

## SULPHUR SPRING – SYRYJSKI EWENEMENT

UKD 553.74(569.1)

Największe i zarazem najbardziej zagadkowe syryjskie źródło znajduje się w rejonie miasta Ras El Ein, należącego do północno-wschodniego okręgu administracyjnego El Hasakeh. Jest to zarazem jedno z najmłodszych źródeł, jakie powstało w Syrii. Sama nazwa – Sulphur Spring jest dziwna i wymaga wyjaśnienia. Skąd się bowiem bierze angielska nazwa źródła w kraju, który od I wojny światowej do 1941 r. był terytorium mandotowym Francji, i w którym wpływy francuskie przetrwały aż do uzyskania przez Syrię pełnej niepodległości, czyli do 1946 r.? Właśnie w tym zbyt długim i uciążliwym dla Syrii utrzymywaniu kurateli Paryża należy dopatrywać się odejścia tego kraju od języka francuskiego, mimo że wielu starszych Syryjczyków do dzisiaj biegle włada tym językiem. Przewrotność losu sprawiła przy tym, że wiele zasłużonych dla geologii Syrii francuskich badaczy jest cytowanych w tym kraju bardzo rzadko, natomiast syryjskie źródło, które ma szansę stać się fenomenem światowym nosi angielską nazwę.

Źródło Siarkowe – tak nazywa się ono po polsku – właściwie powinno się nazywać „siarkowodorowym”, bowiem wyróżniającą się jego cechą jest zawartość w wodzie  $H_2S$ , wynosząca  $3,4 \text{ mg/dcm}^3$ . Miejscowa ludność nazywa to źródło Ein Kibridi, co dokładnie znaczy Źródło Siarkowe, ale w odróżnieniu od nazw innych źródeł ta nazwa nie figuruje jeszcze ani na mapach, ani w oficjalnych dokumentach, gdzie stosowana jest wyłącznie Sulphur Spring.

### GEOLOGICZNE I HYDROGEOLOGICZNE TŁO WYSTĘPOWANIA ŹRÓDŁA SIARKOWEGO

Budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne szerszego rejonu Ras El Ein, w tym również okolic Źródła

Siarkowego, omówiono w artykule poświęconym grupie źródeł znajdujących się na przedmieściach wymienionego miasta\*. Przypomnijmy zatem w skrócie tło, bez którego niemożliwe jest przedstawienie problematyki Źródła Siarkowego.

Omawiany teren znajduje się w obrębie wielkiej struktury antyklinalnej, zwanej wałem północnym, który od południa sąsiaduje z zapadliskiem mezopotamskim. Obie wymienione megastruktury graniczą ze sobą wzdłuż nieregularnej linii wybrzuszącej się ku południowi w miejscach lokalnych wypiętrzeń wału. Wypiętrzenie Ras El Ein jest jednym z południowych odgałęzień wału północnego. Cały omawiany teren jest przykryty plejstocenijskimi jasnobrązowymi zbitymi glinami lessopodobnymi. Na kulminacji kopuły spod glin lessopodobnych wyłaniają się wychodnie szaro-białych kawernistych wapieni helweckich (ryc. 1). Są to najstarsze skały występujące na powierzchni terenu w jądrze wału północnego, noszące lokalną nazwę „formacja Jeribe” (czyt. Dżeribe).

Wapień Jeribe charakteryzują się dużą kawernistością (6, 7)\*\*. Połączenie kawern powoduje ogromną wodoprzepuszczalność; z licznych studni odwierconych w wapieniach Jeribe pompuje się wodę z wydajnością  $3-5 \text{ m}^3/\text{min}$ , przy depresjach zaledwie od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów. Pod wapieniami Jeribe leżą kremowe zbite wapień eoceńskie z numulitami. Na wapieniach Jeribe dyskordantnie leżą tortońskie osady morza wysychającego, do których należą dwie serie formacji dolnego Farsu: gipsowo-łupkowa i ilasto-marglista (ryc. 1).

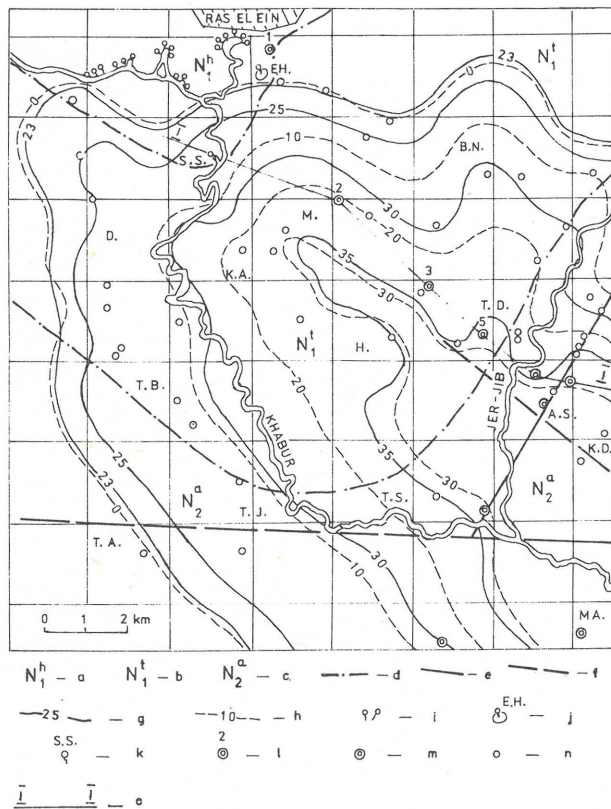
\* Przegląd Geologiczny, 1989 nr 3.

\*\* Numeracja dotyczy literatury cytowanej w artykule „Osobliwości źródeł Ras El Ein” z Przeglądu Geologicznego, 1989 nr 3.



W rejonie Ras El Ein występuje jeden poziom wód podziemnych. Woda wypływa tu z ok. 20 źródeł usytuowanych na kulminacji kopuły Ras El Ein i dających początek rzece Khabur. Wodonośny poziom helweckich wapieni Jeribe w przeważającej części omawianego rejonu jest horyzontem ciśnieniowym, tylko w bezpośrednim sąsiedztwie miasta w jego obrębie występuje swobodne zwierciadło wody, znajdujące się blisko stropu wapieni. Spągową warstwę nierozpuszczalną dla poziomu helweckiego tworzą zbite wapienie eoceńskie, natomiast serią napinającą są w Ras El Ein – plejstocenijskie gliny lessopodobne, a na SE – ility i margle dolnego Farsu.

Spadek zwierciadła swobodnego, a dalej poziomu piezometrycznego, w horyzoncie helweckim następuje z NW na SE i S, czyli z obszaru Turcji w kierunku rzeki Jer-Jib i ku zapadlisku mezopotamskiemu. Jest to spadek mały, zanikający w zbiornikowych warunkach zapadlis-



Ryc. 1. Mapa geologiczna odkryta (bez utworów czwartorzędowych) rejonu Ras El Ein, z izoliniami zawartości siarkowodoru w wodzie ( $\text{mg}/\text{dcm}^3$ ) i temp. wody ( $^\circ\text{C}$ ) poziomu helweckiego (wg autora)

a – szaro-białe kawerniste wapienie – helwet, form. Jeribe, b – ility z przewarstwieniami margli – torton, górna część form. dolny Fars, c – ility z przewarstwieniami drobnoziarnistych piaskowców – dolny pliocen, d – granice między form. geologicznymi, e – uskoki stwierdzone wierceniami, f – uskoki lub strefy spękań wapieni helweckich stwierdzone badaniami geofizycznymi, g – izolinie temp. wody ( $^\circ\text{C}$ ) w poziomie helweckim, h – izolinie zawartości siarkowodoru ( $\text{mg}/\text{dcm}^3$ ) w wodzie poziomu helweckiego, i – źródła z wodą słodką z rejonu Ras El Ein, j – źródło Ein Husan z lokalnym jeziorkiem, k – Źródło Siarkowe, l – otwory wiertnicze z lat 1969–1970, m – otwory wiertnicze z lat 1985–1986, n – wiercone otwory irygacyjne. Osiedla: D. – Duwera, B.N. – Beer Noah, T.B. – Tell Barm, K.A. – Kherbed Azzad, M. – Myszrafa, T.A. – Tell Aseywa, T.J. – Tell Jenadiye, H. – Halabie, T.D. – Tell Dyab, T.S. – Tell Snan, A.S. – As Safah, K.D. – Kherbed Diba, MA. – Managir

ka. W obrębie wodonośnego poziomu helweckiego zachodzi nie tylko zmiana jego charakteru ciśnieniowego, ale również w podobny sposób zmienia się chemizm wody – od czystych wód słodkich typu wodorowęlanowo-wapniowego (ogólna mineralizacja 340–370  $\text{mg}/\text{dcm}^3$ ) z okolic Ras El Ein, do słabych wód mineralnych typu chlorkowo-siarczanowo-sodowego (ok. 2700  $\text{mg}/\text{dcm}^3$ ) z rejonu Kherbed Diba (14 km na SE od Ras El Ein). Pod względem temperatury, w istniejących warunkach klimatu subtropikalnego, wody te reprezentują typy: od uznawanych za chłodne ( $23^\circ\text{C}$ ) z okolic Ras El Ein, do ciepłych ( $36\text{--}40^\circ\text{C}$ ) z rejonu As Safah, a nawet do gorących (powyżej  $40^\circ\text{C}$ ) z rejonów Kherbed Diba i Managir.

## REJON ŹRÓDŁA SIARKOWEGO

Źródło Siarkowe jest wyraźnie oddzielone od innych źródeł z przedmieścia Ras El Ein. Znajduje się ono ok. 3 km na S od miasta. Nie ma tutaj drzew i krzaków tak charakterystycznych dla poprzednich źródeł, nie ma również rozlewisk odpływowych, a otoczenie źródła tworzy płaskie pole uprawne lekko nachylne ku rzece Khabur. W bezpośrednim sąsiedztwie źródła znajduje się droga gruntowa (ryc. 3), którą przeciął odpływ źródłowy i teraz zatacza ona w tym miejscu wydłużoną parabolę. Teren wokół źródła jest płaski i dopiero z odległości kilkunastu metrów można dostrzec krawędź leja źródłowego i odpływu.

Obserwowanie całego źródła jest możliwe dopiero bezpośrednio przy krawędzi, gdzie w pełni można ocenić niecodzienną Zródła Siarkowego (ryc. 2). Krawędź otacza lej o średnicy 25 m. Ma ona 4,5 m wysokości, w jej dolnej części znajduje się lustro wody zbiornika odpływowego. Jest ona zbudowana z plejstocenijskich glin lessopodobnych, które są tak zbite, że w kilku miejscach tworzą pionowe ściany. W dolnej części krawędzi zaznacza się 30-centymetrowej wysokości jaśniejszy próg, wystający na zewnątrz gliny zaledwie na kilka do kilkunastu centymetrów. Są to wapienie Jeribe o wyrównanej powierzchni pod gliną. Woda w zbiorniku źródłowym ma słaby zapach siarkowodoru i różną barwę, zależną od kąta, pod którym się ją obserwuje. Głębokość groty źródłowej od poziomu wody w zbiorniku wynosi 12 m, ale jest miejsce, w którym głębokość przekracza 20 m.

Tuż przy „przepastnej” studni źródłowej znajduje się początek naturalnego kanału, gdzie woda z dużą pręd-

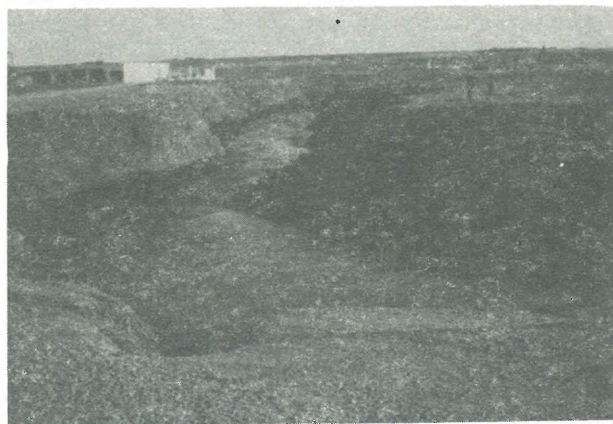


Ryc. 2. Źródło Siarkowe. Widok zbiornika źródłowego z zachodu. Poniżej lessopodobnych glin są widoczne helweckie wapienie (form. Jeribe)



kością odpływa w kierunku wschodnim. Wąwóz kanału został wyerodowany w glinach lessopodobnych, a jego koryto — w wapieniach Jeribe (ryc. 3). Wydaje się dziwne, że dno kanału jest jasne, nie pokryte czarnymi nalotami siarczków, tak jak w kanałach odpływowych z pobliskich studni. Widocznie prędkość wody jest na tyle duża, że produkty utleniania siarkowodoru są usuwane przez wodę. W odróżnieniu od zbiornika źródłowego, w wielu miejscach z boku kanału odpływowego zaznacza się wyraźny próg na stopie wapieni Jeribe, o wysokości 0,2 do 0,5 m nad poziomem wody. Próg ten wysunięty jest kilkadziesiąt cm, czasami ok. 1 m, przed krawędź gliny. Kanał ma szer. 4–5 m i głęb. do 2 m, przy czym jest wyżłobiony w wapieniach Jeribe w kształcie litery V. Długość kanału wynosi 300 m, a różnica poziomów między jego górnym i dolnym odcinkiem (nie licząc wodospadu) — ok. 1,5 m, z tym że woda płynie wolniej przy źródle i znacznie szybciej w dolnym odcinku kanału, a więc jego spadek ulega stopniowemu zwiększeniu.

Kanał kończy się burzliwym wodospadem przy prawym brzegu rzeki Khabur (ryc. 4) wysokości ok. 2 m. Próg wodospadu tworzą wapienie Jeribe i tylko w tym miejscu widać, że w dolinie Khaburu występują jakieś kopalne elementy morfologiczne utworzone w skałach podłoża helweckiego, bowiem gdzie indziej są one przykryte namułami i glinami dwóch tarasów rzecznych: młodszego — wznoszącego się 2,5–3,0 m i starszego (zwanego również równiną powodziową) — położonego 4,5–8,0 m nad średnim poziomem wody w rzece. Zwierciadło wody w zbiorniku źródłowym znajduje się zatem



Ryc. 3. Źródło Siarkowe z kanałem odpływowym. Widok z NW na SE



Ryc. 4. Zakończenie kanału odpływowego — wodospad przy rzece Khabur

3,5 m powyżej średniego poziomu wody w Khaburze i nawet przy podniesieniu się zwierciadła wody w rzece — w czasie pory deszczowej — odpływ wody ze źródła nie jest hamowany przez rzekę.

Przepływ wody w kanale odpływowym ze źródła, zmierzony przez syryjską służbę hydrograficzną, jest dość wyrównany i wynosi ok. 10 m<sup>3</sup>/sek. Tylko w okresach bardzo wzmoczonych pompowań wody ze studni ujmujących wody z poziomu helweckiego, co wiąże się z intensywnymi pracami irygacyjnymi, wydajność Źródła Siarkowego ulega niewielkiemu zmniejszeniu. Zdaniem autora reżim wydajnościowy źródła ustalono na podstawie zbyt krótkiego okresu obserwacji. Szczegółowe długoletnie obserwacje Źródła Siarkowego zapewne będą kontynuowane, gdyż ma ono bardzo duże znaczenie dla systemu irygacyjnego, który obecnie jest budowany na dużych obszarach dorzecza Khaburu. Ilość i prędkość wody płynącej w kanale oraz erozyjny charakter jego ścian i dna sprawiają, że kanał ten jest podobny do potoku lub mniejszej górskiej rzeki.

W 1985 r., tj. w roku rozpoczęcia prac przez polski zespół w Syrii, istniały już wcześniejsze wyniki analiz chemicznych wody ze Źródła Siarkowego, ale syryjscy geolodzy mieli zastrzeżenia do prawidłowości ich wykonania. Ponowne analizy przeprowadził zatem w drugiej połowie tego roku doświadczony polski chemik — inż. J. Wielecki. W tabeli podano otrzymane przez niego wyniki analiz chemicznych wody z wybranych dwóch źródeł z przedmieścia Ras El Ein (źródła Casino Rijad i Ein Banus) i ze Źródła Siarkowego.

Składniki (w mg/dcm <sup>3</sup> )	Nazwa źródła		
	Casino Rijad	Ein Banus	Źródło Siarkowe
pH	6,5	6,5	7,0
Twardość jako CaCO <sub>3</sub>	240,0	370,0	380,0
Mineralizacja ogólna	342,0	417,0	505,0
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	0	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	216,6	271,5	231,9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	44,8	32,5	144,8
Cl <sup>-</sup>	0	0	0
Ca <sup>++</sup>	56,1	60,1	84,2
Mg <sup>++</sup>	24,3	53,5	41,3
Na <sup>+</sup>	0	0	0
K <sup>+</sup>	0	0	0
H <sub>2</sub> S	0	0	3,4

Wszystkie przeanalizowane próbki wody zostały pobrane w dniu 8 X 1985 r. Temperatura wody w dwóch pierwszych źródłach wynosiła 23°C, a w Źródle Siarkowym 26°C. Jak wynika z tabeli, woda ze Źródła Siarkowego reprezentuje typ o składzie chemicznym



bardzo zbliżonym do wody z pozostałych dwóch źródeł, obserwujemy w niej jednak wyższą zawartość siarczanów i obecność małej ilości siarkowodoru.

Omówione Źródło Siarkowe nie jest znane w literaturze. Wiąże się to z dużą odległością terenu, na którym źródło to występuje od uczęszczanych międzynarodowych tras turystycznych, jego młodym wiekiem oraz okolicznością, że nie istniało ono w latach zarówno francuskich, jak i radzieckich prac eksploracyjnych. Pierwszą wzmiankę o istnieniu w rejonie Ras El Ein źródła z zawartością siarkowodoru w wodzie zamieścił R. Strzetelski (22), a pierwsze szersze omówienie Źródła Siarkowego przedstawiono w etapowej dokumentacji z geologicznych prac poszukiwawczych (7).

### ZASKAKUJĄCY POCZĄTEK

Na początku 1960 r. na przedmieściu Ras El Ein na suchej powierzchni gliny pojawiła się mokra plama, w obrębie której ziemia uległa kilkunastocentymetrowemu obniżeniu, a następnie w miejscu tym uformował się mały ciek płynący w kierunku rzeki Khabur. Wypływ wody w tym początkowym okresie nastąpił w pobliżu rzeki. Przedarcie się wody z wodonośnego poziomu helweckiego na powierzchnię terenu nastąpiło w obrębie niskiego tarasu Khaburu, zatem tam gdzie miąższość glin i namulów rzecznych wynosiła zaledwie 1–2 m. Zaznaczyć przy tym należy, że zima 1959/1960 niczym się tutaj od poprzednich nie wyróżniała, a opady atmosferyczne należały do przeciętnych. Zwiększanie się ilości odpływającej wody i cofanie się źródła obserwowano przez kolejne 4 lata, a następnie miejsce źródłowe i ilość wypływającej wody uległy stabilizacji.

Wkrótce po rozpoczęciu przez polski zespół prac w Syrii można było ustalić, że Źródło Siarkowe wypływa z wapieni Jeribe i reprezentuje typ zatopionego źródła krasowego, podobnie jak większość źródeł z przedmieścia Ras El Ein. Jednak inne jego cechy znacznie różniły się od „źródeł na głowie”. Te z przedmieścia reprezentują bowiem typ źródeł rozproszonych, a Źródło Siarkowe ma charakter źródła jednolitego, odznaczającego się: wielką wydajnością, wyższą temperaturą wody i obecnością w niej siarkowodoru, którego nawet śladowych ilości nie zawierają źródła poprzednie. Poziom wody przy wypływach „źródeł na głowie” jest o kilka metrów wyższy niż Źródła Siarkowego.

Pierwsze wykonane w polskim zespole zestawienie materiałów wykazało, że Źródło Siarkowe powstało w szczególnym miejscu, gdzie kończy się, izolująca poziom helwecki, seria ilów i margli dolnego Farsu i gdzie obok tej granicy przepływa rzeka Khabur. W tym miejscu poziom wody w rzece znajduje się poniżej piezometrycznego zwierciadła wody horyzontu helweckiego. Warunki te, wraz z małą miąższością glin nad wapieniami Jeribe, sprzyjały zatem zarówno powstaniu źródła, jak i zwiększaniu się jego wydajności, uzależnionej od wielkości depresji wynikającej z różnicy wysokości między poziomem piezometrycznym wód podziemnych i zwierciadłem wody w rzece. Wystarczy bowiem ok. 2 m depresji, aby przy wyjątkowo dużym współczynniku fluacji kanałów krasowych utworzył się wypływ wody o wydajności 10 m<sup>3</sup>/sek. Ale wyższa od górnych źródeł temperatura Źródła Siarkowego i przede wszystkim zawartość siarkowodoru w wodzie nie znajdowały uzasadnienia w pobliskich zjawiskach.

Nikogo nie może dziwić brak Źródła Siarkowego zarówno na mapie przeglądowej w skali 1:200 000, jak też w tekście objaśniającym do niej (20), bowiem pod koniec lat pięćdziesiątych, kiedy kartografowie radzieccy przeprowadzali prace terenowe w NE Syrii, źródło to jeszcze nie istniało. Jednak wydaje się, że prowadzący w latach 1969–1970 poszukiwania siarki w Syrii I.I. Aleksenko w obszernym sprawozdaniu (1) w ogóle omawianego Źródła Siarkowego nie wymienił. Aby odpowiedzieć na pytanie, co było tego przyczyną, trzeba przede wszystkim podjąć próbę odtworzenia terenowych prac Aleksenki w rejonie Ras El Ein. Zaplanował on i doprowadził do realizacji odwiercenie otworów poszukiwawczych od nr 1 do nr 5 (ryc. 1).

Otwory te pozwoliły uściślić przeglądową mapę geologiczną zarówno w zakresie występowania wapieni Jeribe w kulminacji wypiętrzenia Ras El Ein, jak i ustalić dalszy przebieg tej wapiennej serii, a także rozpoznać charakter i zasięg tortońskiej ewaporatowej serii dolnego Farsu. Ta ostatnia seria była przy tym dla poszukiwań siarki jedyną perspektywiczną formacją, bowiem z wcześniejszych badań (20) było wiadomo, że burdygalska seria ewaporatowa Dhiban ma znacznie mniejszy zasięg niż dolny Fars. We wszystkich wymienionych otworach serie dolnego Farsu przewiercono, nie napotykając śladów siarki. W opisie otworu nie ma również wzmianki o napotkaniu w wodzie nawet śladów siarkowodoru. W 1985 r. było to dla autora ogromnym zaskoczeniem, tym bardziej, że wkrótce w terenie napotkał on – obok zlikwidowanych otworów Aleksenki – studnie wiercone, które w znacznym promieniu rozaczały charakterystyczną woń siarkowodoru.

Przypadek sprawił, że autor natrafił jeszcze jeden objaw występowania wody z siarkowodorem, który istniał w rejonie Ras El Ein do początku lat sześćdziesiątych, a którego Aleksenko najprawdopodobniej nie znał. Przebywając nad jeziorkiem przy źródle Ein Husan autor dowiedział się od miejscowych gospodarzy, że przy południowym brzegu tego jeziorka było kiedyś podwodne źródło, wydzielające woń siarkowodoru, a wokół niego nagromadzały się osady zawierające siarkę. Okoliczni gospodarze kupowali siarkę do odkazania skór owiec, a ci z okolic jeziorka zamiast siarki przemysłowej (uzyskiwanej z oczyszczania ropy naftowej) z powodzeniem używali osadu z jeziorka. Na początku lat sześćdziesiątych źródło z wodą siarkowodorową zniknęło i wtedy ustała lokalna eksploatacja osadu z dna jeziorka.

Wynika z tego, że pierwszy objaw występowania siarkowodoru w wodach podziemnych na południe od Ras El Ein istniał już od pewnego czasu przed powstaniem tego wielkiego źródła i ustał po jego pojawieniu się: Źródło siarkowodorowe w jeziorku Ein Husan wyznaczałoby również maksymalny północny zasięg wody z zawartością siarkowodoru w obrębie poziomu helweckiego. Brak siarkowodoru w wodach innych źródeł z bezpośrednich okolic Ras El Ein jest zrozumiałe, bowiem leżą one wyżej niż wymienione jeziorko i są całkowicie zasilane wodą z wału północnego. Nawet źródło Ein Husan, które zasila jeziorko, nie zawiera H<sub>2</sub>S – ale i ono znajduje się ponad 1 m wyżej niż poziom wody w jeziorku.

W 1985 r. na obszarze między Ras El Ein i rzeką Jer-Jib istniało już wiele wierconych studni nawadniających, przy czym najbardziej interesujące były studnie z rejonu As Safah, z których obfite artezyjskie wypływy



wody już z pewnej odległości dawały o sobie znać zarówno unoszącą się w górę parą wodną (w porze jesienno-zimowej), jak i intensywnym zapachem siarkowodoru, a także czarnymi osadami w kanałach odpływowych. Przeprowadzenie obserwacji hydrogeologicznych w szerszym rejonie wymagało pewnego czasu. Pomiarów terenowe i poboru wód do analiz chemicznych można było dokonać głównie w okresie upalnego lata, gdyż w związku z pracami irygacyjnymi studnie były wtedy masowo włączane do eksploatacji. W czasie ciągłego wypływu wody ze studni istniała bowiem szansa wykonania najbardziej właściwych pomiarów temperatury wody i pobrania próbek o nie zmienionym składzie chemicznym, w tym uniknięcia strat ilości siarkowodoru, który był stabilizowany w próbkach na miejscu ich poboru.

Badania hydrogeologiczne przeprowadzono w kilku etapach, w miarę włączania do eksploatacji studni irygacyjnych, często dokonując ponownych obserwacji sprawdzających. Już pierwsza seria badań wykazała, że zarówno wysoka temperatura, jak i zawartość w wodzie siarkowodoru układają się w kształcie jezora, który ma swoją nasadę w SE rejonach (w zapadlisku mezopotamskim), a zakończenie między Źródłem Siarkowym i źródłami wody słodkiej z przedmieścia Ras El Ein. W czasie przeprowadzania wywiadów studziennych okazało się, że najstarsze studnie odwiercono przed 1960 r., a następne w latach 1960–1970 w rejonach: Ras El Ein, Duwera (czyt. Dłera), Beer Noah (studnia Noego), Tell Jenadiye (czyt. Dzenadije). Były to studnie stosunkowo płytkie, bowiem ich głębokości wynosiły od 50 do 150 m i tylko studnia w Tell Jenadiye miała 180 m. Wszystkie te studnie były dowiercone do wapieni helweckich i czerpały wody z tego poziomu. W najwcześniejszych studniach była jednak woda albo całkowicie słodka, albo zawierająca znikomą ilość siarkowodoru (do 3 mg/dcm<sup>3</sup>); siarkowodór w tych ostatnich studniach mógł się pojawić po 1970 r. Tylko takimi danymi dysponował Aleksenko, w związku z czym Źródło Siarkowe stanowiło dla niego całkowitą zagadkę. Nie mogąc rozwiązać pochodzenia tego fenomenu, uznał źródło jako nie wiążące się z obszarem występowania gipsów dolnego Farsu, a więc jako nieistotne dla poszukiwań siarki i dlatego nie zajmował się nim.

Studnie z termalnymi wodami mineralnymi, zawierającymi duże ilości siarkowodoru, odwiercono w rejonach As Safah, Tell Snan, Tell Dyab i in. (ryc. 1) dopiero po 1970 r., a więc po zakończeniu działalności Aleksenki. Od tego czasu zaczęło się pompowanie wody siarkowodorowej, która nadawała się nie tylko do nawadniania pól bawełny, ale także dla plantacji arbuźów i melonów. To intensywne pompowanie wody z poziomu helweckiego musiało wytworzyć pewną rozszerzoną strefę depresji zwierciadła w tym horyzoncie. Nasunęło to autorowi przypuszczenie, że siarkowodór pojawił się nie tak dawno w tej strefie, gdzie odwiercono otwory Aleksenki. Wykonana później mapa rozkładu temperatur i zawartość w wodzie siarkowodoru (ryc. 1) potwierdziła to przypuszczenie, jest bowiem widoczna na niej wąska strefa, którą w pierwszej kolejności termalna woda przemieszcza się na NW.

Mapa ta, jak i inne obserwacje, mają przy tym istotne znaczenie dla wyjaśnienia genezy Źródła Siarkowego. Po pierwsze – Źródło Siarkowe znajduje się w strefie mieszania się wód mineralnych ze słodkimi wodami Ras El Ein i to w pobliżu zaniku tej strefy. Po drugie – znajduje się ono w przedłużeniu wspomnianej wąskiej

strefy w poziomie helweckim, kształtującej główny nurt jezora temperaturowo-siarkowodorowego, mającego swoje źródło w zapadlisku mezopotamskim. Strefę tę później uchwycił badaniami geoelektrycznymi – wykonanymi między As Safah i Kherbed Diba – polski geofizyk inż. J. Dziób, który na tle wyżejoporzonych wapieni Jeribe zidentyfikował strefę o bardzo niskich opornościach właściwych wapieni, podobną do – prostopadłej do niej – strefy uskokowej stwierdzonej wierceńiami między As Safah i Tell Snan w 1985 r. (6). Dawne otwory nr 1–5 znajdują się na zewnątrz tej strefy, toteż przed rozszerzeniem zasięgu wód mineralnych pompowaniami irygacyjnymi w tych miejscach w latach 1969–1970 siarkowodoru mogło nie być.

Związek Źródła Siarkowego z ośrodkiem termalnych wód mineralnych z siarkowodorem, z terenu zapadliska mezopotamskiego, nie może więc budzić wątpliwości. Spróbujmy zatem odtworzyć prawdopodobny proces powstawania Źródła Siarkowego. Źródła z wodą słodką powstały w rejonie Ras El Ein prawdopodobnie w drugiej połowie ubiegłego tysiąclecia, kiedy to wielka struktura antyklinalna – wał północny – uległa kolejnemu pionowemu wyniesieniu i wskutek tego wchodząca w skład wału seria kawernistych wapieni helweckich przechwycała część wód spływających rzekami z obecnych terenów Turcji do obszaru dzisiejszej Syrii. Znaczna część słodkich wód wypełniła również kawerny w wapieniach helweckich poza źródłami, mieszając się z wodami mineralnymi (ale zimnymi i bez siarkowodoru) basenu wód podziemnych, jaki tworzy ta sama seria helwecka w obrębie zapadliska mezopotamskiego.

Kiedy w obrębie tego basenu pojawił się siarkowodór i wysoka temperatura? – trudno powiedzieć, ale najprawdopodobniej jest to związane z żywymi procesami geochemicznymi, jakie mogły rozpocząć się nie dawniej niż na początku holocenu i trwają do dzisiaj. Procesy te mogły początkowo przebiegać wolno, a przy sprzyjających zmianach warunków znacznie się uaktywniły. Takim etapem mogło być przebicie się mieszaných wód z siarkowodorem do jeziora Ein Husan. Nie udało się ustalić kiedy zaczęło działać to źródło, ale chyba nie dawniej niż kilkadziesiąt lat temu, na co zdaje się wskazywać ograniczona ilość utworzonego osadu związków siarki. Miejsce pojawienia się źródła z siarkowodorem nie było przypadkowe, bowiem znajduje się ono tam, gdzie kończy się zasięg izolacyjny serii ilastej dolnego Farsu, gdzie została również usunięta pokrywa plejstoceńskich glin lessopodobnych i gdzie w pobliżu następuje wyładowanie wód poziomu helweckiego (ryc. 1) w postaci źródła wody słodkiej.

Przebicie się w jeziorze Ein Husan wody z siarkowodorem wymagało nie tylko czasu, ale i siły transportującej tę wodę. Przemieszczanie wody siarkowodorowej odbywało się niejako „pod prąd”, bowiem piezometryczny spadek zwierciadła, jakkolwiek bardzo mały, ale jednak zachodzi z wyniesienia Ras El Ein do zapadliska mezopotamskiego. Tę siłę transportową dała wysoka temperatura wody, wynosząca w zapadlisku ponad 40°C. Wskutek tak wysokiej temperatury nastąpiło nie tylko znaczne rozszerzenie się samej wody, co w wąskiej strefie tektonicznej zmniejszyło spadek hydrauliczny w obrębie poziomu helweckiego, ale zaistniała również konwekcja, która spowodowała cyrkulację gorącej wody z zapadliska do wypiętrzenia Ras El Ein i wody zimnej z wypiętrzenia do zapadliska. Cyrkulację tę zaobserwowano w 1985 r. (6) i w 1986 r. (7) w czasie wiercenia otworów w As Safah, Tell Snan i Managir, kiedy w górnej części wapieni hel-



weckich stwierdzono wodę z wyższą temperaturą i dużą zawartością siarkowodoru, a wodę z niższą temperaturą i mniejszą zawartością siarkowodoru w dolnych partiach tej samej serii. Przemieszczenie się wody z siarkowodorem do jeziora Ein Husan odbywało się przy tym wąską tektoniczną strefą od Kherbed Diba, poprzez As Safah do południowych okolic Ras El Ein.

Do zmiany przedstawionego stanu przyczynił się człowiek przez odwiercenie wielu studni irygacyjnych w okolicach na S i SE od Ras El Ein oraz przez intensywne pompowanie z nich wody. W ten sposób znacznie zwiększył się napływ wód gorących z siarkowodorem do obszaru NW, co w 1960 r. spowodowało kolejne przebicie się wody o podwyższonej temperaturze na powierzchnię terenu. Przebicie to, podobnie jak w przypadku źródła w jeziorze Ein Husan, nastąpiło przy zakończeniu zasięgu pokrywowych ilów dolnego Farsu, ale tym razem w miejscu szczególnym również i z innego punktu widzenia. O ile bowiem wypływ wody w jeziorze Ein Husan był hamowany słupem stagnującej wody, o tyle Źródło Siarkowe rozwijało się w pobliżu przepływającej rzeki, gdzie istniały warunki do powstania depresji w obrębie poziomu helweckiego.

Depresja ta wzrastała w miarę wcinania się kanału odpływowego ze źródła w gliny lessopodobne, w związku z czym zwiększała się również wydajność odpływającej

wody. Lej depresyjny jest bardzo płaski i jednocześnie bardzo rozległy; jego zasięg wynosi przynajmniej 1 km. Oczywiście większość wód przedostających się z tego leja do źródła, to wody słodkie napływające z obszarów wału północnego. Źródło Siarkowe, wraz z towarzyszącym mu zasięgiem w poziomie helweckim, tworzy zatem system depresyjny, który stał się motorem napędowym dla wzmożonej cyrkulacji wód słodkich i zmineralizowanych

W latach siedemdziesiątych odwiercono studnie w rejonach: As Safah, Beer Noah, Tell Jebra, Tell Barm i innych. Pod wpływem pompowania wody z nich znacznie rozszerzył się zasięg przepływu wód gorących z siarkowodorem, szczególnie w kierunkach NE i SW. Wówczas też pojawiła się woda z siarkowodorem w rejonach, w których do 1970 r. nie napotkano jej w otworach wiertniczych.

Źródło Siarkowe powstało nie tylko w pewnych szczególnych warunkach geologicznych i przy działaniu młodych przemian geochemicznych w zapadlisku mezopotamskim, ale prawdopodobnie w dużej mierze zawdzięcza również swoje powstanie oddziaływaniu człowieka na przyrodę. Wielkość, osobliwe warunki powstania i bardzo młody wiek Źródła Siarkowego decydują o tym, że jest to interesujący fenomen przyrodniczy w skali światowej.