

Академик А. А. ТРОФИМУК,
член-корреспондент АН СССР Н. В. ЧЕРСКИЙ, В. П. ЦАРЕВ

РЕСУРСЫ БИОГЕННОГО МЕТАНА МИРОВОГО ОКЕАНА

В работах (¹⁻³) показана возможность аккумуляции природных газов в зонах гидратообразования (ЗГО) Мирового океана. Возникает необходимость оценить количество метана, захороненного в ЗГО и нижележащих участках осадочной толщи.

Схема накопления газов в мировом океане следующая. После оседания органического вещества (ОВ) на поверхности осадков продукты его биохимической переработки — CH_4 , CO_2 , H_2S , N_2 и другие газы, — при глубинах бассейна более 250 м в полярных областях и 650 м в тропиках, образуют твердые соединения с водой — газовые гидраты. Они остаются в осадке, а не рассеиваются в результате всплывания, как предполагалось (⁴). Потери газа в этом случае происходят только в результате диффузии. В твердой фазе накапливаются и газы, образовавшиеся при дальнейшем преобразовании ОВ, захороненного под слоем более молодых осадков.

По мере увеличения мощности придонных отложений ранее образовавшиеся гидраты удаляются от поверхности и погружаются за пределы ЗГО, где происходит их распад и выделение свободных газов. Последние всплывают, снова возвращаются в ЗГО и переходят в гидраты. Степень концентрации природных газов и заполнение гидратами пород ЗГО постепенно увеличивается, а пропоницаемая толща осадков становится экраном, под которым накапливаются свободные газы. Таким образом, толща осадков Мирового океана в пределах ЗГО является зоной интенсивного накопления и концентрации газов (CH_4 , CO_2 , N_2 и др.), а также региональной крышкой, занимающей около 90% поверхности дна Мирового океана (³). При прочих благоприятных условиях под ней могут формироваться обычные газовые залежи.

Скорость генерации газов (в частности, метана), в свою очередь, зависит от интенсивности накопления и преобразования ОВ. В табл. 1 и 2 показаны количества органического вещества, достигающего дна и подвергающегося биохимической переработке (⁵, ⁶), а также генерирующегося при этом метана (⁴). Следует отметить (табл. 1), что основная масса осевшей органики разлагается на поверхности дна (⁶). В пределах шельфа и ложа океана это составляет 80—92% и около половины на материковом склоне и подножье. Объем метана, образующегося на поверхности осадков, достигает 0,17—1,71, а в толще осадков 0,04—0,020 л/м² в год (табл. 2).

Расчеты показывают (табл. 2), что на поверхности осадка во всех структурных зонах Мирового океана метана образуется и превращается в гидрат значительно больше, чем рассеивается.

Интенсивность диффузионного рассеивания газов определяется скоростями придонных течений. Такие течения изучены еще недостаточно, но за пределами шельфов и крупных подводных хребтов практически не известны (⁹).

Результаты расчетов скоростей генерации метана при биохимическом разложении ОВ приведены в табл. 2. Количество метана, образующегося как на поверхности осадка, так и в нем самом, за вычетом рассеивания, составляет от 0,05 до 1,46 л/м² в год.

Таблица 1

Количество органического вещества, подвергающегося биохимической обработке

Зона дна океана	Площадь, 10 ⁶ км ² (¹)	Ср. годовая продукция Сорр, г/см ² .год (¹)	Сорр, достигающий дна		Скорость накопл. осадков, 10 ⁻⁶ м/год (²)	Сорр, захороняемый в осадке *		Сорр, подвергающийся биохимич. обработке		
			% от продукции (³)	г/см ² .год		% к весу осадка (³)	г/см ² .год	на поверхн. осадка, г/см ²	в осадке до глубины 200 м	
									% (³)	г/см ² . год
Шельф	26,7	25,5	40	10,2	8	0,7	1,00	9,20	35	0,35
	76,5	22,0	30	6,6	15	1,3	3,57	3,03	35	1,06
Материковый склон и под- ножье										
Ложе океана	257,0	20,0	6	1,2	0,5	0,3	0,27	0,90	85	0,23

* Плотность сухого осадка принималась равной $1,8 \text{ г/см}^3$.

Таблица 2

Масштабы генерации биохимического метана

Зона дна океана	Сорр, перерабатываемый в CH_4 , % *	СН ₄ , образующийся биохимич. путем, $\text{л/м}^2 \cdot \text{год}$		Градиент изменения концентр. СН ₄ , растворенного в воде при диффузионном рассеивании, атм.	Рассеиваемый СН ₄ , $\text{л/м}^2 \cdot \text{год}$	СН ₄ , захороняемый в ЗГО, $\text{л/м}^2 \cdot \text{год}$
		на поверхн. осадка	в толще осадка			
Шельф	10,0	1,71	0,66	1,0 **	0,31 **	1,46
Материковый склон и подножье	10,0	0,56	0,20	1,0 **	0,31 **	0,45
Ложе океана	10,0	0,17	0,04	0,5 **	0,16	0,05

* Нами взяты низшие пределы возможных значений. При использовании этих данных в (⁴) показана невозможность захоронения метана биохимического происхождения в осадках в газовой фазе.** Верхний предел величины. Эти значения приняты в (⁴) для доказательства невозможности накопления и захоронения биохимического метана.

Таблица 3

Ресурсы биохимического метана в ЗГО Мирового океана

Зона дна океана	Средняя мощность ЗГО, м (¹)	Время формирования толщи осадков, по мощн. равной ЗГО (τ_1), млн лет	Время существования ЗГО (τ_2), млн лет	СН ₄ , накопившийся в ЗГО за время ее существования, $\text{м}^3/\text{м}^2$	Площадь ЗГО, 10^6 км^2	Ресурсы СН ₄ , трлн м^3	СН ₄ ср в породах ЗГО, $\text{м}^3/\text{м}^3$
Шельф	60	0,75	1,0	1460	2,6	3796	24
Материковый склон и подножье	200	1,3	3,0	1350	76,5	103 275	6,7
Ложе океана	300	60	80,0	4000	257,0	1 028 000	13

Как указывалось ранее, по мере накопления осадков гидраты погружаются за пределы ЗГО, разлагаются там, а освободившиеся газы снова устремляются в зону. В табл. 3 приводятся исходные данные для расчета времени от начала формирования зон гидратообразования до погружения гидратов за пределы ЗГО. Эти величины получены путем деления мощности осадков в ЗГО на скорость их накопления (без поправки на уплотне-

ние). Если принять ⁽¹⁰⁾, что непрерывное накопление осадков в Мировом океане происходит на шельфах в течение четвертичного времени, а в других структурных зонах океана — начиная с мела—юры, т. е. в интервале 1,0—80 млн лет, то выделение свободного газа при разложении гидратов ниже подошвы ЗГО происходило соответственно на протяжении от 0,25 до 20 млн лет (табл. 3, $\tau_2 - \tau_1$). За время существования ЗГО в различных зонах Мирового океана накопилось от 1350 до 4000 м³ метана на 1 м² площади дна. С учетом того, что ЗГО занимают 10% площади шельфа и 100% материкового склона и ложа океана, ресурсы метана следует оценивать соответственно как ~3500, ~100000 и ~1000000 трлн м³ (табл. 3). Для сравнения укажем, что расчеты, проведенные без учета накопления газов в ЗГО Мирового океана, дают величину 140000 трлн м³ метана во всех оболочках Земли, включая рассеянные газы — адсорбированные в породах и растворенные в пластовых водах ⁽¹¹⁾.

Средние содержания метана в породах ЗГО равны ~6,7—24 м³/м³, т. е. примерно такие, как в газовых залежах материков с пористостью коллекторов 20% и пластовыми давлениями 50—100 атм. Следует учесть, что в реальных геологических условиях гидраты распределены в ЗГО неравномерно. Наибольшие концентрации, в 1,5—2 раза и более выше средних расчетных (табл. 3), могут быть встречены в нижней половине ЗГО, где накапливался метан, мигрировавший с подошвы ЗГО при разложении гидратов.

Таким образом, ресурсы метана в ЗГО Мирового океана на несколько порядков превышают суммарные запасы газов в месторождениях материков.

Приведенные показатели позволяют выделить период образования и существования морских осадков в ЗГО как фазу первичного накопления метана, которой нет равной по масштабам на планете. Распределение выявленных мировых запасов природного газа по литолого-фациальным комплексам на уровне 1973 г. не противоречит высказанным предположениям:

Литолого-фациальные комплексы	Морские	Прибрежно-морские	Континентальные, подстилаемые морскими	Континентальные
Доля мировых запасов, %	52,2	28,7	17,8	1,3

Поэтому можно считать, что специфическим признаком комплексов, обладающих высокими ресурсами метана, при прочих равных условиях, является их формирование на морских глубинах свыше 250—650 м.

В заключение отметим главные особенности поисков и извлечения метана из ЗГО Мирового океана. Следует иметь в виду, что в пределах ЗГО во всех структурных зонах океана осадки представлены слабо сцементированными разностями ⁽¹⁰⁾, которые легко разрушаются, что существенно облегчит извлечение газа из осадочной толщи морского дна. Учитывая большую сингенетичную гидратонасыщенность высокопористых глин и глобигериновых илов на глубинах до 300—400 м от поверхности дна ⁽¹²⁾, можно ожидать предельного заполнения гидратами пород, особенно на участках нижней половины ЗГО. Такие горизонты будут являться отражающими и уверенно выделяться при помощи акустических геофизических методов. Экспериментально установлено ⁽¹³⁾, что заполнение гидратами порового пространства слабо сцементированных пород увеличивает скорости прохождения сейсмических волн до двух раз.

Возможно, что именно указанные пласты и являются отражающими горизонтами, которые повсеместно обнаружены в глубоководных отложениях ^(10, 14, 15) на глубинах около 300 м от поверхности дна, что соответствует нижней половине ЗГО ⁽³⁾. Такие же отражающие горизонты найдены на материковых склонах и реже на шельфах.

В случае подтверждения поисковыми работами колоссальных запасов метана, имеющего высокие концентрации в верхних 300—400 м осадков дна Мирового океана и разработки эффективных методов его извлечения, что вполне реально даже на современном уровне развития техники, человечество может быть обеспечено энергоресурсами на сотни лет. Следует отметить, что практически во всех случаях, когда производились специальные наблюдения при бурении скважин в глубоководных зонах Мирового океана с судна «Гломар Челленджер», поднятые образцы пород содержали метан и его гидраты, на что указывалось в работах (^{2, 3, 13}) и др.

Поступило
22 VII 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. П. Царев, Особенности формирования и методы поисков газогидратных залежей. Канд. дис., Якутск, 1970.
- ² Ю. Ф. Макогон, А. А. Трофимук и др., Геол. и геофиз., № 4, 3 (1973).
- ³ А. А. Трофимук, Н. В. Черский, В. П. Царев, ДАН, т. 212, № 4, 931 (1973).
- ⁴ В. А. Соколов, Геохимия газов земной коры и атмосферы, М., «Наука», 1966, стр. 301.
- ⁵ Д. Е. Гершанович, Т. И. Горшкова, А. И. Конюхов, В кн.: Органическое вещество современных и ископаемых осадков и методы его изучения, М., «Наука», 1974, стр. 63.
- ⁶ Е. А. Романкевич, В кн.: Органическое вещество современных и ископаемых осадков и методы его изучения, М., «Наука», 1974, стр. 33.
- ⁷ И. О. Кобленц-Мишке, В кн.: Тихий океан. Биология Тихого океана, кн. 1, М., «Наука», стр. 86.
- ⁸ С. Г. Неручев, Т. М. Парпарова, В кн.: Органическое вещество современных ископаемых осадков и методы его изучения, М., «Наука», 1974, стр. 81.
- ⁹ Р. Н. Булатов, В кн.: Условия седиментации в Атлантическом океане, М., «Наука», 1972, стр. 43.
- ¹⁰ Нефтегазоносность морей и океанов, М., «Недра», 1973, стр. 330.
- ¹¹ В. А. Соколов, Геохимия природных газов, М., «Недра», 1971, стр. 334.
- ¹² Э. Г. Гамильтон, В кн.: Рельеф и геология дна океанов, М., «Прогресс», 1964, стр. 216.
- ¹³ D. Stoll, J. Ewing, G. Bryan, J. Geophys. Res., v. 76, № 8, 10 (1971).
- ¹⁴ Тихий океан. Геофизика дна Тихого океана, М., «Наука», 1974, стр. 190.
- ¹⁵ Б. Хейзен, М. Тарп, М. Юинг, Дно Атлантического океана, М., ИЛ, 1962, стр. 147.