

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS

DIRECCION TECNICA

DEPTO. INGENIERIA GEOLOGICA

La Región de "La Cueva", Sierra de San Juan, zona cársica Cumana-yagua-Trinidad, provincia de Las Villas, Cuba. M. J. Acevedo González.

Elección de los parámetros hidrogeológicos para la estimación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas en la región Victoria de las Tunas, provincia de Oriente, Cuba. G. G. Kuzmin, N. N. Lapshin & J. R. Luege.

Ciclisidad de las precipitaciones, del escurrimiento y su sincronismo en el territorio de Cuba. I. Kissin, E. Semeonov & A. Izquierdo.

La electrodialisis en el estudio de las rocas sedimentarias. F. Aguirre.

El Cuaternario en la parte noreste de la provincia de Camagüey, Cuba. G. Z. Martashvili & J. R. Luege.

PUBLICACION ESPECIAL No. 6

LA HABANA, CUBA

1968

AÑO DEL GUERRILLERO HEROICO

ENGLISH SUMMARIES

THE REGION OF "LA CUEVITA", MOUNTAIN RANGE OF SAN JUAN, CUMANAYAGUA-TRINIDAD KARSTIC ZONE, LAS VILLAS PROVINCE, CUBA. M. J. Acevedo González.

There are described the main features of the karstic region of "La Cueva", located at southern Las Villas province, central Cuba. Opinions are given over its evolution and a synthesis of the geology and geography of the tectonical holokarst situated more than 800 meters over sea level is offered. The possibility that the karstic pseudovalleys (*cockpits*) in the zone have developed over an ancient true valleys system corresponding to a drainage now disappeared is analyzed.

ELECTION OF THE HIDROGEOLOGICAL PARAMETERS FOR THE ESTIMATION OF THE GROUND WATER EXPLOITATION RESOURCES, VICTORIA DE LAS TUNAS, REGION, ORIENTE PROVINCE, CUBA. G. G. Kuzmin, N. N. Lapshin & J. R. Luege.

By first time in Cuba, in the practical hidrogeology, have been done the investigations to resolve the problem of the water supply to the city of Victoria de las Tunas, Oriente province, using a new method of prospection, determination of hidrogeological parameters, selection of the optimum rates of water takes, determination of the health zones, valoration and estimation of the ground water natural resources and exploitation reserves of the middle Miocene aquifer horizon.

ELECTRODIALYSIS IN THE STUDY OF SEDIMENTARY ROCKS. F. Aguirre.

The aim of this work, was the study of iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} and Na^{+} content in the adsorbed complex of sedimentary rocks by the method of electro dialysis.

THE QUATERNARY IN THE NORTHEASTERN PART OF CAMAGUEY PROVINCE, CUBA. G. Z. Martashvili & J. R. Luege.

In the present paper, are described and dated the Quaternary sediments developed in the northeast of Camagüey province, showing their geological and geographical situation.

ELECCION DE LOS PARAMETROS HIDROGEOLOGICOS PARA LA ESTIMACION DE LAS RESERVAS DE EXPLOTACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA REGION DE VICTORIA DE LAS TUNAS, PROVINCIA DE ORIENTE, CUBA

POR:

G. G. KUZMIN, N. N. LAPSHIN Y J. R. LUEGE

SUMARIO

Por primera vez en Cuba en la hidrogeología práctica se llevan a cabo las investigaciones para resolver el problema del abastecimiento de agua en la ciudad de Victoria de Las Tunas, provincia de Oriente, con la utilización de una nueva metodología de prospección, determinación de los parámetros hidrogeológicos, selección de los regímenes óptimos de las tomas de agua, determinación de las zonas sanitarias, valoración y cálculo de los recursos naturales y las reservas explotables de las aguas subterráneas del horizonte acuífero del Mioceno Medio.

INTRODUCCION

El auge creciente y continuo de la economía nacional de la República de Cuba, ya en el presente sufre insuficiencia en la explotación de las aguas subterráneas, las cuales son la fuente más propia para el abastecimiento con agua potable a las poblaciones, ciudades, granjas, etc.

Las medidas del Gobierno Revolucionario a fin de aumentar la productividad de la agricultura por medio del regadío, plantean ante la Sección de Hidrogeología del INRH el problema del aprovechamiento de las aguas subterráneas, que son una fuente más barata y rápida de poner en explotación para regadíos.

Además de lo antes expuesto, en el futuro próximo, surgirá la necesidad de estimar las reservas naturales de diferentes complejos acuíferos, desarrollados por la Isla y calcular las reservas de explotación por unos tramos en las provincias de acuerdo con una metodología y sistema uniformes. Para este tipo de estimación de las reservas de las aguas subterráneas, en las condiciones de Cuba, presenta gran interés el manto acuífero formado por las calizas carsificadas del Mioceno Medio (N_1^2). Este manto acuífero está ampliamente desarrollado por todas las provincias de Cuba, tiene propiedades altas de filtración y como regla, contiene aguas dulces.

Este manto acuífero se explota en Cuba hace mucho, por una gran cantidad de pozos, pero nunca antes se hizo la estimación de los gastos de explotación de las aguas subterráneas, a consecuencia de lo cual, el volumen de agua extraída a menudo sobrepasaba el gasto de explotación permisible.

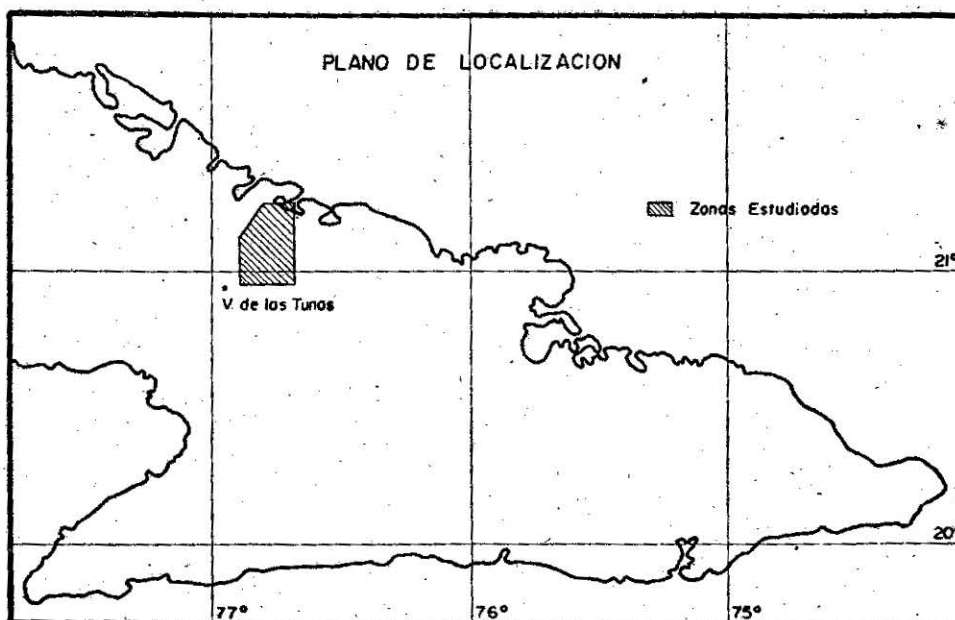


Figura No. 1.

En algunos casos, tal régimen de explotación de las aguas subterráneas, provoca el agotamiento de las reservas estáticas (sin decir sobre las dinámicas) y el empeoramiento de la calidad de las aguas subterráneas debido a la intrusión marina. Estos fenómenos tienen lugar en regiones de explotación intensa de las aguas subterráneas, situadas cerca de la costa o en casos, cuando el nivel dinámico está ubicado muy bajo y hay una unión hidráulica entre las aguas subterráneas y marinas (por ejemplo, en la provincia de Camagüey, Vertientes; en unas zonas por las provincias de Pinar del Río, de Las Villas y de La Habana). De este modo, sólo la estimación correcta de las reservas naturales, así como el establecimiento del régimen óptimo de explotación, nos permite utilizar razonablemente las aguas subterráneas durante muchos años sin algún agotamiento o salinización.

La seguridad de estimación de las reservas de aguas subterráneas depende de la determinación correcta de los parámetros hidrogeológicos de cálculo o de una metódica bien elegida del procedimiento de los estudios hidrogeológicos.

En el presente artículo, los autores tocan los asuntos principales de los estudios hidrogeológicos y de la determinación de los parámetros hidrogeológicos, que se usaron durante los cálculos de las reservas de las aguas subterráneas del manto acuífero del Mioceno Medio en la región situada más al noreste de la ciudad de Victoria de las Tunas, provincia de Oriente (véase figura No. 1).

En esta región, durante los años 1965-1967, fueron realizados los estudios hidrogeológicos por la Regional del INRH, con participación de hidrogeólogos cubanos y soviéticos.

Los estudios antes mencionados se efectuaron a fin de resolver el problema del abastecimiento de agua de la ciudad de Victoria de las Tunas, con un consumo de agua igual a 400 l/seg. al término de 20 años.

Esta tarea fue cumplida en 1966-67 por medio del levantamiento complejo geólogo-hidrogeológico a escala 1:50000, acompañado por la perforación de calas de exploración, de observación, de explotación, por aforos de ensayo, observaciones sobre el régimen de las aguas subterráneas, trabajos topográficos y por los ensayos del laboratorio. Los resultados de los estudios realizados están expuestos en un informe⁽⁸⁾.

Además, los autores desean aprovechar la oportunidad para exponer en esta revista, algunos resultados obtenidos de los estudios hidrogeológicos realizados, que podrán ser utilizados por los hidrogeólogos en su trabajo futuro en Cuba.

CONSTITUCION GEOLOGICA Y GEOGRAFICA

En el sentido geográfico, la región estudiada está situada en la pendiente septentrional de la Isla de Cuba, en la parte noroeste de la provincia de Oriente, (véase figura No. 1) y tiene las coordenadas siguientes:

20° 57' 04" — 21° 12' 05" de la latitud norte

76° 41' 33" — 76° 53' 44" de la longitud oeste.

La parte meridional de la región estudiada, tiene relieve ondulado. Se encuentran algunas lomas con pendientes suaves, cuyas cotas absolutas varían alrededor de 140 m.

La parte septentrional de la región observada, se presenta como una llanura litoral amplia, que está un poco inclinada en dirección hacia el mar.

Como un fenómeno físico-geográfico (geológico), podemos mencionar el desarrollo amplio del carso llano, que coincide con los lugares de extensión de las calizas.

La cantidad promedio anual de las precipitaciones atmosféricas es igual a 1084mm.

La región estudiada, está ubicada entre los límites de la zona estructuro-facial de Zaza, que es parte componente del geosinclinal.

En el sentido goestructural, esta región se encuentra entre dos estructuras geológicas grandes: Anticlinorio de Camagüey y Anticlinorio de Holguín, pero más cerca de la primera.

En la constitución geológica de la región estudiada, toman parte las rocas del Cretácico, Neogeno y depósitos Cuaternarios, representadas por rocas ígneas y sedimentarias. Una descripción estratigráfica más detallada, viene dada en el informe hidrogeológico⁽⁸⁾. En el presente artículo, los autores no estudian especialmente la constitución geológica de la región observada, sino sólo resuelven los problemas hidrogeológicos, prestando a los últimos la mayor atención.

HIDROGEOLOGIA

Al hacer el análisis detenido de las condiciones hidrogeológicas de la región, fueron divididas las unidades acuíferas siguientes:

Manto acuífero del Mioceno Medio — (N_1^2)

Complejo acuífero del Mioceno Inferior y Medio (N_1^{1+2})

Complejo acuífero del Campaniano-Maestrichtiano del Cretácico Superior (Cr_2^{cp+m})

Complejo acuífero de las rocas ígneas de composición ácida del Cretácico superior (rCr_2)

Complejo acuífero de las rocas ígneas de composición básica y ultrabásica del Cretácico Superior (ΣCr_2)

Complejo acuífero de las rocas efusivo-sedimentarias del Cretácico Inferior y Superior (Cr_{1+2})

Fue establecido que los complejos acuíferos de las rocas ígneas de composición ácida del Cretácico Superior y de las rocas efusivo-sedimentarias del Cretácico Superior, tienen acuosidad baja y que los complejos acuíferos del Mioceno Inferior y del Campaniano-Maestrichtiano tienen las aguas de calidad mala. Estos factores negativos, no permitieron resolver el problema del abastecimiento a la población ni planificar las tomas de agua, grandes, en base de los complejos acuíferos antes mencionados.

Los mantos acuíferos más perspectivas, que presentan un interés práctico para la región estudiada, son los siguientes:

Manto acuífero del Mioceno Medio y

Manto acuífero de las rocas ígneas de composición básica y ultrabásica del Cretácico Superior (ΣCr_2).

En estos mantos acuíferos están incluidas aguas dulces, y su acuosidad es mucho más alta que la acuosidad de los mantos acuíferos antes mencionados. El área limitada de extensión del manto acuífero de las rocas de composición básica y ultrabásica, y su alejamiento del consumidor de agua (Nordeste extremo) nos permite considerar este manto acuífero como perspectivo sólo para la exploración futura. Como una fuente principal del abastecimiento de agua podemos aceptar sólo el manto acuífero del Mioceno Medio.

Todo lo antes expuesto se refleja muy claramente en la figura No. 2.

En la región estudiada, el manto acuífero del Mioceno Medio está ampliamente desarrollado. Las rocas hidratadas están representadas por calizas carmelito-rosadas, organógenas, finamente cristalinas, muy descompuestas y fracturadas. El espesor de las calizas varía desde 0,0 m en el Norte, donde estas calizas están completamente arrasadas, hasta 37,1 m en el Sur (cala No. 1).

Debido a las condiciones de su origen y formación, este manto acuífero contiene aguas sin presión, las cuales pueden ser relacionadas al tipo de fisura-cársicas.

Por todas partes más abajo de este manto acuífero, yace una capa impermeable formada por arcillas gris-claras hasta gris verdosas, compactas, calcáreas y por margas del Mioceno Inferior y Medio.

La acuosidad del manto acuífero del Mioceno, varía por áreas en límites grandes, que es un rasgo muy característico de las aguas subterráneas que circulan por grietas y cavidades. Los gastos unitarios oscilan de unas fracciones de litro hasta 27.7 l/seg. (según los datos obtenidos en el pozo No. 5).

Hay que subrayar, que los valores mínimos de los gastos unitarios, fueron obtenidos en los pozos de poca profundidad que habían atravesado sólo la parte superior arcillosa del manto acuífero.

La falta de una cubierta impermeable, el espesor inconsiderable de los depósitos eluviales arcillosos, así como los datos obtenidos como resultado de las observaciones del régimen de las aguas subterráneas, nos permite llegar a la conclusión de que la alimentación del manto acuífero se efectúa por la infiltración de las precipitaciones atmosféricas por toda el área de su extensión.

Los niveles freáticos en dependencia del relieve, se encuentran a las profundidades de 0.0 m a 15.6 m (pozo No. 690).

La línea divisoria de las aguas freáticas, prácticamente coincide con el parteaguas en la superficie y se sitúa en la parte meridional extrema de la región.

El nivel freático está inclinado de Sur a Norte. El gradiente hidráulico promedio es igual a $I = 0.0038$.

La descarga del manto acuífero estudiado se efectúa en la parte septentrional de la región, principalmente debido a la filtración en mantos acuíferos del Mioceno Inferior y Medio, y en los complejos acuíferos de las rocas ígneas de composición básica y ultrabásica del Cretácico Superior (véase el perfil geológico, figura 3), así como a través del drenaje por corrientes superficiales, cuyo valor en descarga se crece con la elevación del nivel de las aguas subterráneas.

El régimen de las aguas subterráneas del manto acuífero dado, está en dependencia directa con los factores climáticos, entre los cuales predominan las precipitaciones atmosféricas.

Las oscilaciones de los niveles de las aguas subterráneas, siempre es dependiente de la cantidad de precipitaciones atmosféricas. Esta relación es tan estrecha que estos fenómenos se reflejan casi al mismo tiempo.

La amplitud de las oscilaciones del nivel, alcanzó 5.78m (pozo No. 512) en el período primaveral, en 1966.

Como regla, el valor del resto insoluble de las aguas subterráneas en las calizas del Mioceno Medio, no sobrepasa de 1 g/l.

En general las aguas subterráneas son de composición hidrocarbonatada-cálcica o hidrocarbonatada-sódica. Según la clasificación de O. A. Alekin las aguas subterráneas pueden ser relacionadas al tipo I o II $\left(\begin{matrix} \text{Na} & \text{Ca} \\ \text{C}_{\text{I-II}} & \text{C}_{\text{I-II}} \end{matrix} \right)$. Estas aguas subterráneas según sus propiedades físico-químicas, pueden ser usadas como aguas potables. Las aguas contienen una cantidad pequeña de precipitaciones, no provocan la corrosión, y no son agresivas con respecto al hormigón preparado por medio del cemento común. Pueden servir como aguas de regadío. Su estado bacteriológico es insatisfactorio lo que nos obliga a someterlas al proceso de clorificación, cuando las aprovechemos como aguas potables.

En el proceso de los estudios hidrogeológicos, entre los límites de la extensión del manto acuífero del Mioceno Medio, fue marcado un tramo (pozos Nos. 4 y 5) para el cual fue realizada la estimación de las reservas de las aguas subterráneas en cantidad de 34,560 m³/día.

Los cálculos se han efectuado por el método hidrodinámico, es decir, se han pronosticado los abatimientos de nivel de agua en los pozos Nos. 4 y 5 en 20 años, cuando los gastos de explotación se han alcanzado correspondientemente a 100 y 300 l/seg.

Los valores de cálculo de los abatimientos en pozos dentro de 20 años son iguales correspondientemente a 15.4m y 17.4m (abatimiento permisible aproximadamente igual a 78.0m) lo que nos muestra la posibilidad de extracción de agua en los volúmenes dados.

Para el pozo No. 4 fueron realizados los cálculos por el método hidráulico y por el método hidrodinámico. Como resultado de estos cálculos simultáneos para las mismas condiciones hidrogeológicas, fue obtenido el valor del abatimiento igual a 14.7m, lo que nos muestra la seguridad de los cálculos efectuados.

Tomando en cuenta que en Cuba todavía falta la experiencia necesaria en la estimación de los gastos de explotación de las aguas subterráneas, fue hecho el análisis de su probabilidad para la región dada por el método de balance (1) aunque eso no se hacía necesario.

SEGUN EL GASTO DE LA CORRIENTE

Los gastos de explotación se determinan por la fórmula siguiente:

$$Q_e = Q_n + \frac{\alpha V_e}{t} \text{ donde} \quad [1]$$

Q_e = gastos de explotación.

Q_n = reservas naturales (dinámicas).

V_e = reservas naturales (estáticas).

α = parte del aprovechamiento de las reservas estáticas. Aceptada igual a 0.5.

t = tiempo de explotación prevista, que es igual a 20 años, es decir a 7300 días.

Las reservas naturales (estáticas) se calculan por la fórmula:

$$V_e = u V_o \text{ donde} \quad [2]$$

V_o = volumen de la capa.

u = coeficiente del almacenamiento igual a 0.1.

$V_o = 0.1 \times 4300 \times 4500 \times 36 = 69660000 \text{ m}^3$.

Espesor medio del manto acuífero en la región = 36 m.

El agotamiento de las reservas estáticas tiene lugar como mínimo, en la distancia de 2 km por cada lado desde el tramo estudiado (el área 4.5 × 4.3 km).

$$Q_e = KFI \text{ donde} \quad [3]$$

K = coeficiente de filtración (m/día).

F = área de la sección transversal (m^2).

I = gradiente hidráulico de la corriente.

Por medio de los cálculos correspondientes, fue establecido que la pendiente en la superficie en el Sudoeste (entre el pozo No. 694 y la cala No. 5) con la anchura de corriente de 2000 m, es igual a $I_1 = 0.0084$. En el Sudeste (entre el pozo No. 529 y la cala No. 4) la anchura de la corriente alcanza 1500m y la pendiente de la superficie es igual a $I_2 = 0.0037$.

El coeficiente de filtración es igual a 47 m/día.

$$Q_n = 47 (0.0084 \times 2000 + 0.0037 \times 1500) \times 36 = 36400 \text{ m}^3/\text{día}.$$

Aplicando las fórmulas [2] y [3] calculamos los gastos de explotación:

$$Q_e = 36400 + \frac{0.5 \times 69660000}{7300} = 41,171 \text{ m}^3/\text{día} \approx 41200 \text{ m}^3/\text{día}$$

SEGUN LOS DATOS DE OBSERVACIONES DEL REGIMEN

Las reservas naturales (dinámicas) se calculan por la fórmula:

$$Q_n = WF \text{ donde} \quad [4]$$

W = infiltración de las precipitaciones atmosféricas a través de una unidad del área del nivel freático, durante un intervalo de tiempo.

$$W = \left(\mu \frac{\Delta h + \Delta Z}{\Delta t} \right)$$

Se determina de acuerdo con los datos obtenidos durante las observaciones del. En ese caso las reservas de explotación componen:

F = área de la región de alimentación del manto acuífero, entre los límites de 8.7 m.

Δh = subida observada del nivel freático debido a la alimentación por medio de las precipitaciones atmosféricas.

ΔZ = valor de bajada de nivel durante el tiempo Δt como resultado de la distribución de las aguas, por todo el manto acuífero. μ = coeficiente de entrega de agua (porosidad efectiva) que es igual a 0.1.

El valor promedio de $(\Delta h + \Delta Z)$ para el tramo observado se compone del tramo estudiado ($4.5 \times 4.3 = 19.35 \text{ km}^2$).

régimen de las aguas subterráneas en la región estudiada.

$$Q_n = 0.1 \times \frac{8.7}{365} \times 19350000 = 46050 \text{ m}^3/\text{día} \text{ o aproximadamente } [46,000 \text{ m}^3/\text{día}.$$

De este modo la comparación de los gastos de explotación $36000 \text{ m}^3/\text{día}$ calculado por ambos métodos nos muestra la seguridad de los cálculos, probabilidad de las reservas y la coincidencia buena de los resultados del cálculo de las reservas (41200 y $46000 \text{ m}^3/\text{día}$).

Los resultados positivos obtenidos por los autores para la región estudiada, por medio de los cálculos de control, les permiten estimar las reservas naturales pronósticas del manto acuífero del Mioceno Medio, aprovechando también los datos de las observaciones del régimen de las aguas subterráneas, que hay para toda la región observada.

Preliminarmente fueron calculadas las reservas naturales para la zona limitada por la línea-divisoria en el Sur, por la línea de pozos y calas Nos. 512;4;5; 526-A, 1011-A al Norte y por los límites del mapa en el Este y Oeste. Estas reservas naturales son las siguientes:

a) *SEGUN EL GASTO DE LA CORRIENTE EN LA SECCION TRANSVERSAL AL NORTE:*

$$Q_n = KHBI \text{ donde:} \quad [5]$$

Q_n = gasto de la corriente ($m^3/día$).

$K = 63 \text{ m/día}$ = valor medio del coeficiente de filtración para la sección transversal elegida (Nos. 512; 4;5; 526-A;1011A).

$H = 36 \text{ m}$ = espesor medio del manto acuífero entre los límites de la región dada.

$B = 16.5 \text{ km}$ = anchura de la corriente.

$I = 0.0038$ = gradiente hidráulico.

Calculado por la fórmula [5] obtenemos:

$$Q_n = 63 \times 36 \times 16500 \times 0.0038 = 142200 \text{ m}^3/día.$$

b) *SEGUN EL VALOR DE INFILTRACION:*

Las reservas dinámicas del tramo las calculamos por la fórmula:

$$Q_n = F \cdot W \text{ donde}$$

$F = 71 \text{ km}^2$ = área del tramo.

W = valor de infiltración medio-anual en el tramo estudiado, que es igual a

$$W = \frac{\sum (\Delta h + \Delta Z)}{365} \cdot \mu = 0.00227$$

Calculando de acuerdo con la fórmula [6] obtenemos:

$$Q_n = 161000 \text{ m}^3/día.$$

Los resultados obtenidos una vez más nos confirman la seguridad de los cálculos de las reservas naturales con ayuda de las observaciones del régimen de las aguas subterráneas.

Las reservas naturales calculadas según este método para el manto acuífero dado en total componen:

$$Q_h = 13.8 \times 195 = 2690 \text{ l/seg} = 232,500 \text{ m}^3/día.$$

Los cálculos se han realizado bajo la condición, que el valor del módulo del escurrimiento subterráneo es equivalente a 13.8 l/seg y el área de extensión 195 km². De este modo, los cálculos de la estimación de las reservas, tanto dinámicas como estáticas o de explotación del manto acuífero del Mioceno en la región estudiada, realizados por diferentes métodos de cálculo nos muestra la coincidencia bastante alta de los resultados lo que por su parte confirma la determinación correcta y la seguridad de los parámetros hidrogeológicos.

También los cálculos hidrogeológicos efectuados, nos reflejan claramente que la dificultad principal consiste en la determinación de algunos parámetros hidrogeológicos, entre los cuales los más importantes son los siguientes:

- coeficiente de entrega de agua (μ)
- coeficiente de filtración (K)
- coeficiente de piezoconductibilidad (Ay)
- radio de influencia reducido (Rr)
- espesor del manto acuífero (M)

Peró cuando conocemos un valor del coeficiente de piezoconductibilidad, no presenta dificultad calcular los valores del radio de influencia reducido o espesor.

A continuación, tocamos algunos aspectos de la determinación del valor del coeficiente de filtración (K) en base de los resultados de los estudios de ensayo en la región estudiada. El valor promedio del coeficiente de filtración (K), calculado según los datos de 3 afloramientos en el pozo No. 4, fue igual a 47.0m/día (fueron cumplidos 3 cálculos para un pozo aislado, 8 cálculos para el pozo central y 5 para 2 pozos de observación).

Si calculamos el coeficiente de filtración solo en base de los datos obtenidos en el pozo central, en ese caso el coeficiente de filtración alcanza 41.4m/día.

Lo mismo observamos, efectuando los cálculos del coeficiente de filtración en el pozo No. 5 con 6 pozos de observación.

En ese caso el coeficiente de filtración compone 128m/día, en lugar de 118m/día para el pozo central.

Es muy claro que los valores más altos del coeficiente de filtración, en comparación con los valores del mismo obtenidos sólo para los pozos centrales, proceden debido a los parámetros elevados, que se observan en el pozo central y en un pozo de observación.

Los mismos cálculos fueron efectuados por medio de la fórmula de Dupuit, tomando en cuenta las correcciones de N. N. Veriguin⁽⁵⁾ y el radio de influencia reducido:

$R_r = 1.5 \sqrt{at}$, que considera el carácter inestable del movimiento de agua. En ese caso, las fórmulas de cálculo tienen el aspecto siguiente:

Para un pozo central:

$$K = \frac{0,73 Q \left(\lg \frac{R_r}{r_p} + 0,217 \epsilon_0 \right)}{(2 H - S_0) S_0} \quad [7]$$

Para un pozo central y un pozo de observación:

$$K = \frac{0,73 Q \left[\lg \frac{r_1}{r_o} + 0,217 (\zeta_o - \zeta_1) \right]}{(2H - S_o - S_1) (S_o - S_1)} \quad [8]$$

Para dos pozos de observación:

$$K = \frac{0,73 Q \left[\lg \frac{r_2}{r_1} + 0,217 (\zeta_1 - \zeta_2) \right]}{(2H - S_1 - S_2) (S_1 - S_2)} \quad [9]$$

Donde:

Q = gasto de aforo ($m^3/día$).

r_o = radio del pozo de ensayo (en metros).

$r_1; r_2$ = distancias hasta los pozos de observación en metros.

H = espesor del manto acuífero (M).

$S_o; S_1; S_2$ = abatimientos en el pozo central y en los pozos de observación (M).

Rr = radio de influencia reducido (metros).

$\zeta_o; \zeta_1; \zeta_2$ = valores de la resistencia a filtración que consideran la imperfección del pozo central y del pozo de observación.

Babushkin V. D.⁽⁴⁾ del movimiento estable para un pozo aislado:

$$K = \frac{0,732}{S_o \left(\frac{l_o + S_o}{\lg \frac{Rr}{r_o}} + \frac{l_o}{\lg \frac{0,66 - l_o}{r_o}} \right)} \quad [10]$$

Fórmula de V. D. Babushkin — N. K. Guirinski.^(4,5)

a) Para un pozo central con un pozo de observación:

$$K = \frac{0,16 Q}{l_o (S_o - S_1)} \left(2,3 \lg \frac{\alpha l_o}{r_o} - \arcsen \frac{l_o}{r_1} \right) \quad [11]$$

b) Para un pozo central con 2 pozos de observación.

$$K = \frac{0,16 Q}{l_o (S_o - S_1)} \left(\arcsen \frac{l_o}{r_1} - \arcsen \frac{l_o}{r_2} \right) \quad \text{donde} \quad [12]$$

l_o = longitud de la parte activa del filtro en metros.

α = un coeficiente que es igual a 1.46.

\arcsen se encuentra en las tablas correspondientes.

Los cálculos realizados por medio de las fórmulas antes citadas nos muestran una coincidencia buena.

Por ejemplo:

En el pozo No. 4 el coeficiente medio de filtración es igual a $47m^3/día$.

Si calculamos este coeficiente solo teniendo en cuenta los datos obtenidos para un pozo central, compone 37m/día.

En el pozo No. 5 el valor medio del coeficiente de filtración 120m/día. De acuerdo con los cálculos sólo para un pozo central = 115m/día.

De esta manera, según nuestra opinión, en las condiciones del manto acuífero del Mioceno Medio, formado por las calizas carsificadas, se puede obtener los datos más seguros sobre las propiedades de filtración sólo según los datos de aforos en los pozos aislados, sin perforación de pozos de observación, que solo atrazan los estudios. En ese sentido es más razonable para determinar el coeficiente de filtración, hacer los aforos en los pozos existentes, los cuales, como regla, se encuentran en cantidad suficiente. Sin perforar los pozos nuevos hay que efectuar solo las investigaciones geofísicas con el fin de determinar el espesor del manto acuífero en cada punto de observación, lo que no presenta dificultad alguna.

A eso hay que agregar que J. A. Skaballanovich en sus obras^(11,12) también considera que los valores del coeficiente de filtración más exactos para las rocas agrietadas o carsificadas, podemos obtenerlos haciendo los cálculos en base de los datos para un pozo central. Lo mismo confirma los resultados de los estudios nuestros.

La determinación del coeficiente de piezoconductibilidad (Ay) y los cálculos del radio de influencia reducido durante la estimación de los gastos de explotación de la región dada, se efectuaron por los métodos siguientes:

- a) Usando los coeficientes de filtración y de entrega de agua (porosidad efectiva).

$$Ay = \frac{K h_{\text{medio}}}{\mu} \quad \text{donde} \quad [13]$$

K = coeficiente de filtración (m³/día).

h medio = espesor medio durante el aforo, que es igual $H - \frac{S}{2}$:

μ = coeficiente de entrega de agua que es igual a 0.1 (sólo para el tramo del pozo No. 4, donde fue hecho el aforo con satélites y con dos rayos de los pozos de observación).

Para el pozo No. 4, la piezoconductibilidad compone $Ay = 0.15 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{día}$.

Para el pozo No. 5: $Ay = 0.42 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{día}$.

Simultáneamente fue cumplido un control de los cálculos del valor Ay por la fórmula siguiente:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{Ei \left(-\frac{r^2}{4at_1} \right)}{Ei \left(-\frac{r^2}{4at_2} \right)}; \quad \text{donde} \quad [14]$$

r = distancia entre el pozo de ensayo y el pozo de observación (en metros).

S_1, S_2 = abatimientos (M) en períodos de tiempo t_1 y t_2 (desde el inicio del aforo).

Ei = función, valores de la cual vienen dados en las tablas (1).

Más detallado, la metodología de los cálculos se cita en el texto del informe (8).

Como resultado de los cálculos fueron obtenidos los datos siguientes:

NUM. DEL POZO	COEFICIENTE DE PIEZOCONDUCTIBILIDAD A_y	
	SEGUN LA FORMULA [13]	POR EL METODO DE SELECCION [14]
4	$0,15 \times 10^5$	$0,22 \times 10^4$
5	$0,42 \times 10^5$	$1,98 \times 10^5$

La diferencia considerable entre los valores, por lo visto es el resultado de la variación del almacenamiento de las rocas alrededor del pozo No. 5 y de la imperfección del método de selección.

Definitivamente para los cálculos fueron aceptados los valores siguientes:

A_y para el pozo No. 4 = $0,1 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{día}$.

A_y para el pozo No. 5 = $1,2 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{día}$.

En el presente, en nuestra práctica, se emplea un método nuevo, que permite determinar el valor A_y con ayuda de las observaciones del régimen [10]. Este método se usa para las aguas subterráneas, que coinciden con las rocas fracturadas y carsificadas y para los mantos acuíferos bien drenados.

Se ha establecido que en los períodos, cuando falta la infiltración, el abatimiento de los niveles de agua está subordinado a una regularidad.

Por primera vez fue revelada esta regularidad por Vussinesk. La idea fundamental de sus investigaciones consiste en una hipótesis, que el gasto de una fuente (Q) se disminuye proporcional al tiempo y que el tamaño de las reservas o del volumen de agua en el manto acuífero es la función solo del valor Q y que esta función crece proporcional al aumento de Q . Este científico estableció también, que el abatimiento del nivel de las aguas subterráneas y la reducción del gasto de una fuente se efectúa por una curva determinada. Tal régimen de fuentes o de oscilaciones fue nombrado como "independiente" o "arreglado". En nuestros cálculos fue empleada una de las ecuaciones de Maye⁽¹⁶⁾ que para la curva del gasto de una fuente (o para el nivel de las aguas subterráneas) tiene el aspecto siguiente:

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad [15]$$

donde

$$H = H_0 e^{-\alpha t} \quad [16]$$

Q y H son el gasto y el espesor incógnitos en el momento del tiempo t desde el inicio del régimen "independiente".

α = coeficiente de agotamiento que depende del coeficiente de filtración (K), coeficiente de entrega de agua μ , espesor medio del manto acuífero (H medio) y

Según nuestro juicio este método es más cómodo y razonable para el manto acuífero del Mioceno Medio en Cuba. Este método nos permite obtener los datos sobre el valor del coeficiente de piezoconductibilidad, sin gastos considerables en cualquier parte de la región estudiada. Para eso debemos sólo obtener los datos seguros sobre la ubicación de los niveles y de las líneas divisorias de las aguas subterráneas en el período del régimen "independiente". Sería mejor ejecutar las observaciones del régimen de las aguas subterráneas, en calas y pozos en los cuales se hacen los aforos con el fin de determinar el coeficiente de filtración y donde hay los datos necesarios sobre el espesor del manto obtenidos por medio de perforación o de geofísica. Una gran dificultad presenta la determinación del coeficiente de entrega de agua μ . El método de laboratorio, para las rocas fracturadas, cavernosas, es inaplicable, pero la determinación del coeficiente en el campo, exige la realización del aforo con satélites, con las calas de observación ubicadas por un rayo, así como, la fijación exacta del inicio del régimen "cuasiestacionario" en el proceso de aforo, lo que es bastante difícil.

En ese caso, el coeficiente de entrega de agua se calcula por la fórmula siguiente:

$$\mu = \beta \frac{Qt}{r_1^2 (S_1 - S_2)}, \quad \text{donde} \quad [22]$$

Q = gasto en $m^3/\text{día}$.

t = inicio del movimiento cuasiestacional (en días).

r_1 y r_2 = distancias hasta la cala de observación (en metros).

S_1 y S_2 = abatimientos en las calas de observación en metros en el momento " t ".

β = un coeficiente que puede ser calculado por la fórmula siguiente.

$$\beta = 0,824 \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \frac{2S_1}{S_1 - S_2} \lg \frac{r_1}{r_2}$$

o por medio de tablas y gráficos (1).

Considerando que el coeficiente de entrega de agua μ de los mantos acuíferos formados por las rocas cavernosas, varía mucho por el área; debemos precisar los valores de coeficiente μ obtenidos para todas las partes de la región estudiada por medio de perforación de gran cantidad de calas de ensayo y de observación, ubicando los grupos de calas en diferentes condiciones geomorfológicas.

En el mismo tiempo, la metodología de la determinación de los parámetros promedios de cálculo, para el manto acuífero del Mioceno Medio, propuesto por los autores del presente artículo, permite obtener el valor del coeficiente de entrega de agua, tanto para algunas partes, como para toda la región sin la perforación complementaria sólo con ayuda de la fórmula

$$\mu = \frac{Kh \text{ medio}}{Ay} \quad \text{donde} \quad [23]$$

K y Ay = correspondientemente los coeficientes de filtración y de piezoconductibilidad.

h medio = espesor medio del manto que es igual a $(H - \frac{S}{2})$ (en metros).

A eso hay que agregar que esta nueva metódica, también nos permite determinar lo siguiente:

a) Coeficiente de filtración (K) según los datos de aforos de ensayo en unas calas, situadas regularmente por área, aprovechando las calas antes perforadas, para las cuales, los valores del espesor del manto acuífero los podemos obtener con ayuda de los estudios geofísicos. También los estudios geofísicos nos darán los conocimientos generales sobre las propiedades de filtración de toda la región.

b) Coeficiente de piezoconductibilidad μ en las mismas calas por medio de las observaciones del régimen "independiente" de las aguas subterráneas, es decir, cuando falta la infiltración, lo que también caracteriza la región estudiada en líneas generales. Así pues, poniendo los valores numéricos en la fórmula (23) tenemos:

$$\mu = \frac{41.4 \times 32.5}{0.1 \times 10^6} = 0.13$$

A continuación en la tabla citamos los valores del coeficiente de entrega de agua μ , obtenidos según los datos de aforos de ensayo y con ayuda del método propuesto:

NUM. DE LA CALA	SEGUN LOS DATOS DE AFORO CON SATELITES	SEGUN EL METODO PROPUESTO
4	0.11	0.13

La comparación nos muestra la coincidencia bastante buena de los resultados a pesar de que los cálculos por el nuevo método no presentan dificultad alguna.

De esa manera, los trabajos de exploración geológica realizados en la región situada más al Nordeste de la ciudad de Victoria de las Tunas, en la provincia de Oriente, nos permitieron por primera vez hacer la estimación pronóstica de las reservas naturales de las aguas subterráneas del manto acuífero del Mioceno Medio.

Las reservas naturales de aguas subterráneas se evalúan en una cantidad de 232500 m³/día mientras que, los gastos de explotación para el 1º de enero de 1968, son iguales a 34500 m³/día. Por eso estimamos la región dada como la más perspectiva para la economía nacional en el sentido del aprovechamiento de las aguas subterráneas en la zona estudiada.

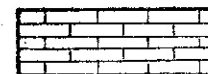
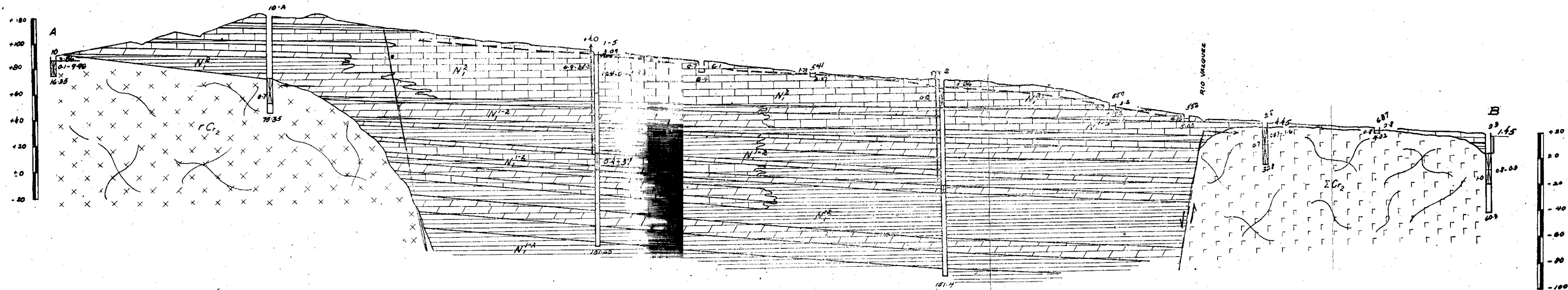
También fueron obtenidos algunos resultados prácticos, con respecto a la metódica de la exploración de las aguas subterráneas y a la determinación de los parámetros hidrogeológicos. La experiencia acumulada en los cálculos hidrogeológicos ayudará mucho a los hidrogeólogos, que hacen algunos estudios hidrogeológicos en condiciones semejantes y también permitirá efectuar la exploración de las aguas subterráneas en plazos más breves con gastos materiales mínimos, pero con calidad buena.

BIBLIOGRAFIA

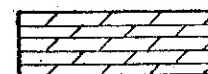
- 1) ALTOVSKI, M. E. *Guía del hidrogeólogo*, Edit. "Gosgeolteizdat", Moscú, 1962.
- 2) ALEKIN, G. A. *Hidroquímica General*, Edit. "Hidrometeoizdat", Moscú, 1953.
- 3) BINDEMAN, N. N. *Estimación de las reservas de explotación de las aguas subterráneas*, Edit. "Gosgeolteizdat", Moscú, 1963.
- 4) BABUSHKIN, V. D. *Indicaciones sobre la determinación del coeficiente de filtración durante la realización de los aforos de ensayo*. Obras del Instituto "Vodgeo", Moscú, 1950.
- 5) VERIGUIN, N. N. *Informe sobre el movimiento inestable de las aguas freáticas*. Academia de las Ciencias de la URSS, tomo 79, No. 4. Moscú, 1951.
- 6) GUIRINSKI, N. K. *Determinación del coeficiente de filtración*. Edit. "Gosgeolteizdat", Moscú, 1960.
- 7) EGOROV, S. V.; LUEGE J. R. *Hidrogeología de Cuba*. Instituto Nacional de Recursos Minerales y el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Habana, 1967.
- 8) KUZMIN, G. G.; BORODIN, A. P. *Informe sobre la exploración del yacimiento de las aguas subterráneas para el abastecimiento de agua de la ciudad Victoria de las Tunas en la provincia de Oriente*. INRH Holguín, 1967.
- 9) PLOTNIKOV, N. A. *Estimación de las reservas de las aguas subterráneas*. Edit. "Gosgeolteizdat", Moscú, 1959.
- 10) SEMIONOV, S. M. *Determinación de los parámetros hidrogeológicos según los datos de observación del régimen independiente de las aguas subterráneas*. Revista: "Exploración y protección de los subterráneos". Moscú, 1967.
- 11) SKABALLANOVICH, J. A. *Cálculos hidrogeológicos de la dinámica de las aguas subterráneas*. Edit. "Gosgeolteizdat", Moscú, 1960.
- 12) SKABALLANOVICH, J. A. *Metódica de los aforos de ensayo*. Edit. "Gosgeolteizdat", Moscú, 1960.

NOTA: Todos en idioma ruso, con excepción de 7 y 8.

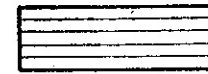
PERFIL HIDROGEOLOGICO POR LA LINEA A-B



Calizas



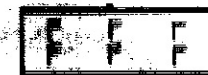
Margas



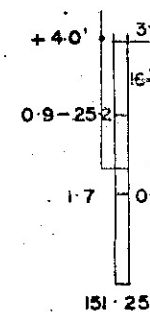
Arcillas



Granitos, Diorita, Granodiorita



Gabros, Diabasos, Serpentinis



Cala o Pozo. Cifra arriba- número, abajo profundidad total en m. El corresponde a la composición química del agua en el intervalo probado. La flecha corresponde a la carga de las aguas subterráneas. La cifra allado de la flecha - Profundidades de los niveles del agua o exceso de la carga sobre la boca de la cala cifras a la derecha, la primera - Gasto en l/seg, la segunda - descenso en m. a la izquierda, la primera - residuo seco gl la segunda - temperatura del agua en °C

horizontal 1 : 50,000
vertical 1 : 2,000

PLANO HIDROGEOLOGICO

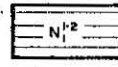
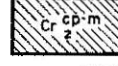
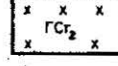
CUENCA LA CANA
Oriente.

Redactado por G. Kuzmin y N. Lapshin


Escala 1:50000 REDUCIDA

0 5 10 15 20 25 30 km




I-Distribución de los horizontes y complejos freáticos

-  COMPLEJO FREÁTICO DEL MIOCENO MEDIO CALIZAS AGRIETADAS CAVERNOSAS
-  COMPLEJO FREÁTICO DE LOS SEDIMENTOS DEL MIOCENO INFERIOR Y MEDIO. INTERCALACIONES DE CALIZAS Y MARGAS EN LAS ARCILLAS
-  COMPLEJO FREÁTICO DE LOS SEDIMENTOS CAMPANIA NO-MASTRICHTIANO DEL CRETACICO SUPERIOR CALIZAS CRISTALINAS, GRAVELITAS
-  COMPLEJO FREÁTICO DE LAS ROCAS ERUPTIVAS ACIDAS DEL CRETACICO SUPERIOR. GRANITOS, DIORITAS, GRANODIORITAS
-  COMPLEJO FREÁTICO DE LAS ROCAS IGNEAS BASICAS E ULTRABASICAS DEL CRETACICO SUPERIOR
-  COMPLEJO FREÁTICO LAS ROCAS ERUPTIVAS SEDIMENTOS DEL CRETACICO INFERIOR-SUPERIOR ARENISCAS CALIZAS, PORFIRITICAS, AGRIETICAS




II- Fuente de Agua

-  CALA Y POZO. CUPRAS: ARRIBA-NUMERO E INDICE DE LA EDAD DE LA ROCA, A LA IZQUIERDA NUMERADOR -GASTO L/SEG, DENOMINADOR DESCENSO EN M. A LA DERECHA NUMERADOR PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTANLIZADO DEL AGUA EN M. DENOMINADOR-RESIDUO SECO EN g/L

III- Composición Química

-  AGUA CON PREDOMINANCIA DEL ANION HIDROCARBONATADO
-  AGUAS CON PREDOMINANCIA DEL ANION SULFATO
-  AGUAS CON PREDOMINANCIA DEL ANION CLORURO

IV- Otras Signos

-  RIOS Y ARROYOS
-  CONTACTO GEOLOGICO
-  PERFIL HIDROGEOLOGICO

