

## ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ВЫБРОСЫ И ВЗРЫВЫ ГАЗА В АРКТИКЕ И ДРУГИХ РЕГИОНАХ МИРА

Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Никонов Р.А.

Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (ИПНГ РАН),

Москва, Россия: [geo.ecology17@gmail.com](mailto:geo.ecology17@gmail.com)

### NATURAL AND TECHNOGENIC CATASTROPHIC GAS BLOWOUTS AND EXPLOSIONS IN THE ARCTIC AND OTHER REGIONS OF THE WORLD

Bogoyavlensky V.I., Bogoyavlensky I.V., Nikonov R.A.

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences (OGRI RAS), Moscow, Russia: [geo.ecology17@gmail.com](mailto:geo.ecology17@gmail.com)

**Keywords:** Earth degassing, gas blowouts and explosions, mud volcanoes, gas seeps, remote sensing (RS), unmanned aerial vehicles (UAVs)

**Summary.** The study of the Earth's degassing processes is one of the main areas of research at the OGRI RAS. The authors created the geoinformation system "The Arctic and World Ocean" (GIS "AMO") with a huge amount of constantly updated geospatial data, giving possibilities for a comprehensive analysis of various natural and man-made phenomena directly or indirectly related to the degassing of the Earth. In the Arctic, a large amount of expeditionary works have been carried out with a wide range of geological and geophysical methods, which are analyzed in conjunction with RS data from space. This made it possible to obtain fundamentally new data on the gas-dynamic mechanisms of dangerous processes in the permafrost, including catastrophic blowouts and gas explosions with the formation of giant craters and mud volcanic eruptions. In total, about 18.5 thousand potentially dangerous objects were identified, which allows identifying the most dangerous zones in the terms of gas explosion in the north of the Western Siberia. In the Arctic, Caspian and other regions of the World, using remote sensing, the causes and consequences of technogenic degassing of the subsoil at a number of emergency oil and gas exploration wells with catastrophic consequences were investigated.

© 2023 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

### Введение

Более 30 лет в ИПНГ РАН развиваются исследования процессов дегазации Земли в различных геологических условиях и формах проявлений. Среди них особую значимость имеют скрытые от глаз глубинные и приповерхностные процессы, лишь часть которых отображается на поверхности Земли, включая дно Мирового океана, в виде сипов (seeps – просачивания) подземных флюидов, включая смеси углеводородных газов (СУВГ).

Основные цели работы авторов ориентированы на исследование недостаточно изученных опасных эндогенных процессов генерации, аккумуляции и миграции СУВГ вплоть до их выходов на поверхность Земли и дна Мирового океана в виде перманентной, пульсирующей и/или периодической мощной импульсной (взрывной) дегазации недр, нередко приводящей к катастрофическим изменениям рельефа, включая образование гигантских кратеров и оползней. В географическом плане регионы исследований простираются от самых северных широт Арктики, характеризующихся существованием криолитогеоза, до ничем не ограниченных регионов с различными формами проявлений природной и техногенной дегазации Земли, в том числе связанных с грязевым вулканизмом, диссоциацией газогидратов и неконтролируемыми перетоками СУВГ в околоскважинном пространстве (Богоявленский, 2020; Богоявленский, 2021). Комплексный подход к изучению различных геопропространственных данных позволяет выявить скрытые триггерные взаимосвязи, прямо или косвенно связанные с дегазацией Земли и другими процессами.

В 2008 г. в ИПНГ РАН на основе программного обеспечения (ПО) ArcGIS (ESRI, США) была создана геоинформационная система «Арктика и Мировой океан» (ГИС «АМО») (Богоявленский, 2020; Богоявленский, 2021; Богоявленский и др., 2019; Bogoyavlensky et al., 2021; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022; Богоявленский и др., 2017), в которую загружаются геопропространственные данные,

включая вышеперечисленные материалы авторов и других ученых (глубиной поиска более 120 лет), формирующие постоянно развиваемые, систематизированные огромные массивы данных (Big Data), доступные для комплексного анализа. В частности, в ГИС «АМО» созданы отдельные директории данных об опасных природных явлениях: землетрясения, стратовулканы, грязевые вулканы, метеоритные кратеры, кратеры выбросов газа, сипы нефти и газа, газогидраты, многолетние бугры пучения (МБП), ледовая обстановка, техногенные катастрофы при бурении скважин, добыче и транспортировке нефти и газа и др. (рис.1).

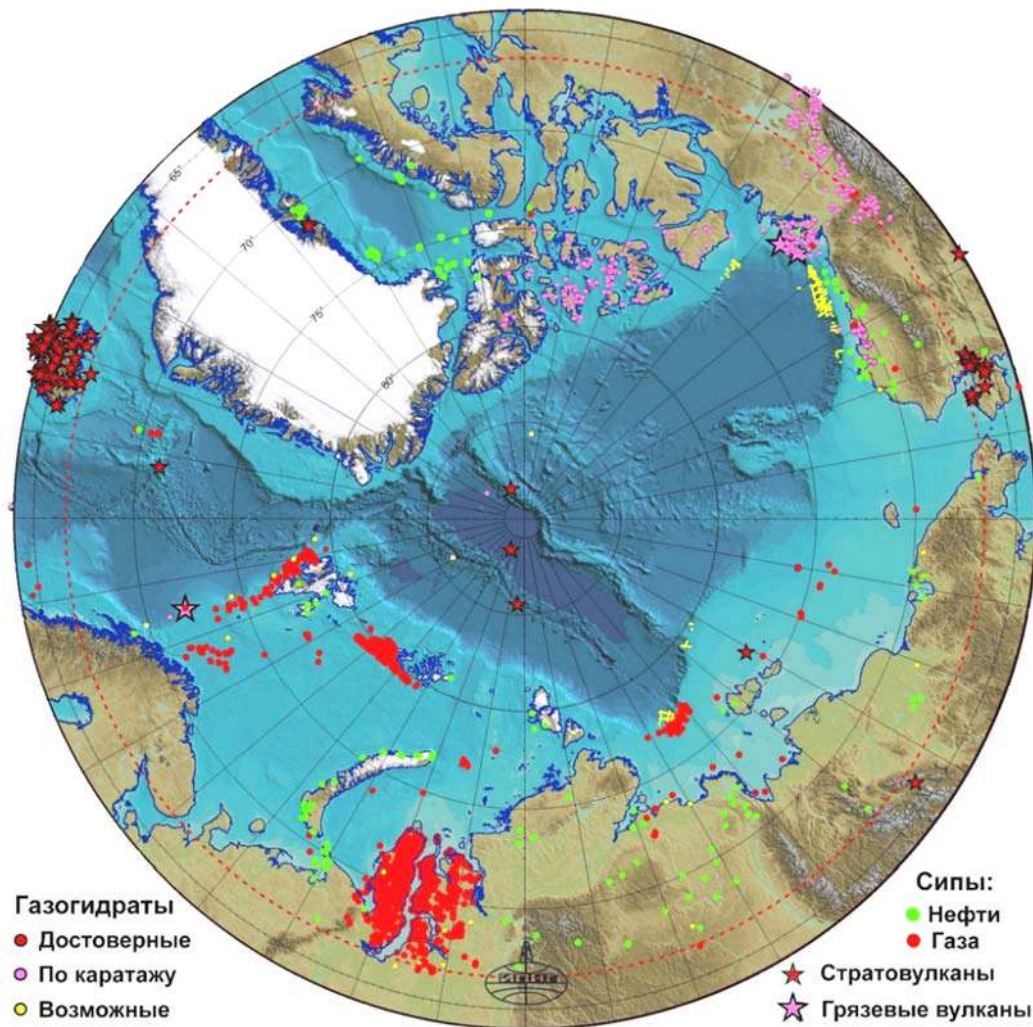


Рис. 1. Картографическая схема распространения нефтегазопоявлений на поверхности суши и акваторий Циркумарктического региона (2022 г.)

### Методы исследований

В последнее десятилетие авторы ежегодно проводят экспедиционные работы в Арктике по изучению нового опасного явления, связанного с процессами мощных выбросов, самовоспламенений и взрывов газа на суше, а также со дна термокарстовых озер, рек и прибрежных зон Карского моря (Богоявленский, 2020; Богоявленский, 2021; Богоявленский и др., 2019; Bogoyavlensky et al. 2021; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022). Также проведен ряд экспедиций в Азово-Черноморском и Каспийском регионах, в Республике Татарстан, в Тульской, Нижегородской и Саратовской областях. В полевых исследованиях в Арктике применялся широкий комплекс геолого-геофизических исследований, включая сейсморазведку (2D-4D), георадиолокацию, эхолокацию, бурение неглубоких скважин, взятие проб газа, воды и грунта для геохимических исследований. Во всех регионах с большой эффективностью применялись беспилотные летательные аппараты (БПЛА), позволившие получить принципиально новую информацию об уникальных объектах. С применением фотограмметрической обработки данных БПЛА Mavic Pro и Mavic Mini (DJI, Китай) в ПО Agisoft Metashape («Геоскан», Россия)

и ArcGIS строятся цифровые 3D-4D модели изучаемых объектов, доступные для дополнительного изучения в виртуальной реальности (Богоявленский и др., 2019; Bogoyavlensky et al., 2021; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022). Также, масштабированные макеты цифровых моделей при помощи аддитивной технологии изготавливаются на 3D-принтере. Особо информативными являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, во многих случаях предоставляющие возможность ретроспективного анализа особенностей формирования потенциально опасных объектов, а также катастрофических событий, произошедших со времени первых широкомасштабных космосъемок с начала 1960-х годов (Богоявленский, 2020; Богоявленский, 2021; Богоявленский и др., 2019; Bogoyavlensky et al., 2021; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022; Богоявленский и др., 2017). Широко используются цифровые модели рельефа ArcticDEM, позволяющие проводить мониторинг его изменений, особенно в зонах катастрофических выбросов и взрывов газа (Bogoyavlensky et al., 2021; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022).

### Обсуждение результатов

Начиная с 2014 г. на суше Арктики изучаются гигантские полости в массивах подземного льда (реальный термокарст) с кратерами мощных выбросов газа, которых в ГИС «АМО» зафиксировано и в разной степени детальности исследовано около 20 (рис.2). Несколько таких опасных событий произошло вблизи инфраструктуры нефтегазовых промыслов (кратеры С1, С2, С17 и др.). Во всех трех подтвержденных очевидцами случаях выбросов газа (кратеры С3, С11 и С12) происходили его самовоспламенения и взрывы, которые мы объясняем электризацией пространства и электростатическими разрядами (Богоявленский, 2020; Богоявленский, 2021; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022). Отметим, что эти процессы также возникают и при мощных выбросах грязевых вулканов, в том числе на суше и акваториях Азово-Черноморско-Каспийского региона (Богоявленский, 2020; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022). Не вызывает сомнений, что газонасыщенные подземные полости образовались под действием эндогенных механизмов, а предшествующие взрыву МБП развиваются под влиянием газовой динамики сверхлитостатического давления (Богоявленский, 2020; Богоявленский, 2021; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022).

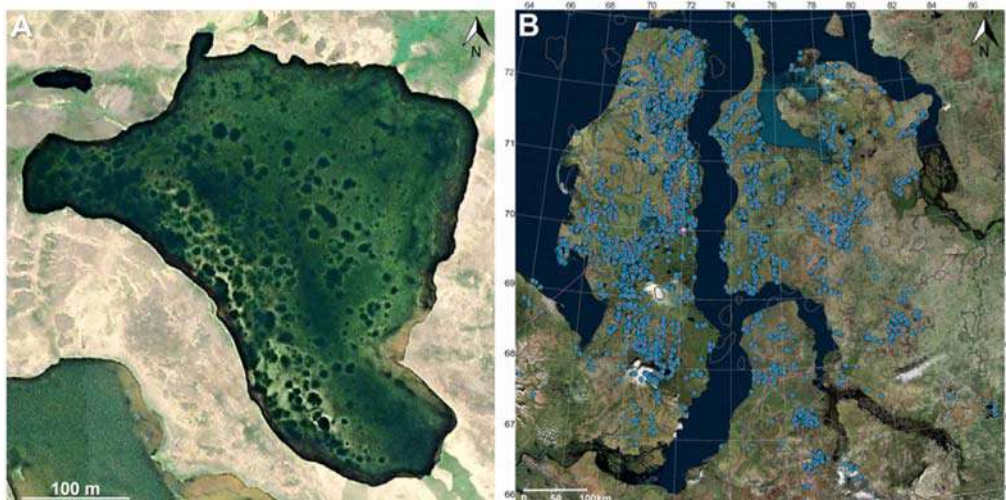


**Рис. 2.** Гигантские полости в массивах подземного льда, обнажившиеся после выбросов-взрывов газа на полуострове Ямал. Объекты: А - С1, В - С12, С - С17 (фото авторов) (Богоявленский, 2021)

На севере Западной Сибири (полуострова Ямал, Гыданский и Тазовский) по данным ДЗЗ из космоса обнаружено свыше 4.4 тысяч зон дегазации из термокарстовых озер (ТОКВГ), рек и прибрежных зон Карского моря с кратерами выбросов газа со дна (рис.3) (Богоявленский и др., 2019). Количество этих кратеров, также называемых покмарками (rockmarks), на дне ряда озер составляет многие сотни, и, возможно, даже тысячи. Всего для севера Западной Сибири при комплексном анализе данных ДЗЗ аэрокосмическими средствами обнаружено около 18.5 тысяч потенциально опасных объектов, образовавшихся под действием эндогенных и экзогенных процессов, включая более 14 тысяч МБП и более 4.4 тысяч зон дегазации со дна различных водоемов (рис.1 и рис.3). На основе этих данных построена региональная картографическая схема условного риска выбросов газа, при этом были выявлены наиболее опасные участки: на Ямале – Южно-Тамбейский, Сеяхинский, Северо-Тамбейский и Малыгинский; на Гыдане – вблизи поселка Утренний (завод «Арктик СПГ 2»); в Тазовском регионе – Уренгойско-Самбургский.

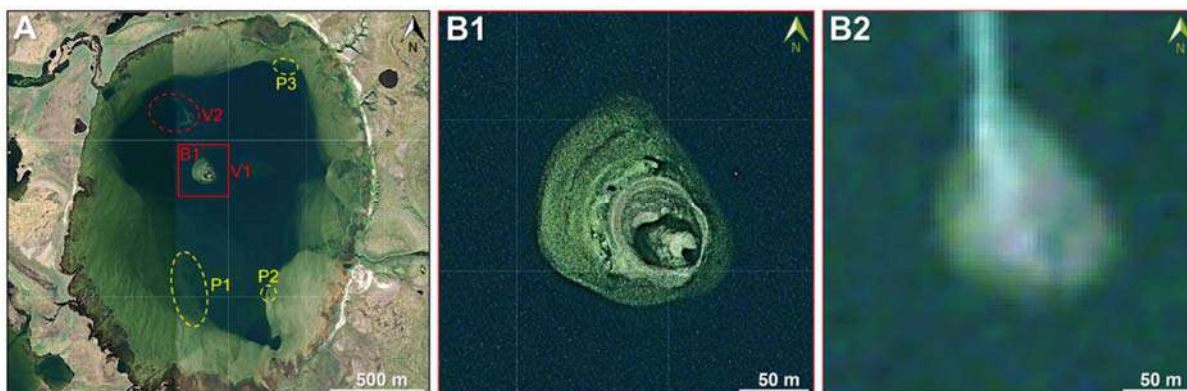
На полуострове Ямал на ряде обнаруженных объектов интенсивной дегазации недр авторами обоснован грязевулканический механизм извержений. Согласно ГОСТ Р 57123-2016, грязевой вулкан – «геологическое образование, постоянно или периодически извергающее грязевые массы и газы»,

обычно приуроченное к разломам. Такие явления были выявлены и исследованы на ряде термокарстовых озер, включая ТОКВГ Открытие (Богоявленский, 2020; Богоявленский, 2021; Богоявленский В., Богоявленский И., 2022).



**Рис. 3.** Термокарстовое озеро с кратерами выбросов газа на дне (А) и картографическая схема распространения подобных озер на севере Западной Сибири (В)

В качестве одного из примеров на рис. 4.А приведен летний космоснимок WorldView-2 сверхвысокого пространственного разрешения крупного ТОКВГ (1.6 x 2.1 км), расположенного в центральной части полуострова Ямал. На его дне обнаружены три зоны существования покмарок (P1, P2 и P3) и два объекта (V1 и V2), отождествляемые нами с грязевулканическими постройками. Это подтверждается их характерной конической формой и наличием округлых/эллиптических кальдер с жерлами, которые особенно хорошо видны для вулкана V1 вместе с натечными формами его поверхности (см. рис.4.В1). С учетом того, что толщина озерного льда в этих широтах может достигать 1.5-2.0 м мы считаем, что глубина вершины вулкана от поверхности воды составляет не менее этих величин. За счет новых извержений грязебрекчии вершина вулкана может периодически подниматься выше уровня воды, но ее формирование ограничивается размыванием и ежегодным срезанием движущимся по ветру тающим льдом. По данным ДЗЗ в 1985-2022 гг. обнаружены прямые признаки зимних извержений газа из вершин V1 и V2 в виде ранних (май-июнь) проталин во льду, а также шлейфы распространения в воде струй газа и/или пластовых флюидов с растворенным газом в летний безледный период (рис.4.В2).



**Рис. 4.** Термокарстовое озеро на полуострове Ямал с зонами дегазации: P1, P2 и P3 – покмарки; V1 и V2 – грязевые вулканы

Авторами проанализированы последствия катастрофических выбросов (фонтанов) СУВГ и нефти с образованием гигантских кратеров вблизи устьев аварийных скважин поисково-разведочного бурения в Арктике, в южных районах России и в Каспийском регионе, а также в ряде нефтегазодобывающих стран мира (США, Мексика, Канада, Индонезия и др.). Важная информация была получена на

основе данных ДЗЗ из космоса и специально проведенных аэрофотосъемок с БПЛА. Несмотря на ликвидацию фонтанов многие десятилетия назад, доказано, что на ряде исследованных объектов активная эмиссия СУВГ продолжается и в настоящее время. В качестве одного из примеров приведем Кумжинскую катастрофу в Арктике, на которой фонтанирование СУВГ длилось 2362 дня (1980-1987 гг.) (Богоявленский, 2020; Богоявленский и др., 2017).

### **Выводы**

На севере Западной Сибири происходит широкомасштабная дегазация Земли, при этом обнаружено около 4.5 тысяч зон интенсивных выбросов газа со дна термокарстовых озер. В Арктике авторами выполнен большой объем экспедиционных работ с широким комплексом геолого-геофизических методов, которые в совокупности с данными ДЗЗ из космоса позволили получить принципиально новую информацию о газодинамических механизмах опасных процессов в криолитозоне, включая катастрофические выбросы и взрывы газа с образованием гигантских кратеров. Не вызывает сомнений, что исследованные кратеры образовались на местах существования подземных газонасыщенных полостей (термокарст), сформировавшихся под действием эндогенных механизмов, а взрывы произошли под действием газодинамического механизма с сверхлитостатическим давлением газа в полости.

На Ямале впервые подтверждено существование ряда объектов дегазации недр грязевулканического типа. С учетом ряда ранее открытых грязевых вулканов на суше Аляски, Гренландии и Исландии, а также на дне морей Бофорта, Карском и Норвежском (Naakon Mosby), можно утверждать о существовании Циркумарктической грязевулканической провинции.

### **Источники финансирования**

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме «Повышение эффективности и экологической безопасности освоения нефтегазовых ресурсов арктической и субарктической зон Земли в условиях меняющегося климата» (122022800264-9)

### **ЛИТЕРАТУРА**

- Богоявленский В. И. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли. Горная промышленность, No. 1(149), 2020, с. 97-118.
- Богоявленский В. И. Фундаментальные аспекты генезиса катастрофических выбросов газа и образования гигантских кратеров в Арктике. Арктика: экология и экономика, Т. 11, No. 1, 2021, с. 51-66. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-51-66.
- Богоявленский В. И., Богоявленский И.В., Каргина Т.Н., Никонов Р.А., Сизов О.С. Дегазация Земли в Арктике: дистанционные и экспедиционные исследования выбросов газа на термокарстовых озерах. Арктика: экология и экономика, No. 2(34), 2019, с.31-47.
- Bogoyavlensky V., Bogoyavlensky I., Nikonov R. et al. New Catastrophic Gas Blowout and Giant Crater on the Yamal Peninsula in 2020: Results of the Expedition and Data Processing. Geosciences, Vol. 11, 71, 2021, 20 p. doi.org/10.3390/geosciences11020071.
- Богоявленский В. И., Богоявленский И.В. Специфика грязевулканической дегазации Земли с катастрофическими последствиями. Безопасность труда в промышленности, No.12, 2022, с.20-28. DOI: 10.24000/0409-2961-2022-12-20-28.
- Богоявленский В. И., Перекалин С.О., Бойчук В.М., Богоявленский В.И., Каргина Т.Н. Катастрофа на Кумжинском газоконденсатном месторождении: причины, результаты, пути устранения последствий. Арктика: экология и экономика, No.1, 2017, с. 32-46.

## **ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ВЫБРОСЫ И ВЗРЫВЫ ГАЗА В АРКТИКЕ И ДРУГИХ РЕГИОНАХ МИРА**

**Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Никонов Р.А.**

*Институт проблем нефти и газа Российской академии наук (ИПНГ РАН), Москва, Россия: geo.ecology17@gmail.com*

**Резюме.** Изучение процессов дегазации Земли является одним из основных направлений исследований ИПНГ РАН. Авторы создали геоинформационную систему «Арктика и Мировой океан» (ГИС «АМО») с огромным объемом геопространственных данных, позволяющих проводить комплексный анализ различных природных и техногенных явлений, прямо или косвенно связанных с дегазацией Земли. В Арктике выполнен большой объем экспедиционных работ с широким комплексом геолого-геофизических методов, которые проанализированы в совокупности с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Это позволило получить принципиально новую информацию о газодинамических механизмах опасных процессов в криолитозоне, включая катастрофические выбросы и взрывы газа с образованием гигантских кратеров и грязевулканические извержения. Всего выявлено около 18.5 тысяч потенциально опасных объектов, что позволило выделить наиболее газозрывоопасные зоны на севере Западной Сибири. В Арктике, Каспийском и других регионах мира с применением ДЗЗ исследованы причины и последствия техногенной дегазации недр на ряде аварийных нефтегазопромысловых и разведочных скважин с катастрофическими последствиями.

**Ключевые слова:** дегазация Земли, выбросы и взрывы газа, грязевые вулканы, сипы газа, дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), беспилотные летательные аппараты (БПЛА)