

УДК 624.131

<http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-100-103>

## АНАЛИЗ ПОГЛОТИТЕЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА НА СОДЕРЖАНИЕ ДВУОКСИ УГЛЕРОДА С ПОМОЩЬЮ КАЛЬЦИМЕТРА «FANN»

С.Г. Фокин\*, С.А. Бычков, А.М. Ярков

Центр подводных исследований Русского географического общества, Санкт-Петербург, Россия

**ЦЕЛЬ:** Рассмотреть возможность применения кальциметра «Fann» для проведения анализа поглотительного вещества на содержание двуокиси углерода.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Произведен анализ поглотительного вещества на содержание двуокиси углерода двумя методами. Принцип работы обоих методов основан на разлагающем действии кислоты на химический поглотитель, в результате чего происходит химическая реакция и выделяется двуокись углерода.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Давление, генерирующееся в процессе реакции в закрытом реакторе, прямо пропорционально содержанию карбоната в образце. Использование кальциметра «Fann» позволяет определить содержание диоксида углерода в химическом поглотителе быстро и с высокой степенью точности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** морская медицина, поглотительные вещества, двуокись углерода, кальциметр «Fann», методы лабораторного определения, морская медицина, водолазы, острое отравление двуокисью углерода

\*Для корреспонденции: Фокин Сергей Георгиевич, e-mail: [s.fokin@urc-rgs.ru](mailto:s.fokin@urc-rgs.ru)

\*For correspondence: Sergey G. Fokin e-mail: [s.fokin@urc-rgs.ru](mailto:s.fokin@urc-rgs.ru)

**Для цитирования:** Фокин С.Г., Бычков С.А., Ярков А.М. Анализ поглотительного вещества на содержание двуокиси углерода с помощью кальциметра «Fann» // *Морская медицина*. 2023. Т. 9, № 1. С. 100–103, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-100-103>

**For citation:** Fokin S.G., Bychkov S.A., Yarkov A.M. Analysis of absorbing substance for content of carbon dioxide via calcimeter «Fann» // *Marine Medicine*. 2023. Vol. 9, № 1. С. 100-103, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2023-9-1-100-103>.

## ANALYSIS OF ABSORBING SUBSTANCE FOR CONTENT OF CARBON DIOXIDE VIA CALCIMETER «FANN»

Sergey G. Fokin\*, Sergey A. Bychkov, Andrey M. Yarkov

Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society, St. Petersburg, Russia

**OBJECTIVE:** Consider the use of calcimeter “Fann” to analyze the absorbing substance for the content of carbon dioxide.

**MATERIALS AND METHODS:** There was an analysis of the absorbing substance for the content of carbon dioxide by two methods. Their working principle is based on decomposing acid effect on chemical absorber, resulting in a chemical reaction and producing carbon dioxide.

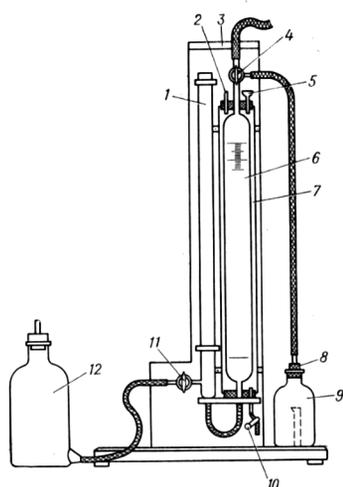
**RESULTS:** Pressure, generated in the reaction process in a closed reactor, is directly proportional to the carbonate content in the sample. The use of calcimeter “Fann” allows to determine the content of carbon dioxide in chemical absorber fast and with high degree of accuracy.

**KEYWORDS:** marine medicine, absorbing substance, carbon dioxide, calcimeter «Fann», laboratory methods of determining, divers, carbon dioxide acute poisoning

**Введение.** Важность определения содержания двуокиси углерода в поглотительном веществе в водолазной практике объясняется тем, что накопление двуокиси углерода в дыхательной газовой смеси может привести к отравлению двуокисью углерода водолаза. Для определения процентного содержания двуокиси углерода, связанной с химическим поглотителем, используется кальциметр. Принцип действия прибора основан на разлагающем

действии кислоты на химический поглотитель, насыщенный двуокисью углерода, в результате чего происходит химическая реакция и выделяется углекислота, которая, поступая в бюретку, вытесняет из нее жидкость<sup>1</sup>. Примерная схема конструкции стандартного кальциметра показана на рис. 1.

<sup>1</sup>Правила водолажной службы Военно-морского флота ПВС ВМФ – 2002. М.: Воениздат, 2004. Ч. II, С. 176 с.



**Рис. 1.** Кальциметр

- 1 – цилиндр; 2 – отводная трубка; 3 – подставка;  
4 – кран; 5 – воронка; 6 – бюретка;  
7 – мантия; 8 – пробка; 9 – реакционный сосуд  
с пробкой; 10 – зажим пружинный;  
11 – кран; 12 – склянка с тубусом

**Fig. 1.** Calcimeter

- 1 – cylinder; 2 – discharge tube; 3 – stand;  
4 – crane;  
5 – funnel; 6 – burette; 7 – mantle; 8 – stopper;  
9 – reaction vessel with stopper; 10 – spring clamp;  
11 – tap; 12 – flask with tube

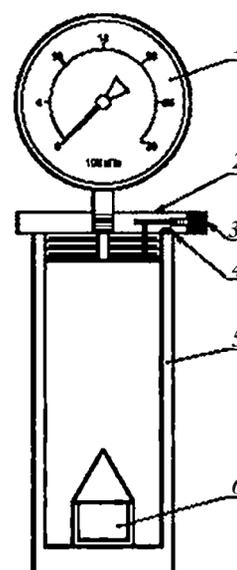
Центр подводных исследований Русского географического общества (ЦПИ РГО) в своих экспедициях использует кальциметр «Fann», в котором бюретка с жидкостью заменена на манометр<sup>2</sup>. Примерная схема конструкции кальциметра «Fann» показана на рисунке 2.

Кальциметры «Fann» соответствуют требованиям стандарта ASTM D4373–84 «Стандартный метод определения содержания карбоната кальция в почвах». Данная методика испытаний находится в юрисдикции Комитета ASTM по стандартизации В-18 по почвам и породам, а также в сфере непосредственной ответственности Подкомитета D-18.13 по морской геотехнике<sup>3</sup> [3].

**Материалы и методы.** В качестве поглотителя двуокиси углерода используется натровая известь (натристая известь). Химический поглотитель выделяет воду (влагу в ДГС) и поглощает двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ), переходя в

<sup>2</sup>Паспорт Инструкции по эксплуатации «Карбонатомер манометрический». М.: ООО НИИЦ «Недра-тест», 2017. С. 15.

<sup>3</sup>Стандарт ASTM D 4373-84 «Стандартный метод определения содержания карбоната кальция в почвах».

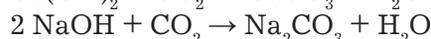
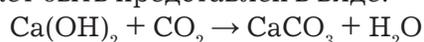


**Рис. 2.** Манометрический кальциметр «Fann»

- 1 – манометр 0 – 206,8 кПа (0 – 2,1 кгс/см<sup>2</sup>);  
2 – крышка реакционной цилиндра;  
3 – предохранительный клапан; 4 –  
уплотнительные кольца; 5 – реакционный цилиндр  
из прозрачного пластика, объемом 200 мл;  
6 – чашка с держателями из прозрачного пластика
- Fig. 2.** Manometric calcimeter «Fann»  
1 – pressure gauge 0 – 206.8 kPa (0 – 2.1 kgf / cm<sup>2</sup>);  
2 – cover of the reaction cylinder;  
3 – safety valve; 4 – O-rings; 5 – reaction cylinder  
made of transparent plastic, with a volume of 200 ml;  
6 – cup with holders made of transparent plastic

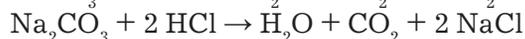
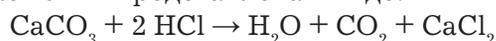
смесь карбонатов: натрия (соды)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и кальция (кальцита)  $\text{CaCO}_3$ .

Процесс поглощения диоксида углерода может быть представлен в виде:



В кальциметре «Fann» карбонат кальция и карбонат натрия вступают в реакцию с 10% соляной кислотой с образованием  $\text{CO}_2$ .

Реакция, происходящая в герметизированной реакционной камере с повышением давления вследствие нарастающего количества  $\text{CO}_2$ , измеряется манометром или самописцем и может быть представлена в виде:



Содержание карбоната определяется путем обработки 1 грамма исследуемого образца соляной кислотой (HCl) в закрытой реакторной емкости. В процессе реакции между кислотой и карбонатными фракциями образца выделяется газообразная двуокись углерода.

Таблица 1

**Давление в закрытом реакторе в зависимости от количества двуокиси углерода  
в химическом поглотителе**

Table 1

**Pressure in a closed reactor depending on the amount of carbon dioxide in  
the chemical absorber**

Изменение давления, кгс/см <sup>2</sup>	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
Содержание двуокиси углерода, л/кг	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

**Результаты и обсуждение.** Кальциметры «Fann» выдают показания о содержании двуокиси углерода в течение нескольких секунд, оценка результатов производится через 30 секунд, с использованием таблицы 1. Для получения точных данных нужно взять несколько проб разного веса. Пробу можно взвешивать на портативных весах с точностью до 10 мг. Давление в закрытом реакторе в зависимости от количества двуокиси углерода в химическом поглотителе представлено в таблице 1.

Содержание диоксида углерода может быть вычислено по формуле:

$$X = V_{ст} / q, \quad (1)$$

где  $V_{ст}$  – объем выделившегося газа (диоксида углерода) при стандартных условиях ( $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ), см<sup>3</sup>;

$q$  – навеска вещества, г.

При проведении анализа в условиях, отличных от стандартных, объем выделившегося газа рассчитывают по формуле:

$$V_{ст} = Vt \cdot P_t \cdot (273 + 20) / (273 + t) \cdot 760 = Vt \cdot P_t \cdot 0,3855 / (273 + t), \quad (2)$$

где  $Vt$  – объем газа, выделившегося из навески вещества, см<sup>3</sup>;

$P_t$  – атмосферное давление во время проведения анализа, мм рт. ст.;

$t$  – температура воздуха в месте отбора пробы,  $^\circ\text{C}$ .

За окончательный результат анализа по количеству двуокиси углерода в поглотительном веществе принять среднее арифметическое значение результатов анализов трех проб.

К использованию в водолазной практике допускается поглотитель с содержанием двуокиси углерода не более 20 л/кг (0,02 м<sup>3</sup>/кг).

При работе на кальциметре «Fann» следует соблюдать технику безопасности. Перед использованием прибора следует убедиться в отсутствии механических повреждений. Прибор работает под давлением, поэтому его эксплуа-

тация с наличием механических повреждений запрещена. При работе использовать халат, резиновые перчатки, защитные очки<sup>4</sup>.

Во избежание попадания исследуемого вещества на кожные покровы рук его следует засыпать совком. При попадании на кожу кислоты быстро смыть под струей холодной воды, потом обмыть теплой водой, промокнуть туалетной бумагой или салфеткой и наложить тампон из 2% раствора пищевой соды.

После окончания работ все детали прибора необходимо вымыть с использованием слабого раствора неабразивного моющего средства и вытереть насухо, после просыхания протереть резиновые уплотнения вакуумной смазкой, глицерином или этиленгликолем.

**Заключение.** В заключение хотелось бы отметить, что кальциметр «Fann» имеет компактные размеры по сравнению с стандартными кальциметрами, что позволяет использовать его в условиях экспедиций для определения содержания двуокиси углерода в химическом поглотителе. Принцип действия прибора основан на разлагающем действии кислоты на химический поглотитель, насыщенный двуокисью углерода, в результате чего происходит химическая реакция и выделяется CO<sub>2</sub>. Давление, генерирующееся в процессе реакции в закрытом реакторе, прямо пропорционально содержанию двуокиси углерода в образце.

С помощью кальциметра «Fann» можно определить содержание диоксида углерода в химическом поглотителе быстро и с высокой степенью точности.

<sup>4</sup>ПНД Ф 12.13.1-03 «Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)». / Министерство природных ресурсов РФ. М., 2003 г. С. 30.

**Сведения об авторах:**

*Фокин Сергей Георгиевич* – исполнительный директор, водолаз-исследователь, автономная некоммерческая организация «Центр подводных исследований Русского географического общества», Санкт-Петербург, ул. Захарьевская д. 3, лит. А; e-mail: s.fokin@urc-rgs.ru. ORCID 0000-0002-4351-1703

*Бычков Сергей Анатольевич* – врач водолазной медицины, автономная некоммерческая организация «Центр подводных исследований Русского географического общества», Санкт-Петербург, ул. Захарьевская д. 3, лит. А; e-mail: markis86@mail.ru. ORCID 0000-0002-8506-7815

*Ярков Андрей Михайлович* – кандидат медицинских наук, врач водолазной медицины, автономная некоммерческая организация «Центр подводных исследований Русского географического общества», Санкт-Петербург, ул. Захарьевская д. 3, лит. А; e-mail: y-andrei@mail.ru. ORCID 0000-0001-9349-0085

**Information about the authors:**

*Sergey G. Fokin* – executive director, research diver, autonomous non-profit organization «Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society», 3-A, Zakharyevskaya St., St. Petersburg, 191123, e-mail: s.fokin@urc-rgs.ru. ORCID 0000-0002-4351-1703

*Sergei A. Bychkov* – diving medicine doctor of the autonomous non-profit organization «Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society» 3-A, Zakharyevskaya St., St. Petersburg, 191123; e-mail: markis86@mail.ru, ORCID 0000-0002-8506-7815

*Andrey M. Yarkov* – Cand. of Sci. (Med.), Doctor of Diving Medicine, autonomous non-profit organization «Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society», 3-A, Zakharyevskaya St., St. Petersburg, 191123, e-mail: y-andrei@mail.ru, ORCID 0000-0001-9349-0085

**Вклад авторов.** Все авторы в равной степени участвовали в разработке концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке и утверждении текста статьи.

**Наибольший вклад распределён следующим образом:**

Концепция и план исследования – А.М. Ярков, С.Г. Фокин; Сбор и математический анализ данных – А.М. Ярков, С.А. Бычков; Подготовка рукописи – С.Г. Фокин, С.А. Бычков, А.М. Ярков.

**Author contribution.** All authors according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking and approving the text of the article.

*Special contribution:* AMYa, SGF aided in the concept and plan of the study; AMYa, SAB provided collection and mathematical analysis of data.

**Потенциальный конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declare that they have no competing interests.

Поступила/Received: 01.02.2023  
Принята к печати/Accepted: 13.02.2023  
Опубликована/Published: 30.03.2023