

SOBRE LA FORMACION DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA CUENCA PARADAS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA

RESUMEN

Para el abastecimiento de agua potable a cuenta de la explotación de las aguas subterráneas se hace necesario un estudio hidrogeológico profundo que abarca no sólo lo referente a reservas y recursos, sino también a los cambios que pueden producirse en su composición química.

En el presente artículo se presta atención especial a lo relacionado con la formación de la composición química de las aguas subterráneas en la cuenca del río Paradas en la ciudad de Santiago de Cuba. Se recomiendan además, algunos esquemas para la explotación de las aguas subterráneas que pueden ser utilizados tanto en esta área como en cualquier otra región costera del país para dar solución al abastecimiento de aguas dulces.

У.Д.К. 556.31: 543.3:628.1(729.1

**О ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД БАССЕЙНА ПАРА
ДАС В ГОРОДЕ САНТЬЯГО ДЕ КУБА**

Резюме

Для питьевого водоснабжения за счет эксплуатации подземных вод необходимо проведение углубленных гидрогеологических исследований.

ний которые касаются не только запасов и ресурсов подземных вод но и изменений которые могут произойти в их химическом составе. В настоящей статье уделяется особое внимание вопросам, связанным с формированием химического состава подземных вод бассейна реки Парадас в городе Сантьяго де Куба. Кроме того, рекомендуются некоторые схемы эксплуатации подземных вод, которые могут быть использованы как в этой зоне, так и в любом другом прибрежном районе страны для решения задачи снабжения пресной водой.

SOBRE LA FORMACION DE LA COMPOSICION QUIMICA
DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA CUENCA PARADAS
EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA

Ing. V. V. Antonov

Candidato a Doctor, Docente de la Cátedra de Hidrogeología
Instituto de Minas de Leningrado

Ing. Rafael Guardado Lacaba

Asistente del Departamento de Ciencias Geológicas
Aplicadas del ISMMMOA

La creciente necesidad de aguas subterráneas potables para la ciudad de Santiago de Cuba hace que las mismas tengan gran importancia, condición necesaria para la realización de investigaciones hidrogeológicas especiales en el territorio en cuestión. Por esta razón la valoración hidroquímica y los cambios que se producen en las aguas subterráneas debido a la influencia del bombeo cobran cada día mayor importancia, pero lamentablemente esto es poco estudiado. Al mismo tiempo es necesario pensar de forma clara y precisa en un pronóstico adecuado que tenga como resultado el incremento de la extracción de las aguas subterráneas, tomando en consideración el conocimiento de los aspectos fundamentales de la composición química de estas aguas.

En el presente artículo se presta una atención especial a las cuestiones relacionadas con el análisis de la formación de la composición química de las aguas subterráneas de la cuenca del río Paradas, región donde se concentran diversos objetivos industriales y productivos de la ciudad de Santiago de Cuba. La principal importancia de este estudio específico de las particularidades hidroquímicas del primer horizonte acuífero está en su coincidencia con los depósitos cuaternarios. En este artículo se recomien-

dan además algunos esquemas útiles para la toma de las aguas subterráneas con el objetivo de abasto.

La región descrita se encuentra al este de la bahía de Santiago de Cuba y representa una potente depresión donde se acumulan sedimentos cuaternarios los cuales poseen una génesis marino-continental. En la parte superior del perfil geológico (según la columna estratigráfica confeccionada para la ciudad de Santiago de Cuba por R. Guardado) yacen los depósitos terrígenos del Cuaternario con una potencia de 30-80 m, representados por gravas, arenas y arcillas. Estas rocas descansan sobre depósitos carbonatados y terrígeno-carbonatados, representados por las rocas órgano-detriticas, también de edad cuaternaria, con elevada cavernosidad, que han sido denominadas Fm. Ciudadmar. La potencia de este estrato alcanza los 80 m y como promedio 50-60 m .

Las rocas de edad cuaternaria yacen sobre las formaciones del Neógeno, que se distribuyen en la región dando lugar a la Fm. La Cruz. Los sedimentos de esta formación están representados por un conglomerado polimictico de areniscas arcillosas, calizas margosas y margas. La potencia total de los depósitos de esta formación alcanza aproximadamente los 90 m .

Los estratos carbonatados cuaternarios y los sedimentos de la Fm. La Cruz no cubren totalmente el valle del río Paradas. Por lo general las rocas terrígenas cuaternarias yacen directamente sobre las formaciones geológicas más antiguas de la región.

Las rocas más antiguas de la región se ponen de manifiesto en los sedimentos paleogénicos de la Fm. El Cobre. Esta formación tiene una potencia mayor de 300 m y está formada por rocas vulcanógenas sedimentarias: tobas, tobas arenosas, tobas conglomeráticas y otras.

Las rocas de esta formación se enmarcan en el valle del río Paradas, apareciendo sus afloramientos en el sur, este y norte del territorio descrito.

En relación con la hidrogeología del territorio podemos dividir la misma en tres tipos fundamentales de complejos acuíferos, los cuales guardan una estrecha correspondencia con las rocas cuaternarias del Neógeno y del Paleógeno. Para el horizonte acuífero que coincide con los sedimentos terrígenos cuaternarios, se puede decir que presentan una filtración heterogénea muy significativa, tanto en el plano como en el perfil.

En la mayoría de los casos las aguas subterráneas son aguas sin presión; al mismo tiempo los niveles se encuentran frecuentemente cerca de la superficie, a una profundidad del orden de 1 m, donde las aguas subterráneas afloran en la superficie. La zona natural de descarga del horizonte acuífero es el río Paradas y la zona contigua que forman los límites de las aguas dulces y las del mar.

Las condiciones hidroquímicas de las capas superiores de las zonas cuaternarias se diferencian significativamente debido a su complejidad. Esta complejidad está condicionada a las particularidades genéticas de las aguas subterráneas, a su cercanía de las aguas marinas y también debido a las condiciones de explotación de las aguas subterráneas.

Para el estudio de las variaciones de la composición química de las aguas subterráneas en el territorio, fue construida una red de pozos de observación (Figura 1), en la que los pozos principales son el no. 8, el no. 174 y el no. 15.

El pozo no. 8 es el más alejado de la orilla del mar (alrededor de 3,5 km), se encuentra al oeste del territorio de estudio, a una distancia aproximada de 1 km del río Paradas. El pozo tiene una profundidad de 32 m . Su

perfil geológico puede ser representado por tres estratos: en la parte superior hasta una profundidad aproximada de 7 m yacen suelos arcillosos; después hasta una profundidad de 12 m se encuentran arenas con grava, material gravoso y arcilla arenosa; en la parte inferior del perfil aparece una arcilla densa. Las observaciones de la composición química de las aguas subterráneas en el pozo número 8 comenzaron a partir del año 1975; las muestras se tomaron con suficiente regularidad y su selección se realizó por intervalos, lo que permitió representar con claridad los cambios de la composición del agua con la profundidad. En particular, por los datos del pozo se aprecia un considerable incremento de la mineralización total con la profundidad (Figura 2) de magnitudes del orden de 1-2,5 g/L hasta 15-16 g/L. En la parte superior del horizonte acuífero las aguas subterráneas son cloruradas-magnesianas (como se muestra en la Tabla 1, en los análisis 2 y 6), cloruradas-cálcicas-magnesianas (análisis 7) o cloruradas-cálcicas (análisis 1). En las zonas más profundas la composición química de las aguas subterráneas es más homogénea; aquí, como regla, las aguas son cloruradas-cálcicas (análisis 3, 4, 5, 8, 9) manifestándose el predominio del ion cloro (hasta 95,7 % equivalente). Para este contenido prácticamente todos los microcomponentes aumentan regularmente con la profundidad, con exclusión del ion hidrocarbonato, cuyo contenido, por lo general, disminuye con la profundidad.

El pozo no. 174 se encuentra en la margen izquierda del río Paradas a una distancia del orden de 100 m del nivel de las aguas. El pozo fue realizado en los sedimentos terrígenos del Cuaternario hasta una profundidad de 38 m

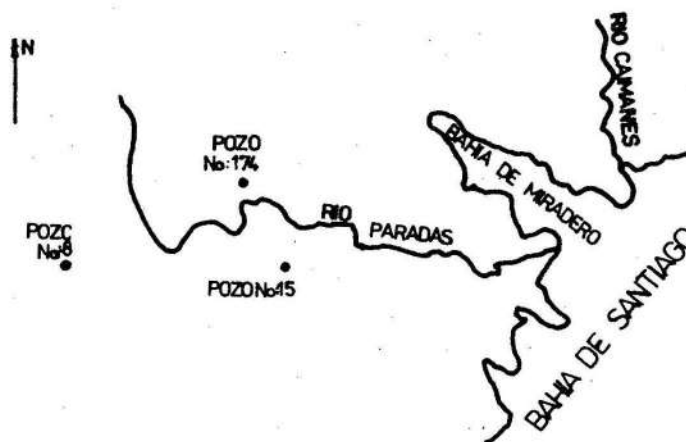


Fig. 1. Esquema de la ubicación de los pozos en la cuenca Paradas, ciudad de Santiago de Cuba.

El perfil geológico según el esquema del pozo puede ser representado de la siguiente forma: en las partes superiores hasta una profundidad del orden de 4 m yacen suelos arcillosos; desde 4 m hasta la profundidad del orden de 31 m yacen arenas de granos medios hasta gruesos, se encuentran estratos independientes de una potencia de 2 m de sedimentos gravosos; en la parte inferior del perfil geológico aparece la arcilla plástica. También como en el caso anterior, para el pozo 174 se observa un incremento de la mineralización de las aguas subterráneas con la profundidad (Figura 3). Por esto en las partes superiores la mineralización por lo general no sobrepasa 1 g/L, y a la profundidad de 22-27 m la mineralización aumenta hasta 5-6 g/L.

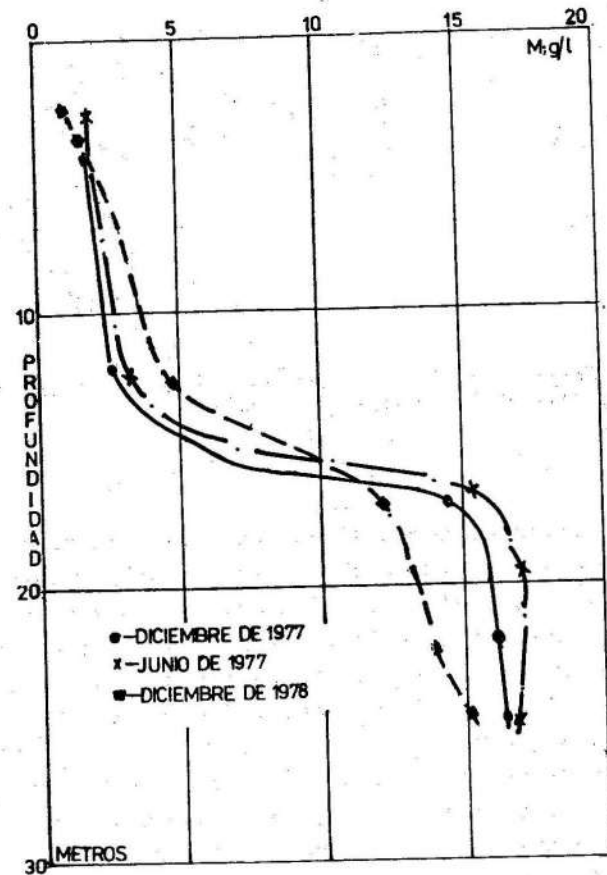


Fig. 2. Variación de la mineralización de las aguas subterráneas en el pozo no. 8.

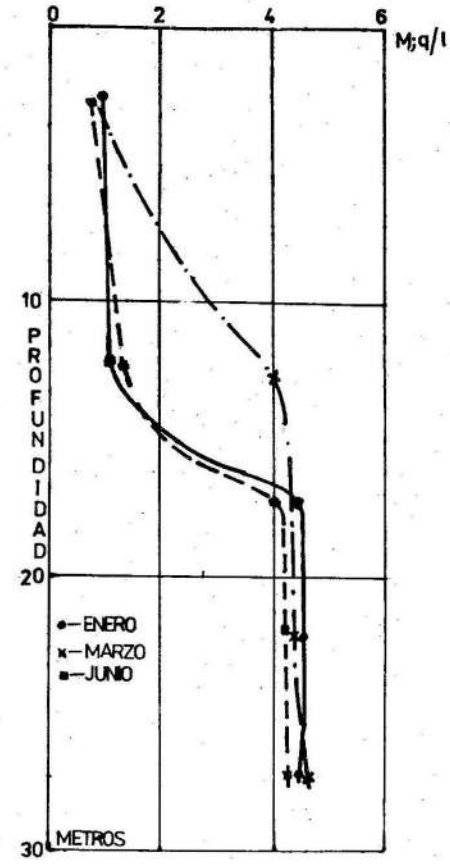


Fig. 3. Valoración de la mineralización de las aguas subterráneas en el pozo no. 174 (datos del año 1977).

Es necesario señalar que la variación de la mineralización total de las aguas subterráneas está en dependencia de la estación del año. Conjuntamente con la mineralización, con la profundidad, varía también el tipo de agua subterránea. Así en las partes superiores del perfil es muy frecuente el predominio de las aguas sulfatadas cálcicas (como se ve en el análisis 10 de la Tabla 1). Al mismo tiempo en las zonas más profundas aparecen aguas cloruradas cálcicas (análisis 11, 12 y 13) con un alto contenido del ion cloro.

Analizando los resultados de las observaciones hidroquímicas de los pozos no. 8 y no. 174 se puede señalar que las aguas subterráneas que yacen a profundidades mayores de 15-17 m, por su composición química se diferencian de las aguas oceánicas. En las aguas subterráneas descritas predominan el calcio y el magnesio que no son característicos de las aguas marinas. Sin embargo, los datos de las aguas nos conducen indudablemente hacia una génesis marina, lo que particularmente se ve claro en relación con la elevación del contenido de cloro.

Según nuestro criterio las aguas subterráneas de las zonas profundas de los depósitos terrígenos cuaternarios son aguas que están sometidas a una metamorfosis (retransformación) de la génesis de sedimentación. En otras palabras, son aguas marinas enterradas, que se encontraban en el horizonte acuífero durante el proceso de sedimentación del estrato terrígeno superior y que posteriormente sufrieron el metamorfismo.

El cambio de estas aguas marinas típicas ocurrió, ante todo, por la dilución a cuenta de la infiltración de las precipitaciones atmosféricas y por las aguas dulces del flujo subterráneo natural que descargan en el río Paradas y en la bahía de Santiago de Cuba. La mineralización de las aguas de sedimentación iniciales disminuyó al mismo

tiempo, en dependencia de las propiedades de filtración de las rocas, proceso que ocurrió a distinta velocidad. En las rocas con buena permeabilidad, la disminución de la mineralización debió ocurrir muy intensamente y en las zonas donde preferentemente se desarrollaron las rocas arcillosas este proceso pudo realizarse a velocidades muy bajas (ocurriendo una conservación de las aguas de sedimentación). Los datos de la mineralización total descritos con anterioridad de los pozos no. 8 y no. 174 confirman esta conclusión.

Además del proceso de disolución de las aguas metamórficas ocurrieron cambios de cationes en las aguas subterráneas; ocurrió un intercambio de cationes en el sistema "agua subterránea-roca", como resultado del cual el sodio de las aguas subterráneas fue sustituido por el calcio y, en algunos casos, por el magnesio de las rocas.

La presencia de una alta mineralización en las aguas subterráneas sedimentarias en las partes más bajas del perfil de los depósitos cuaternarios, es la principal causa del brusco aumento de la mineralización durante el bombeo del agua subterránea en los pozos de explotación, teniendo lugar así el ascenso y la introducción de la cúpula de las aguas saladas en el pozo. Esto puede tener lugar sin la influencia considerable de las aguas marinas actuales de la bahía de Santiago de Cuba.

Un claro ejemplo del ascenso de las aguas saladas en las partes inferiores está en los cambios en la composición química de las aguas subterráneas del pozo no. 15. Al principio en el pozo se realizó un muestreo sistemático de las aguas subterráneas. Desde enero de 1975 se observó un incremento gradual de la mineralización de las aguas al ser bombeadas, hasta que en enero de 1977 la mineralización aumentó bruscamente, alcanzando un valor del orden de los 12,8 g/L (análisis 14 y 15 de la tabla), por lo que

hubo necesidad de interrumpir el bombeo del pozo. El pozo número 15 fue empleado como pozo de observación, permitiendo esto observar el proceso de descenso del cono de aguas saladas.

Las observaciones del régimen hidroquímico mostraron que el retorno a la composición química de las aguas subterráneas hacia el punto de partida ocurrió bastante rápido, prácticamente en un año la mineralización total disminuyó hasta la magnitud característica del año 1975. A través de cuatro años la mineralización descendió aún más bajo (análisis 16, 17 y 18 de la tabla). La composición catiónica de las aguas subterráneas prácticamente regresó hacia el punto de partida; sin embargo, la composición aniónica tuvo algunos cambios. Por ejemplo, en la parte superior del horizonte acuífero hubo dominio de iones hidrogenocarbonatos y en la parte más profunda de los iones, sulfatos.

La peligrosidad de la succión de las aguas saladas inferiores disminuye notablemente en el caso de que los pozos de explotación se encuentren cerca de los límites de la zona de alimentación de las aguas dulces (por ejemplo cerca del río).

Luego, si la explotación del grupo de pozos de abasto a la refinería se hubiese dispuesto a una distancia de 50-100 m del río Paradas, no hubiera ocurrido un considerable aumento de la mineralización por el bombeo del agua. Comenzando desde 1975, hasta la fecha, la mineralización según el bombeo tiene un valor promedio de 0,8 g/L.

De esta manera el análisis de los materiales reales permite hacer una división de los factores fundamentales que determinan las condiciones de formación de la composición química de las aguas en la cuenca de Paradas.

Anto todo hay que destacar el proceso de infiltración de las aguas de lluvia en los horizontes subterráneos; después, el gran rol de los flujos subterráneos naturales que descargan en el río Paradas y en la bahía de Santiago de Cuba. Estos factores contribuyen al aporte de las aguas dulces.

Uno de los factores más importantes de la formación química de las aguas subterráneas se manifiesta por la presencia de aguas fósiles con una alta mineralización. De nuevo se destaca el papel del intercambio de los cationes, que conducen hacia la sustitución de los iones sodio por el calcio magnesio. A mantener la alta mineralización de las aguas fósiles puede contribuir también su relación con las aguas marinas actuales.

Finalmente una influencia significativa en la formación de la composición química resulta de la explotación de las aguas subterráneas. Bajo la influencia de un bombeo intensivo puede ocurrir que asciendan las aguas de la profundidad (que posean una gran mineralización) y por un fuerte incremento del bombeo de las aguas subterráneas puede ocurrir el proceso de intrusión de las aguas del mar actual.

Todo lo planteado puede ser considerado para las condiciones de la problemática del abastecimiento de las aguas para la ciudad de Santiago de Cuba.

Se estima que la solución del problema de abastecimiento de agua potable a cuenta de las aguas subterráneas es posible por dos vías:

1. Creando pozos de bombeo de tipo de infiltración y cuando se exploten pozos se haga sobre la base de la atracción de las aguas superficiales.

2. Explotando los pozos de forma tal que la suma de gastos no sea superior a los recursos de las aguas naturales subterráneas. La construcción de semejantes pozos de bombeo en la zona de estudio debe ser de forma tal que las aguas subterráneas dulces y mineralizadas queden relativamente separadas unas de las otras por las rocas hidrófugas.

La comprensión del problema planteado representa un interés singular no sólo para la cuenca Paradas de la ciudad de Santiago de Cuba, sino para todas las regiones costeras de Cuba.

Es preciso que en el futuro se profundice en el análisis de las condiciones de la formación de la composición química de los suelos, así como también de las aguas subterráneas que yacen más profundas en la cuenca del río Paradas.

TABLA 1. Composición química de las aguas subterráneas en el valle del río Paradas.
Mg/L/ % equivalente.

No.	Fecha	Prof. de las muestras	CA ⁺²	Mg ⁺²	NA ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HC0 ₃ ⁻	Residuo seco	pH
POZO 8											
1	18-2-78	3,65	$\frac{458}{47,9}$	$\frac{229}{39,4}$	$\frac{138}{12,8}$	$\frac{2}{0,1}$	$\frac{1410}{82,8}$	$\frac{322}{14,0}$	$\frac{96}{14,0}$	2 451	8,2
2	" "	12,64	$\frac{692}{40,5}$	$\frac{497}{48,0}$	$\frac{222}{11,3}$	$\frac{3}{0,1}$	$\frac{2549}{87,2}$	$\frac{384}{9,7}$	$\frac{155}{3,0}$	4 467	7,7
3	" "	17,0	$\frac{2826}{57,3}$	$\frac{1120}{32,5}$	$\frac{294}{6,6}$	$\frac{5}{0,0}$	$\frac{8198}{94,3}$	$\frac{672}{5,5}$	$\frac{25}{9,2}$	13 140	5,6
4	" "	22,0	$\frac{3685}{60,9}$	$\frac{1192}{34,7}$	$\frac{460}{7,1}$	$\frac{5}{0,0}$	$\frac{10156}{93,8}$	$\frac{802}{6,0}$	$\frac{33}{0,2}$	16 333	5,8
5	" "	25,0	$\frac{3293}{58,2}$	$\frac{1192}{34,7}$	$\frac{460}{7,1}$	$\frac{5}{0,0}$	$\frac{9292}{93,8}$	$\frac{802}{6,0}$	$\frac{45}{0,2}$	15 691	5,9
6	17-10-78	3,38	$\frac{103}{29,9}$	$\frac{100}{47,9}$	$\frac{87}{22,0}$	$\frac{1}{0,1}$	$\frac{267}{43,0}$	$\frac{273}{32,5}$	$\frac{261}{24,5}$	1 095	7,7
7	" "	12,64	$\frac{197}{40,5}$	$\frac{118}{40,0}$	$\frac{108}{19,4}$	$\frac{2}{0,2}$	$\frac{543}{62,5}$	$\frac{276}{23,5}$	$\frac{209}{14,0}$	1 454	7,4
8	" "	17,00	$\frac{2537}{54,3}$	$\frac{1010}{36,0}$	$\frac{523}{9,8}$	$\frac{4}{0,0}$	$\frac{7859}{93,9}$	$\frac{547}{4,8}$	$\frac{180}{1,2}$	12 507	5,6
9	" "	22,00	$\frac{2945}{55,3}$	$\frac{1109}{34,3}$	$\frac{635}{10,4}$	$\frac{4}{0,0}$	$\frac{8942}{95,7}$	$\frac{518}{4,1}$	$\frac{34}{0,2}$	14 187	6,2

TABLA 1. Composición química de las aguas subterráneas en el valle del río Paradas.
 Mg/L/ % equivalente. (Continuación.)

No.	Fecha	Prof. de las muestras	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Residuo seco	pH
POZO 174											
10	25-1-82	2,67	143 52,8	46 28,0	59 19,0	1 0,2	89 18,2	346 52,3	248 29,5	933	7,4
11	" "	12,64	567 50,8	218 32,2	216 16,9	2 0,1	1857 93,1	120 4,4	86 2,5	3 079	7,1
12	" "	17,00	826 56,8	174 19,1	391 23,4	3 0,1	2531 96,3	82 2,3	65 1,4	4 076	7,1
13	" "	22,00	772 53,2	207 23,5	385 23,1	3 0,1	2481 96,4	74 2,1	65 1,5	3 999	7,2
POZO 15											
14	6-2-75	-	218 48,8	92 34,0	87 17,0	2 0,2	364 44,2	310 27,8	395 27,9	1 431	-
15	25-1-77	-	1610 35,0	943 33,8	1639 31,1	0 0,1	6994 86,2	1272 11,6	206 2,2	12 791	6,7
16	25-11-80	1,90	89 49,0	35 31,8	39 18,7	2 0,6	56 18,0	96 22,7	318 59,3	650	7,8
17	" "	12,64	147 46,8	56 29,4	85 23,6	2 0,3	117 21,5	298 40,4	356 38,0	1 064	7,8
18	" "	17,00	145 45,6	55 28,5	94 25,8	1 0,2	121 21,6	322 42,4	347 36,0	1 114	7,9

PRINCIPIOS DE REGIONALIZACION INGENIERO-GEOLÓGICA PARA LA CONSTRUCCION Y EL PLANEAMIENTO DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA

RESUMEN

En el trabajo se da solución a algunos aspectos relacionados con la ingeniería geológica especial, en lo referente a la elaboración de la regionalización del medio geológico.

En particular esto se realiza para la ciudad de Santiago de Cuba sobre la base de los factores regionales y zonales que inciden en las condiciones ingeniero-geológicas de esta ciudad.

У.Д.К. 551.24 (729.16): 624.131.32

ПРИНЦИПЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРОДА САНТЯГО ДЕ КУБА

Резюме

В статье предлагается решение некоторых аспектов связанных со специальной инженерной геологией, при разработке районирования геологической среды.

В частности, это выполняется для города Сантьяго де Куба на основе региональных и зональных факторов, которые влияют на инженерно-геологические условия этого города.