

ГАЗОГИДРОДИНАМИКА В КРАТЕРАХ ВЫБРОСА ГАЗА В АРКТИКЕ

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)

Статья поступила в редакцию 6 января 2018 г.

Дана характеристика и обоснован природный генезис образования Сеяхинского кратера выброса газа 2017 г. По данным дистанционного мониторинга из космоса состояния Антипаютинского кратера выброса газа в 2016–2017 гг. выявлено образование на поверхности кратерного озера нового объекта. С высокой вероятностью он соответствует новому бугру пучения, разорванному газогидродинамическим процессом. Это свидетельствует о продолжающейся активной газогидродинамике с возможными повторными выбросами и взрывами газа, которые могут произойти на многих потенциально опасных объектах и привести к чрезвычайно опасным природным, техногенным и экологическим ситуациям.

Ключевые слова: Арктика, выбросы газа, воронки, кратеры, вулканы, бугры пучения, мониторинг, дистанционное зондирование Земли, ДЗЗ, космоснимки.

Введение

Более 10 лет в Институте проблем нефти и газа (ИПНГ) РАН проводятся сбор данных, анализ и мониторинг развития различных природных и природно-техногенных явлений, несущих угрозы жизнедеятельности человека и нередко имеющих прямые или косвенные причинно-следственные связи (землетрясения, стратовулканы, грязевые вулканы, сипы газа и нефти, газогидраты и др.) [1—7]. При этом используются данные аэрокосмического дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и результаты наземных геолого-геофизических и геохимических экспедиционных исследований. Исходные и результирующие материалы загружаются в созданную геоинформационную систему «Арктика и Мировой океан» (ГИС «АМО» [1—3; 5; 6]), обновляются и дополняются.

Развитие исследований дегазации Земли на Ямале

В 2014—2017 гг. большой интерес мирового научного сообщества, особенно специализирующегося на исследованиях Арктики, вызвало образование на севере Ямало-Ненецкого автономного округа и Красноярского края гигантских воронок

(кратеров). В связи с ограниченным объемом фактических материалов в средствах массовой информации, включая центральное телевидение, излагались многочисленные гипотезы их образования, в том числе абсолютно фантастические.

Первые три научные публикации с обоснованием природы происхождения воронок — кратеров за счет выбросов газа были опубликованы в сентябре-октябре 2014 г., в том числе в монографии [1—3]. Автор этих работ с удовлетворением констатирует, что за прошедшие три года большая часть опубликованных им заключений и положений нашла подтверждения в дальнейших исследованиях руководимого им коллектива, а также коллег из других организаций. В частности, о первых воронках (С1 и С3 в ГИС «АМО») мы говорили: «в недалеком будущем воронки будут полностью затоплены, что приведет к появлению новых озер в дополнение ко многим тысячам уже существующих на Ямале» [1, с. 14]. Это фактически произошло за два летних сезона 2014 и 2015 гг. В наших работах мы отмечали, что «воронки Ямала по своей сути подобны покмаркам, многие тысячи которых выявлены на акваториях Арктики и Мирового океана» ([1, с. 18]). Спустя три года с этими неоднократными утверждениями



Рис. 1. Сеяхинский кратер выброса газа (фото автора из вертолета 2 июля 2017 г.)

автора [1—3 и др.] согласились М. О. Лейбман с соавторами в своей работе [8, с. 118].

В работе [1] была показана приуроченность первых двух Бованенковских воронок (С1 и С2) к зоне аномально высокого теплового потока. В 2015 г. в самом центре этой зоны был обнаружен еще один кратер (С9) [6]. В итоге можно констатировать, что к аномальной зоне теплового потока на суше полуострова Ямал приурочено аномально большое количество кратеров (не считая кратеры на дне термокарстовых озер, которых сотни и тысячи).

Также мы неоднократно предупреждали, что «при выбросах (выхлопах) газа в криолитозоне Арктики мы не исключаем возможности самовоспламенения газа, что нередко бывало при извержениях грязевых вулканов, выбросах газа в угольных шахтах и при строительных работах в Санкт-Петербурге», и «допускаем возможность самовоспламенения газа при образовании взрывоопасной смеси с воздухом (концентрация метана 5—16%)» [1, с. 18; 2, с. 6]. В 2017 г. были получены однозначные подтверждения очевидцев из коренного населения М. Н. Окоэтто и Я. Б. Вэнго о выбросе, самовоспламенении и взрыве газа 28 июня в 33 км к северу от поселка Сеяха. В результате взрыва образовался «Сеяхинский» кратер (С11 в ГИС «АМО»), порвавший русло реки Мордыяха (рис. 1). М. Н. Окоэтто рассказал автору, что на месте взрыва была небольшая сопка, которая взорвалась, и после мощной краткосрочной вспышки (взрыва) газ продолжал гореть около одного-полутора часов, при этом «диаметр основания

и высота пламени были с чум» (т. е. до 4—5 м). Столб сизого дыма с грибовидной вершиной поднялся выше облаков (имеется видеосъемка).

Во время первой экспедиции, состоявшейся при участии автора настоящей статьи через четыре дня после взрыва (2 июля) и организованной правительством Ямало-Ненецкого автономного округа и ОАО «Ямал СПГ» (генеральный директор Е. А. Кот), кратер был затоплен, так как его центр расположен прямо у береговой черты реки. Средний диаметр верхней затопленной части кратера (по уровню воды ниже бруствера) — 85 м, а его глубина — свыше 50 м. В эпицентре взрыва в районе жерла кратера наблюдалось сильное локальное «кипение воды» из-за выходящего газа, а на берегу и в русле реки лежали многочисленные тающие глыбы льда и песчано-суглинистой мерзлой породы (размеры самых крупных превышали 3—4 м — см. рис. 1). Не вызывает сомнений природное происхождение Сеяхинского кратера, о чем свидетельствует отсутствие вблизи него скважин, по заколонному пространству которых возможны перетоки глубинного газа, и биогенный характер проб метанового газа, взятых 2 июля и проанализированных Ф. М. Ривкиным (ОАО «Ямал СПГ»).

В процессе почти четырехлетнего поиска подобных кратеров на территории Ямала по данным ДЗЗ и в ходе экспедиций в северо-западной части крупного (около 6,3 км²) термокарстового озера Сэрто, расположенного в 45 км к северу от поселка Сеяха, на локальной прибрежной возвышенности (бывшем



Рис. 2. Космоснимок SPOT-7 4 августа 2016 г. вероятного кратера выброса газа на краю озера Сэрто

бугре) нами обнаружено небольшое озеро правильной округлой формы диаметром около 105 м (рис. 2). Подобное озеро сформировалось на месте «Дерябинского» кратера выброса газа С4 [1—3 и др.]. М. Н. Окоэтто рассказал, что в районе озера Сэрто в 1950-х годах жители тундры наблюдали выброс и сильное многочасовое горение газа, которые, видимо, приурочены к данному небольшому озеру, образовавшемуся на месте «Сэртинского» кратера. Судя по информации, полученной А. А. Соколовым от коренного населения, самовоспламенение газа произошло также при образовании зимой 2016—2017 гг. «Еркутинского» кратера выброса газа (С12 в ГИС «АМО»), а также в конце 1950-х годов на месте современного существования округлого озера.

Отметим, что 50—60-е годы XX в. относятся к локальному периоду похолодания, а не потепления. Поэтому однозначно объяснять причины образования выявленных в 2014—2017 гг. кратеров выброса газа наблюдающимся в последнее два десятилетия потеплением климата не представляется обоснованным и корректным. На дне Мирового океана в условиях достаточно стабильных придонных температур дегазация Земли, формирующая рельеф с многочисленными покмарками (rockmarks), идет тысячелетия и даже миллионы лет.

Таким образом, первопричиной абсолютного большинства выбросов газа на Земле являются естественные процессы формирования (накапливания) в залежах верхней части геологического разреза (ВЧР) биогенного (*in situ*) и катагенетического (глубинного) газа в свободном и гидратном состояниях. Кроме того, существует и техногенная эмиссия газообразных и жидких углеводородов, возникающая, например, при миграции газа по заколонному пространству (Кумжинское и многие другие месторождения) [7]. Под действием пластовых давлений и гравитационного эффекта газ стремится вырваться на поверхность Земли, но многолетнемерзлые породы являются хорошим региональным флюидоупором, мешающим его вертикальной миграции [1—3 и др.]. За счет этого происходит миграция газа в субгоризонтальном направлении с последующим прорывом на поверхность земли или в водную толщу через ослабленные зоны (разломы, термокарстовые озера с таликами, бугры пучения).

Новейшие газогидродинамические события в «Антипаютинском» кратере

Для получения ответа на один из ранее поставленных нами важных вопросов: «Являются ли воронки (покмарки) суши и акваторий Арктики результатом



Рис. 3. Антипаютинский кратер С3. Фотография из вертолета М. П. Лапсуя (а) и фрагмент видеокадра А. М. Лапсуя (б) 9 июля 2014 г.

однократного выброса (выхлопа) газа или периодических (многократных) выхлопов из-за постоянного подтока газа из глубины по “газовым трубам” подобно грязевым вулканам?» [3, с. 144] требуются дополнительные сложные мониторинговые исследования. Вместе с тем, понимая геологию и физику происходящих процессов, мы прогнозировали, что «падающая на дно воронки глинистая порода запечатывает каналы подтока газа со дна, как это происходит с грязевыми вулканами, а рост давления газа через газоподводящие каналы приведет к очередному пневматическому взрыву — выхлопу газа» [2, с. 6]. Говоря о выявленных на дне озер Ямала подводных кратерах газовых выбросов, мы не сомневались, что выбросы газа «могут быть краткосрочными разовыми и многоразовыми (подобно механизмам грязевого вулканизма и гейзеров), а также непрерывными (струйными)» [4, с. 8].

В 2017 г. появились данные, подтверждающие сказанное выше. Одним из объектов постоянного мониторинга в ИПНГ РАН является Антипаютинский кратер (С3 в ГИС «АМО»), имеющий координаты 69,795° с. ш., 75,035° в. д. [1—5]. Он образовался при выбросе газа 27 сентября 2013 г. на Гыданском полуострове (дата зафиксирована населением поселка Антипаюта) в 3 км к западу от Солетского газового месторождения.

9 июля 2014 г. на кратере С3 побывали коренные жители М. П. Лапсуя, А. М. Лапсуя и Х. С. Окотетто, фото- и видеоматериалы которых зафиксировали важную информацию и были предоставлены автору (рис. 3). Форма наблюдаемого кратера С3 свидетельствует о его принципиальном сходстве с кратером С1: наблюдаются гладкие стенки и рваные зоны отрыва верхней части мерзлых пород, являющейся кровлей загазованного пространства (камеры). Внизу кратера С3, как и у С1, наблюдается боковая каверна — грот, являющийся возможным каналом подтока газа (рис. 3б). Кратер С3, как и С1, имел преимущественно ледяной состав почти вертикальных стенок, внутренний диаметр 10—12 м (в 1,5 раза меньше С1), а глубина его в два-три раза

меньше, чем на С1. До взрыва на месте С3 был слабовыраженный бугор на краю террасы (рис. 3а). За счет падения выброшенных из кратера С3 кусков льда и породы вокруг него в сезонно-оттаявшей почве образовались небольшие обводненные воронки, хорошо видимые на рис. 3а.

Объект С3 до и после взрыва хорошо изучен по данным ДЗЗ со спутников «WorldView» (WV) за период с 21 августа 2013 г. по 11 октября 2014 г. А. И. Кизяковым с соавторами [9]. Анализ стереопар космоснимков WV-2 показал наличие на месте С3 пологого бугра высотой около 2 м (в три-четыре раза меньше, чем на С1). 30 августа 2016 г. на кратере побывала группа мерзлотоведов (А. В. Хомутов и др.), выполнившая ряд исследований, включая батиметрические. Последние показали, что максимальная глубина озера не превышает 3,5 м.

Однако в последующий период на объекте С3 произошли особенно важные события. По космоснимкам WV-1, WV-3 и «Ресурс-П2» за период с 28 августа 2015 г. по 16 июля 2017 г. (рис. 4) можно отметить следующее. Кратер С3 почти полностью затоплен водой, диаметр озера в эти два года был стабильным и составлял около 35—37 м, что почти на 10 м больше диаметра верхней части кратера в зоне отрыва породы в 2013 г. По данным ДЗЗ, в период 28—31 августа 2015 г. в хорошо освещенных северной и северо-восточной частях наблюдаются обнажения песчано-суглинистой почвы белесого цвета у крутого берегового уступа (рис. 4а и 4б) и отмель, имеющая на рис. 4б голубой цвет. Темное пятно в южной части кратера — тень от его стенки.

Самым важным является то, что в восточной части озера на снимке WV-1 16 июля 2017 г. (рис. 4г) появился объект, природа которого с высокой степенью вероятности нами интерпретируется как новый бугор пучения размером у уреза воды 18×22 м. Его поверхность разорвана в двух почти ортогональных направлениях (рис. 5), что характерно для бугров пучения [3], а в центральной части выделяется некоторое подобие вытянутого жерла размером 4×9 м.



Рис. 4. Космоснимки объекта С3: WV-1 28 августа 2015 г. (а), «Ресурс-П2» 31 августа 2015 г. (б), WV-3 8 марта 2016 г. (в) и WV-1 16 июля 2017 г. (г)

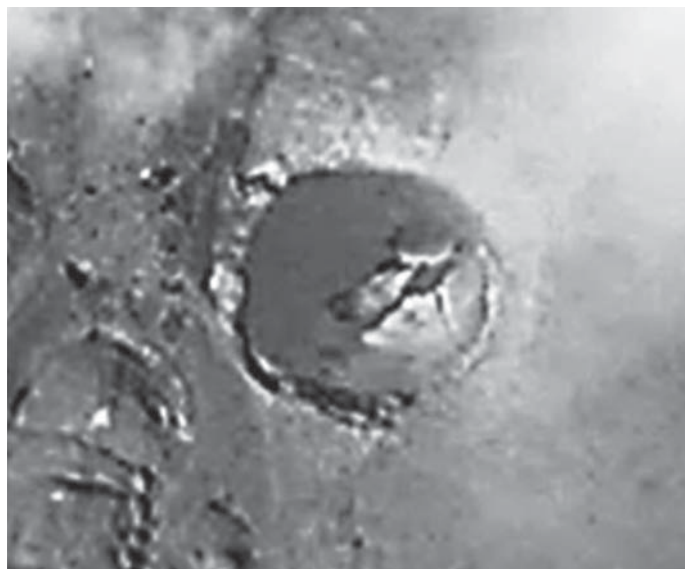


Рис. 5. Увеличенный фрагмент космоснимка объекта С3 WV-1 16 июля 2017 г.

По специфике распределения наиболее освещенных и теневых частей объект явно является не плоским, а выпуклым (бугор).

Судя по всему, за последний год песчано-суглинистые породы, упавшие на дно кратера, были вновь подняты давлением подземных флюидов (газ или газоводяная смесь) в виде бугра и стенки бугра были вскоре прорваны без значительного разброса обломков и формирования бруствера. Последнее объясняется тем, что новообразовавшиеся (всего за три года) переотложенные осадки на дне озера (весьма вероятно, частично замерзшие) обладали слабыми прочностными свойствами и не могли удерживать свою целостность до значительного роста внутреннего давления, способного разбросать обломки бугра на большие расстояния (до 160—900 м на буграх С1, С2 и С4) и сформировать бруствер [1—3; 5]. Вряд ли образовавшийся бугор будет существовать длительное время. После оттаивания замороженных зимой рыхлых осадков, формирующих округлую поверхность бугра, стенки бугра осядут на дно мелкого озера (глубина от 0 до 3,5 м), а в дальнейшем процесс его зимнего формирования и летнего

разрушения может повториться. То есть новоявленный бугор в кратерном озере С3, весьма вероятно, можно отнести к хорошо известным сезонным буграм пучения.

Вероятность того, что рассматриваемый объект (см. рис. 5) сформировался в результате разрыва ледового покрова озера, очень низка по следующим соображениям:

- объект расположен в самой освещенной и хорошо прогреваемой солнцем части кратерного озера;
- уровень светоотражения от его частей примерно соответствует окружающей поверхности земли, а не льду;
- в июле 2017 г. в юго-западной части полуострова Гыданский установилось жаркое лето, по данным местной метеостанции «Антипаюта» первые 16 дней июля в ночное время температура не опускалась ниже +1,6°C (1 июля), среднесуточная температура составила +11,8°C, а 16 июля она была +20°C при максимуме +24,4°C;

- по космоснимкам WV высокого разрешения (50 см) в радиусе свыше 100 км от объекта С3 не обнаружено никаких признаков наличия льда на озерах или снега в теневых сторонах оврагов и балок.

Но даже если предположить, что рассматриваемый объект сформирован льдом, наличие пробоины в его центральной части и трещин является признаком дегазации недр, как показано в работе [4].

Образование нового бугра пучения в озере, сформировавшемся при затоплении кратера С3 (с расширением его диаметра за счет таяния ледяных стен), хорошо согласуется с известными вулканическими процессами, при которых в котловинах старых вулканов (кальдерах) формируются конусы новых вулканов. Разнообразных примеров много: после взрыва в 1833 г. индонезийского вулкана Кракатау в 1930 г. в его кальдере образовался конус нового вулкана Анак-Кракатау, на Камчатке есть многочисленные грязевые вулканы и грифоны в кальдере Узон, а в кальдере вулкана Академия наук в 1996 г. сформировался новый вулкан, вулкан Пик Криница в кальдере Тао-Русыр на острове Онекотан



Рис. 6. Космоснимок вулкана Пик Криницина в кальдере Тао-Русь (QuickBird 14 сентября 2006 г.)

Курильской гряды (рис. 6), вулкан Wazard в кальдере Mazama (США), газо-водо-грязевые выбросы в кальдере Yellowstone (США) и др.

Заклучение

Образование в 2016—2017 гг. на месте Антипаютинского кратера выброса газа С3 нового объекта, с высокой вероятностью соответствующего сезонному бугру пучения, свидетельствует о продолжающейся активной газогидродинамике с возможными повторными выбросами и взрывами газа, которые могут произойти на многих потенциально опасных объектах и привести к чрезвычайно опасным природным, техногенным и экологическим ситуациям.

По данным ДЗЗ нам удалось доказать продолжающуюся эмиссию газа (в отдельных случаях и жидких углеводородов) в нескольких кратерах, образовавшихся в зонах старых катастроф при бурении скважин на территории бывшего СССР и других стран Европы и Америки. В частности, после ликвидации катастрофического фонтанирования углеводородов на Кумжинском месторождении их эмиссия продолжается более 30 лет [7]. ДЗЗ является незаменимым инструментом изучения и мониторинга состояния опасных природных и природно-техногенных объектов, особенно в малонаселенных регионах Арктики.

Накопленная информация последних лет свидетельствует о широкой географии распространения и значительных различиях генезиса газо-взрыво-

опасных объектов и характера эмиссии газа. На Антипаютинском и Сеяхинском кратерах выброса газа (С3 и С11) не было ярко выраженных бугров пучения, которые можно отнести к классическим булгунням — пинго. Не наблюдаются бугры и на усеянном кратерами выбросов газа дне многочисленных озер, хотя многие из кратеров явно свежие, что видно по наличию подводных брустверов [3—6]. Это значительно усложняет решение задачи выявления особо опасных объектов, первоочередных для постановки инженерно-геологических и газогидродинамических исследований, которых в Арктике многие тысячи. Однако очевидно, что для обеспечения безопасности жизнедеятельности человека и безаварийного функционирования поселков и инфраструктуры нефтегазовых промыслов в Арктике необходимо сфокусировать усилия на выявлении, анализе состояния и мониторинге развития от близкорасположенных потенциально опасных объектов, характеризующихся наличием подземных газогидродинамических процессов. Кроме того, необходима разработка технологий устранения угроз, исходящих от этих объектов.

Post Scriptum

Не сомневаюсь, что 2018 г. принесет нам много новых открытий. Нужно только научиться интегрировать разрозненные усилия при решении сложных задач и в достижении стратегических целей.

Литература

1. Богоявленский В. И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. — 2014. — № 9. — С. 13—18.
2. Богоявленский В. И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра. — Ч. 2 // Бурение и нефть. — 2014. — № 10. — С. 4—8.
3. 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. общества России; т. 182, № 3).
4. Богоявленский В. И., Сизов О. С., Богоявленский И. В., Никонов Р. А. Дистанционное выявление участков поверхностных газопроявлений и газовых выбросов в Арктике: полуостров Ямал // Арктика: экология, экономика. — 2016. — № 3 (23). — С. 4—13.
5. Богоявленский В. И. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений нефти и газа в Арктике // Сб. докладов конференции «Достижения науки как основа научно-технического прогресса в устойчивом перспективном развитии газовой отрасли» // Ноосфера. — 2016. — № 1. — С. 48—67.
6. Богоявленский В. И., Богоявленский И. В., Никонов Р. А. Результаты аэрокосмических и экспедиционных исследований крупных выбросов газа на Ямале в районе Бованенковского месторождения // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 3 (27). — С. 4—17.
7. Богоявленский В. И., Перекалин С. О., Бойчук В. М. и др. Катастрофа на Кумжинском газоконденсатном месторождении: причины, результаты, пути устранения последствий // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 1 (25). — С. 32—46.
8. Лейбман М. О., Дворников Ю. А., Хомутов А. В. и др. Водно-химические особенности воды озер и воронок газового выброса, вложенных в морские отложения севера Западной Сибири // Геология морей и океанов: материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. — Т. 4. — М.: ИО РАН, 2017. — С. 117—121.
9. Кизяков А. И., Сонюшкин А. В., Хомутов А. В. и др. Оценка рельефообразующего эффекта образования Антипаютинской воронки газового выброса по данным спутниковой стереосъемки // Соврем. проблемы дистанц. зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14, № 4. — С. 67—75.

Информация об авторе

Богоявленский Василий Игоревич, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, 3), заведующий кафедрой геоэкологии, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (119991, Россия, Москва, Ленинский пр-т, 65), e-mail: vib@pgc.su.

Библиографическое описание данной статьи

Богоявленский В. И. Газогидродинамика в кратерах выброса газа в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 1 (29). — С. 48—55. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-48-55.

GAS-HYDRODYNAMICS IN THE ARCTIC CRATERS OF GAS BLOWOUT

Bogoyavlensky V. I.

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

Abstract

The natural genesis of the formation of the Seyakhinsky crater of gas blowout in 2017 is given and grounded. According to the data of remote monitoring from space of the state of the Antipayutinsky crater of gas release in 2016-2017, revealed the formation on the surface of the crater lake new object. With high probability, it corresponds to a new a dome-shaped mound, destroyed by the gas-hydrodynamic emission. This testifies to the ongoing active gas-hydrodynamics with possible repeated emissions and gas explosions, which can occur in many potentially hazardous facilities and lead to extremely dangerous natural, technogenic and ecological situations.

Keywords: Arctic, gas blowout, gas emissions, funnels, craters, volcanoes, pingo, monitoring, remote sensing of the Earth, remote sensing, space images.

References

1. Bogoyavlensky V. I. Ugroza katastroficheskikh vybrosov gaza iz kriolitozony Arktiki. Voronki Yamala i Taimyra. [The threat of catastrophic gas blowouts from the Arctic permafrost]. *Burenie i neft'*, 2014, no. 9, pp. 13—18. (In Russian).
2. Bogoyavlensky V. I. Ugroza katastroficheskikh vybrosov gaza iz kriolitozony Arktiki. Voronki Yamala i Taimyra. Ch. 2. [The threat of catastrophic gas blowouts from the Arctic permafrost. Pt. 2]. *Burenie i neft'*, 2014, no. 10, pp. 4—8. (In Russian).
3. Bogoyavlensky V. I. Arktika i Mirovoi okean: sovremennoe sostoyanie, perspektivy i problemy osvoeniya resursov uglevodorodov. [Arctic and the World Ocean: current state, perspectives and challenges of hydrocarbon production]. *Monografiya*. Moscow, Izd-vo VEO Rossii, 2014, pp. 12—175. (Tr. Vol'nogo ekon. o-va Rossii; vol. 182, no. 3). (In Russian).
4. Bogoyavlensky V. I., Sizov O. S., Bogoyavlenskii I. V., Nikonov R. A. Distantionnoe vyyavlenie uchastkov poverkhnostnykh gazoprovyavlenii i gazovykh vybrosov v Arktike: poluostrov Yamal. [Remote detection of near surface gas shows and blowouts in Arctic: Yamal peninsula]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, no. 3 (23), pp. 4—13. (In Russian).
5. Bogoyavlensky V. I. Prirodnye i tekhnogennyye ugrozy pri osvoenii mestorozhdenii nefti i gaza v Arktike. [Natural and man-made threats during the development of oil and gas fields in the Arctic]. *Sb. dokladov konferentsii "Dostizheniya nauki kak osnova nauchno-tekhnicheskogo progressa v ustoichivom perspektivnom razvitii gazovoi otrasli"*. *Noosfera*, 2016, no. 1, pp. 48—67. (In Russian).
6. Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlenskii I. V., Nikonov R. A. Rezul'taty aerokosmicheskikh i ekspeditsionnykh issledovaniy krupnykh vybrosov gaza na Yamale v raione Bovanenkovskogo mestorozhdeniya. [Results of aerial, space and field investigations of large gas blowouts near Bovanenkovo field on Yamal peninsula]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2017, no. 3 (27), pp. 4—17. (In Russian).
7. Bogoyavlensky V. I., Perekalin S. O., Boichuk V. M. et al. Katastrofa na Kumzhinskom gazokondensatnom mestorozhdenii: prichiny, rezul'taty, puti ustraneniya posledstviy. [Kumzhinskoye Gas Condensate Field Disaster: reasons, results and ways of eliminating the consequences]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2017, no. 1 (25), pp. 32—46. (In Russian).
8. Leibman M. O., Dvornikov Yu. A., Khomutov A. V. et al. Vodno-khimicheskie osobennosti vody ozer i voronok gazovogo vybrosa, vlozhennykh v morskije otlozheniya severa Zapadnoi Sibiri. [Water-chemical features of the water of lakes and funnels of the gas emission, invested in marine deposits of the north of Western Siberia]. *Geologiya morei i okeanov: materialy XXII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii*. Vol. 4. Moscow, IO RAN, 2017, pp. 117—121. (In Russian).
9. Kizyakov A. I., Sonyushkin A. V., Khomutov A. V. et al. Otsenka rel'efoobrazuyushchego effekta obrazovaniya Antipayutinskoi voronki gazovogo vybrosa po dannym sputnikovoi stereoskopi. [Evaluation of the relief-forming effect of the formation of the Antipayutinsky funnel of the gas emission according to satellite stereoscopic data]. *Sovrem. problemy distants. zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, vol. 14, no. 4, pp. 67—75. (In Russian).

Information about the author

Bogoyavlensky Vasily Igorevich, Corresponding member of RAS, Doctor of Technical Science, Deputy Director for Science, Oil and gas research Institute of the RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), Head of the Geology Department, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (65, Leninsky prosp., Moscow, Russia, 119991), e-mail: vib@pgc.su.

Bibliographic description

Bogoyavlenskiiy V. I. Gas-hydrodynamics in the Arctic craters of gas blowout. *Arctic: ecology and economy*, 2018, no. 1 (29), pp. 48—55. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-48-55. (In Russian).