Valley water network

## EXPLANATION OF THE DRAWINGS

### II—1

1. Water divide
2. Areas of over 3000 ft (914 m) elevation
3. Areas of over 7000 ft (2137 m) elevation
4. Peaks, heights in m.
5. Hydrometric stations
6. Glaciers
7. Towns

### III—2—1

Based on the map 1:1,000,000 of the "Instituto de Investigaciones Geologicas"

1. Quaternary and Pliocene — unconsolidated deposits of glacial accumulation
2. Quaternary and Tertiary
3. Unspecified formation ) — volcanic and intrusive rocks
4. Upper formation ) Upper and Middle Cretaceous
5. Lower formation ) volcanic and continental sedimentary rocks
6. Lower Cretaceous — volcanic and marine sedimentary rocks
7. Crystalline rocks
8. Jurassic — volcanic and marine sedimentary rocks
9. Metamorphic rocks

### III—2—2

- A. Lower and Middle Jurassic — volcanic rocks, marine and continental sedimentary rocks
- B. Upper Jurassic — marine and continental sedimentary rocks
- C. Lower and Middle Cretaceous — volcanic rocks, marine and continental sedimentary rocks

D. Lower Cretaceous — volcanic and continental sedimentary rocks

E. Upper Cretaceous to Lower Tertiary — volcanic and continental sedimentary rocks

K — Cretaceous

T — Tertiary

J — Jurassic

unconformity ---

} crystalline (granitic) rocks

1. ...  
 2. ...  
 3. ...  
 4. ...  
 5. ...  
 6. ...  
 7. ...  
 8. ...  
 9. ...  
 10. ...

...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...

...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...

...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...

...  
 ...  
 ...  
 ...  
 ...



## WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ

za ostatnie lata

1966

- 1 J. SZUPRYCZYŃSKI — **Objaśnienia do mapy geomorfologicznej 1 : 50 000, okol. SZAMOCIN**  
M. BOGACKI — **Objaśnienia do mapy geomorfologicznej 1 : 50 000 okol. PISZ, s. 90 + ryc. nlb., zł 21,—**
- 2/3 PRACA ZBIOROWA — **Użytkowanie ziemi w krajach Europy środkowo-wschodniej, s. 160+ryc., tab. nlb., zł 24,—**
- 4 PRACA ZBIOROWA — **Atlas bilansu promieniowania w Polsce, s. 10+tab. nlb.+ryc. nlb., zł 15,—**
- 5 W. STANKOWSKI — **Objaśnienia do mapy geomorfologicznej 1 : 50 000, okol. REPTOWO**  
U. URBANIAK, J. KOTARBIŃSKI — **Objaśnienia do mapy geomorfologicznej 1 : 50 000, okol. GAĞIN, s. 110 + ryc. nlb., zł 18,—**

1967

- 1 PRACA ZBIOROWA — **Użytkowanie ziemi w krajach Europy środkowo-wschodniej, s. 125+nlb., tab., ryc., zł 27,—**
- 2 E. DROZDOWSKI — **Objaśnienia do mapy geomorfologicznej — okol. CHELMNO**  
A. TOMCZAK — **Objaśnienia do mapy geomorfologicznej — okol. TORUŃ, s. 110+ryc. nlb., zł 18,—**
- 3/4 A. JELONEK — **Ludność miast i osiedli typu miejskiego na ziemiach Polski od 1810 do 1960 r., s. 33+tab. nlb., zł 21,—**
- 5 PRACA ZBIOROWA — **Rozwój komunikacji kolejowej i autobusowej w Polsce w okresie 1946—1965, s. 142+ryc. nlb., zł 27,—**
- 6 R. CZARNECKI — **Stosunki wodne środkowej części dorzecza Opatówki, s. 79+ryc. nlb., zł 27,—**

1968

- 1 PRACA ZBIOROWA — **National and Regional Atlases — Supplement for 1963—1967, s. 73, zł 21,—**
- 2 M. STOPA — **Temperatura powietrza w Polsce. Część I, s. 210, zł 30,—**
- 3 PRACA ZBIOROWA — **Land use Studies in East-Central Europe, s. 89, zł 24,—**
- 4 PRACA ZBIOROWA — **Problematyka i metody geografii rolnictwa w pracach Zakładu Geogr. Roln. IG PAN, s. 113, zł 24,—**
- 5 PRACA ZBIOROWA — **Objaśnienia do mapy geomorfologicznej okol. NOWOGRÓD — 1 : 50 000, s. 45+tab. i mapy nlb., zł 18,—**
- 6 PRACA ZBIOROWA — **Abstrakty prac habilitacyjnych i doktorskich, 1967, s. 186, zł 30,—**

## WYKAZ ZESZYTÓW DOKUMENTACJI GEOGRAFICZNEJ

za ostatnie lata

1969

- 1 J. OSTROWSKI — **Mapy hipsometryczne Polski**, s. 173+nlb., zł 27,—
- 2/3 PRACA ZBIOROWA — **Analiza i ocena środowiska geograficznego powiatu ropczyckiego**, s. 136+nlb., zł 27,—
- 4 A. GAWRYSZEWSKI — **Polskie mapy narodowościowe, wyznaniowe i językowe. Bibliografia za lata 1827—1967**, s. 155, zł 24,—
- 5 PRACA ZBIOROWA — **Użytkowanie ziemi i rolnictwo w krajach Europy Środkowo-Wschodniej. Wyniki badań**, s. 168, zł 24,—
- 6 PRACA ZBIOROWA — **Abstrakty prac habilitacyjnych i doktorskich**, 1968.

1970

- 1 PRACA ZBIOROWA — **Agricultural Typology Selected Methodological Materials**, s. 60+nlb., zł 15,—
- 2 PRACA ZBIOROWA — **Materiały do klimatologii Polski**, s. 118+nlb., zł 21,—
- 3 PRACA ZBIOROWA — **Badania fizyczno-geograficzne otoczenia Stacji Naukowo-Badawczej IG PAN w Szymbarku (Tom I)**, s. 72+nlb., zł 18,—
- 1 ZS(4) J. GLAZIK — **Wody podziemne w dorzeczu Skarłanki i ich stosunek do rynien jeziornych**, s. 70+nlb., zł 18,— do użytku wewn.)
- 2 ZS(5) PRACA ZBIOROWA — **Objaśnienia do map geomorfologicznych okol. WĄBRZEŻNO i LĘBORK**, s. 110+nlb., zł 18,—
- 6 PRACA ZBIOROWA — **Abstrakty prac habilitacyjnych i doktorskich 1969**, s. 156, zł 27,—

1971

- 1 A. ŻUREK — **Bibliografia polskich prac o migracjach stałych, wewnętrznych ludności w Polsce (lata 1916—1969/70)**, s. 119, zł 18,—
- 2 J. KOSTROWICKI, R. KULIKOWSKI — **Przeglądowe zdjęcie użytkowania ziemi (Projekt instrukcji)**, s. 27+nlb., zł 18,—
- 3 PRACA ZBIOROWA — **Człowiek a środowisko geograficzne w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym. (Wybrane zagadnienia)** s. 80+nlb., zł 18,—
- 4/5 T. WILGAT, K. WOJCIECHOWSKI — **Rio Aconcagua — Studium hydrogeograficzne — A. Hydrogeographical Study**, s. 245+nlb., zł 45,—
- 6 PRACA ZBIOROWA — **Streszczenia prac habilitacyjnych i doktorskich**, 1970 (w druku)