Рубрика (присваивается редакцией журнала)

DOI: 10.25283/2223-4594-присваивается редакцией

УДК вписать

Заглавие статьи

А. А. Автор1

Место работы Автора1 (адрес места работы Автора1)

Б. Б. Автор2

Место работы Автора2 (адрес места работы Автора2)

Н. Н. АвторNN

Место работы АвтораNN (адрес места работы АвтораNN)

*Краткая аннотация статьи (приблизительно 600 символов с учетом пробелов и знаков препинания). В аннотации рекомендуется отразить актуальность и основные цели научной работы, основные результаты выполненных исследований.*

**Ключевые слова:** *слово1, слово2, ключевое слово3, словоNN*

Статья поступила в редакцию ?? ??????? 20?? г.

© Автор1 А. А., Автор2 Б. Б., АвторNN Н. Н., 20??

Текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи.

**Таблица 1. Заголовок таблицы1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |
| содержание таблицы | содержание таблицы | содержание таблицы |

Текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи.

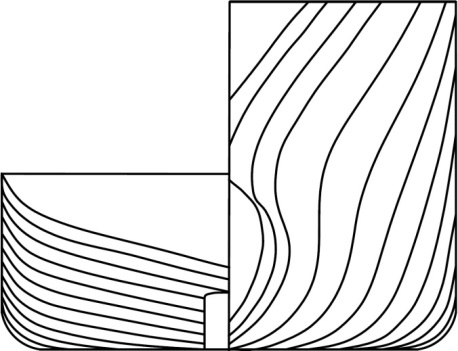
   
Рис. 1. Подрисуночная подпись

Fig. 1. Image-related text

Текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи текст статьи.

Сведения об источниках финансирования научных исследований, результаты которых представлены в статье.

Благодарности лицам и/или организациям, внесшим существенный вклад в работу.

Литература

1. *Гайкович А. И.* Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов: В 2 т. — Т. 1: Описание системы «Корабль». — СПб.: НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. — 819 с.
2. *Holtrop J., Mennen G. G. J.* An Approximate Power Prediction Method // Intern. Shipbuilding Progress. — 1982. — Vol. 29 (335). — P. 166—170.
3. *Таровик О. В., Топаж А. Г., Крестьянцев А. Б. и др.* Комплексная имитационная модель морской транспортно-технологической системы платформы «Приразломная» // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 3 (27). — С. 86—103. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-3-86-103.

Информация об авторах

*Автор1 Автор Авторович*, ученая степень, научное звание, должность, Место работы автора1 (почтовый адрес места работы автора), e-mail: author1@gmail.com.

*Автор2 (аналогичным образом указать сведения обо всех остальных авторах статьи).*

Библиографическое описание данной статьи

*Автор1 А. А., Автор2 Б. Б.* Название статьи // Арктика: экология и экономика. — 20??. — Т. ??, № ?. — С. ?—?. — DOI: 10.25283/2223-4594-?-?-?-?.

Title of the Article

Author1 A. A.

Affiliation1 (Address of Affiliation1)

Author2 B. B.

Affiliation2 (Address of Affiliation2)

AuthorN C. C.

AffiliationN (Address of AffiliationN)

The article was received on ??????? ??, 20??

Abstract

Исходный текст (на русском языке) англоязычной аннотации

*Text of the annotation (~300 words).*

**Keywords:** *keyword1, keyword2, keywordN*

Сведения об источниках финансирования научных исследований, результаты которых представлены в статье (на английском языке).

Благодарности лицам и/или организациям, внесшим существенный вклад в работу (на английском языке).

References

1. *Gaikovich A. I.* [Design theory for water displacing ships and vessels. Vol. 1. “Ship” System Description]. St. Petersburg, NITs MORINTEKh, 2014, 819 p. (In Russian).

2. *Holtrop J., Mennen G. G. J.* An Approximate Power Prediction Method. Intern. Shipbuilding Progress, 1982, vol. 29 (335), pp. 166—170.

3. *Tarovik O. V., Topazh A. G., Krest'yantsev A. B. et al.* Comprehensive Simulation Model of Marine Transport and Support System for “Prirazlomnaya” Platform. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2017, no. 3 (27), pp. 86—103. (In Russian). DOI: 10.25283/2223-4594-2017-3-86-103.

Information about the authors

*Author1 Author Authorovich*, science degree, job title, Affiliation (mail Address of the Affiliation1), e-mail: author1@gmail.com.

*Author2 (аналогичным образом указать сведения обо всех остальных авторах статьи на английском языке)*

Bibliographic description of the article

*Author1 A. A., Author2 B. B.* Title of the Article. Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy], 20??, no. ? (??), pp. ?—?. DOI: 10.25283/2223-4594-20??-?-?-?. (In Russian).

© Author1 A. A, Author2 B. B., 20??

**\* Текст, выделенный желтым цветом, заполняется авторами статьи.**

**Текст, выделенный серым цветом, заполняется редакцией журнала**

**ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ**

Научные исследования в Арктике

DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-31-47

УДК 502:631.4(98)

Дегазация Земли в Арктике: дистанционные и экспедиционные исследования выбросов газа на термокарстовых озерах

В. И. Богоявленский

ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН, ФГБОУ ВО Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (Москва, Российская Федерация)

И. В. Богоявленский, Р. А. Никонов

ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН, ФГБОУ ВО Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (Москва, Российская Федерация)

Т. Н. Каргина

ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН (Москва, Российская Федерация)

О. С. Сизов

ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН, ФГБОУ ВО Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, АО «Российские космические системы» (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 4 апреля 2022 г.

© Богоявленский В. И., Богоявленский И. В., Никонов Р. А., Каргина Т. Н., Сизов О. С., 2022

*Впервые доказана большая мощность выбросов газа со дна арктических термокарстовых озер, способных разбить лед толщиной 1—1,5 м, сформировать крупные зоны его деструкции диаметром в десятки метров (по факту до 15—45 м) и разбросать крупные глыбы льда на удаления свыше 50 м от эпицентра взрыва. В зоне существования многолетнемерзлых пород (криосфере) на полуострове Ямал установлены ярко выраженные неоднократные многолетние наземные и подводные (со дна озер и реки Мюдрияха) извержения (выбросы) газов, которые можно отнести к криовулканическому типу. Показана связь расположения выявленных озер с признаками сильной эмиссии газа с региональным тектоническим строением и глубинными разломами. Даны рекомендации по повышению безопасности жизнедеятельности человека в Арктике, особенно при освоении ресурсов нефти и газа. Обоснована необходимость расширения исследований с применением комплекса геофизических методов.*

**Ключевые слова:** *Арктика, Ямал, термокарстовые озера, дегазация, выброс газа, извержение газа, воспламенение, взрыв газа, кратер, воронки, вулкан, криовулкан.*

Введение

Наблюдаемое на Земле потепление климата и расширение работ по поиску, разведке и разработке месторождений углеводородов (УВ) в Арктике и Мировом океане усилили внимание к проблеме исследования процессов дегазации Земли с ее прямыми проявлениями в литосфере, гидросфере, криосфере и атмосфере [1—42]. Активизировались экспедиционные исследования на суше и акваториях, все больше стало применяться дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), включающее космо- и аэросъемку. Особенно эффективно применение ДЗЗ в труднодоступных и малонаселенных регионах Арктики и Северного Ледовитого океана [2—13; 24; 30].

По данным высокоразрешающей сейсморазведки, гидролокаторов бокового обзора (ГЛБО) и другого гидроакустического оборудования на дне акваторий Мирового океана часто выделяются локальные углубления — покмарки (Pockmarks), сформировавшиеся за счет выхода/выброса газа. Над ними нередко наблюдаются выходящие из донных отложений потоки газа — «газовые факелы» / сипы (Gas Flares / Seeps). Эмиссия газа подтверждена на разных акваториях Северного Ледовитого океана, в том числе на крупных участках площадью свыше 1 км2 [4; 10; 23; 25].

  
Рис. 3. Ямальское глубоководное озеро с признаками дегазации (фото В. И. Богоявленского из вертолета 28 августа 2014 г.)

Fig. 3. Yamal deep-water lake with signs of degassing [photo by V. I. Bogoyavlensky from helicopter 28.08.2014]

В данной работе для дистанционного изучения геодинамических изменений на Сеяхинском участке (см. рис. 1, S) использовались различные типы исходных данных ДЗЗ за период 2013—2018 гг., представленные в табл. 1.

**Таблица 1. Краткие характеристики использованных данных ДЗЗ**

**Table 1. Brief characteristics of the remote sensing data used**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Спутник | Разрешение, м | Источник | Страна |
| Sentinel-2 | 10 | ESA | ЕС |
| WorldView-1, 2, 3 | 0,3—0,5 | Terraserver | США-Канада |
| Quick Bird | 2,5 | Microsoft | США |
| GeoEye-1 | 0,5 | Terraserver | США |
| «Ресурс-П» № 1 | 0,5—0,6 | ГК «Роскосмос» | Россия |
| «Канопус-В-ИК» №2 | 2,5 | ГК «Роскосмос» | Россия |

На рис. 4 приведен результат мониторинга по данным ДЗЗ из космоса состояния одного из озер, расположенного около северной границы Сеяхинского участка исследований (см. рис. 1, S) и названного нами «Треугольное», по четырем космоснимкам Quick Bird (QB), WorldView-2 (WV-2), GeoEye-1 (GE-1) и WV-3 2003—2018 гг. По данным QB 24 августа 2003 г. на дне озера наблюдаются многочисленные покмарки (кратеры) размером до 13 м, что является свидетельством дегазации недр. Несмотря на то что озеро в западной и северо-западной частях высохло, по рис. 4.1 видна сохранившаяся в кратерах вода. Одной из возможных причин высыхания озера является уход воды по образовавшимся каналам дегазации недр. На последующих снимках WV-2, GE-1 и WV-3 2013—2018 гг. (см. рис. 4.2, 4.3 и 4.4) видно захоронение кратеров отложениями реки Соёлёсё и зарастание северо-восточной зоны выбросов газа прибрежной растительностью.

Обсуждение результатов

Судя по данным ДЗЗ, в марте 2019 г. на озере Открытие произошел не одноразовый выброс (пневматический выхлоп) газа, а его эмиссия (извержение) — в течение нескольких дней. При этом не менее одного раза был мощный пневматический взрыв (возможно, с воспламенением), разбивший лед, раскидавший его куски на расстояние более 50 м и сформировавший полынью диаметром около 15 м.

В региональном плане группы соседних озер в большинстве случаев (84,5%) выстраиваются полосами (линиями). На четырех площадях (Северо-Тамбейской, Западно-Сеяхинской, Северо-Сеяхинской и Сеяхинской) эти полосы пересекаются и формируют кресты. Взаимно перпендикулярная ориентация выделенных полос (ЮВ-СЗ и ЮЗ-СВ) хорошо корреспондируется с основными направлениями региональных тектонических элементов (в том числе с Нурминским мегавалом — ЮВ-СЗ) и глубинных разломов. Кроме того, такая же ориентация доминирующих систем субвертикальных трещин была выявлена нами ранее при проведении кольцевого сейсмопрофилирования методом преломленных волн (КСП МПВ) на Русановском НГКМ в Карском море [1]. При этом результаты КСП МПВ были верифицированы физическим моделированием распространения ультразвуковых волн в средах с различной ориентацией систем трещин [1].

Заключение

1. Впервые доказано, что эмиссия газа со дна арктических водоемов (озера и реки) может обладать столь большой мощностью, что способна разбить лед толщиной 1—1,5 м, сформировать крупные зоны его деструкции диаметром в десятки метров (доказано до 15—45 м) и разбросать крупные глыбы льда на удаления свыше 50 м от эпицентра взрыва.

2. В результате мониторинга с применением данных ДЗЗ на озере Открытие установлены ярко выраженные многолетние подводные вулканические извержения газов (возможно, с подземными водами). В связи с криогенной спецификой среды (многолетнемерзлые породы), из которой происходят вулканические извержения газа, их можно отнести к криовулканическому типу [12], а сами вулканы — к криовулканам.

Работа выполнена по государственному заданию по теме«Рациональное природопользование и эффективное освоение нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли» (№**АААА-А19-119021590079-6)** при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований в рамках проекта № 18-05-70106.

Авторы благодарят: Правительство Ямало-Ненецкого автономного округа за постоянную поддержку научных работ в Арктике; ГК «Роскосмос» за долговременное и оперативное обеспечение данными ДЗЗ с отечественных спутников; представителей коренного населения Ямала и особенно М. Н. Окотэтто за предоставление важной информации и содействие исследованиям.

Литература

1. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. — Омск: ФГУП «Омская картограф. ф-ка», 2004. — 303 с.
2. *Богоявленский В. И.* Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. — 2014. — № 9. — С. 13—18.
3. *Богоявленский В. И.* Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра. — Ч. 2 // Бурение и нефть. — 2014. — № 10. — С. 4—8.
4. *Богоявленский В. И.* Арктика и Мировой океан: современное состояние, перспективы и проблемы освоения ресурсов углеводородов: Монография. — М.: Изд-во ВЭО России, 2014. — С. 12—175. — (Тр. Вольного экон. о-ва России; т. 182, № 3).
5. *Kizyakov A., Khomutov A., Zimin V. et al.* Microrelief Associated with Gas Emission Craters: Remote-Sensing and Field-Based Study // Remote Sensing. — 2018. — Vol. 10, iss. 5. — URL: https://doi.org/10.3390/rs10050677.
6. *Vaugham A.* BP’s Deepwater Horizon bill tops $65bn // The Gurdian. — 2018. — 16 Jan. — URL: https://www.theguardian.com/business/2018/jan/16/bps-deepwater-horizon-bill-tops-65bn.

Информация об авторах

*Богоявленский Василий Игоревич*, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), научный руководитель кафедры геоэкологии, профессор, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (119991, Россия, Москва, Ленинский просп., д. 65), е-mail: [vib@pgc.su](mailto:vib@pgc.su).

*Богоявленский Игорь Васильевич*, научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), заведующий лабораторией, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (119991, Россия, Москва, Ленинский просп., д. 65), е-mail: igorbogoyavlenskiy@gmail.com.

*Каргина Татьяна Николаевна*, младший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), е-mail: [tatyana.nik92@gmail.com](mailto:tatyana.nik92@gmail.com).

*Никонов Роман Александрович*, научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), инженер, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (119991, Россия, Москва, Ленинский просп., д. 65), е-mail: [nikonovroman@gmail.com](mailto:nikonovroman@gmail.com).

*Сизов Олег Сергеевич*, кандидат географических наук, доцент, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (119991, Россия, Москва, Ленинский просп., д. 65), главный специалист, АО «Российские космические системы» (127490, Москва, ул. Декабристов, вл. 51, стр. 25), e-mail: [kabanin@yandex.ru](mailto:kabanin@yandex.ru).

Библиографическое описание данной статьи

*Богоявленский В. И., Богоявленский И. В., Никонов Р. А. и др.* Дегазация Земли в Арктике: дистанционные и экспедиционные исследования выбросов газа на термокарстовых озерах // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 2 (34). — С. 31—47. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-31-47.

Earth degassing in the Artic: remote and field studies of the thermokarst lakes gas eruption

Bogoyavlensky V. I.

Oil and Gas Research Institute of the Russian Аcademy of Sciences, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Moscow, Russian Federation)

Bogoyavlensky I. V., Nikonov R. A.

Oil and Gas Research Institute of the Russian Аcademy of Sciences, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Moscow, Russian Federation)

Kargina T. N.

Oil and Gas Research Institute of the Russian Аcademy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

Sizov O. S.

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), “Russian Space Systems” (Moscow, Russian Federation)

The article was received on April 4, 2022

Abstract

Впервые доказано, что высокая мощность выброса газа со дна арктических термокарстовых озер способна разбивать лед толщиной в полтора метра, образуя большие зоны разрушения льда диаметром в десятки метров ( фактически до 15-45 м) и разбрасывать большие глыбы льда на расстояния более 50 м от эпицентра взрыва. Четко видимые повторные береговые и подводные (со дна озер и р. Мюдрияха) извержения (выбросы) газа криовулканического типа обнаружены в зоне вечной мерзлоты (криосфере) полуострова Ямал. Показана связь между расположением озер с мощной дегазацией и региональными тектоническими структурами и глубокими разломами.

It is proved for the first time that a high power of gas blowout from the bottom of Arctic thermokarst lakes is capable of breaking one-and-a-half-meter-thick ice, forming large ice destruction zones of tens of meters in diameter (in fact up to 15-45 m) and scattering large blocks of ice for distances over 50 m from the epicenter of the explosion. Clearly visible repeated onshore and underwater (from bottoms of lakes and the Myudriyakha River) eruptions (blowout) of gas of cryovolcanic type are detected in the permafrost zone (cryosphere) of the Yamal Peninsula. The connection between the location of lakes with powerful degassing and regional tectonic structures and deep faults is shown.

**Keywords.** The Arctic, Yamal, thermokarst lakes, degassing, gas emission, gas blowout, gas eruption, ignition, gas explosion, crater, funnels, volcano, cryovolcano.

The work was carried out according to the state assignment on the theme “Environmental management and efficient development of oil and gas resources in the Arctic and subarctic zones of the Earth” (No. AAAA-A19-119021590079-6) with the support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of project No. 18-05-70106.

The authors thank the Government of the Yamal-Nenets Autonomous District for the continued support of scientific work in the Arctic; SC “Roskosmos” for the long-term and operational provision of remote sensing data; representatives of the indigenous people, and especially M. N. Okotetto for providing important information and assistance.

References

1. Atlas of Yamal-Nenets Autonomous Region. Omsk, FGUP “Omskaya kartograf. f-ka”, 2004, 303 p. (In Russian).

2. *Bogoyavlenskii V. I.* The threat of catastrophic gas blowouts form the Arctic permafrost. Burenie i neft', 2014, no. 9, pp. 13—18. (In Russian).

3. *Bogoyavlenskii V. I.* The threat of catastrophic gas blowouts form the Arctic permafrost. Pt. 2. Burenie i neft', 2014, no. 10, pp. 4—8. (In Russian).

4. *Bogoyavlenskii V. I.* Arctic and the World Ocean: current state, perspectives and challenges of hydrocarbon production. Monograph. Moscow, Izd-vo VEO Rossii, 2014, pp. 12—175. (Tr. Vol'nogo ekon. o-va Rossii; vol. 182, no. 3). (In Russian).

5. *Kizyakov A., Khomutov A., Zimin V. et al.* Microrelief Associated with Gas Emission Craters: Remote-Sensing and Field-Based Study. Remote Sensing, 2018, vol. 10, iss. 5. Available at: https://doi.org/10.3390/rs10050677.

6. *Vaugham A.* BP’s Deepwater Horizon bill tops $65bn. The Gurdian, 2018, 16 Jan. Available at: https://www.theguardian.com/business/2018/jan/16/bps-deepwater-horizon-bill-tops-65bn.

Information about the authors

*Bogoyavlensky Vasily Igorevich*, Doctor of Тechnical Sciences, Corresponding member of RAS, Deputy Director for Science, Head Researcher, Oil and Gas Research Institute of RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), Scientific Advisor of the Geoecology Department, Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (65, Leninsky Prosp., Moscow, Russia, 119991), е-mail: vib@pgc.su.

*Bogoyavlensky Igor Vasilyevich*, Researcher, Oil and Gas Research Institute of RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), Нead of Laboratory, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (65, Leninsky Prosp., Moscow, Russia, 119991), е-mail: igorbogoyavlenskiy@gmail.com.

*Kargina Tatiana Nikolayevna*, Junior Researcher, Oil and Gas Research Institute of RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), е-mail: tatyana.nik92@gmail.com.

*Nikonov Roman Aleksandrovich*, Researcher, Oil and Gas Research Institute of RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), Engineer, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (65, Leninsky Prosp., Moscow, Russia, 119991), е-mail: nikonovroman@gmail.com.

*Sizov Oleg Sergeyevich*, PhD (of Geographical Sciences), Associate Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (65, Leninsky Prosp., Moscow, Russia, 119991), Head Specialist, “Russian Space Systems” (51-25, Dekabristov St., Moscow, Russia, 127490), e-mail: kabanin@yandex.ru.

Bibliographic description

*Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlensky I. V., Nikonov R. A., Kargina T. N.* *Sizov O. S.* Earth degassing in the Artic: remote and field studies of the thermokarst lakes gas eruption. Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. no. 2, pp. 31—47. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-31-47. (In Russian).

© Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlensky I. V., Nikonov R. A., Kargina T. N., Sizov O. S., 2022