



УДК 553.78.551.491.31

## О СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ШЕЛЬФЕ УКРАИНСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

*В. И. Лялько, Е. Ф. Шнюков*

Поиски зон субмаринной разгрузки, где значительные количества пресных подземных инфильтрационных вод, образовавшихся в пределах суши, изливаются в море, фильтруясь через донные отложения и безвозвратно теряясь для практического использования, являются важной народнохозяйственной задачей.

Изучение субмаринной разгрузки водоносных горизонтов представляет интерес также при исследовании баланса вод земного шара, процессов морского седиментогенеза, формирования полезных ископаемых на дне моря, при морских геотермических и гидрохимических исследованиях и др.

Области разгрузки пресных подземных вод в шельфовой зоне практически используются для обеспечения водоснабжения в ряде зарубежных стран [6, 16, 18].

Как свидетельствуют многочисленные данные по динамике подземных водонапорных систем зоны интенсивного водообмена в приморских районах, движение подземных потоков в ненарушенных условиях здесь всегда направлено в сторону моря, где осуществляется их разгрузка. При этом субмаринная разгрузка может быть рассредоточенной (главным образом путем перетекания через слабопроницаемые донные отложения морей) и сосредоточенной (в виде субмаринных источников, приуроченных к зонам тектонических нарушений, древним руслам рек, участкам развития закарстованных и трещиноватых пород).

Хотя основной объем субмаринного расхода пресных подземных вод приходится на рассредоточенную разгрузку, для практического использования более перспективны участки сосредоточенной субмаринной разгрузки в пределах прибрежной зоны моря, где еще значительны пьезометрические напоры разгружающихся вод.

Инфильтрационные воды, поступающие с суши к морскому дну, распространены преимущественно в шельфовой зоне, но при благоприятных условиях их потоки могут достигать (по зонам тектонических нарушений, палеоруслам рек и т. п.) континентального склона, вытесняя на своем пути седиментационные воды [6].

Картирование выходов подземных вод на дне моря и определение интенсивности их субмаринной разгрузки можно осуществить различными методами [6]. Наиболее целесообразно применять их в комплексе и поэтапно.

На первом этапе в результате анализа тектонических условий, литологического состава, проницаемости пород и напоров горизонтов подземных вод, распространенных в пределах приморских участков, устанавливаются зоны возможного подземного стока в море. При этом величина подземного стока в море определяется гидродинамическим методом по зависимости Дарси с использованием карт гидроизопьез (гидроизогипс) и водопроницаемостей исследуемого водоносного горизонта в прибрежной полосе. Таким способом рассчитывается преимуще-

ственно рассредоточенная субмаринная разгрузка, поскольку учет путей сосредоточенного подземного стока в море с помощью карт гидроизопьез обычно ограничен недостаточной густотой сети точек опробования. Общая субмаринная разгрузка определяется суммированием расходов подземных потоков, направляющихся в сторону моря, по каждому из дренируемых морским базисом эрозии водоносных горизонтов. Непосредственно в пределах акватории разгрузка подземных вод происходит в результате восходящего перетекания через слабопроницаемые слои в донные отложения.

На втором этапе осуществляется геологическая съемка морского дна на участках, выделенных по гидрогеологическим предпосылкам первого этапа исследований с целью установления зон тектонических нарушений, русел палеорек, участков закарстованных и трещиноватых пород как возможных путей движения и коллекторов субмаринных потоков.

Третий этап исследований состоит в проведении тепловой съемки морского дна и определении электропроводности придонного слоя воды с целью выявления тепловых и гидрохимических аномалий в местах выхода подземных вод, т. е. участков сосредоточенной субмаринной разгрузки. Этот этап может следовать непосредственно вслед за вторым или вместо него, если проведение последнего затруднено.

Сопоставление карт изолиний температур и электросопротивлений морской воды в придонном слое позволяет более однозначно определять места субмаринной разгрузки. Подобные измерения, давшие хорошие результаты, были проведены в районе распространения карстовых пород на Кавказском побережье Черного моря [1, 12].

Термоэлектропрофилограф, сконструированный в Институте геологических наук АН УССР, позволяет при буксировке системы датчиков судном непрерывно записывать температуру морского дна и электросопротивление придонного слоя воды. Метод термоэлектропрофилрования наиболее экономичен при поисках субмаринных источников (по сравнению с другими поисковыми методами).

В случае наличия мощных субмаринных источников (что характерно для районов развития карстовых и трещиноватых пород) для их обнаружения эффективно применение дистанционных инфракрасных и спектрональных съемок поверхности моря с самолетов и искусственных спутников Земли [6, 8, 10, 17].

Тепловые съемки с этой целью лучше всего выполнять в летний период, в предутренние часы, когда температурная разница между сравнительно холодными подземными водами (приблизительно 10 °С) и теплыми морскими (примерно 20 °С) максимальна, и при наличии перемешивания вод (послештормовое время). При этом определение очагов разгрузки дистанционной ИК-съемкой возможно лишь в том случае, если аномалии температуры, вызываемые разгрузкой подземных вод, достигают поверхности моря и величина их отличия от фоновой температуры превышает чувствительность применяемого ИК-радиометра [6].

Геохимический метод изучения областей субмаринной разгрузки основан на выявлении аномалий в химическом составе донных отложений, формирующихся вследствие накопления в морских осадках ряда компонентов в результате седиментации на геохимическом барьере между зоной осадков и морскими водами со свободным кислородом. Железо и марганец, концентрации которых в подземных водах на один-два порядка выше, чем в морской воде, в современных морских осадках часто приурочены к областям субмаринной разгрузки подземных вод и являются, таким образом, индикаторами последних [2, 6, 15].

К настоящему времени советскими и зарубежными исследователями выполнен существенный объем работ по изучению подземного стока в моря. Критический анализ состояния этого вопроса и изложение оригина-

нального материала по Балтийскому и Каспийскому морям приведен в интересной монографии [6]. По Черному морю подобные работы преимущественно концентрировались в районе Кавказского побережья [1, 3, 12, 14].

В пределах Украинского Причерноморья новая методика геотермического исследования субмаринных источников, разработанная в ИГН

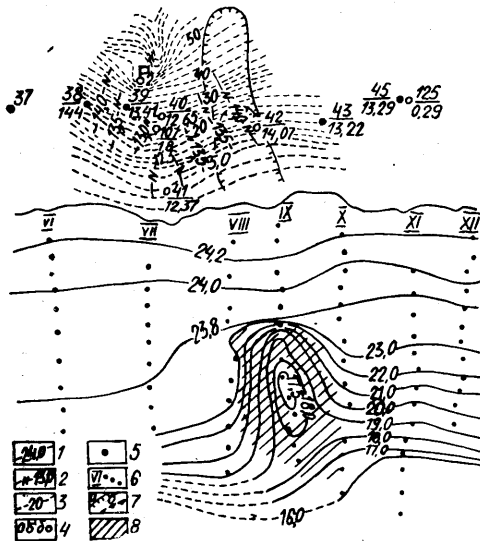


Рис. 1. Схема распределения температур на дне моря и на глубине 2 м от поверхности земли в районе исследований:

1 — изотермы дна моря; 2 — изотермы на глубине 2 м от поверхности земли; 3 — гидроизогипсы грунтовых вод; 4 — характеристика грунтовых вод: а — источник, б — скважина (числитель — номер скважины, знаменатель — дебит, в л/с); 5 — геотермическая скважина (числитель — номер скважины, знаменатель — температура на глубине 2 м, в °С); 6 — геотермический профиль; 7 — бровка оползня; а — старого, б — действующего; 8 — область субмаринной разгрузки подземных вод

АН УССР, впервые была практически опробована для обнаружения и оценки интенсивности стока подземных вод в море в районе пгт Форос на южной окраине Крымского п-ова [9] (рис. 1).

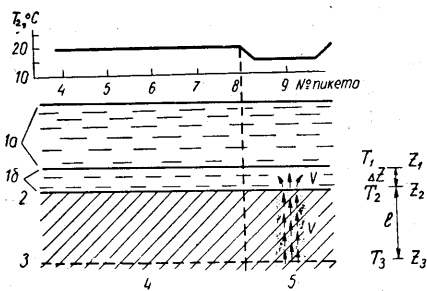


Рис. 2. Схема тепловых потоков вблизи дна:

1 — поверхность моря; 1а — зона интенсивного волнового перемешивания вод (изотермическая); 1б — зона ослабленного волнового перемешивания вод (неизотермическая); 2 — дно моря; 3 — глубина затухания короткопериодных колебаний температуры, обусловленных состоянием моря; 4 — фоновая область; 5 — область субмаринной разгрузки

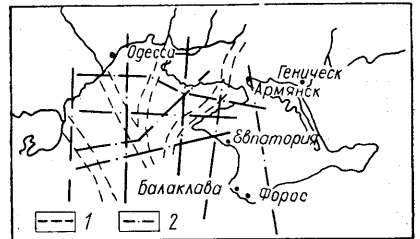


Рис. 3. Схема участков, перспективных для поисков пресных субмаринных вод по палеогеографическим и тектоническим показателям на шельфе Украинского Причерноморья:

1 — русла древней гидрографической сети [7]; 2 — зоны тектонических нарушений [по А. И. Самсонову, 1974]

Суть этого методического подхода состоит в анализе температурной аномалии на дне моря, формирование которой вызывает сосредоточенная субмаринная разгрузка подземных вод (рис. 2). Величина такой аномалии зависит от дебита субмаринного источника. Таким образом, зная распределение донных температур, измеренных летом (когда разница в температурах подземной и морской воды максимальна) в бесштормовой период (когда смешивание морских вод с водами суб-

маринного источника минимально), можно оконтурить очаг субмаринной разгрузки и оценить его дебит по зависимости:

$$Q = - \frac{\lambda}{\rho c l} \ln \left[ 1 - \frac{\rho c v l (T_1 - T_2) (T_{2 \text{ ан}} - T_3) \Delta z}{\lambda (T_2 - T_3) (T_1 - T_{2 \text{ ан}})} \right] S,$$

где  $Q$  — дебит субмаринного источника;  $S$  — площадь его сосредоточенной субмаринной разгрузки (определяется по контуру деформации фоновой изотермы морского дна);  $l$  — глубина затухания короткопериодных возмущений температуры под дном моря, обусловленных состоянием моря;  $T_1$  — температура морской воды на расстоянии  $\Delta z$  на участке с постоянным градиентом температуры;  $T_2$  — температура придонного слоя на фоновом участке;  $T_{2 \text{ ан}}$  — температура втекающей через морское дно подземной воды;  $T_3$  — температура на глубине  $l$  под дном;  $v = \frac{Q}{S}$  — скорость фильтрации подземных вод через дно;  $\lambda$  —

коэффициент теплопроводности пород, слагающих дно;  $\rho, c$  — соответственно плотность и теплоемкость подземных вод.

Значение скорости субмаринной разгрузки  $v$  из приведенного уравнения можно определить методом последовательных приближений или графически.

Поиски субмаринных источников особое значение имеют для южных районов Украины и Крыма (Украинское Причерноморье), характеризующихся крайне слабой обеспеченностью ресурсами пресных подземных вод.

Геолого-гидрогеологические условия акватории Черного моря в пределах шельфовой зоны Украинской ССР таковы, что сосредоточенную субмаринную разгрузку здесь можно ожидать на следующих участках:

1. В Крыму, западнее пгт Симеиз, где по линии Симеиз—Форос загружаются воды, содержащиеся в карбонатных отложениях позднеюрского возраста, а на отрезке Форос—Балаклава по зонам тектонических нарушений возможна разгрузка подземных вод Байдарской котловины, содержащихся в отложениях моложе триасового возраста.

2. В пределах прибрежного контура Альминского бассейна подземных вод (Балаклава—Евпатория) в ненарушенных эксплуатационным водоотбором условиях разгрузки неогеновых водоносных горизонтов осуществлялась на участках русел палеорек, погребенных под дно моря.

3. В пределах Новоселовского и Северо-Сивашского бассейнов подземных вод (береговая линия Евпатория—Армянск) разгрузка в море вод понт-меотис-сарматского водоносного горизонта осуществляется частично по руслам палеорек и карстовым полостям, а в основном — рассредоточенно.

4. В пределах Причерноморского бассейна подземных вод (Армянск—Белгород-Днестровский) рассредоточенная субмаринная разгрузка осуществляется преимущественно за счет вод основного неогенового водоносного комплекса. При этом участки сосредоточенной разгрузки приурочены к долинам палеорек Днепра, Буга, Днестра (рис. 3). Это подтверждено, в частности, наличием напорных пресных вод в известняках понтического возраста, вскрытых под толщей песчано-глинистых отложений при бурении скважины на поднятии Голицына.

5. В пределах Причерноморского бассейна подземных вод на участке между устьями Днестра и Дуная существуют затрудненные условия для разгрузки подземных вод зоны интенсивного водообмена в море вследствие того, что неогеновые породы представлены преимущественно глинистыми образованиями. Зону возможной сосредоточенной субмаринной разгрузки здесь можно ожидать на участке палеорула Дуная.

Оценка субмаринной разгрузки подземных вод зоны интенсивного водообмена в пределах шельфа Украинского Причерноморья

Гидрогеологический район	Участок береговой линии	Длина береговой линии, км	Основной водоносный горизонт	Метод оценки	Интенсивность		Источник материала	Вид субмаринной разгрузки
					суммарная, млн·м <sup>3</sup> /год	Удельная (на 1 пог. км береговой линии), л/с·км		
Юго-западная часть Горного Крыма	Симеиз—Форо́с	25,0	Обводненные карбонатные породы позднерского возраста	Водобалансовый	$\sim 14,0$ $\sim 0,45$	~18,0	[13]*	Смешанный
Байдарская владина (межгорный бассейн подземных вод)	Форо́с	0,05	Обводненные породы выше таурической свиты	Геотермический	0,11 0,0034	70,0	[9, с. 51]	Сосредоточенный
Альминский бассейн подземных вод	Форо́с—Балаклава	80,0	То же	Водобалансовый	~5,0** $\sim 0,16$	2,0**	[5, с. 230]	Смешанный
	Балаклава—Евпатория	90,0	Основной неогеновый водоносный горизонт (N <sub>2</sub> p+N <sub>1</sub> m+N <sub>1</sub> S)	Гидродинамический, водобалансовый	4,2** 0,135	1,5**	[5, с. 237]	»
Северо-Сивацский бассейн подземных вод	Евпатория—Армянск	230,0	То же	Водобалансовый	60,0 2,0	8,7	[5, с. 238]	»
	Тарханкут—Армянск	150,0	» »	Гидродинамический	54,0** 1,8	12,0**	Расчет выполнен Ю. Ф. Филиповым, А. В. Сахацким (ИГН АН УССР, 1979)	»
Причерноморский бассейн подземных вод	Армянск—Очаков	150,0	» »	»	44,8** 1,56	10,0**	[11, с. 166]	»
	Очаков—Днестровский лиман	100,0	То же	Водобалансовый	30,0** 1,0	10,0**	[4, с. 251]	»
Всего					178,0 5,65	8,3		»

\* За величину субмаринной разгрузки условно принята половина определенной в работе [13] величины межленного стока 95 % обеспеченности. При этом учитывали, что подземный сток для изученного балансового района осуществляется как в южном (в сторону моря), так и в северном направлениях. \*\* Отмечены величины, использованные при определении значений субмаринной разгрузки для всего Украинского Причерноморья.

Ориентировочные величины субмаринной разгрузки вод зоны интенсивного водообмена на шельфе Украинского Причерноморья приведены в таблице. Расчеты выполнялись преимущественно по оценке производительности дренируемого морем подземного потока по зависимости Дарси. В районе Фороса в Крыму использованы данные наших геотермических исследований, для юго-западной части Горного Крыма — данные водобалансовых расчетов [13].

Средняя удельная величина подземного стока в море составила около 8,3 л/с·км береговой линии при суммарном стоке около 5,6 м<sup>3</sup>/с. Сравнение этой величины с суммарным эксплуатационным водоотбором из основных водоносных горизонтов в прибрежных районах показывает, что в ряде случаев наблюдается превышение последнего над стоком вод в море, о чем свидетельствует и подток соленых морских вод к подземным водозаборам на некоторых прибрежных участках западной части Крыма.

Однако на отдельных участках шельфа Украинского Причерноморья, где развита древняя гидрографическая сеть (Одесский залив и др.), и зоны тектонических нарушений (участок Симеиз—Балаклава и др.) можно обнаружить и использовать для нужд существенные количества пресных подземных вод (до 700 тыс. м<sup>3</sup>/сут), потребность в которых столь велика в этих маловодных районах.

Для поисков таких субмаринных источников и оценки их расходов в районах, где в пределах шельфа развиты русла палеорек и зоны тектонических нарушений (см. рис. 3), следует выполнить крупномасштабные геотермо-гидрохимические съемки, используя для этого, в частности, методику и аппаратуру, разработанные в Институте геологических наук АН УССР.

## SUMMARY

The paper is concerned with a methodical approach to the evaluation of the amount of fresh subterranean water discharge through the sea bottom, taking into account hydrodynamic, geothermal and geochemical procedures. The amount of fresh sea ground water submarine discharge in the Ukrainian Black Sea area shelf is first approximately evaluated. It shows that there are essential water quantities irretrievably lost in the sea which may be employed in the national economy of this arid region.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Брашнина И. А. О возможности изучения субмаринной разгрузки карстовых вод электрокаротажными методами.—Новости карстоведения и спелеологии, 1963, № 3, с. 21—24.
2. Брусиловский С. А. О возможности оценки субмаринного стока по его геохимическим проявлениям.—В кн.: Комплексные исследования Каспийского моря.—М.: Наука, 1971, вып. 2, с. 9—13.
3. Буачидзе И. М., Мелива А. М. К вопросу разгрузки подземных вод в Черное море в районе г. Гагра.—Тр. НИЛ гидрогеологии Груз. политехн. ин-та, 1967, № 3, с. 5—12.
4. Гидрогеология СССР. Т. 5. Украина.—М.: Недра, 1971.—614 с.
5. Гидрогеология СССР. Т. 8. Крым.—М.: Недра, 1970.—364 с.
6. Джамалов Р. Г., Зекцер И. С., Месхетели А. В. Подземный сток в моря и Мировой океан.—М.: Наука, 1977.—93 с.
7. Львова Е. В. Равнинный Крым.—Киев: Наук. думка, 1978.—188 с.
8. Лялько В. И., Митник М. М. Дистанционные геотермические поиски полезных ископаемых.—Геол. журн., 1975, т. 35, вып. 6, с. 27—45.
9. Лялько В. И., Митник М. М., Вульфсон Л. Д. Исследование субмаринных источников геотермическими методами.—Геол. журн., 1978, т. 38, № 1, с. 46—52.
10. Лялько В. И., Митник М. М., Вульфсон Л. Д., Шпортюк З. М. Геотермические поиски полезных ископаемых.—Киев: Наук. думка, 1979.—148 с.
11. Лялько В. И., Шнейдерман Г. А. Формирование и прогноз ресурсов подземных вод засушливых районов.—Киев: Наук. думка, 1965.—187 с.

12. Огильви А. А. Геофизические методы исследований.— М.: Изд-во МГУ, 1962.— 223 с.
13. Приблуда В. Д., Коджаспиров А. А., Дублянский В. Н. Баланс подземных вод юго-западной части Горного Крыма.— Геол. журн., 1979, т. 39, № 2, с. 38—49.
14. Юровский Ю. Г. Об оценке величины субмаринной разгрузки подземных вод.— Изв. Всесоюз. георг. о-ва, 1973, т. 105, вып. 2, с. 174—179.
15. Degens E. T., Ross D. A. The Red Sea hot brines.— *Scient. Amer.*, 1970, vol. 222, N 4, p. 119.
16. Kohout F. A. Submarine springs. The encyclopedia of oceanography.— New York, Reinhold Publ. Corp., 1966.— 573 p.
17. Pluhowski E. J. Hydrologic interpretation based on infra-red imagery of Long Island, New York.— *Geol. surv. Water-Supply Paper 2009-B*, 1972, p. 47.
18. Potie L. Investigations and capture of submarine fresh water springs. Submarine springs at Port-Miou, Cassis, France. 2 nd Intern. Sympos. Ground Water.— *Palerme*, 1973.— 117 p.

Институт геологических наук  
АН УССР

Статья поступила  
21.VI 1979 г.