

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.49: 551.351.2

С.И. Кондратьев*, А.В. Прусов*, Ю.Г. Юровский**

Наблюдения субмаринной разгрузки подземных вод (Южный берег Крыма)

Анализируются результаты натурных гидрологических и гидрохимических наблюдений субмаринной разгрузки подземных вод у мыса Айя (Южный берег Крыма), полученных с помощью измерительной аппаратуры, разработанной в Морском гидрофизическом институте НАН Украины. Выполнены измерения скоростей течений, температуры, солёности, содержания кремнекислоты и фосфатов в одной из карстовых полостей, а также на полигоне около нее. Даны три оценки дебита субмаринной разгрузки, рассчитано количество кремнекислоты и фосфатов, выносимых в море субмаринным источником.

Субмаринная разгрузка подземных вод в карстовых полостях – весьма сложный гидрофизический процесс. Схематически его можно представить как движение разноплотностных потоков: пресного (подземные воды), распресненного (смесь пресных и морских вод) и морской воды. На это движение накладывается целый ряд внешних факторов: волнение (ветровые, барические, стоячие волны, зыбь), сгонно-нагонные и приливные явления, вдольбереговые течения и т. д. Соответственно, в пределах карстовой полости, где происходит субмаринная разгрузка подземных вод, и на прилегающей к ней акватории меняется гидродинамическая и гидрохимическая обстановка: изменяются вертикальное и горизонтальное распределение скоростей потоков, толщина движущихся слоев, гидрологические и гидрохимические поля. Изучение этих процессов представляет большой научный и практический интерес. В настоящей статье рассматриваются отдельные аспекты и общие ситуации непосредственно в очаге субмаринной разгрузки – карстовой полости.

В сентябре 2007 г. сотрудниками Морского гидрофизического института НАН Украины проводились комплексные наблюдения субмаринной разгрузки подземных вод в районе м. Айя (Крым), во время которых были измерены скорости течений, температура, солёность, содержание кремнекислоты и фосфатов. Работы были сосредоточены в районе карстовой полости, в 100 м от м. Пелекетто, а также в самой полости. На рис. 1 дана схема района работ с указанием местоположения выполненных гидрологических станций вне полости.

Данные, полученные в результате гидролого-гидрохимической съемки на полигоне в районе полости (ст. 14 – 36) и буксировки вдоль береговой линии (5 м от берега) на глубине ~ 0,1 – 0,2 м гидрологического зонда, позволяющих оперативно обнаружить следы субмаринной разгрузки [1, 2], требуют специальной обработки, в том числе и численного моделирования.

© С.И. Кондратьев, А.В. Прусов, Ю.Г. Юровский, 2010

Температура и соленость измерялись гидрологическим *CTD*-зондом ГАП-12Р, скорости течений – новым прибором ИСТ-1, предназначенным, кроме того, для индикации и регистрации в цифровом виде скорости течения, глубины и температуры воды в водотоках и водоемах на глубинах до 25 м (его принципиально новые конструктивные особенности описаны в работе [2]). Измерения скоростей течений непосредственно с маломерного судна на горизонте 0,1 м выявили заметные вертикальные колебания прибора ИСТ-1 с амплитудой до 0,1 м, обусловленные зыбью. После установки прибора на специальный поплавок амплитуда вертикальных колебаний уменьшилась в 3 раза.

При выполнении измерений на входе в полость был натянут трос с маркерами для фиксации судна. На каждой станции измерения на глубинах 0 – 0,5 м выполнялись с шагом 0,1 м, далее до глубины 2 м – с шагом 0,5 м. На этих же горизонтах были отобраны пробы для определения в них содержания кремнекислоты и фосфатов по методике [3].

На поперечном разрезе измерения температуры и солености с экспозицией 2-3 мин и односекундным осреднением данных были выполнены на всех станциях, измерения скоростей течений – на ст. 1, 3, 6.

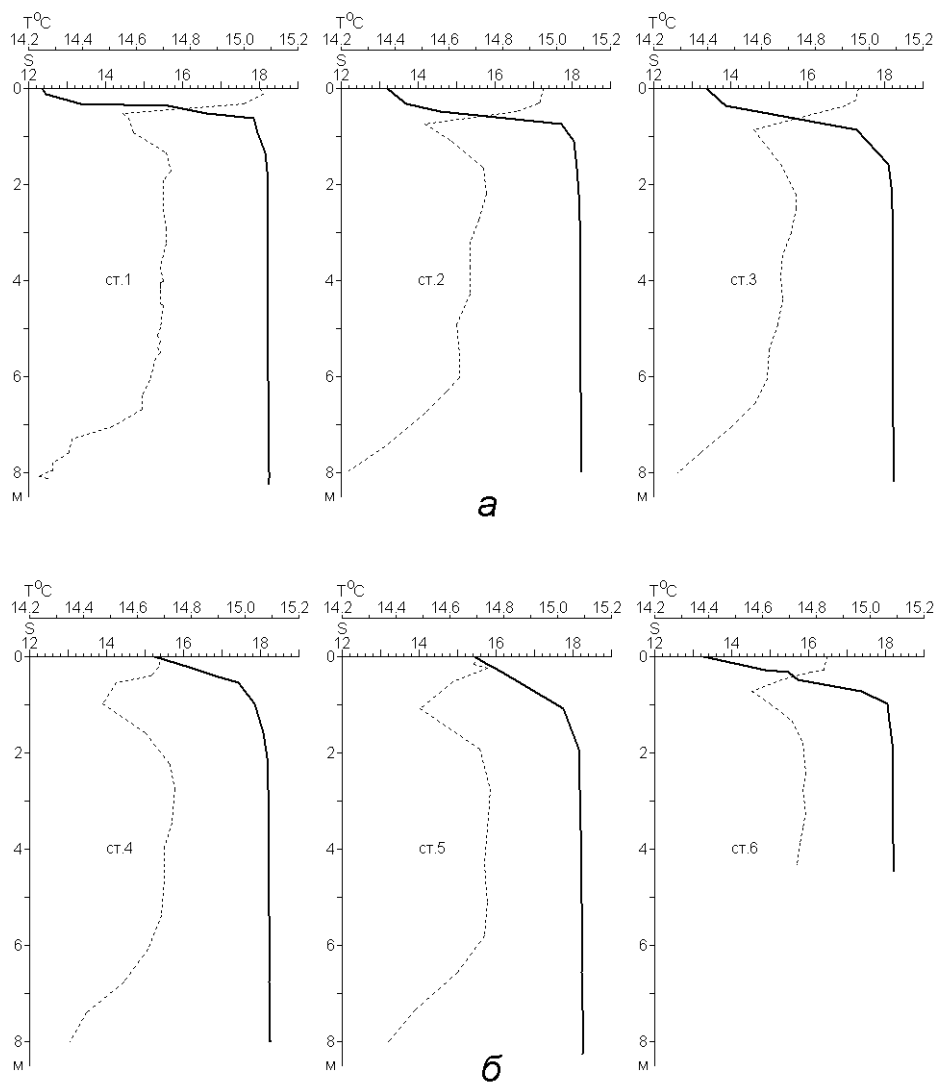
Работы велись в штилевых условиях при высоте волны, бегущей на юго-восток (т.е. почти под прямым углом к полости) с периодом 3 с, не более 0,3 м. Измерения выполнялись в сезон устойчивой межени, ему предшествовала длительная засуха (дождей на территории Крыма не было практически более четырех месяцев), во время которой на суше большинство источников пересыхает и родниковый сток становится равным нулю.

Обсуждение результатов

Гидрометеорологическая обстановка. Период выполнения измерений совпал с ситуацией сгона, вызванного действием продолжительного западного ветра. Анализ карт температуры поверхности моря, полученных со спутника *NOAA-17*, показал, что 18 – 19 сентября от м. Херсонес до м. Аю-Даг наблюдалась ситуация развитого сгона [4], который на отдельных участках отмечался на расстоянии до 25 км от берега. При общем температурном фоне поверхности Черного моря 20 – 22°C, а в районе работ до 26°C, температура воды на акватории, охваченной сгоном, упала до 13 – 15°C. В завершающий день проведения работ – 20 сентября – акватория сгона резко уменьшилась, но вблизи м. Айя температура воды осталась низкой, 14°C.

Особенности гидрологической структуры вод. Анализ выполненного гидрологического разреза перед входом в полость показал наличие трех слоев вод (рис. 3, а, б):

- поверхностного, до глубины 1 м, подверженного влиянию ветровых волн и зыби, в котором максимальны скорости течений из полости (см. далее);
- среднего, между глубинами 2 – 6 м, в котором температура и соленость почти постоянны;
- придонного, глубже 6 м, в котором наблюдался приток морской воды в полость.



Р и с. 3. Вертикальное распределение температуры T и солёности S на ст. 1 – 3 (а) и 4 – 6 (б). Расстояние между станциями ~ 1 м

В целом вертикальная структура свидетельствует о том, что на поперечном разрезе у входа в полость наблюдалась активная субмаринная разгрузка подземных вод, следы которой прослеживались до глубины 1,5 м. Максимальные изменения солёности с величиной градиента, достигавшей 1 на 0,1 м, происходили в слое 0 – 1 м, ниже которого вертикальные градиенты солёности становились близкими к нулю. Наименьшая солёность и наибольшая температура поверхностных вод наблюдались у северной стенки на ст. 1 (рис. 3, а).

Распределение по вертикали термохалинных характеристик на осевом разрезе вдоль полости (ст. 8 – 13, рис. 2) существенно отличается от распре-

деления на входе в полость. А именно, на продольном разрезе наблюдался поверхностный однородный слой вод толщиной $\sim 0,25$ м с повышенной температурой и пониженной соленостью, т. е. проявление субмаринной разгрузки в полости было более заметно, чем у входа.

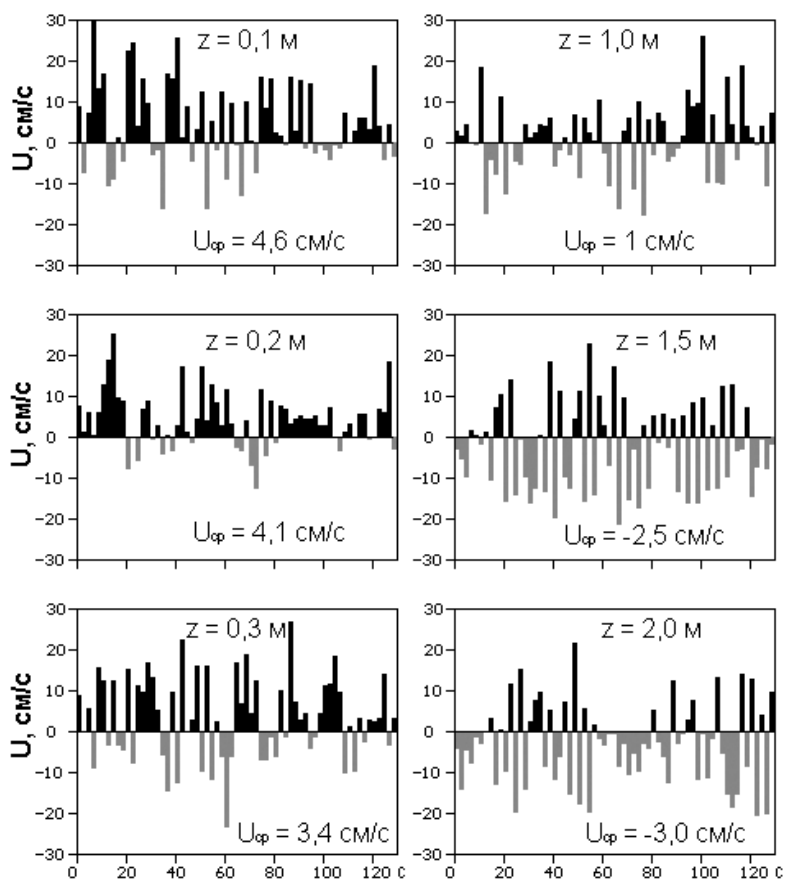
На продольном разрезе наблюдаются два максимума наибольшего распреснения, которое можно оценить как по наименьшему значению солености, так и по максимальной мощности распресненного слоя, – на ст. 9 у входа в полость и на ст. 12 вблизи ее кутовой части (рис. 2). Именно в этих местах находятся обнаруженные ранее два источника субмаринной разгрузки (присутствие мощного источника вблизи ст. 9 заметно визуально) [5 – 9].

Минимальное значение солености на продольном разрезе достигло 12, а диапазон ее изменчивости на поверхности составил 4,5 (12,0 – 16,5), тогда как аналогичные измерения 1993 г. показали меньший разброс значений солености (10 – 12) [9]. Заметим, что разброс значений температуры в слое 1 – 3 м на продольном разрезе был больше, чем на входе в полость.

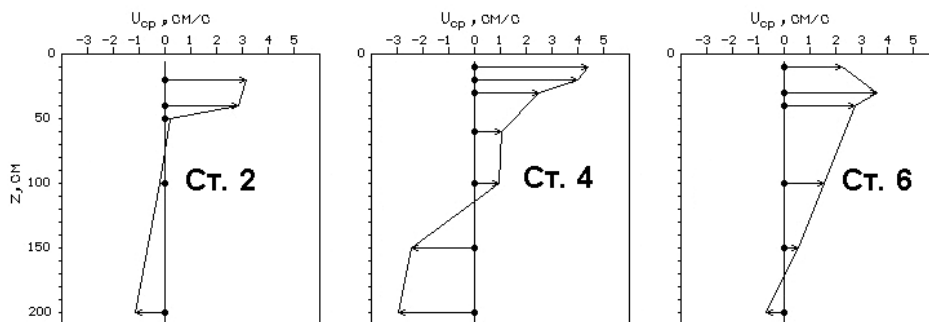
Измерения скоростей. На рис. 4 приведены временные ряды скоростей, измеренных на ст. 4 на горизонтах 0,1; 0,2 и 0,3 м (слева) и 1,0; 1,5 и 2,0 м (справа). Их положительные значения соответствуют течению из полости, отрицательные – в полость. Максимальные зафиксированные значения флуктуаций скорости $\pm 0,3$ м/с примерно соответствуют орбитальным скоростям $U(x, z, t)$ на поверхности наблюдавшейся зыби, период которой был равен 3 с (длина волны λ для этого периода на глубокой воде составляет ~ 14 м, что вполне применимо для наблюдавшейся глубины ~ 8 м). Затухание скоростей с глубиной (e^{-kz}) при $\lambda = 14$ м должно было привести к их уменьшению на горизонте 2 м примерно в 2 раза. По-видимому, несколько завышенные значения этих скоростей (рис. 4, правый фрагмент) на горизонтах 1, 1,5 и 2 м в основном обусловлены продольными колебаниями прибора, вызванными как зыбью, так и отраженными волнами. В последующих исследованиях для контроля влияния ветровых волн и зыби при измерениях скорости следует уменьшить шаг измерений по времени.

На рис. 5 приведены значения $U_{\text{ср}}$ – средних скоростей течений. Для ст. 4 они равны +4,6; +4,1 и +3,4 см/с на горизонтах 0,1; 0,2 и 0,3 м и +1,0; -2,5 и -3,0 см/с на горизонтах 1,0; 1,5 и 2,0 м. Следовательно, на середине входа в полость в верхнем метровом слое распресненной воды поток направлен из полости.

Полученные нами средние скорости течений на поперечном разрезе находятся в хорошем соответствии с результатами ранее проведенных исследований 1982 – 1984 гг., когда на том же поперечном разрезе для слоев 0 – 0,20 и 0,20 – 0,40 м измерения скоростей течения проводились с помощью запусков красителя (флюоресцеина) на фоне масштабной сетки [9]. Средние расчетные значения этих скоростей и полученные на их основании расходы пресной воды из полости приведены в таблице.



Р и с. 4. Временные ряды скоростей (см/с) на входе в полость (ст. 4): слева – горизонты 0,1; 0,2 и 0,3 м, справа – горизонты 1; 1,5 и 2 м (положительные значения скоростей течения – из полости, отрицательные – в полость; $U_{ср}$ – скорости, полученные осреднением за время экспозиции)



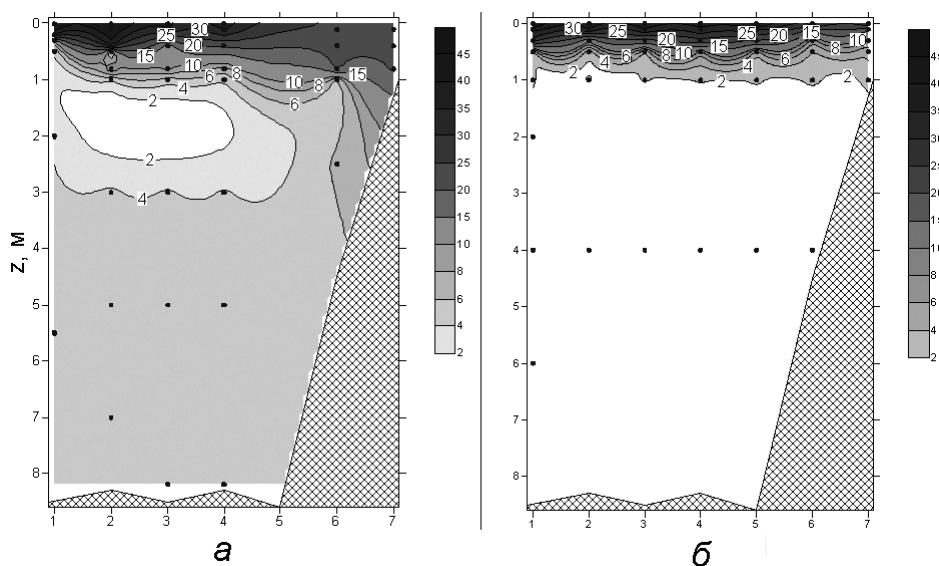
Р и с. 5. Распределение по глубине z средних скоростей на ст. 2, 4, 6 до проведения линейной аппроксимации

Средние значения положительных скоростей на поперечном разрезе карстовой полости и расход пресной воды

| Дата | Скорости течений, см/с, в слое | | Расход пресной воды, м ³ /сут |
|----------|--------------------------------|---------------|--|
| | 0 – 0,20 м | 0,20 – 0,40 м | |
| 08.08.82 | 7,0 | 4,2 | 3778 |
| 14.10.83 | 4,0 | 2,4 | 2207 |
| 21.07.84 | 4,4 | 2,6 | 2382 |

Особенностью вертикального распределения скоростей течений, измеренных в 2007 г., является более глубокое расположение векторов положительных скоростей: в центре поперечного разреза они прослеживались до глубины 1,10 м, а у северной стенки – до глубины 1,80 м (рис. 5). Такое распределение, вероятно, обусловлено отраженными от стенок полости волнами зыби, поскольку в 1982 – 1984 гг. положительные скорости наблюдались лишь в самом верхнем распресненном слое – до глубины не более 0,40 м.

Распределение кремниевой кислоты и фосфатов на выходе из полости. На рис. 6 представлено распределение кремниевой кислоты на выходе из полости, полученное 18 сентября (высота зыби ~ 1 м) и 20 сентября (полный штиль, высота зыби не более 30 см). В штилевых условиях 20 сентября (рис. 6, б) наблюдался поверхностный слой толщиной ~ 0,5 м, где концентрация кремниевой кислоты (максимальное значение 42 мкМ) в 10 – 30 раз превышала фоновое значение 1,6 мкМ (нераспресненная морская вода).



Р и с. 6. Пространственное распределение кремниевой кислоты (мкМ) на выходе из полости. Ее концентрация над источником 18.09.07 составила 52 мкМ (а), 20.09.07 – 67 мкМ (б)

Распределение кремнекислоты на выходном сечении из полости 18 сентября (рис. 6, а) также показало наличие поверхностного слоя толщиной ~ 1 м с повышенным содержанием кремнекислоты, при этом ее фоновое содержание было в 2 – 2,5 раза выше. То есть в данных погодных условиях верхний 0,5-метровый слой распресненных вод «размылся» до толщины ~ 1 м и произошло увеличение фоновой концентрации кремнекислоты в придонных нераспресненных водах. При этом характер ее вертикального распределения качественно почти не изменился.

Распределение фосфатов на выходе из полости в условиях зыби 18 сентября не дало четкой стратифицированной картины, на разрезе были отмечены несколько участков с их повышенным содержанием. В штилевую погоду 20 сентября наблюдался четко зафиксированный поверхностный слой толщиной ~ 0,5 м с повышенным содержанием фосфатов. Из этого следует, что по сравнению со штилем картина распределения фосфатов в условиях зыби качественно изменилась.

Следует отметить, что присутствие фосфатов в распресненных водах было не так контрастно, как для кремнекислоты. Максимальная концентрация фосфатов достигала 0,15 мкМ при фоновой ~ 0,01 мкМ, т.е. наблюдалось примерно 5-кратное превышение минимально определяемой концентрации 0,03 мкМ [3]. В то же время в наиболее распресненных водах, отобранных непосредственно над выходом субмаринных вод, концентрация кремнекислоты 20 сентября составила 67 мкМ, что в 40 раз больше фоновой.

Отбор проб на прилегающей к полости акватории был выполнен 21 сентября в условиях, когда высота зыби доходила до одного метра. Распределение кремнекислоты на поверхности возле карстовой полости показало наличие области повышенного содержания у южной стенки полости, где ее концентрация достигала 18 мкМ при фоновой ~ 1,6 мкМ. Наблюдаемое распределение, вероятно, обусловлено трансформацией картины поверхностных течений из-за резкой смены направления ветра. Предварительные численные эксперименты с помощью трехмерной баротропной линейной модели ветровых течений говорят именно об этом. Согласно полученным ранее данным, поверхностное течение распресненных вод в спокойную погоду направлено из полости вдоль восточного берега [2]. Туда в штилевых условиях, вероятно, и должен смещаться максимум содержания кремнекислоты.

Оценка дебита по данным измерений солености, концентраций кремнекислоты и фосфатов. Используя полученные данные по вертикальному распределению солености на поперечном разрезе у входа в карстовую полость, оценим дебит исследуемой субмаринной разгрузки по следующей формуле [10]:

$$Q = \int_0^H \int_0^L U_{\text{ср}}(x, z) \frac{S_{\delta} - S(x, z)}{S_{\delta} - S_i} dx dz, \quad (1)$$

где Q – искомый дебит; x, z – ширина и глубина на входе в полость; L, H – максимальные ширина и глубина (7 и 8 м); $U_{\text{ср}}(x, z)$ – средняя скорость течения в точке (x, z) сечения; S_{ϕ} – фоновая соленость, равная 18,22; $S(x, z)$ – со-

леность, измеренная в точке (x, z) ; S_n – соленость (минерализация) пресной воды, равная 0,7 г/л по данным [9].

Для более аккуратной оценки по формуле (1) дебита субмаринной разгрузки подземных вод из полости следует оценить распределение средней скорости $U_{cp}(x, z)$ на поперечном сечении. Для этого была проведена линейная аппроксимация данных по глубине.

На рис. 2 показано расположение ст. 1 – 7 (ось x) на поперечном разрезе, расстояние между ними равно 1 м. После проведения линейной аппроксимации по глубине имеем 5 значений скорости на каждом горизонте: $U(x_1) = 0$, $U(x_5) = 0$ и три значения средней скорости U_2, U_4, U_6 , измеренной на ст. 2, 4, 6. Предполагая параболическую зависимость средней скорости от горизонтальной координаты x , сводим задачу аппроксимации к проведению «наилучшей» параболы через 5 заданных точек. Причем $U(x_1) = 0$, $U(x_5) = 0$ (прилипание), а сумма квадратов отклонений значений параболы в точках x_2, x_3, x_4 от измеренных величин U_2, U_4, U_6 должна быть минимальной.

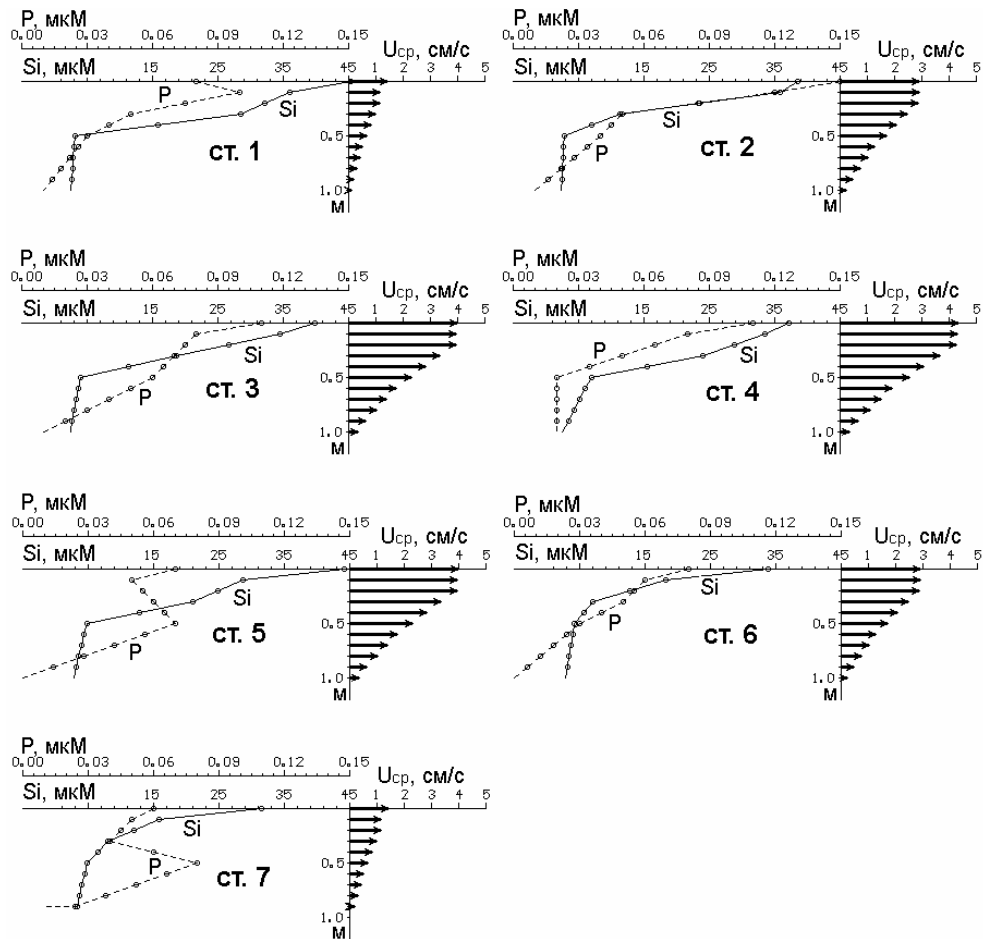
Теперь по формуле (1), имея данные о распределении средней скорости и солености, оценим расход Q_s (суммарный дебит всех источников субмаринной разгрузки внутри полости по данным солености) через поперечное сечение на выходе из карстовой полости:

$$Q_s = 1915 \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2)$$

Следует напомнить, что период с мая по август 2007 г. был аномально засушливым и аномально жарким, а дожди, прошедшие за несколько дней до измерений, не могли существенно повлиять на результат. Известно, что скорость движения трещинно-карстовых вод, измеренная индикаторными методами в районе водосборов, питающих исследуемые нами субмаринные источники, составляет 0,46 – 1,82 км/сут [11], а расстояние от Ай-Петринской яйлы до м. Айя через Байдарскую долину (возможный вариант пути от водосбора до субмаринной разгрузки подземных вод [11]) превышает 30 км. Следовательно, требуется более 30 сут, чтобы атмосферные осадки достигли очага субмаринной разгрузки на м. Айя.

Безусловно, приведенная оценка величины дебита весьма приближительна в силу ограниченности и неточности информации о величине средней скорости на поперечном разрезе карстовой полости, а также в результате сильной временной изменчивости солености. Так, только на двух вертикалях диапазон изменений солености составил 0,3 – 0,5, тогда как на остальных вертикалях 1 – 5. Такую изменчивость можно объяснить большими вертикальными градиентами солености (напомним, что они доходили до 1 на 0,1 м). Эти градиенты могут быть обусловлены как естественными флуктуациями, так и погрешностями измерений (вертикальными колебаниями измерителя солености).

Для оценки дебита источника по гидрохимическим данным проведена линейная аппроксимация по глубине от поверхности до 1 м распределений средней скорости (U), концентраций фосфатов (P) и кремнекислоты (Si), результаты которой представлены на рис. 7 (скорости на глубинах, больших 1 м, направлены в полость и в формировании искомого дебита не участвуют). Опираясь на измеренное содержание кремнекислоты, получим аналогичную (2) расчетную оценку дебита Q_{Si} .



Р и с. 7. Распределение фосфатов, кремнекислоты и средней скорости на выходе из полости в верхнем метровом слое (ст. 1 – 7)

Поскольку содержание кремнекислоты и фосфатов в пресной подземной воде Si_n экспериментально определить не удалось, рассчитаем эти величины. Пусть Si_n и P_n – их неизвестные концентрации в подземной воде, а Si_ϕ и P_ϕ – фоновые значения. Для любой пары из N значений солености и кремнекислоты (S_i, Si_i) или солености и фосфатов (S_i, P_i) ($i = 1, \dots, N$), измеренных в одной точке моря, должно выполняться условие

$$\frac{S_\delta - S_i}{S_\delta - S_n} = \frac{Si_\delta - Si_i}{Si_\delta - Si_i}, \quad (3)$$

следовательно,

$$Si_i = \frac{(S_\delta - S_i)Si_i + (S_i - S_i)Si_\delta}{S_\delta - S_i}. \quad (4)$$

При $S_i = S_\delta$ величина Si_n в выражении (4) стремится к бесконечности. Поэтому при оценке Si_n как среднего из N измерений по формуле

$$Si_i = \frac{1}{N} \sum_{i+1}^N \frac{(S_\delta - S_i)Si_i + (S_i - S_i)Si_\delta}{S_\delta - S_i} \quad (5)$$

значения солености S_i , близкие к фоновой солености S_ϕ , следует убрать.

В нашем случае вместо 43 остаются 30 точек измерений солености и кремнекислоты (S_i, Si_i), в которых $S_i \neq S_\delta$. Отсюда содержание кремнекислоты в подземной воде по формуле (5) следующее:

$$Si_n = 109,2 \text{ мкМ}. \quad (6)$$

Теперь, зная величину Si_n , и заменив в формуле (1) значения солености S, S_ϕ, S_n на концентрации Si, Si_ϕ, Si_n , оценим дебит Q_{Si} подземной воды из карстовой полости по содержанию кремнекислоты Si :

$$Q_{Si} = 1844 \text{ м}^3/\text{сут}. \quad (7)$$

Сравнивая оценки (2) и (7), видим, что они отличаются лишь на 4%.

Аналогичную оценку Si_n можно получить, построив прямую $Si = aS + b$, проходящую через совокупность точек (S_k, Si_k) ($k = 1, \dots, N$), и приводя к минимуму сумму квадратов отклонений этих точек от искомой прямой. Найдем коэффициенты a и b в выражении для линейной связи солености S и кремнекислоты Si :

$$Si = aS + b, \quad (8)$$

где

$$a = \frac{Si_\delta - Si_i}{S_\delta - S_i}, \quad b = \frac{Si_i S_\delta - Si_\delta S_i}{S_\delta - S_i}. \quad (9)$$

В нашем случае $S_\phi = 18,22$, $S_n = 0,7$, $Si_\phi = 1,57$ мкМ, $Si_n = 109,2$ мкМ. Таким образом,

$$Si = -6,1S + 113,5. \quad (10)$$

Еще раз оценим величину Si_n , выбрав в качестве «эталоны» найденную по распределению солености оценку дебита $Q_S = 1915 \text{ м}^3/\text{сут}$. Приравняв Q_{Si} и Q_S , получим

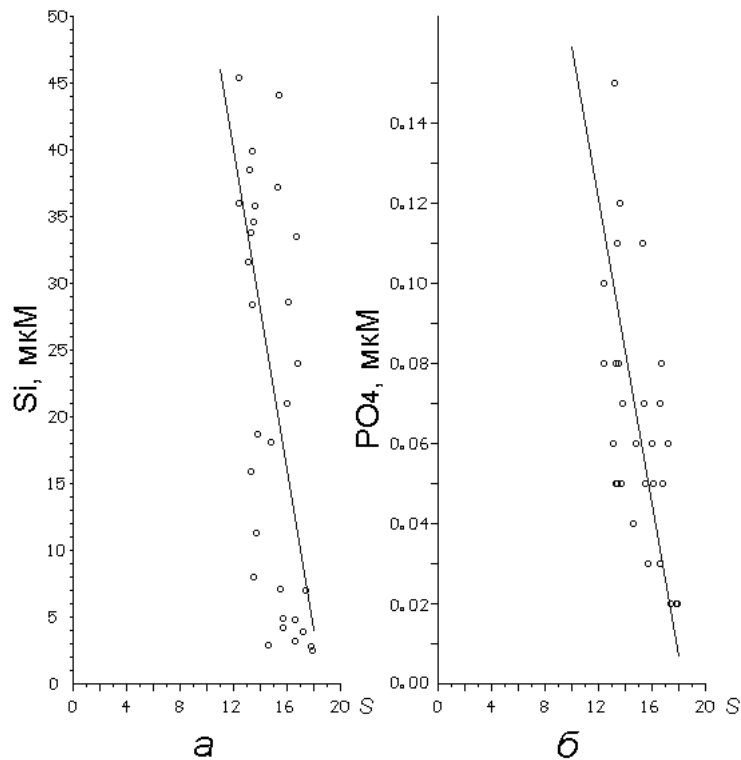
$$Q_{Si} = \int_0^H \int_0^L U_{\text{нд}}(x, z) \frac{Si_\delta - Si(x, z)}{Si_\delta - Si_i} dx dz = Q_S = \int_0^H \int_0^L U_{\text{нд}}(x, z) \frac{S_\delta - S(x, z)}{S_\delta - S_i} dx dz = 1915. \quad (11)$$

Варьируя под интегралом величину Si_n , добиваемся равенства левого интеграла в уравнении (11) значению 1915, что достигается при $Si_n = 105$. Используя соотношения (9), получим

$$Si = -5,9S + 109,1, \quad (12)$$

что весьма близко к оценке (10) (рис. 8, а):

$$Si = -6,1S + 113,5. \quad (13)$$



Р и с. 8. Оценка линейной связи содержания солености и кремнекислоты – *а*, солености и фосфатов – *б*

Полученные в 1993 и 1994 гг. [5] оценки линейной связи S и Si равны соответственно

$$Si = -6,10S + 109,6, \quad (14)$$

$$Si = -6,76S + 124,3. \quad (15)$$

Они довольно близки к найденным значениям.

Приведем аналогичные оценки, полученные по данным о содержании фосфатов (рис. 8, *б*):

$$P_n = 0,336 \text{ мкМ}, \quad (16)$$

$$P = -0,019S + 0,349, \quad (17)$$

$$Q_p = 1739, \quad (18)$$

отличие от Q_S составляет $\sim 10\%$.

Зная величины концентраций кремнекислоты и фосфатов в пресных водах субмаринного источника и его дебит, можно рассчитать количество кремнекислоты и фосфатов, выносимых в море: ~ 6 кг/сут кремнекислоты и $\sim 2,1$ г/сут фосфатов.

Выводы

Анализ результатов измерений скоростей течений, температуры, солёности, содержания кремнекислоты и фосфатов показал, что субмаринная разгрузка подземных вод (в сентябре 2007 г. после аномально жаркого и засушливого лета) в самой крупной карстовой полости около м. Пелекетто составила:

– по данным измерений солёности

$$Q_s = 1915 \text{ м}^3/\text{сут},$$

– по данным измерений содержания кремнекислоты

$$Q_{Si} = 1844 \text{ м}^3/\text{сут},$$

– по данным измерений содержания фосфатов

$$Q_P = 1739 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

В паводковый период эта величина может существенно вырасти и стать практически значимой.

За сутки из карстовой полости в море выносилось ~ 6 кг кремнекислоты и ~ 2,1 г фосфатов. Таким образом, в каждом литре распреснённой морской воды из верхнего метрового слоя содержалось в среднем 19,3 мкМ кремнекислоты (при полном разбросе 1,6 – 67 мкМ) и 0,06 мкМ фосфатов (при полном разбросе 0,01 – 0,15 мкМ).

Испытание приборов и оборудования показало их пригодность для работы в специфических условиях. Об этом свидетельствуют полученные разными физико-химическими методами аналогичные выводы о термохалинной структуре вод, распреснённых источниками субмаринной разгрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнюков Е.Ф., Клещенко С.А., Митин Л.И. и др. Поиск субмаринных источников в каньонах материковой окраины Южного берега Крыма. – Киев, 1989. – 39 с. – (Препринт/ НАН Украины. ИГН).
2. Иванов В.А., Прусов А.В., Юровский Ю.Г. Субмаринная разгрузка подземных вод у м. Айя (Крым) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2008. – № 3. – С. 65 – 75.
3. Методы гидрохимических исследований океана / Под ред. О.К. Бордовского. – М.: Наука, 1978. – 267 с.
4. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Изменчивость солёности поверхностных вод в прибрежной зоне Южного берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 12. – С. 21 – 27.
5. Кондратьев С.И., Долотов В.В., Моисеев Ю.Г., Щетинин Ю.Т. Субмаринные источники пресных вод в районе мыс Фиолент – мыс Сарыч // Морской гидрофизический журнал. – 1998. – № 3. – С. 57 – 69.
6. Юровский Ю.Г. Оценка величины субмаринной разгрузки карстовых вод в районе мыса Айя // Там же. – 1998. – №3. – С. 78 – 80.
7. Юровский Ю.Г., Байсарович И.М., Щетинин Ю.Т., Кондратьев С.И. Мониторинг субмаринных источников в районе м. Айя // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000. – Вып. 7. – С. 46 – 52.
8. Юровский Ю.Г., Байсарович И.М. Субмаринная разгрузка подземных вод и водный баланс // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2002. – № 2. – С. 71 – 79.

9. *Юровский Ю.Г., Байсарович И.М.* Гидрология прибрежной зоны. – Симферополь: Ди-АйПи, 2005. – 148 с.
10. *Коротков А.И., Павлов А.Н.* Гидрохимический метод в геологии и гидрогеологии. – Л.: Недра, 1972. – 184 с.
11. *Шестопалов В.М., Богуславский А.С., Бублясь В.Н., Руденко Ю.Ф.* Методические подходы к оценке защищенности и уязвимости подземных вод // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы изучения и оценки эксплуатационных ресурсов питьевых подземных вод». Киев, 3 – 5 сентября 2008 г. – Киев: Промінь, 2008. – С. 54 – 79.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь
E-mail: skondratt@rambler.ru
E-mail: avprusov@gmail.com

Материал поступил
в редакцию 08.10.08
После доработки 20.10.08

** Украинский государственный геологоразведочный институт,
Крымское отделение,
Симферополь

АНОТАЦІЯ Аналізуються результати натурних гідрологічних і гідрохімічних спостережень субмаринного розвантаження підземних вод біля мису Айя (Південний берег Криму), отриманих за допомогою вимірювальної апаратури, розробленої в Морському гідрофізичному інституті НАН України. Виконані вимірювання швидкостей течій, температури, солоності, вмісту кремнієвої кислоти і фосфатів в одній з карстових порожнин, а також на полігоні біля неї. Дані три оцінки дебіту субмаринного розвантаження, розрахована кількість кремнієвої кислоти і фосфатів, що виносяться в море субмаринним джерелом.

ABSTRACT Results of field hydrological and hydrochemical observations of submarine groundwater discharge nearby the cape Aiya (Southern coast of the Crimea) performed by the measuring instruments developed in Marine Hydrophysical Institute, NAS of Ukraine are analyzed. Current velocities, temperature, salinity and silicic acid and phosphate content in one of karstic cavities and on the polygon around it are measured. Three estimates of submarine water discharge are given. Silicic acid and phosphate amount brought to the sea by the submarine source is calculated.