



УДК 551.49:551.351.2

© 2010

Академик НАН Украины В. А. Иванов, А. В. Прусов,  
А. И. Чепыженко

## Субмаринная разгрузка подземных вод на мысе Айя (Крым)

*Наведено результати натурних спостережень субмаринного розвантаження підземних вод у м. Айя (Крим) наприкінці гідрологічного літа 2008 р. Виміряно швидкості течії, температуру, солоність і мутність в одній з карстових порожнин, а також на полігоні поблизу неї. Оцінки дебіту субмаринного розвантаження порівнюються з аналогічними оцінками, отриманими раніше.*

Натурные наблюдения субмаринной разгрузки подземных вод важны, во-первых, с чисто практической точки зрения. Известно [1, 2], что даже в глубокую межень 1982–1984 гг. только из одной карстовой полости на м. Айя в Крыму за сутки в море уходило 3,6–4,5 млн л питьевой воды высокого качества. Во-вторых, моделирование сложных физических механизмов смешения морских и пресных субмаринных вод невозможно без данных натурных наблюдений, описывающих особенности пространственно-временной изменчивости гидрологических и гидрохимических полей в прибрежных областях, где подземные воды, прошедшие под землей многокилометровый путь, разгружаются в море. Такой участок есть на крымском побережье — это м. Айя. Он является весьма перспективным полигоном для изучения субмаринной разгрузки подземных вод и физических механизмов смешения морских и подземных вод.

Представим основные результаты комплексных натурных наблюдений субмаринной разгрузки подземных вод на м. Айя, полученные ровно через год после проведения первой серии наблюдений в конце гидрологического лета 2007 г. [3–5]. Цель исследований осталась прежней — оценка роли субмаринной разгрузки подземных вод Крымского полуострова в водном и солевом режиме береговых зон; обоснование возможности их практического использования в народном хозяйстве; прогноз реакции этих источников на возможные изменения климата в Крыму и интенсификацию хозяйственной деятельности.

Натурные наблюдения субмаринной разгрузки — это довольно тонкие измерения гидрологических характеристик в поверхностном слое моря, выполненные только при почти

полном отсутствии ветровых волн и зыби. Поэтому возможность выхода в море определялась в результате анализа карт прогноза зыби и ветрового волнения, размещенных на сайтах <http://hmc.hydro-met.ru/sea/black/gfs/menu.php>, <http://vao.hydrophys.org>.

Основная часть измерений, как и в 2007 г., была сосредоточена в карстовой полости № 1. Метеопараметры (температура воздуха, скорость и направление ветра, направление зыби, высота, период волны и рассчитанная длина волны), температура, соленость и мутность определялись в карстовой полости и около нее. Кроме того, с помощью дрейфтеров оценивались скорости поверхностных течений.

Измерения температуры и солености производились гидрологическим CTD-зондом ГАП-12Р, измерения показателя мутности — погружным автономным мутномером ИМП-2а (результаты измерений показателя мутности здесь не приводятся). Был выполнен гидрологический разрез по продольной оси полости длиной 41 м и поперечный разрез у входа в полость. На входе в полость проводились измерения вертикальных профилей температуры и солености, а также скорости течений в направлении в пещеру — из пещеры. Для измерения скоростей использовался прибор ИСТ-1. Его конструктивные особенности описаны в работе [4].

Для оценки дебита субмаринной разгрузки в карстовой полости требовались надежные оценки очень малых средних скоростей течений (см/с) в направлениях в полость — из полости, по всей площади вертикального сечения водной массы на входе в полость. Зная распределение солености и средних скоростей на этом разрезе, можно оценить суммарный дебит источников, разгружающихся там [6]:

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

где  $Q$  — искомый дебит;  $x$  и  $z$  — ширина и глубина на входе в полость;  $L$  и  $H$  — максимальные ширина и глубина;  $U_{\text{cp}}(x, z)$  — средняя скорость течения в точке  $(x, z)$  сечения;  $S_{\text{ф}}$  — фоновая соленость;  $S(x, z)$  — соленость, измеренная в точке  $(x, z)$ ;  $S_{\text{пр}}$  — соленость (минерализация) пресной воды (в нашем случае порядка 0,7 г/л [2]).

Вертикальное распределение солености на входе в карстовую полость № 1 (станции 0–4) иллюстрирует рис. 1, откуда видно, что в верхнем слое толщиной до 0,2 м наблюдались распресненные воды. Наименьшие значения солености составляли 10 епс, что на две единицы меньше, чем в 2007 г. Отдельные следы распреснения прослеживались до глубины 1,2 м. Ниже 2 м соленость, достигнув значения 18,2 епс, практически не менялась. Следовательно  $S_{\text{ф}} = 18,2$  епс. Вертикальное распределение температуры качественно похоже на распределение солености (здесь не приводится).

Таким образом, на разрезе поперек входа в полость наблюдалась активная субмаринная разгрузка подземных вод. Следы распреснения морской воды прослеживались до глубины 1,5 м. Максимальное распреснение наблюдалось в слое 0,0–0,3 м.

На рис. 2 представлено распределение солености вдоль полости № 1 (станции 5–12). Хорошо виден верхний однородный слой с пониженной соленостью толщиной около 0,2 м. Наименьшая соленость  $\sim 10$  епс наблюдалась на поверхности. С глубиной соленость нарастала, достигнув на глубине 0,5 м значения 16 епс. Кроме того, на поверхности хорошо проявились локальные минимумы солености (станции 6, 7, 10, 12), соответствующие обнаруженным ранее местам притока в пещеру пресной воды (эти места отмечены звездочками на верхней врезке рис. 2).

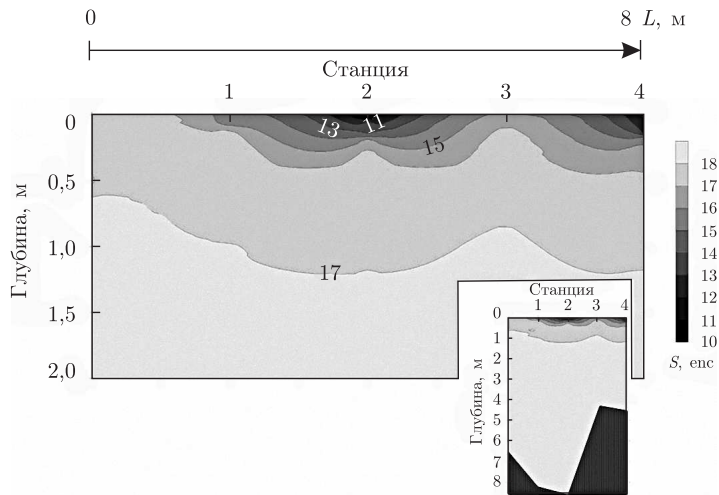


Рис. 1. Распределение солёности на входе в полость (см. изолинии солёности: 11, 13, 15, 17).  
На врезке: тот же профиль, но до дна

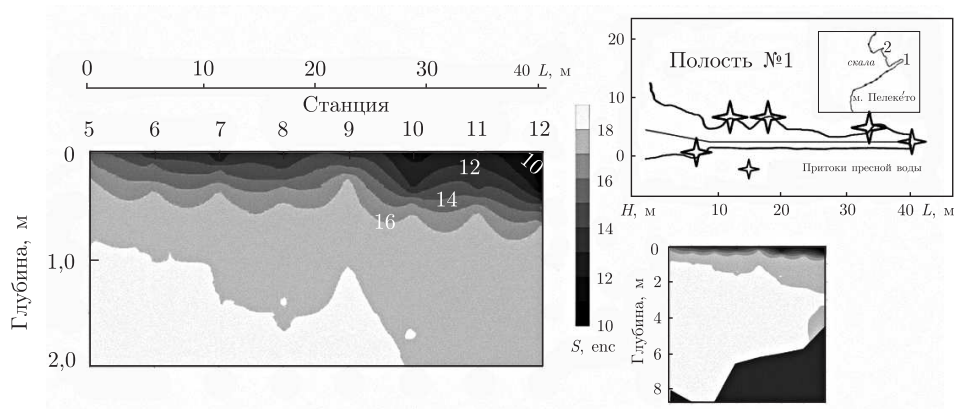


Рис. 2. Распределение солёности вдоль полости в верхнем двухметровом слое (см. изолинии солёности: 10, 12, 14, 16).

На верхней врезке: звездочками показано положение источников внутри полости № 1; на нижней врезке: распределение солёности до дна

Распределение температуры вдоль полости (не приводится) качественно похоже на распределение солёности. В верхнем поверхностном слое (до 0,2 м) температура воды повысилась с 21,0 до 22,0 °С, а для глубин 0,2–0,5 м — с 23,0 до 24,0 °С. Ниже горизонта 0,5 м температура воды, достигнув 24,5 °С, практически не менялась.

Скорости течений удалось измерить лишь на глубинах 0,2, 0,3, 0,4 и 0,9 м. Данные в верхнем слое (на глубинах 0,0 и 0,1 м) были утеряны из-за поломки устройства крепления прибора. Скорости измерялись в направлении в полость — из полости. Положительные значения скоростей соответствуют течению *из полости*, отрицательные — *в полость*. Скорости равны +4,1, –8,1, –11,8 и –4,2 см/с на горизонтах 0,2, 0,3, 0,4 и 0,9 м соответственно. Т. е. на глубинах 0,2–1,0 м интегральный поток направлен в пещеру, а выше 0,2 м — из пещеры в море. Предполагая равенство этих интегральных потоков, находим, что скорости в слое 0,0–0,1 м должны быть порядка 20–25 см/с.

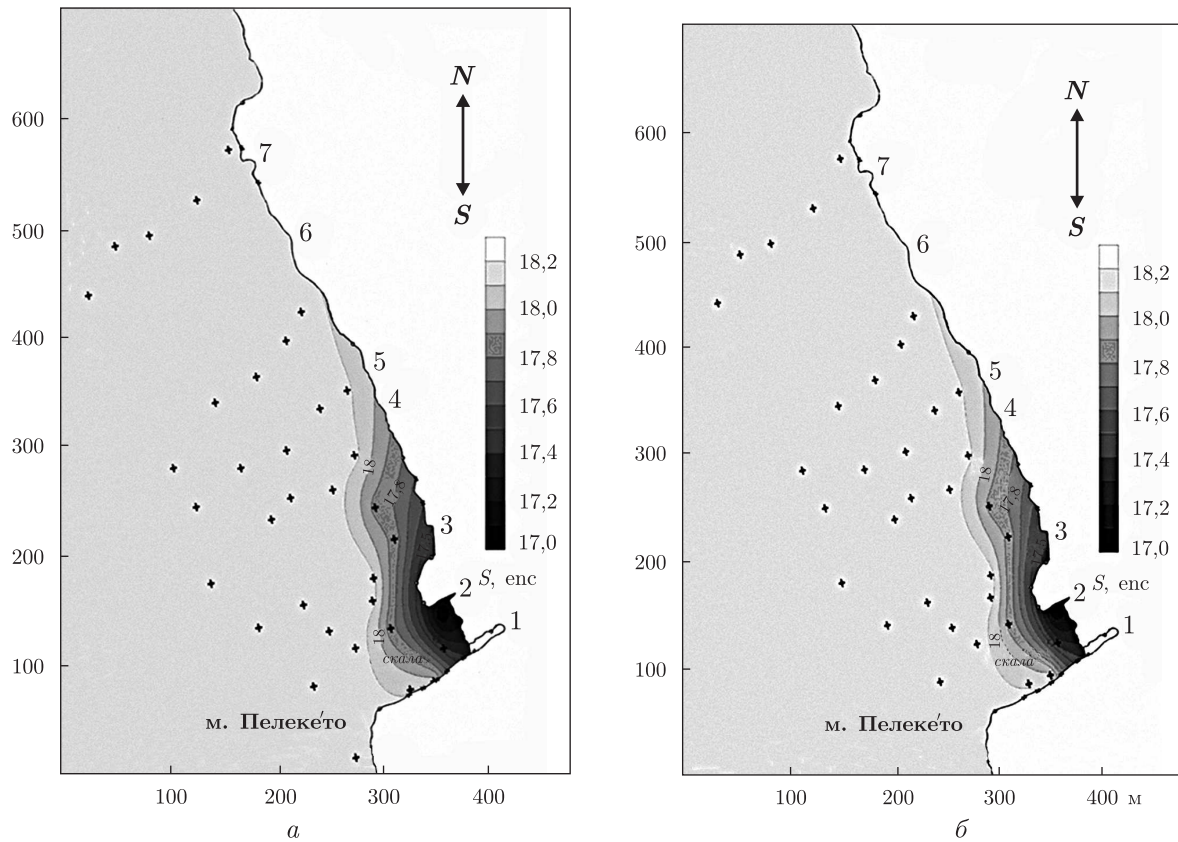


Рис. 3. Распределение солёности на полигоне (глубины 0,3 м (а) и 0,5 м (б)). Точками отмечены гидрологические станции; 1...7 — пещеры, в которых ранее наблюдалась субмаринная разгрузка подземных вод [2]

Пользуясь оценками солёности и средних скоростей на входе в полость № 1, по формуле (1) оцениваем суммарный дебит  $Q_{2008}$  субмаринных источников в этой полости. Он равен,  $\text{м}^3/\text{сут}$ :

$$Q_{2008} = 5000. \quad (2)$$

Сравним эту оценку с оценкой  $Q_{2007} \sim 2000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , полученной в 2007 г. [4]. Имеем отношение  $5000/2000 = 2,5$ . Покажем, что такое отношение дебитов 2008 и 2007 годов, обусловлено большим количеством осадков, выпавших в 2008 г. Учитывая, что основной областью питания субмаринных вод на м. Айя считается [7–9] Айпетринская Яйла и что истинная скорость движения трещинно-карстовых вод, измеренная индикаторными методами в этом районе, составляет в среднем 19–76 м/ч, полагаем, что пресная вода доходит от района Ай-Петри до м. Айя в среднем за 1–4 мес. Сравним суммарное количество осадков за четыре месяца до начала наблюдений в 2007–2008 гг., т. е. за май — август. В 2007 г. за этот период выпало 66 мм осадков, а в 2008 г. — 166 мм (по данным метеопоста на г. Ай-Петри). Отношение  $166/66 = 2,5$  косвенно подтверждает гипотезу [7] об “Айпетринском” происхождении основной части субмаринной разгрузки подземных вод на м. Айя.

Температура и солёность также были измерены на полигоне около карстовых полостей (положение гидрологических станций отмечено точками на рис. 3). Распределения солёно-

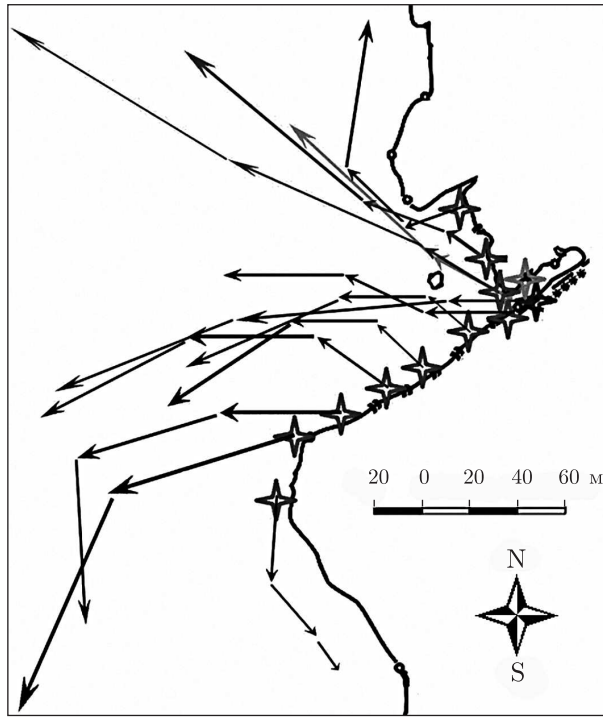


Рис. 4. Схема движения дрейфтеров.  
Звездочками отмечены начальные положения дрейфтеров

сти на глубинах 0,3 и 0,5 м практически совпадают, т. е. поверхностный слой хорошо перемешан. При этом соленость меняется от 17 до 18,2 епс. На глубинах 1,0 и 2,0 м (рисунок не приводится) наиболее распресненная вода также сосредоточена вблизи пещер. Соленость меняется от 17,8 до 18,2 епс, т. е. до фоновой.

Распределение температуры на полигоне качественно напоминает распределение солености: на глубинах 0,0–0,5 м более холодная вода сосредоточена около пещер, и по мере удаления от них температура воды повышается с 22,3 до 23,3 °С. Подобная, но менее контрастная картина (от 22,7 до 23,5 °С) распределения температуры отмечалась на глубинах 1,0–2,0 м.

Для наблюдения за поверхностными течениями на полигоне использовались 12 дрейфтеров. На рис. 4 приведена схема поверхностных течений, составленная на основе этих наблюдений. Концы векторов отмечают положение дрейфтеров через 5, 12 и 25 мин после начала движения. Хорошо видно разделение поверхностного потока (скорости ~ 0,05–0,10 м/с) на две вдольбереговые струи северо-западного и юго-западного направлений.

Оценим суммарный дебит субмаринных источников из всех пяти пещер по данным полигонной съемки солености. Предположим, что за время измерений пространственное распределение солености не менялось (см. рис. 4). Хорошо перемешанные слои 0,0–0,5 и 0,5–2,0 м считаем однородными. Общее количество субмаринной воды в этих слоях  $V_i$  ( $i = 1$  для слоя 0,0–0,5 м,  $i = 2$  для слоя 0,5–2,0 м) рассчитываем так:

$$V_i = \iiint_{V_i} \frac{S_{\Phi} - S(x, y, z)}{S_{\Phi} - S_{\text{пр}}} dV_i, \quad (3)$$

где  $x, y$  — горизонтальные координаты;  $z$  — вертикальная координата;  $S(x, y, z)$  — соленость в каждом элементе объема;  $S_{\text{пр}} = 0,7$  епс.

Считая, что эти объемы уносились от клифа со скоростью порядка 5 см/с, оцениваем суммарный дебит  $Q_{\Sigma}$  всех пяти источников (карстовых полостей), м<sup>3</sup>/сут:

$$Q_{\Sigma} = 9000-10000. \quad (4)$$

По-видимому, половина этой величины (5000 м<sup>3</sup>/сут) приходится на главную карстовую полость, в которой проводились измерения.

Таким образом, анализ результатов измерений скоростей течений, температуры и солености показал, что субмаринная разгрузка подземных вод в конце гидрологического лета 2008 г. в карстовой полости вблизи м. Пелекето составила, м<sup>3</sup>/сут:

$$Q_{2008} \sim 5000,$$

что в 2,5 раза больше, чем в 2007 г. Сравнение значений этих дебитов и месячных сумм атмосферных осадков, измеренных на Айпетринской Яйле, косвенно подтверждает гипотезу о том, что основной водосбор источников субмаринной разгрузки подземных вод на м. Айя находится на Айпетринской Яйле.

1. 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.
2. Юровский Ю. Г., Байсарович И. М. Гидрология прибрежной зоны. – Симферополь: ДиАйПи, 2005. – 148 с.
3. Иванов В. А., Прусов А. В., Юровский Ю. Г. Новые данные о субмаринной разгрузке подземных вод в районе м. Айя (Крым) // Доп. НАН Украины. – 2008. – № 7. – С. 105–111.
4. Иванов В. А., Прусов А. В., Юровский Ю. Г. Субмаринная разгрузка подземных вод у м. Айя (Крым) // Геология и подзем. ископаемые Мирового океана. – 2008. – 3. – С. 65–75.
5. Кондратьев С. И., Прусов А. В., Юровский Ю. Г. Наблюдения субмаринной разгрузки подземных вод (Южный Крым) // Мор. гидрофиз. журн. – 2010. – № 1. – С. 42–48.
6. Коротков А. И., Павлов А. Н. Гидрохимический метод в геологии и гидрогеологии. – Ленинград: Недра, 1972. – 184 с.
7. Климчук А. Б., Амеличев Г. Н., Вахрушев Б. А., Самохин Г. В., Гребнев А. Н. Сбор и анализ материалов о гидрогеологических условиях карстовых пещерных систем горного Крыма, обследование субмаринной разгрузки подземных вод мыса Айя (Науч. отчет) / Укр. ин-т спелеологии и карстологии Мин-ва науки и образования Украины и НАН Украины. – Симферополь, 2007. – 88 с.
8. Шестопалов В. М., Богуславский А. С., Бублясь В. Н., Руденко Ю. Ф. Методические подходы к оценке защищенности и уязвимости подземных вод // Междунар. науч.-практ. конф. “Современные проблемы изучения и оценки эксплуатационных ресурсов питьевых подземных вод”, Киев, 3–5 сент. 2008 г.: Сб. докл. – Киев: Промінь, 2008. – С. 54–79.
9. 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.

**A submarine groundwater discharge in the region of the cape Aya  
(Crimea)**

*The paper reports the data of on-location observations of a submarine ground water discharge collected in summer 2008 in the region of the cape Aya (Crimea, Ukraine). In particular, we present the data on the current speed, temperature, salinity, and turbidity collected in a grotto and the area around it. The submarine ground water discharge is evaluated, and the results are compared with those obtained in the previous studies.*