

Заболотный С.И., Лагунов А.Ю., Федин Д.А.
zabolotny.seregei@yandex.ru

МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ АНАЛИЗА КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА НЕФТЯНЫХ ПЛАТФОРМАХ В АРКТИКЕ

Аннотация. В Арктике находится огромное количество ископаемых углеводородов, из-за чего многие страны имеют интересы, связанные с циркумполярными регионами. Так как большая часть Арктики покрыта льдом, для добычи ископаемых газов используют специально спроектированные платформы. Из-за утечки газа на платформе может произойти взрыв, который может обернуться для добывающей компании большими экономическими потерями, а в некоторых случаях существует опасность для человеческой жизни. В таких ситуациях можно использовать мобильного робота. Нашими силами был разработан мобильный прибор, способный проводить разведку в местах, опасных для человеческой жизни. Первые испытания прошли успешно.

Ключевые слова: Арктика, природный газ, робот, датчики, мобильное устройство, разведка.

Abstract. In the Arctic there is a huge amount of fossil hydrocarbons because of what many countries have the interests connected with circumpolar regions. As the most part of the Arctic is covered with ice, for extraction of fossil gases use specially designed platforms. Because of leak of gas on the platform there can be an explosion which can turn back big economic losses for mining company, and in certain cases there is a danger to human life. In such situations it is possible to use the mobile robot. Our forces developed the mobile device capable to carry out investigation in the places dangerous to human life. The first tests were successful.

Keywords: Arctic, natural gas, robot, sensors, mobile device, intelligence.

Введение

Арктика является одним из важнейших стратегических регионов земного шара, из-за чего многие страны предпринимают серьезные шаги по укреплению своих геополитических интересов на территории севера [1, 2, 3]. Это происходит, потому что, по общему признанию, в Арктике находится четверть мировых запасов нефти и газа [4, 5]. Рисунок 1 – наглядно изображены запасы нефти и газа в Арктике.

Сложностью в освоении территорий циркумполярного региона является то, что он крайне чувствителен к изменениям температуры, особенно, в течение последних десяти лет, в том числе в виде разнообразия и неопределенности локальных реализаций в обеих статистических [6] и нелинейных [7] терминах.

Не обращая внимания на систематическое улучшение технологии добычи и все больше всестороннее познание геологического состава углеводородов, все ещё происходят аварии на платформах, на которых выполняется добыча газа и нефти.

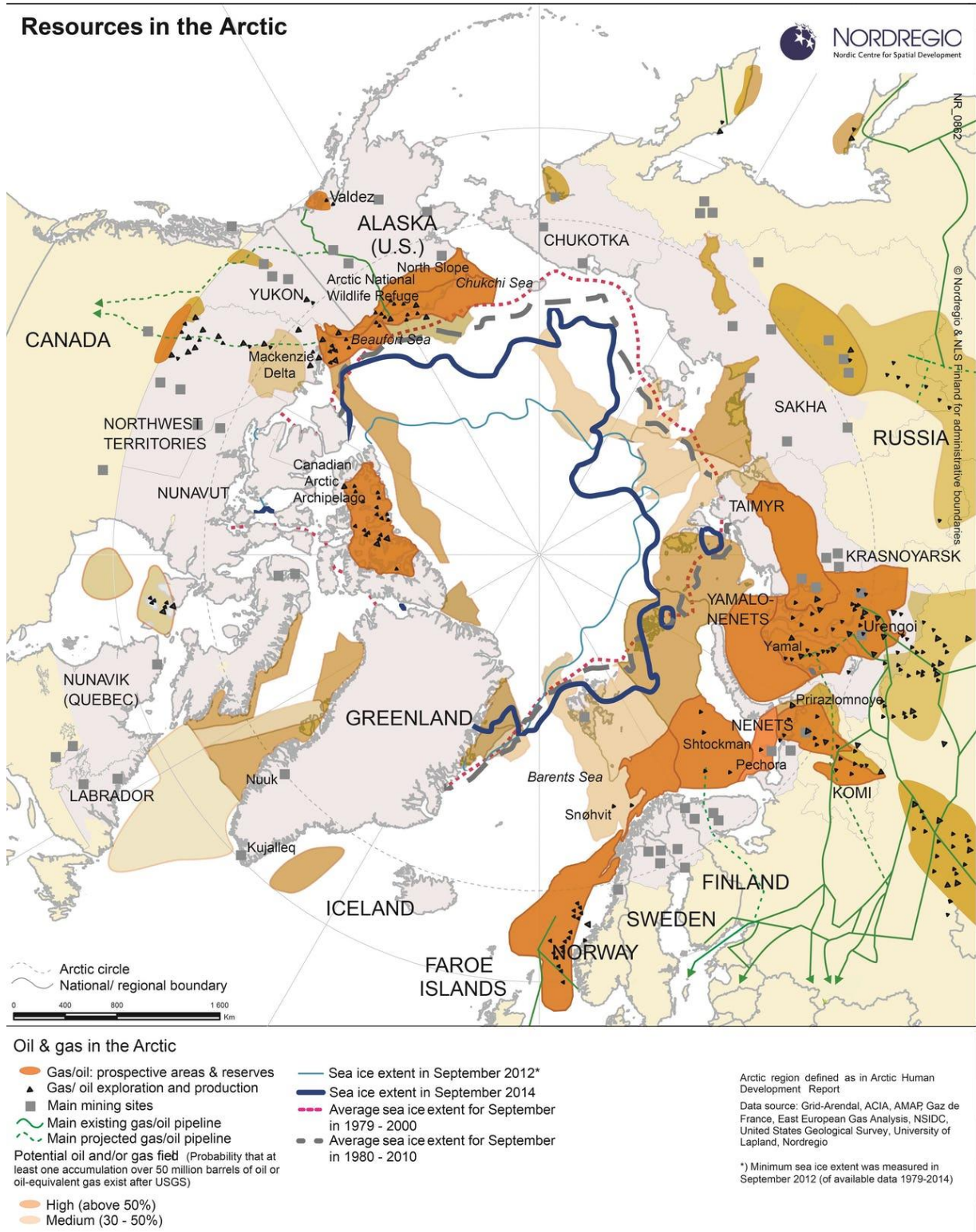


Рисунок 1 – Ресурсы Арктики [8].

К примеру, можно вспомнить про пару больших техногенных катастроф.

1. Крупнейшая катастрофа в истории произошла в июле 1988 года вблизи Англии – на нефтедобывающей платформе Occidental Petroleum's Piper Alpha в результате последовавшего за утечкой газа взрыва погибли 167 человек, в живых остались лишь 59 человек из 226, находившихся на платформе в момент взрыва. На данный момент Piper Alpha единственная в мире платформа, сгоревшая полностью [9].

2. Авария на нефтяной платформе Deepwater Horizon, которая произошла 20 апреля 2010 года, в 80 км от побережья штата Луизиана в Мексиканском заливе на месторождении компании BP, является крупнейшей мировой экологической катастрофой на данный момент. Взрыв на платформе забрал жизни 11 человек, раненых осталось 17 человек. Около 5 миллионов баррелей нефти вылилось в Мексиканский залив в течение полугода борьбы с последствиями аварии, пятно нефти распространилось на 75 тысяч квадратных километров [10].

В опасных для человеческой жизни обстоятельствах мы способны задействовать робота, управляемого мобильным прибором. В ряде ситуаций возможно продолжительное использование такого робота в опасном месте для проведения измерений на расстоянии. Чтобы мобильный прибор прибыл к месту измерений, необходимо использование платформы, способной передвигаться. Наша задача разработать мобильный прибор так, чтобы можно было управлять им дистанционно. Машина должна быть оснащена необходимыми для измерения состава газов датчиками и камерами, способными передавать информацию о местонахождении. В этой статье мы разработаем модель мобильного робота для измерения концентрации природного газа и рассмотрим ряд опасностей на платформах по добыче нефти и газа, столкнувшись с которыми, может потребоваться использование нашей модели.

Требования к мобильному прибору и передвижной платформе

Природный горючий газ – это естественная смесь углеводородов, различающихся по составу. Метан (CH_4) составляет от 92 до 98% – это основная часть природного газа, также в состав природного газа входят изобутан ($(\text{CH}_3)_3\text{CH}$) и пропан (C_3H_8). Горючий газ разделяют по способу добычи на природный газ, который добывают из чисто газовых месторождений, практически не содержащих нефти, попутный газ – это газ, растворенный в нефти, его добывают вместе с самой нефтью, и газ, находящийся в пластах под

давлением, в так называемых газоконденсатных месторождениях, он содержит керосиновые и иногда соляровые фракции нефти. Природные газы и газы конденсатных месторождений выделяются из-под поверхности земли под большим давлением (50–100 атм), попутные газы добываются из нефти с помощью воздействия небольшого давления или наоборот, разряжения. В каждом месторождении состав природного газа различный. Алканы – основная составляющая природного и попутного газов, однако присутствуют незначительные количества циклических и ароматических углеводородов, небольшие количества азота и аргона, а также следы гелия и водорода [11]. Сероводород, меркаптаны и углекислый газ тоже содержатся в газах. Природные газы различаются по составу, существуют сухие и жирные газы. Газы, содержащие от 50 г/м³ и более углеводородов от пропана и выше, называются жирными. К жирным чаще всего относятся попутные и газоконденсатные газы, к сухим – природные газы. Состав нефтяных попутных газов сильно различается с составом природного газа и зависит от условий отбора пробы, давления, при котором газ находится в скважине, соотношения в пробе свободного газа и др. Здесь показано, как сильно могут различаться структуры, соотношения компонентов и составы анализируемых газов.

При создании проекта мобильного прибора в условиях его нахождения на платформе по добыче углеводородов необходимо брать во внимание требования по безопасности во взрывоопасных средах, стандартизированных в стране использования. В результате анализа существующих требований по безопасности [12-18] мы выяснили, что все документы приблизительно одинаково подходят к проблеме – сначала они классифицируют среды по уровню риска, после чего для каждого уровня находят конкретные возможности по достижению требуемой безопасности. Исходя из этого, в своей работе мы будем опираться на максимально возможные требования этих документов.

Требуемые функциональные возможности и параметры мобильного прибора и передвижной платформы были сформированы в результате анализа существующих роботов и обследования платформы по добыче углеводородов.

Компактная конструкция, небольшие габариты, а также высокая устойчивость и мобильность – основные параметры, которыми должен обладать беспилотный автомобиль. Машина должна иметь наименьший возможный вес для быстрого перемещения к месту действий. Также необходимо осуществление дистанционного контроля и управления. Все контрольно-измерительные приборы (датчики, камеры) надлежит защитить от предполагаемых угроз.

Главными проблемами, которые могут помешать передвижной платформе с приборами во время осмотра и которые важно исключить, являются: способность разведки в условиях пониженной температуры; наличие участков с узкой зоной прохождения; большое количество технологических препятствий, которые существуют на добывающих платформах;

Система датчиков робота должна быть способна измерять температуру, относительную влажность и два основных газа: метан и пропан. Объем и периодичность измерений необходимо определять после консультации с руководителем работ. Важно иметь оборудование для записи и передачи изображений оператору (цветные камеры, работающие в спектре видимого света, поддерживаемые дополнительным освещением и инфракрасными камерами). Заказчики считают, что оптимум рабочего времени для машины будет составлять около 3–4 часов в режиме интенсивной разведки и до нескольких дней в режиме ожидания.

После анализа существующих мобильных роботов, мы спроектировали свой мобильный прибор на подвижной платформе, который будет соответствовать требованиям, предъявляемым к таким устройствам.

Результаты и обсуждение

В основу нашего мобильного прибора лег малогабаритный компьютер на базе Arduino (Рисунок 2).

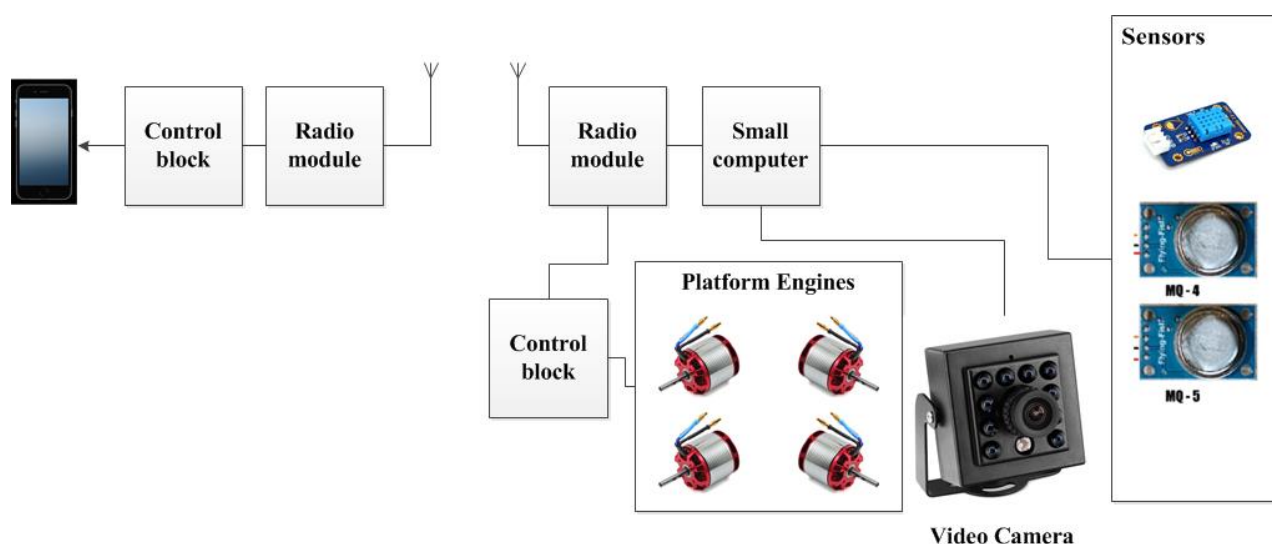


Рисунок 2 – Функциональная схема мобильного прибора

К нему мы подключили датчик температуры и датчик влажности (DHT11), датчик метана (MQ-4), датчик пропана и изобутана (MQ-5). Технические характеристики датчиков приведены в Таблице 1. MQ4 и MQ5 – полупроводниковые датчики, принцип работы которых основан на изменении сопротивления тонкопленочного слоя диоксида олова SnO₂ при контакте с молекулами определяемого газа. Чувствительный элемент датчика состоит из керамической трубки с покрытием оксида алюминия Al₂O₃ и нанесенного на неё чувствительного слоя диоксида олова. В трубке расположен нагревательный элемент, способный нагреть чувствительный слой до температуры, при которой он начинает реагировать на газ, который должен определять. Изменяя состав примесей в чувствительном слое, можно изменять чувствительность датчика к разным газам. Датчики газа имеют размеры 20x32 мм, питание осуществляется от источника напряжения 5 V. Все датчики потребляют ток величиной в 150 mA. Диапазон измерения датчиков концентрации газа лежит в пределах от 200 до 10000 ppm.

Таблица 1 – Технические характеристики датчиков

Датчики	MQ-4	MQ-5
Детектируемый газ	Природный газ, метан	Сжиженные углеводородные газы (LPG), природный газ, коксовый газ
Диапазон чувствительности	300-10000 ppm	300-10000 ppm
Rs (сопротивление чувствительного элемента)	1...20 кОм 5000ppm CH ₄	1...20 кОм 2000ppm C ₃ H ₈
Газ, для которого нормируется датчик	Метан, 5000ppm	Изобутан, 1000ppm
Время отклика	≤ 10с	
Чувствительность	(R в воздухе)/(R в присутствии характерного газа) ≥ 5с	
Rh (сопротивление нагревателя)	31Ω±3Ω	
Ih (ток нагревателя)	≤180mA	
Vh (напряжение нагревателя)	5V±0,2V	
Ph (мощность нагревателя)	≤900mВт	
Vc (напряжение схемы)	≤24V	
Стандартные рабочие условия	Температура: -10 ~ +50°C, влажность: ≤95%RH, концентрация кислорода: 21% (стандартные условия)	
Условия хранения	Температура: -20 ~ +70°C, влажность: ≤70%RH	
Конфигурация	А или В (металлический или пластиковый корпус)	

Для обеспечения соединения связи робота и оператора используется радио модуль. На экране управляющий видит видеоизображение и показания датчиков. Чтобы передавать изображение на экран управляющего, к прибору также подключена видеокамера с источниками видимого и инфракрасного излучения.

Мобильный прибор размещён на платформе (Рисунок 3).

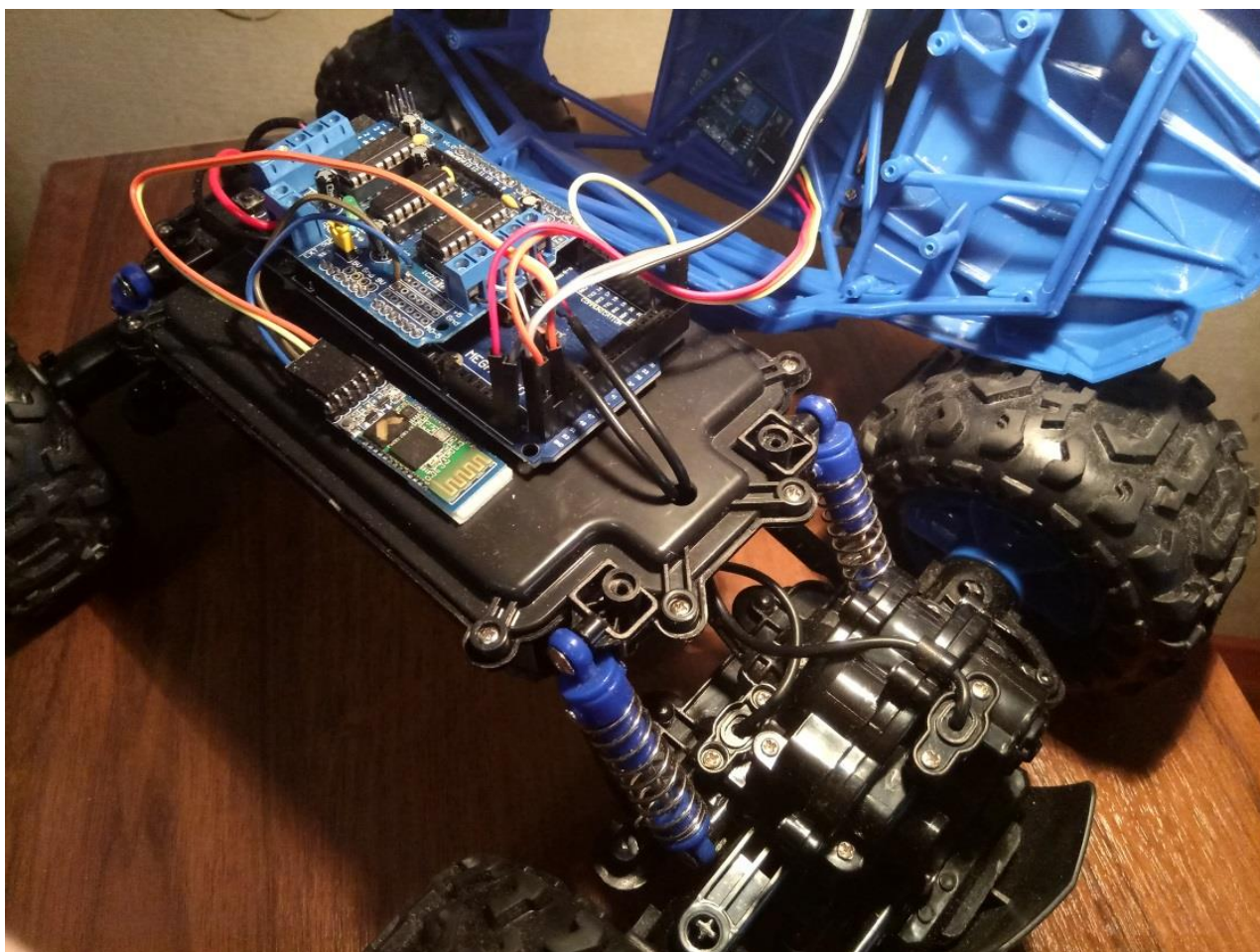


Рисунок 3 – Расположение мобильного прибора в передвижной платформе.

На платформе располагается мобильный прибор и емкость для аккумуляторов. За питание платформы отвечают два серийных промышленных Li-Ion аккумуляторов Li-Ion 18650 3.7V 4500mAh, соединенных последовательно. Из-за того, что напряжение питания схем было избыточным, нам пришлось установить контроллер зарядки и разрядки, который выдает необходимое напряжение 5V. Если существует потребность, аккумуляторы можно поменять. Заряженные запасные аккумуляторы имеются в комплекте прибора.

Беря во внимание круг задач и сферу деятельности мобильного прибора, было выявлено, что одним из лучших вариантов будет колесное шасси с независимой подвеской: четыре колеса с независимой подвеской легко преодолевают сложные препятствия и гарантируют хорошую стойкость даже при больших скоростях (Рисунок 4). С пересеченной местностью хорошо справляется подвеска, дающая устойчивость машины для более точного сбора данных. В техническом обслуживании эта конструкция также довольно проста.



Рисунок 4 – Передвижная платформа для мобильного прибора.

Опытная модель робота показала достойную проходимость. В дальнейшем мы думаем провести полевые испытания с реальными замерами концентрации газа с проверкой промышленными датчиками.

Заключение

В Арктике находятся огромные залежи полезных ископаемых, но также, Арктика – очень опасный регион для человеческой деятельности. В особенности, сильную опасность представляет смесь из воздуха и природного газа, способная

вызвать мощные взрывы. Это сильно осложняет работу человека. Мобильные подвижные роботы способны решить часть проблем. Нами был разработан и собран опытный образец машины с мобильным прибором, способным проводить измерения температуры, влажности и концентрации природных газов. Опытная модель робота показала достойные результаты ранних испытательных проверок. В дальнейшем, нами планируется проведение последующих полевых испытаний с замерами и верификацией обычными датчиками.

Библиографический список

1. US demands shared use of Russia's Northern Sea Route. – 2018. – URL: Available: <https://www.rt.com/business/423913-northern-sea-route-us/> (date of access: 09.07.2018).
2. Ingimundarson V. The geopolitics of the 'future return': Britain's century-long challenges to Norway's control over the spitsbergen archipelago / V. Ingimundarson. – DOI 10.1080/07075332.2017.1345773 // International History Review. – 2018. – Vol. 40, Is. 4. – P. 893–915.
3. The increase in geopolitical competition as a challenge (threat) to Russia's national security / V. V. Kovalev, V. V. Kasyanov, Y. S. Bortsov [et al.] // European Research Studies Journal. – 2017. – Vol. 20, Is. 4. – P. 499–508.
4. Motomura M. Perspectives on oil and gas development in the Russian Arctic / M. Motomura. – DOI 10.4324/9781315121772 // Russia's Far North: The Contested Energy Frontier. – [S. l.], 2018. – P. 27–42.
5. Giant discoveries of oil and gas exploration in global deepwaters in 40 years and the prospect of exploration / G.-C. Zhang, H.-J. Qu, C. Zhao [et al.]. – DOI 10.11764/j.issn.1672-1926.2017.08.008 // Natural Gas Geoscience. – 2017. – Vol. 28, Is. 10. – P. 1447–1477.
6. Kolokolov Yu. Multidimensional analysis of dynamics of annual warming-cooling cycles on the basis of index model of temperature observations / Yu. Kolokolov, A. Monovskaya // 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems : Technology and Applications, 24–26 September 2015. – Warsaw, 2015. – Vol. 2. – P. 631–637.
7. Kolokolov Y. Guess-work and reasonings on centennial evolution of surface air temperature in Russia. Part 2. Is it possible to research both local peculiarities and regional tendencies from the bifurcation analysis viewpoint? / Y. Kolokolov, A. Monovskaya // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2016. – Vol. 26. – P. 1650071.
8. Duff S. Remembering Piper Alpha disaster / S. Duff // BBC News. – 2008. – 6 June. – URL: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/scotland/7438774.stm (date of access: 09.07.2018).
9. Zeller J. T. Estimates Suggest Spill Is Biggest in U.S. History / J. T. Zeller // The New York Times. – 2010. – May 28. – URL: <https://www.nytimes.com/2010/05/28/us/28flow.html> (date of access: 09.07.2018).

10. Resources in the Arctic // The Arctic Institute : Official site. – URL: https://www.thearcticinstitute.org/wp-content/uploads/2017/07/Resources-in-the-Arctic_2015.jpg (date of access: 09.07.2018).
11. Nivin V. A. Free hydrogen-hydrocarbon gases from the Lovozero loperite deposit (Kola Peninsula, NW Russia) / V. A. Nivin. – DOI 10.1016/j.apgeochem.2016.09.003 // Applied Geochemistry. – 2016. – Vol. 74. – P. 44–55.
12. EUR-Lex. Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/En/TXT/?uri=CELEX:32014L0034> (date of access: 09.07.2018).
13. ČSN EN 60079-0. Explosive atmospheres. Part 0. Equipment — General Requirement / Czech Office for Standards. – Ed. 4. – Prague : Czech Office for Standards, Metrology and Testing, 2013. – 100 p.
14. CNEX-Global. Chinese Ex Product Certification. – URL: <http://www.cnex-global.com/services/chinese-ex-product-certification.html> (date of access: 03.07.2018).
15. Petzl. Explosive Environments: HAZLOC Standard. – URL: <https://www.petzl.com/BE/en/Professional/Explosive-environments--HAZLOC-standard> (date of access: 03.07.2018).
16. CU TR 012/2011. Safety of Equipment in Explosion Hazardous Environments – Certification and Declaration of Conformity : Certification of Conformity & Industrial Safety : Technical Regulations. – URL: <http://www.ccis-expertise.com/en/technical-regulations-cu-tr-012-2011-on-safety-of-equipment-in-explosion-hazardous-environments> (date of access: 03.07.2018).
17. Coal Mine Health and Safety Act 2002 № 129 / New South Wales Government. – URL: <https://legislation.nsw.gov.au/#/view/act/2002/129> (date of access: 11.07.2018).
18. Compilation of Regulatory Approaches Used in Various Countries. – URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/wp6/SectoralInitiatives/EquipmentForExplosiveEnvironment/SIEEE-QuestionsRepliesE.pdf> (date of access: 11.07.2018).