

УДК 544.1; 532.1; 551.435.38

Проблемы изучения антарктического озера Восток через ледовую скважину

Канд. физ.-мат. наук А. А. ЗАХАРОВ¹, канд. техн. наук В. А. СОЛОВЕЙ²

¹arcady.zakharov@gmail.com, ²solovey_aa@pnpi.nrcki.ru

НИИ «Курчатовский институт» — ПИЯФ

Уникальная водная экосистема подледникового антарктического озера Восток изолирована от земной атмосферы и биосферы в течение примерно 14 млн лет. Первое вскрытие озера произошло в 2012 г., последующее в 2015 г. Эти события носили технический характер и не принесли новой научной информации. Первоочередными задачами научных исследований остаются определение содержания кислорода в озерной воде и поиск следов жизни в озере. Изучение озера столкнулось с проблемами, а именно загрязнением ствола скважины, возникшим при бурении, образованием в заливочной жидкости клатратных гидратов фреона R-141b и значительным колебанием уровня воды в скважине при погружении в нее научного оборудования. В статье рассматривается технология, основанная на использовании силиконовой жидкости, которая отвечает экологическим требованиям и позволит приступить к изучению водной среды озера Восток.

Ключевые слова: Антарктида, подледниковое озеро Восток, отбор проб озерной воды, ледовая скважина, фреон R-141b, клатратные гидраты, силиконовая жидкость.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 30.07.2018, принята к печати 14.09.2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-4-3-9

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Захаров А. А., Соловей В. А. Проблемы изучения антарктического озера Восток через ледовую скважину. // Вестник Международной академии холода. 2018. № 4. С. 3–9.

The study of Antarctic Lake Vostok through ice borehole

Ph. D. A. A. ZAKHAROV¹, Ph. D. V. A. SOLOVEY²

¹arcady.zakharov@gmail.com, ²solovey_aa@pnpi.nrcki.ru

NRC «Kurchatov Institute» — PNPI

The unique aquatic ecosystem of subglacial Antarctic Lake Vostok is isolated from the atmosphere and the biosphere for about 14 million years. The first opening of the lake by drilling was in 2012, followed in 2015. These technical events did not bring new scientific information. Priority research tasks are measuring the oxygen content in the lake water and search for traces of life in the lake. The study of the lake meet with several problems, namely contamination of the borehole caused by drilling, formation of clathrate hydrates of R-141b freon in drilling liquid, and significant water level fluctuations inside the borehole when scientific equipment are submerged into. The technology based on the use of silicone fluid is considered in the article. It meets environmental requirements and will allow starting the study of the Lake Vostok aquatic environmen.

Keywords: Antarctica, subglacial Lake Vostok, lake water sampling, ice borehole, Freon R-141b, clathrate hydrates, silicone fluid.

Article info:

Received 30/07/2018, accepted 14/09/2018

DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-4-3-9

Article in Russian

For citation:

Zakharov A. A., Solovey V. A. The study of Antarctic Lake Vostok through ice borehole. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2018. No 4. p. 3–9.

Введение

Под внутриконтинентальной полярной станцией «Восток» в Антарктиде расположено крупнейшее одноименное подледниковое озеро. Площадь озера составляет приблизительно 15,5 тыс. км², объем — более 6100 км³, длина — около 275 км и ширина — около 65 км. Толщи-

на ледового покрова над озером — от 3700 до 4200 м. Максимальная глубина озера оценивается в 1650 м.

Актуальность изучения озера Восток связана прежде всего с тем, что оно представляет собой уникальную водную экосистему, изолированную от земной атмосферы и поверхностной биосферы около 14 млн лет. экстре-

мальные условия, характеризующиеся высоким давлением, отсутствием света, специфическим газовым и химическим составом воды, и продолжительная изолированность озера Восток предполагают возможность возникновения и эволюции здесь форм жизни, существенно отличающихся от известных современной науке, а также сохранения реликтовых форм и проявления иных, неизвестных путей эволюции, изучение которых будет способствовать лучшему пониманию процессов развития жизни как на нашей планете, так и на других планетах Солнечной системы. Значительные размеры озера позволяют рассматривать его в качестве земного аналога океанов, существующих под мощными ледяными панцирями спутника Юпитера — Европы и спутника Сатурна — Энцелада. Таким образом, озеро Восток представляет интерес как полигон для отработки методов обнаружения и изучения жизни в экстремальных (внеземных) условиях [1, 2]. Исследования подледниковых водных сред Антарктиды определены Научным комитетом по антарктическим исследованиям (SCAR) в качестве одного из ведущих направлений исследований региона в начале XXI века.

Первое вскрытие подледникового озера Восток состоялось 5 февраля 2012 г., повторное — 25 января 2015 г., однако исследования водного бассейна до настоящего времени не начались. Научные исследования водной среды озера Восток технологически и экологически тесно связаны со скважиной и не могут рассматриваться отдельно от нее. Изучение подледникового озера Восток натолкнулось на ряд проблем экологического характера, которые связаны с выбранной технологией проникновения в озеро. Эти проблемы связаны с загрязнением заливочной жидкости в скважине; образованием клатратных гидратов фреона при контакте заливочной жидкости с водой; колебанием уровня воды в скважине при загрузке/выгрузке оборудования. Для решения этих проблем предлагается комплекс мер, обеспечивающих экологическую безопасность при изучении озера через ледниковую скважину.

Первоочередные задачи научных исследований

На первом этапе научных исследований предполагается выполнить две задачи.

1. Отбор пробы озерной воды в жидком состоянии с целью поиска следов микробной (и иной) жизни по ДНК-отпечаткам. Исследования проб будут проведены по схеме и методике, разработанной в НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ, которая уже продемонстрировала эффективность и надежность результатов при исследовании извлеченных ледяных кернов.

2. Измерение содержания кислорода в верхнем слое озерной воды *in situ* с помощью прибора RINKO-I (ARO-USB).

Отбор проб будет проводиться из воды, которая поднимается в скважину при вскрытии озера, с помощью пробоотборников, созданных в НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ. Пробы воды будут извлекаться на поверхность в жидком состоянии. Пробоотборники, используемые для этих целей, осуществляют забор проб внутри скважины и вглубь озера погружаться не будут.

Описание имеющихся проблем

Первая проблема связана с заливочной жидкостью и состоит в том, что она подвергалась систематическому загрязнению в процессе бурения [3]. Как показали исследования, проведенные учеными НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ на станции Восток в 62-ю и 63-ю Российские антарктические экспедиции, в скважине содержатся химические примеси, механические загрязнения в виде частиц металла, а также сгустки клатратных гидратов фреона. Клатратные гидраты фреона R-141b, входящего в состав заливочной жидкости, расположены по всей глубине скважины и в меньшей степени в районе забоя. Образование клатратов в скважине в большом количестве связано с тем, что бурение до глубины 2755 м проводилось термобуровым снарядом в среде заливочной жидкости, содержащей фреон [4].

Второй проблемой является образование в скважине пробки из клатратных гидратов фреона R-141b [5], которая появляется в результате контакта заливочной жидкости с водой в момент вскрытия озера [6–9]. При вскрытии озера Восток в 2012 и 2015 гг., мер по предотвращению контакта заливочной жидкости с водой гляцио-буровым отрядом принято не было, хотя программой работ предусматривалось использование силиконовой жидкости в нижней части скважины [10]. Образование в скважине клатратной пробки полностью исключает возможность погружения в воду научного оборудования.

Третья проблема связана с тем, что уровень воды, поступившей в скважину при вскрытии озера, изменяется при опускании/подъеме научного оборудования. При этом вода, загрязненная заливочной жидкостью, будет поступать в озеро, что недопустимо по экологическим соображениям.

Научные исследования озерной воды могут быть проведены только при условии решения перечисленных проблем.

Очистка скважины от имеющихся загрязнений

Для использования скважины с целью научных исследований она должна быть очищена от тяжелых примесей, которые оседают вниз. Источники загрязнения должны быть устранены. Принципиальным моментом перед началом очистки скважины от примесей является устранение их источников, к которым относятся грузонесущий кабель и его тракт, требующие замены.

Как было отмечено выше, кроме механических тяжелых примесей по всей глубине скважины имеются сгустки клатратных гидратов фреона, которые либо плавают в заливочной жидкости, либо закреплены на стенках скважины. Все тяжелые примеси подлежат сбору на фильтрах, погружаемых в скважину и через которые насосом прогоняется заливочная жидкость. Стенки скважины должны быть очищены от прилипших к ним клатратов, а заливочная жидкость не должна содержать оседающих примесей. Примеси, которые растворены или взвешены в заливочной жидкости, не могут попасть в озерную воду, поскольку заливочная жидкость будет изолирована от воды силиконовой жидкостью.

Степень очистки контролируется следующими способами:

- визуально с помощью модуля видеокамеры;
- путем оперативного измерения мутности заливочной жидкости непосредственно в скважине на разных глубинах мобильным мутномером
- путем измерения мутности взятых из скважины проб на лабораторном мутномере.

Загрузка в скважину силиконовой жидкости

После устранения источников загрязнения и очистки скважины от тяжелых примесей, содержащихся в заливочной жидкости, производится заполнение нижней части скважины гидрофобной силиконовой (полиметилсилоксановой) жидкостью с помощью заливочного модуля (рис. 1). Максимальная плотность заливочной жидкости составляет $0,92 \text{ г/см}^3$. Плотность силиконовой жидкости ПМС-10 в забое скважины равна $0,96 \text{ г/см}^3$.

Использование силиконовой жидкости [11] в качестве буфера между заливочной жидкостью и водой предотвращает образование клатратного гидрата фреона, содержащегося в заливочной жидкости, и устранит закупоривание скважины. Проведенные эксперименты показали, что образование клатратных гидратов фреона при соприкосновении с водой становится невозможным при концентрации силиконовой жидкости в заливочной более 25 об.%. Марка силиконовой жидкости выбирается таким образом, чтобы ее плотность в забое скважины находилась между значениями плотностей заливочной жидкости и воды.

Извлечение бурового снаряжения из скважины приводит к дополнительному подъему в ней уровня воды на 43 м. Для снижения подъема уровня воды диаметр забоя скважины может быть увеличен. В этом случае силиконовая жидкость выдавливается поступившей в скважину водой в меньший диаметр и возросшее гидростатическое давление компенсирует давление воды, уменьшая ее подъем по стволу скважины. Высота столба силиконовой жидкости в нижней части скважины выбирается такой, чтобы при изменении уровня воды в скважине, связанном с погружением/извлечением бурового и научного оборудования, вода омывала стенки скважины, которые соприкасаются с гидрофобной силиконовой жидкостью, а не с заливочной. Таким образом, предотвращается загрязнение озерной воды, поступившей в скважину.

Заполнение нижней части скважины силиконовой жидкостью производится с помощью специального заливочного модуля. Модуль состоит из цилиндрического объема с силиконовой жидкостью и трубы, соединяющей этот объем со сливным клапаном узлом небольшого диаметра. Погружение в силиконовую жидкостью только клапанного узла заливочного модуля уменьшает перемешивание границы силиконовой жидкости с заливочной. Процесс заливки силиконовой жидкости в скважину схематически показан на рис. 2.

Проверка качества подготовки к вскрытию озера

Вскрытие озера Восток может быть произведено только после проверки качества очистки скважины

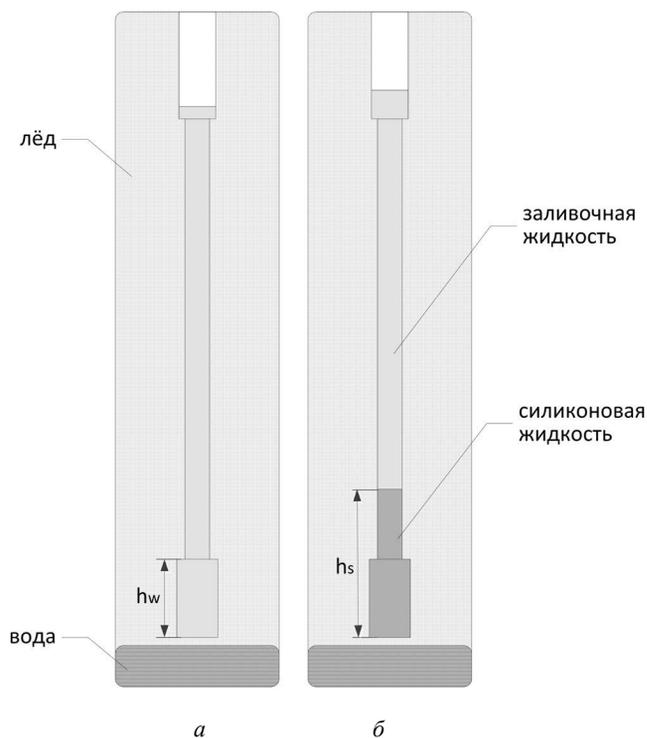


Рис. 1. Подготовка скважины к вскрытию озера:
а — увеличение диаметра забоя на высоту h_w ; б — заполнение забоя скважины силиконовой жидкостью на высоту h_s

Fig. 1. Preparation of the borehole to the opening of the lake:
а — borehole bottom increasing by the height h_w ; б — filling the borehole bottom by silicone fluid at the height of h_s

от имевшихся в ней примесей. Окончательным и достоверным способом проверки степени очистки является отбор и последующий анализ пробы воды, которая забирается пробоотборником из забоя после расплавления в нем некоторого количества льда тепловым снаряжением. В соответствии с рекомендациями Научного комитета по антарктическим исследованиям (SCAR) содержание микроорганизмов и других включений в пробе воды не должно превышать их содержание в эквивалентном объеме керна извлеченного льда. По результатам анализа пробы дается заключение о возможности вскрытия озера.

Вскрытие озера Восток и работа с научным оборудованием

Вскрытие озера Восток будет производиться тепловым снаряжением. Процесс вскрытия схематически показан на рис. 3.

После вскрытия озера вода поднимется в скважину на высоту h_1 . Извлечение теплового снаряжения с грузонесущим кабелем из скважины приведет к дополнительному подъему воды на высоту h_2 в части скважины с большим диаметром. Погружение в скважину научного оборудования приведет к понижению уровня воды на величину Δh . Стенки скважины на этом участке омываются водой и гидрофобной силиконовой жидкостью, которая легко удаляется водой с поверхности льда и быстро всплывает вверх, как показали проведенные эксперименты.

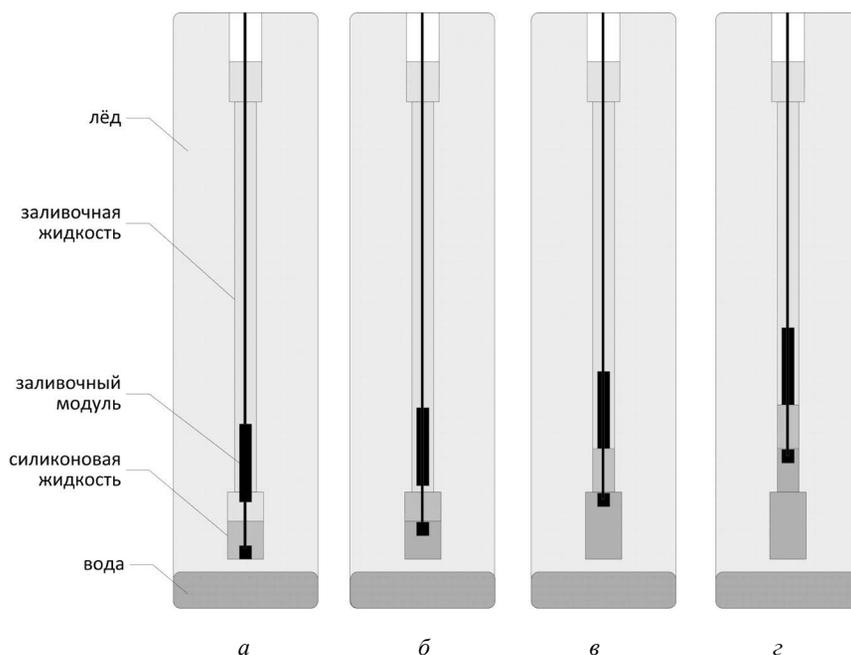


Рис. 2. Заполнение скважины силиконовой жидкостью с помощью заливочного модуля:
а, б — заполнение забоя; в, г — заполнение скважины

Fig. 2. Filling the borehole by silicone fluid with the help of filling device: а, б — borehole bottom filling; в, г — borehole filling

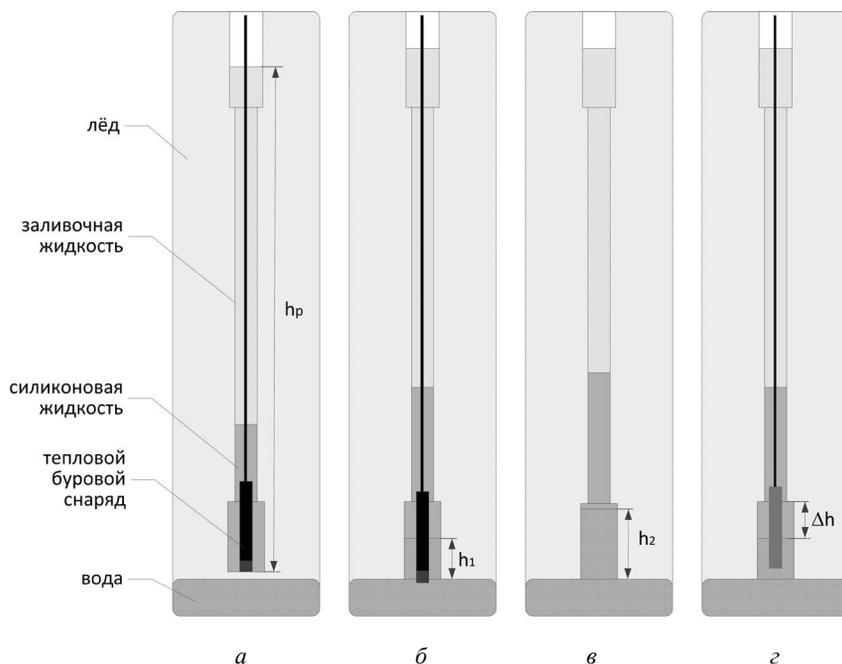


Рис. 3. Модуль для заливки силиконовой жидкости в скважину:

а — состояние скважины перед вскрытием озера тепловым буровым снарядом; б — вскрытие озера; в — подъем уровня воды после извлечения бурового снаряда; г — изменение уровня воды в скважине при погружении модуля с научным оборудованием

Fig. 3. The device for filling silicone fluid in the borehole:

а — the borehole before opening the lake by thermal drill; б — lake opening; в — the rise of the water level after removing the drill; г — the changes of the water level in the borehole after immersion the device with scientific equipment

Если колебания уровня воды Δh происходят только в нижней части скважины с большим диаметром, это увеличивает время, за которое сужается забой за счет образования льда на стенках скважины. Поддержание диаметра скважины, заполненной водой в районе забоя, будет производиться за счет электрических нагревателей,

установленных в модулях с научным оборудованием.

Замена в будущем грузонесущего кабеля диаметром 15,4 мм для механического бурового снаряда на кабель диаметром 7 мм для научного оборудования позволит уменьшить колебания уровня воды в скважине при погружении и извлечении научных модулей.

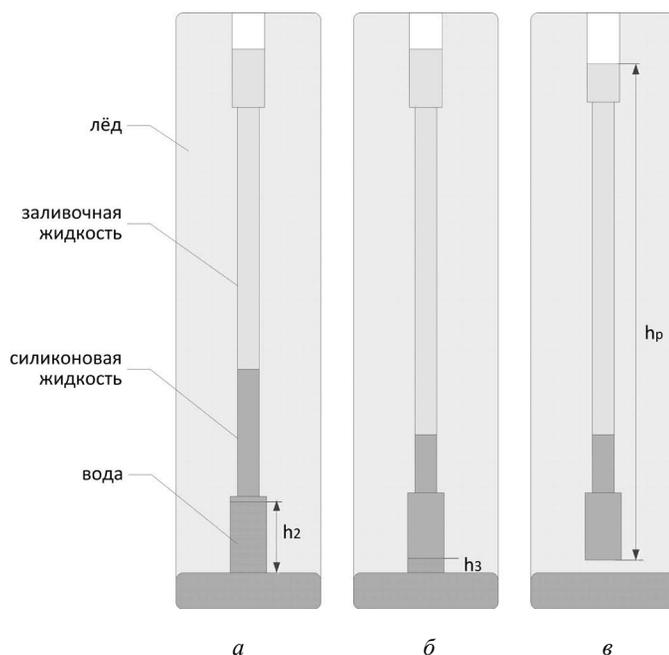


Рис. 4. Изменение уровня воды в скважине: а — исходный уровень; б — понижение в конце сезонных работ; в — удаление излишка заливочной жидкости перед вскрытием озера в новом сезоне

Fig. 4. The changes of the water level in the borehole: а — initial level; б — level lowering at the end of seasonal operations; в — removing the excess of filling fluid before opening the lake in the new season

Понижение уровня воды в скважине

Для того чтобы избежать образования большого количества озерного льда в скважине после прекращения сезонных работ, в ней производится понижение уровня воды (рис. 4). Это достигается путем заливки в скважину дополнительного количества заливочной жидкости. Уровень воды в скважине устанавливается на такой высоте h_3 , чтобы в начале следующего этапа сезонных работ за короткое время можно было вскрыть озеро с помощью теплового бурового снаряда. Перед очередным вскрытием озера уровень заливочной жидкости h_p , с учетом ее плотности, корректируется таким образом, чтобы обеспечить подъем воды в скважине на рабочий уровень h_1 (см. рис. 3, б).

Экологические требования к научному оборудованию

Научное оборудование, используемое для изучения озера Восток, не должно вносить загрязнений в озерную воду. На первом этапе изучения, модули с научным оборудованием погружаются в озерную воду, которая поднимется в скважину. Предполагается использовать три научных модуля диаметром 127 мм и длиной не более 1,5 м каждый. Это модуль видеокамеры, модуль для измерения содержания кислорода в озерной воде и модуль пробоотборника воды.

Корпуса модулей изготавливаются из нержавеющей стали. Поверхность модулей очищается от механических загрязнений, и все открытые полости перед погружением в буровую жидкость заполняются сверхчистой водой и силиконовой жидкостью.

Перед входением в воду (после прохождения через буровую жидкость) модули проходят слой силиконовой жидкости протяженностью несколько десятков метров, что приведет к очистке их внешней поверхности от заливочной жидкости, которая легко растворяется в силиконовой жидкости. При вхождении силиконовая жидкость смывается водой с поверхности модулей и всплывает вверх. Таким образом, научные модули не внесут загрязнений в воду, поступающую в скважину.

Для предотвращения попадания в окружающую среду патогенных микроорганизмов из проб отборника производится на станции «Восток» в спецодежде в специальном помещении, которое затем подвергается озонированию. Озерная вода выдавливается сверхчистым аргоном из внутреннего объема пробоотборника в стерильные герметичные пластиковые бутылки. Транспортировка бутылок в научные учреждения для исследования полученных проб в лабораторных условиях производится с соблюдением необходимых мер для исключения пролива воды.

Заключение

Предложен комплекс мер по преодолению возникших проблем, препятствующих изучению озера Восток в Антарктиде. Эти меры в первую очередь направлены на обеспечение экологической безопасности и эффективности использования сезонного времени для научных исследований.

Для исключения попадания в озеро тяжелых частиц из загрязненной заливочной жидкости непосредственно в скважину следует произвести очистку заливочной жид-

кости с помощью погружных насосов и фильтров с различными размерами фильтрующих элементов.

Для предотвращения образования клатратных гидратов фреона, содержащегося в заливочной жидкости, и исключения закупоривания скважины в забой перед очередным вскрытием озера необходимо залить гидрофобную силиконовую (полиметилсилоксановую) жидкость.

Для уменьшения величины колебания уровня воды при извлечении или погружении в скважину грузонесущего кабеля с научным оборудованием следует увеличить ее диаметр около забоя. Это приведет к тому, что вода будет вытеснять силиконовую жидкость из этой полости вверх и та, поднимаясь в меньшем диаметре скважины, будет давать больший прирост высоты столба жидкости,

что эффективно компенсирует давление со стороны озера и снизит подъем уровня воды в скважине.

Для того чтобы избежать образования большого количества озерного льда в скважине после прекращения сезонных работ, следует понизить уровень воды путем заполнения скважины дополнительным количеством заливочной жидкости. В начале следующего сезона работ уровень заливочной жидкости следует скорректировать с учетом ее плотности таким образом, чтобы обеспечить необходимый подъем воды в скважине при следующем вскрытии озера тепловым буровым снарядом. Понижение уровня воды в скважине позволит сократить время на вскрытие озера и, соответственно, увеличить продолжительность сезонного времени научных исследований.

Литература

References

1. Lukin V. V., Bulat S. A. Vostok Subglacier Lake: details of Russian plans/activities for drilling and sampling. Antarctic subglacial aquatic environments. //Geophysical Monograph Series. 2011. Vol. 192, pp. 187–197.
2. Mowlem M., Saw K., Brown R., Waugh E., ets. Probe technologies for clean sampling and measurement of subglacial lakes. // Philosophical Transactions A. Published 14 December 2015. DOI: 10.1098/rsta. 2015.0267
3. Алехина И. А., Васильев Н. И., Екайкин А. А., Липенков В. Я. Предварительные результаты исследований химического состава воды, замерзшей в заливочной скважине после вскрытия озера Восток // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 2 (100). С. 5–14.
4. Васильев Н. И., Дмитриев А. Н., Блинов П. А. Бурение глубокой скважины на российской антарктической станции «Восток» // Вестник ОНЗ РАН. 2012. Т. 4. NZ2001. DOI:10.2205/2012NZ000111.
5. Манаков А. Ю., Ильдяков А. В., Липенков В. Я. и др. Образование клатратного гидрата фреона HCFC-141b в глубокой скважине на станции «Восток» (Антарктида) в процессе вскрытия подледникового озера Восток // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. № 3. С. 32–40.
6. Захаров А. А., Булат С. А., Ежов В. Ф. и др. Образование клатратных гидратов в заливочной жидкости, используемой в скважине подледникового озера Восток. — Гатчина: ПИЯФ НИЦ «Курчатовский институт», 2016. 22 с.
7. Murshed M. M., Faria S. H., Kuhs W. F., Kipfstuhl S. and Wilhelms F. The role of hydrochlorofluorocarbon densifiers in the formation of clathrate hydrates in deep boreholes and subglacial environments. // Annals of Glaciology. 2007, No. 47, pp. 109–114.
8. Ryo Ohmura, Toru Shigetomi, Yasuhiko H. Mori. Formation, growth and dissociation of clathrate hydrate crystals in liquid water in contact with a hydrophobic hydrate-forming liquid. // Journal of Crystal Growth. 1999, No. 196, pp. 164–173.
9. Greathouse J. A., Cygan R. T., Bradshaw R. W., Majzoub E. H., Simmons B. A. Computational and spectroscopic studies of dichlorofluoroethane hydrate structure and stability. // Journal of Physical Chemistry C, 2007. 111 (45). p. 16787–16795.
10. Lukin V., Vasiliev N. Technological Aspects of the Final Phase of Drilling Borehole 5G and Unsealing Vostok Subglacial Lake, East Antarctica. // Annals of Glaciology. 2014. No. 55 (65). pp. 83–89.
1. Lukin V. V., Bulat S. A. Vostok Subglacier Lake: details of Russian plans/activities for drilling and sampling. Antarctic subglacial aquatic environments. *Geophysical Monograph Series*. 2011. Vol. 192, pp. 187–197.
2. Mowlem M., Saw K., Brown R., Waugh E., ets. Probe technologies for clean sampling and measurement of subglacial lakes. *Philosophical Transactions A*. Published 14 December 2015. DOI: 10.1098/rsta. 2015.0267
3. Alekhina I. A., Vasiliev N. And. Ekaykin A. A., Lipenkov V. Ya., Preliminary results of researches of chemical composition of water frozen in the grout hole after the opening of the lakes East. *Problems of Arctic and Antarctic*. 2014. № 2 (100). P. 5–14. (in Russian)
4. Vasiliev N. I., Dmitriev A. N., Blinov P. A. Drilling of a deep bore-hole at Vostok station (East Antarctica), *Vestn. Otd. nauk Zemle*. 2012. No 4. NZ2001. DOI:10.2205/2012NZ000111. (in Russian)
5. Manakov A. Yu., Ildyakov A. V., Lipenkov V. Ya., ets. Formation of clathrate hydrate freon HCFC-141b in the deep well at the station «Vostok» (Antarctica) in the process of opening the subglacial lake Vostok. *Cryosphere of the Earth*. 2017. Vol. XXI. No. 3. P. 32–40. (in Russian)
6. Zakharov A. A., Bulat S. A., Ezhov V. F. etc. Formation of clathrate hydrates in the priming fluid used in the bore of the subglacial lake Vostok. Gatchina: PNPI NRC «Kurchatov Institute», 2016. 22 p. (in Russian)
7. Murshed M. M., Faria S. H., Kuhs W. F., Kipfstuhl S. and Wilhelms F. The role of hydrochlorofluorocarbon densifiers in the formation of clathrate hydrates in deep boreholes and subglacial environments. *Annals of Glaciology*. 2007, No. 47, pp. 109–114.
8. Ryo Ohmura, Toru Shigetomi, Yasuhiko H. Mori. Formation, growth and dissociation of clathrate hydrate crystals in liquid water in contact with a hydrophobic hydrate-forming liquid. *Journal of Crystal Growth*. 1999, No. 196, pp. 164–173.
9. Greathouse J. A., Cygan R. T., Bradshaw R. W., Majzoub E. H., Simmons B. A. Computational and spectroscopic studies of dichlorofluoroethane hydrate structure and stability. *Journal of Physical Chemistry C*, 2007. 111 (45). p. 16787–16795.
10. Lukin V., Vasiliev N. Technological Aspects of the Final Phase of Drilling Borehole 5G and Unsealing Vostok Subglacial Lake, East Antarctica. *Annals of Glaciology*. 2014. No. 55 (65). pp. 83–89.

11. Talalay P. G. Dimethyl siloxane oils as an alternative borehole fluid. // *Annals of Glaciology*. 2007. No. 47. pp. 82–88.

11. Talalay P. G. Dimethyl siloxane oils as an alternative borehole fluid. *Annals of Glaciology*. 2007. No. 47. pp. 82–88.

Сведения об авторах

Захаров Аркадий Анатольевич

к. ф.-м. н., старший научный сотрудник Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» — ПИЯФ, 188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова Роща, 1, arcady.zakharov@gmail.com

Соловей Валерий Анатольевич

к. т. н., руководитель отдела автоматизации экспериментов на реакторах Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» — ПИЯФ, 188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова Роща, 1, solovey_aa@pnpi.nrcki.ru

Information about authors

Zakharov Arcady Anatolievich

PhD, Senior researcher of Petersburg Nuclear Physics Institute NRC «Kurchatov Institute», Russia, 188300, Gatchina, Orlova roshcha, 1, arcady.zakharov@gmail.com

Solovey Valery Anatolievich

PhD, Head of department of automation of experiments at reactors of Petersburg Nuclear Physics Institute NRC «Kurchatov Institute», Russia, 188300, Gatchina, Orlova roshcha, 1, solovey_aa@pnpi.nrcki.ru

Требования к рукописям, представляемым в журнал «Вестник МАХ»

- В начале статьи, слева – УДК;
- После названия статьи – авторы с указанием места работы и контактной информации (e-mail);
- Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Рекомендуемый объем 150 – 200 слов на русском и английском языках. Ключевые слова – 5-7.
- **Статья должна быть структурирована:**
Во введении необходимо представить содержательную постановку рассматриваемого вопроса, провести краткий анализ известных из научной литературы решений (со ссылками на источники), дать критику их недостатков, показать научную новизну и преимущество (особенности) предлагаемого подхода.
В основном тексте статьи должна быть представлена строгая постановка решаемой задачи, изложены и обстоятельно разъяснены (доказаны) полученные утверждения и выводы, приведены результаты экспериментальных исследований или математического моделирования, иллюстрирующие сделанные утверждения. Основной текст статьи должен быть разбит на содержательные разделы.
- **В заключении (Выводы)** необходимо кратко сформулировать основные результаты, прокомментировать их и, если возможно, указать направления дальнейших исследований и области применения.
- статьи представляются набранными на компьютере в текстовом редакторе Word 97-2007 на одной стороне листа через 1,5 интервала, размер шрифта 14.
- объем статьи 15–20 страниц (формат А4, вертикальный, 210x297 мм), включая аннотацию, рисунки, литературу; поля: левое – 2 см, правое – 2 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2 см;
- формулы и отдельные символы набираются с использованием редактора формул MathType (Microsoft Equation), **не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab.**
- Список литературных источников должен быть оформлен по ГОСТу и содержать ссылки только на опубликованные работы. Самоцитирование не более 25%, список литературы должен содержать источники не старше 5 лет и включать в себя зарубежные публикации по данной тематике. Количество приставных ссылок не менее 15-20.

Статьи, оформленные с нарушением правил, редакцией не принимаются и возвращаются авторам без рассмотрения по существу. Автор гарантирует отсутствие плагиата и иных форм неправомерного заимствования результатов других произведений.

Данные об аффилировании авторов (author affiliation).

На отдельной странице предоставляются сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, должности основного места работы (учебы); наименование и почтовые адреса учреждений, в которых работают авторы, e-mail, ORCID; Scopus ID; РИНЦ ID

Статьи принимаются на магнитном носителе и в печатном экземпляре или высылаются на электронный адрес редакции vestnikmax@rambler.ru

Плата за публикации не взимается

Дополнительная информация для авторов на сайте <http://vestnikmax.com>