



УДК 551.49:551.351.2

© 2008

Член-корреспондент НАН України **В. А. Иванов, А. В. Прусов,**
Ю. Г. Юровский

Новые данные о субмаринной разгрузке подземных вод в районе м. Айя (Крым)

The study reports the data of in situ observations of the submarine ground water discharge collected in September 2007 in the region of the cape Aya (Crimea, Ukraine). We used a special equipment designed in Marine Hydrophysical Institute (Ukraine) to measure the current speed, temperature, water salinity, turbidity, and silica concentration in a grotto and the area around it. The evaluation of the submarine ground water discharge is provided.

Важность изучения субмаринной разгрузки подземных вод подчеркивает ряд международных документов последних лет, например совместный проект ЮНЕСКО и Международного атомного энергетического агентства [1], где отмечено, что пресные подземные воды являются ценнейшим полезным ископаемым, востребованность которого возрастает с каждым годом. Возникла необходимость в обоснованной региональной оценке естественных ресурсов субмаринных вод, их зависимости от воздействия природных и техногенных факторов. В конечном итоге, необходима прогностическая модель формирования и пространственно-временной изменчивости субмаринной разгрузки подземных вод Крымского полуострова.

Экспедиционные работы по изучению субмаринной разгрузки подземных вод Крыма проводились Морским гидрофизическим институтом НАН Украины в рамках научно-технического проекта “Комплексные гидрофизические и гидрохимические исследования морской среды с целью рационального, экологичного и техногенно безопасного использования его ресурсного потенциала”.

Цель исследований авторов настоящего сообщения — оценка роли субмаринной разгрузки подземных вод Крымского полуострова в водном и солевом режиме береговых зон, обоснование возможности их практического использования в народном хозяйстве, а также прогноз реакции этих источников на возможные изменения климата в Крыму и интенсификацию хозяйственной деятельности.

Измерения выполнялись на участке известной, но слабоизученной субмаринной разгрузки около м. Айя на Южном берегу Крыма как внутри карстовых полостей, так и в прибрежной зоне, непосредственно примыкающей к ним.

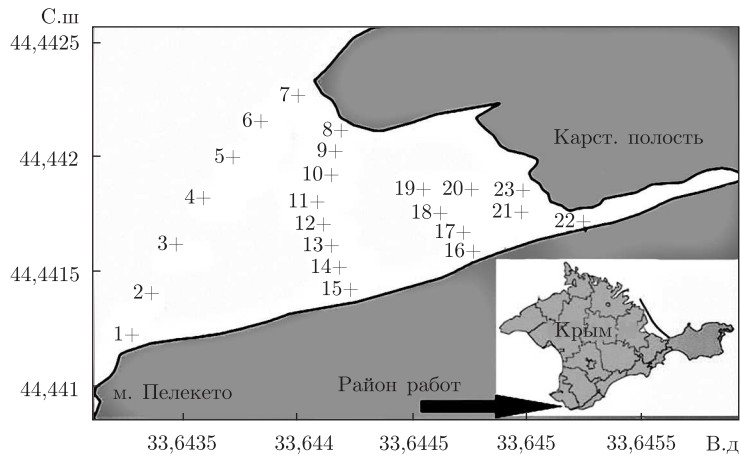


Рис. 1. Схема гидрологического полигона в районе карстовой полости. Цифры на схеме (1–23) — гидрологические станции

Субмаринная разгрузка у м. Айя имеет свои особенности. Это не концентрированные выходы на дне (собственно субмаринные источники), а рассеянные по многочисленным трещинам водопроявления. Часть из них расположена в затопленных и полузатопленных морем карстовых полостях, часть в клифе.

Комплексные натурные наблюдения включали измерения скоростей течений, температуры, солености, мутности и содержания кремнекислоты. На первом этапе они были сосредоточены в районе карстовой полости в 100 м от м. Пелекето, а также в самой полости. Схему района работ с указанием местоположения выполненных гидрологических станций вне полости иллюстрирует рис. 1.

Кроме того, были выполнены несколько буксировок (на глубине $\sim 0,1\text{--}0,2$ м) гидрологического и гидрооптического зондов вдоль береговой линии (5 м от берега), позволяющих оперативно обнаруживать следы субмаринной разгрузки. Для оценки фоновых течений проводились визуальные наблюдения за дрейфом поверхностных поплавков.

Все измерения выполнялись новыми приборами, разработанными в Морском гидрофизическом институте НАН Украины. Их компактность позволила проводить измерения как на глубине, так и в тонком поверхностном слое, где, как правило, сосредоточена распределенная вода.

Для оценки дебита субмаринной разгрузки в карстовой полости, кроме измерения гидрологических (температура, соленость, мутность) и гидрохимических (кремнекислота) характеристик требовались надежные оценки средних скоростей течений, уносящих пресную воду из полости (предполагалось [2, 3], что эти скорости очень малы и составляют сантиметры в секунду). Зная распределение солености и средних скоростей, по формуле (1) можно оценить суммарный дебит разгружающихся там источников:

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

где Q — искомый дебит; x, z — ширина, глубина на входе в полость; L, H — максимальные ширина и глубина (7 и 8 м); $U_{\text{cp}}(x, z)$ — средняя скорость течения в точке (x, z) сечения; $S_{\text{ф}}$ — фоновая соленость; $S(x, z)$ — соленость в точке (x, z) ; $S_{\text{пресн}}$ — соленость (минера-

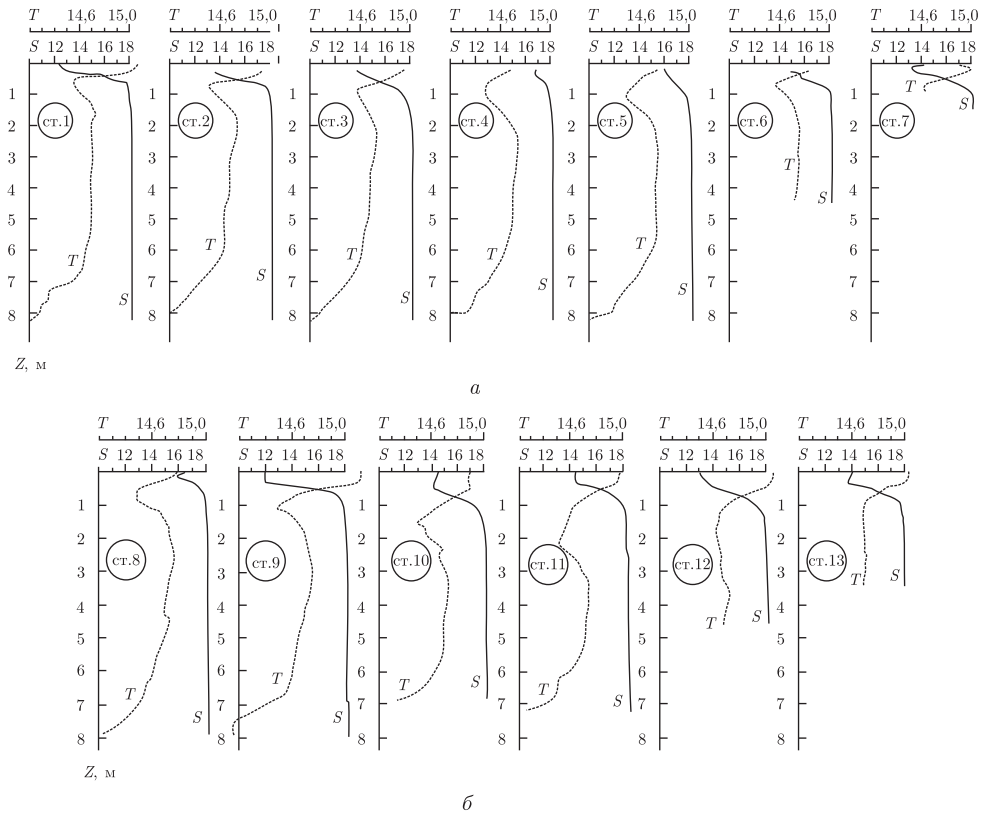


Рис. 2. Профили температуры $T(^{\circ}\text{C})$ солёности S (пс): a — на входе в полость (расстояние между станциями 1–7 около 1 м); b — вдоль оси полости (расстояние между станциями 8–13 ~ 7 м)

лизация) пресной воды (в нашем случае порядка 0,7 г/л). Вертикальное сечение водной массы на входе в полость показано на рис. 2, a . Измерения выполнялись в сезон устойчивой межени, которому предшествовала длительная засуха (дождей здесь практически не было более 4-х мес.).

Период выполнения измерений совпал с ситуацией сгона, вызванного действием продолжительного западного ветра. Анализ карт температуры поверхности моря, полученных со спутника NOAA-17, показал, что при общем фоне температуры поверхности моря в Черном море 20–22 $^{\circ}\text{C}$ (а в районе работ до 26 $^{\circ}\text{C}$), 18–19 сентября от м. Херсонес до м. Аюдаг наблюдался развитый сгон. Температура воды на акватории, охваченной им, упала до 13–15 $^{\circ}\text{C}$. В день проведения работ (20 сентября) акватория сгона резко уменьшилась, но вблизи м. Айя температура воды оставалась низкой (14 $^{\circ}\text{C}$). Работы велись в штиль. Наблюдалась зыбь с периодом $t = 3$ с, высотой h до 0,30 м, бегущая на юго-восток (почти под прямым углом к полости).

Измерения температуры и солёности производились разработанным и изготовленным в Морском гидрофизическом институте НАН Украины гидрологическим STD-зондом ГАП-12Р. Был выполнен гидрологический разрез по продольной оси полости длиной 41 м и поперечный разрез у входа в полость. На входе на каждой вертикали проводились измерения временной изменчивости температуры и солёности с экспозицией 0,5–1,0 мин.

Вертикальные профили температуры и солёности на разрезе поперек входа в карстовую полость (станции 1–7) приведены на рис. 2, a . В верхнем слое до глубины 1 м наблюда-

лись воды с повышенной температурой. На поверхности температура равна 14,7–15,0 °С. Средняя температура в слое 1,5–6 м равна 14,7 °С. Глубже 6 м температура уменьшалась, достигнув у дна значения 14,2 °С.

Характер вертикальной структуры солености примерно таков: в верхнем слое, толщиной около 1 м, сосредоточились распресненные воды (минимум солености достиг 12,34 епс). Распреснение прослеживалось до глубины 1,5 м. Далее соленость практически не менялась и равнялась 18,22 епс. Климатическая норма солености на поверхности моря для района м. Айя равна 17,9 епс, а температуры 21 °С [4]. Повышенная соленость в слое 1,5–8,0 м связана со сгоном, при котором глубинные воды поднимаются к поверхности. Такая соленость (18,22 епс) в сентябре при отсутствии сгона характерна для глубин 30–50 м.

В целом вертикальная структура вод свидетельствует о том, что на разрезе вдоль входа в полость происходит субмаринная разгрузка подземных вод. Следы ее наблюдались до глубины 1,5 м. Максимальные изменения солености отмечены в слое 0–1 м. Граница нулевых вертикальных градиентов солености была на глубине 0,8–1,0 м. Максимальные вертикальные градиенты достигали 1 епс на 0,1 м. Наименьшая соленость и наибольшая температура, т. е. следы разгрузки пресных вод, наблюдались у западной стенки входа в грот — станция 1 (см. рис. 2, а).

Аналогично распределены по вертикали на входе в полость показатель мутности (уменьшение в 2 раза, по сравнению с фоновым) и содержание кремнекислоты (увеличение концентрации в 30 раз, по сравнению с фоновой).

Рассмотрим распределение по вертикали термохалинных характеристик на осевом разрезе в полости (см. рис. 2, б, станции 8–13). По сравнению и их распределением на входе в полость, есть существенное отличие — непосредственно в полости наблюдался верхний однородный слой мощностью около 0,25 м, с повышенной температурой и пониженной соленостью. Т. е. здесь следы субмаринной разгрузки заметней, чем на входе. Минимум солености достиг 12 епс. Диапазон изменчивости солености на поверхности от станции 8 до станции 13 составил 4,5 епс (12,0–16,5).

В 1993 г. в ходе совместной экспедиции Института геологических наук НАН Украины и Морского геофизического института НАН Украины измерения в этой полости показали меньший разброс значений солености — 2 епс [2]. Разброс значений температуры в слое 1–3 м на разрезе вдоль полости больше, чем на поперечном разрезе при входе в полость. Наибольшее распреснение, отмеченное по наименьшему значению солености (12 епс) и по максимальной мощности распресненного слоя (0,3 м), наблюдалось на входе в полость (станция 9) и в конце полости (станция 12). Именно в этих местах находятся два источника субмаринной разгрузки, отмеченные ранее [2, 3, 5]. Наличие мощного источника на дне, вблизи станции 9 проявлялось на поверхности визуально. Следы локализации источников пресных вод на осевом разрезе отмечены и по данным измерений показателя мутности погружным автономным мутномером ИМП-2а. Отметим бóльший, по сравнению с разрезом на входе в полость, разброс значений температуры в слое 1–3 м.

Таким образом, для оценки по формуле (1) дебита исследуемой разгрузки получено значение фоновой солености S_f (18,22 епс) и ее распределение $S(x, z)$ по вертикальному сечению толщи вод на входе в карстовую полость. Необходимы еще оценки распределения средней скорости $U_{cp}(x, z)$ в направлениях “в полость — из полости”.

Для выполнения этой задачи использовался новый прибор ИСТ-1. Он разработан в Морском гидрофизическом институте НАН Украины и прошел государственные испытания. Предназначен для измерений, индикации и регистрации в цифровом виде скорости

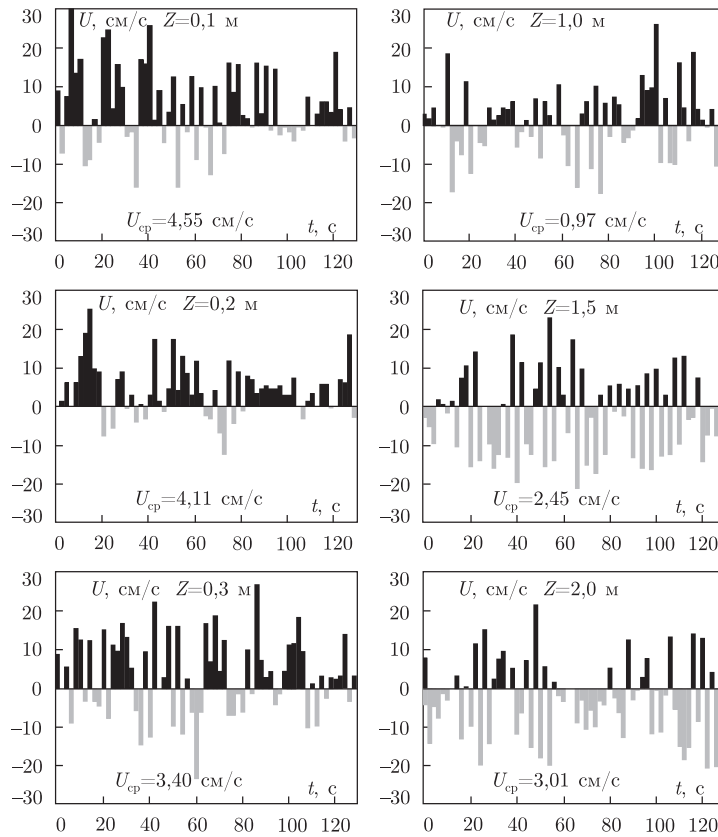


Рис. 3. Временные ряды скоростей на входе в полость (ст.4). Левый фрагмент — горизонты 0,1–0,2–0,3 м; правый фрагмент — горизонты 1,0–1,5–2,0 м. Положительные значения скоростей соответствуют направлению из полости, отрицательные — в полость. U_{cp} — средние скорости, полученные осреднением за время (t) экспозиции

течения, глубины и температуры воды в водотоках и водоемах. Измерения производятся с накоплением данных в энергонезависимой памяти с отображением данных на дисплее бортового блока или ПЭВМ. Встроенные в микроконтроллерах программы обеспечивают управление измерениями и первичной обработкой данных. Для обеспечения необходимой точности измерений в бортовом блоке дополнительно вычисляется скорость звука в воде.

Удалось выполнить измерения на трех станциях: посередине, а также на расстояниях 1,5 м от левой и правой стенок полости. Пробные замеры на горизонте 0,1 м выявили заметные вертикальные колебания прибора, обусловленные зыбью (амплитуда колебаний до 0,1 м). После установки ИСТ-1 на специальный поплавок, амплитуда вертикальных колебаний уменьшилась в 3 раза.

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. Экспозиция составила 2–3 мин, данные регистрировались с односекундным осреднением.

На рис. 3 приведены временные ряды скоростей (см/с), измеренных посередине входа в полость на горизонтах 0,1–0,2–0,3 м (левый фрагмент) и 1,0–1,5–2,0 м (правый фрагмент). Положительные значения скоростей означают течения из полости, отрицательные — в полость. Максимальные значения флуктуаций скорости ($\pm 0,3$ м/с) соответствуют орбитальным скоростям наблюдавшейся зыби. Для периода $t = 3$ с длина волны λ на глубоккой

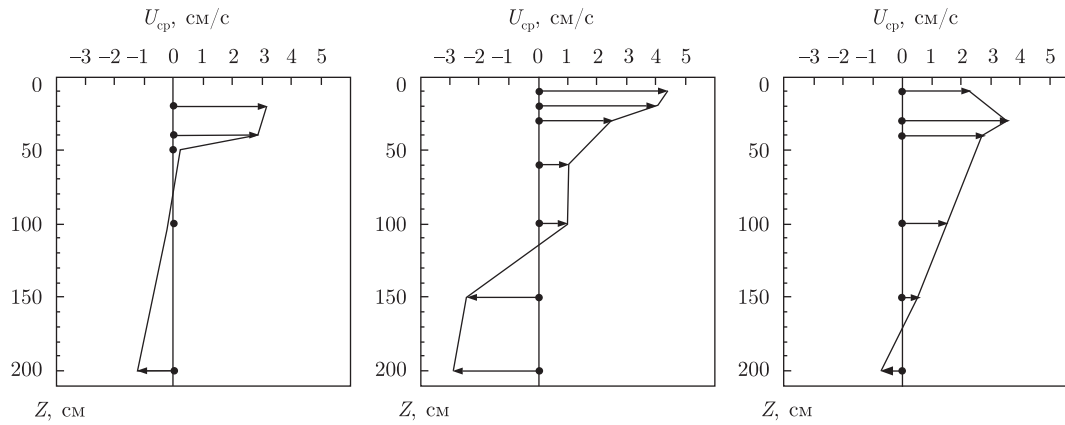


Рис. 4. Сводная картина распределения средней скорости на входе в полость. Левый фрагмент — 1,5 м от левой стенки; правый фрагмент — 1,5 м от правой стенки; средний — посередине. Положительные значения скоростей соответствуют направлению из полости

воде составляет ~ 14 м. Глубины ~ 8 м соответствуют глубокой воде. При этом орбитальная скорость $U(x, z, t)$ на поверхности будет примерно равна 0,3 м/с. Затухание скорости с глубиной (e^{-kz}) при $\lambda = 14$ м должно было привести к ее уменьшению на горизонте 2 м примерно в 2 раза. По-видимому, несколько завышенные значения этих скоростей на горизонтах 1, 1,5 и 2 м обусловлены, главным образом, продольными колебаниями прибора.

На рис. 3 приведены значения U_{cp} — средних скоростей, полученные осреднением за время экспозиции. Они равны +4,6; +4,1 и +3,4 см/с на горизонтах 0,1–0,2–0,3 м соответственно и +1,0; –2,5 и –3,0 см/с на горизонтах 1,0–1,5–2,0 м соответственно.

Таким образом, посередине входа в полость, в верхнем метровом слое, где в основном была сосредоточена распресненная вода, поток был направлен из полости. Он выносил пресную воду в открытое море со скоростью в несколько сантиметров на секунду.

Вертикальное распределение скорости $U(x, z)$ у левой и правой стенок полости подобно вышеописанному. Величина ее несколько меньше, чем в стрежне течения (сказывается близость стенок). Сводная картина распределения средней скорости $U(x, z)$ на входе в полость приведена на рис. 4. Используя эти данные, а также данные о фоновой солености S_{Φ} и о распределении солености $S(x, z)$ на входе в полость (см. рис. 2, а) по формуле (1) можно оценить суммарный дебит Q всех источников пресной подземной воды, разгружающихся в полости. Его значение равно 1915 м³/сут, причем до 95% дебита дает слой 0–0,5 м. Вероятно, эта величина близко к многолетнему минимуму. По данным работ [2–4], величина Q в 1993–1998 гг. оценивалась, м³/сут: в 4500, 5500, 6500, 10000, 9500, 10000.

Приведенная оценка величины дебита приблизительна, в том числе и из-за высокой временной изменчивости температуры и солености. Так, только на двух вертикалях диапазон изменений солености составил 0,3–0,5 епс. На остальных вертикалях он составил 1–5 епс. Такая большая изменчивость объясняется большими вертикальными градиентами солености (они достигали 1 епс на 0,1 м). Такие градиенты могли быть обусловлены, как естественными флуктуациями, так и погрешностями измерений (вертикальными колебаниями измерителя солености).

Таким образом, анализ результатов измерений скоростей течений, температуры, солености, мутности, полученных с помощью комплекса измерительной аппаратуры, разработанной в Морском гидрофизическом институте НАН Украины, показал, что субмаринная

разгрузка подземных вод (в сентябре 2007 г. после аномально жаркого и засушливого лета) в карстовой полости около м. Пелекетто (Южный берег Крыма) значительна (1915 м³/сут) и может представлять практический интерес.

Испытание новых приборов и оборудования показало их пригодность для работы в этих специфических условиях, о чем свидетельствуют, полученные разными физико-химическими методами, аналогичные выводы о термохалинной структуре вод, распресненных источниками субмаринной разгрузки. Для получения в дальнейшем более точных данных используемое оборудование нуждается в некоторой конструктивной доработке. Для оценки сезонной изменчивости параметров субмаринной разгрузки в районе м. Айя работы будут продолжены в конце весны 2008 г.

1. *Submarine groundwater discharge* // UNESCO. – 2004. – 35 p. – [Paris.].
2. Кондратьев С. И., Долотов В. В., Моисеев Ю. Г., Щетинин Ю. Т. Субмаринные источники пресных вод в районе мыс Фиолент – мыс Сарыч // Мор. гидрофиз. журн. – 1998. – № 3. – С. 57–69.
3. 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.
4. Горячкин Ю. Н., Иванов В. А. Изменчивость солености 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. Юровский Ю. Г., Байсарович И. М. Гидрология прибрежной зоны. – Симферополь: ДиАйПи, 2005. – 148 с.

Морской гидрофизический институт
НАН Украины, Севастополь

Поступило в редакцию 03.12.2007

УДК 550.41:556.32

© 2008

С. В. Кушнір

Про причини глибинного концентрування вод артезіанських басейнів у зоні гіпергенезу (фізико-хімічний аналіз)

(Представлено академіком НАН України Є. Ф. Шнюковим)

It is shown that different processes of the diffusive nature can participate in the rise of mineralization of the edge water, but baroosmose through fine-porous sediments (rocks) always plays the main role. The intraformational gradient of the osmotic pressure of water is a driving force of baroosmose resulting in the gradual formation of the vertical hydrogeochemical zonality at depths up to 1000–1500 m.

У переважній більшості артезіанських басейнів у міру заглиблення водоносного горизонту концентрація солей в пластових водах збільшується, а отже, змінюється їх хімічний склад [1–8]. Це явище вертикальної гідрогеохімічної зональності (ВГЗ) характерне не лише для структур, складених осадовими породами, а й для масивів кристалічних порід [1, 2].