

**ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ. ЭКСПЕРИМЕНТ**  
**ENGINEERING. TECHNOLOGY. EXPERIMENT**

УДК 614.8:551.910.3 + 796.01  
DOI: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-29-37

*Виталий Иосифович Акселевич,*  
кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий геофизик,  
Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
(194021, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7),  
e-mail: vaksster@gmail.com

*Геннадий Иванович Мазуров,*  
доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник,  
Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
(194021, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7),  
e-mail: nanmaz@rambler.ru

*Камиль Шейхович Хайруллин,*  
кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник,  
лауреат премии А.И. Воейкова по климатологии,  
Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова  
(194021, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7),  
e-mail: khairullink@mail.ru

**Гидрометеорологические опасности Арктики и методика их мониторинга**

Статья посвящена описанию природных опасностей и особенностям работ в Арктической зоне. Рассматривается методика их мониторинга. Описываются новые опасные явления, такие, как ледяное цунами, подъём метана при размораживании вечной мерзлоты, подъём уровня Мирового океана, увеличение скорости эрозии берегов Северного Ледовитого океана. Дискутируется вопрос о глобальном потеплении и похолодании.

**Ключевые слова:** мониторинг, Арктическая зона, изменение температуры, ледяное цунами, метан, сокращение площади льдов, подъём уровня Мирового океана

Под Арктикой будем в соответствии с [10] понимать северную околополюсную область Земного шара, включающую Северный Ледовитый океан, его моря и острова, а также прилегающие участки материков Евразии и Северной Америки. Границы арктического региона России представлены на рис. 1 [10].

Для большинства территорий за полярным кругом характерны следующие гидрометеорологические особенности [8]:

– полярная ночь и полярный день длительностью 3–5 месяцев, оказывающие отрицательное влияние на психику человека;

- северное сияние, магнитные бури и другие геомагнитные параметры [9], нарушающие радиосвязь за счёт помех радиотехническим средствам;
- низкие температуры воздуха во время полярной ночи в сочетании с сильными ветрами создают крайне неблагоприятные условия для проживания и несения службы;
- резкая изменчивость условий погоды во времени и по пространству из-за влияния местных особенностей;
- практическое отсутствие пыли, что обуславливает высокую прозрачность воздуха;
- сильные ветры (до 40 м/с), вызывающие метели и создающие снежные заносы и ледяные торосы;
- высокая повторяемость инверсий и изотермий, под которыми возникают дымки, туманы и низкая облачность, ухудшающие видимость;
- редкие метеорологическая, аэрологическая и радиолокационная сети;
- малое количество аэродромов и пунктов базирования;
- однообразная заснеженная и ледяная поверхность, крайне бедная ориентирами;
- белая мгла вследствие размытия контраста в атмосфере над большими водными пространствами [1].



**Рис. 1.** Границы арктического региона России (закрашены синим цветом и 9 районов пронумерованы) [10]

**Fig. 1.** The boundaries of the Arctic region of Russia

Все эти особенности и другие редко встречающиеся опасные явления затрудняют пространственную ориентировку при полётах экипажей летательных аппаратов, особенно при полётах на малых и предельно малых высотах.

Существуют определённые методики организации мониторинга опасностей и их купирования. Для обеспечения нормальной радиосвязи требуется осуществлять прогноз её распространения. Считается, что для осуществления такого прогноза нужны данные о солнечной активности и состоянии верхних слоёв атмосферы. Среди параметров солнечной активности выделяют:

- уровень ионизации слоя F (его значения бывают от 62.5 до 300, при этом, чем больше указанное число, тем выше ионизация и тем больше вероятность проведения связи на более высокочастотных диапазонах);
- индукция магнитного поля Земли;
- индекс неустойчивости в горизонтальной составляющей магнитного поля Земли (его значения бывают от 0 до 9);

- вспышечная активность Солнца;
- интенсивность жёстких рентгеновских лучей, поражающих ионосферу Земли (их воздействие ведётся в первую очередь на D-слой или слой ВЧ поглощения, а значения указанной интенсивности от А0.0 до Х9.9 указывают на порядок величины X-лучей (А, В, С, М и Х), где А является самым низким классом);
- количество пятен на Солнце;
- относительная сила суммарной солнечной радиации на длине волны 30,4 нм, излучаемой в первую очередь ионизованным гелием в фотосфере Солнца (данное излучение ответственно за половину всех ионизаций слоя F в ионосфере; значения указанной силы бывают от 0 до бесконечности);
- плотности заряженных протонов и электронов в солнечном ветре (чем выше плотность, тем больше воздействие на ионосферу, что влияет на E-слой ионосферы; значения указанных плотностей бывают от 0 до бесконечности);
- насколько сильно F-слой ионизирован в полярных регионах (более высокие значения ионизации приводят к Авроре; они бывают от 0 до 150, при этом расчётное значение составляет от 67,5 до 45,0 градусов и оно используется для оценки широты полярных сияний);
- скорость заряженных частиц, с которой они приходят на Землю (чем выше скорость, тем больше давление оказывается на ионосферу, при этом значения, большие 500 км/с, оказывают влияние на ВЧ-связь);
- сила и направление межпланетного магнитного поля под влиянием солнечной активности (значения силы бывают от +50 до -50);
- рассчитанное значение состояния магнитного поля Земли;
- расчётное значение, указывающее сколько шума в S-блоках генерируется в результате взаимодействия между солнечным ветром и геомагнитной активностью (чем больше активность солнечного ветра, тем больше шума).

Магнитные бури прогнозируются и фиксируются с помощью мониторинга ионосферы. Для Арктики актуальны местные прогнозы сильного ветра, связанные с местными особенностями. Для прогноза и выявления инверсий и изотермий рекомендуется оснащение метеоподразделений на арктических аэродромах профилемерами типа МТП-5, МТП-6.

Для арктических аэродромов требуется установка доплеровских МРЛ и малогабаритных аэрологических и радиолокационных комплексов. Среди опасностей для морского флота следует перечислить:

- интенсивное обледенение морских судов;
- дрейф под воздействием ледяных полей;
- смыкание льдов большой толщины;
- отсутствие открытой воды на значительных акваториях в течение длительного времени, затрудняющее всплытие подводных лодок.

Обледенение более опасно для малых судов, чем для больших. Мерой предупреждения обледенения является покрытие судна каким-либо видом антифриза, который наносят на надводную поверхность при помощи кистей или распылителем.

Независимо от того, будет покрыто судно антифризом или нет, перед выходом в море, когда ожидается обледенение, необходимо:

- 1) обеспечить быстрое удаление воды с палубы;
- 2) проверить крепление брезентов на люках грузовых трюмов и бункерных люках, а также крепление чехлов на шлюпках и палубных вспомогательных механизмах;
- 3) для облегчения удаления льда на люках сверх брезентов следует положить доски и закрыть все палубные вспомогательные механизмы чехлами;
- 4) приготовить инструмент для околки и уборки льда (ломы, пешни, топоры, лопаты и метелки);

- 5) прочистить шпигаты и поднять или убрать крышки штормовых полупортиков;
- 6) весь наружный трубопровод должен быть осушен;
- 7) подготовить шланги для смывания льда горячей водой; для этой цели можно использовать и забортную воду, если температура её выше нуля;
- 8) протянуть леера, за которые будут держаться люди во время околки льда;
- 9) систематически убирать выпавший снег, не давая ему слёживаться в плотную массу;
- 10) наиболее действенной мерой предупреждения обледенения являются уменьшение скорости движения судна и приведение его в бейдевинд по отношению к волнению. При невозможности лечь в бейдевинд ложатся по волне, имея такой ход, чтобы обеспечить судну управляемость и отсутствие наката на палубу с кормы.

Околку льда надо начинать сразу же, как только замечено нарастание слоя льда, а не тогда, когда толщина льда достигнет уже достаточной величины.

Своевременное применение горячей воды для смывания только что образовавшегося льда может быть очень эффективным. При работе ломиками, пешнями, топорами необходимо наблюдать за тем, чтобы не повредить электропроводку и трубопроводы. В 1955 году в Англии и Норвегии производились опыты по борьбе с обледенением на небольших рыболовных судах методом обогрева поверхностей, подвергающихся обледенению, и методом покрытия этих поверхностей слоем резинообразного материала, на котором лед не образуется. Эти опыты продолжаются на научно-исследовательском судне в Норвегии. Целесообразно организовать подобные исследования в РФ.

К сожалению, климат Арктики подвержен резким изменениям. Соответственно появляются новые опасные явления погоды (ОЯП) [4].

Климат меняется, и одной из важнейших опасностей является угроза подъёма уровня Мирового океана [7].

В конечном счёте средняя температура воздуха медленно повышается, а объёмы ледников Гренландии и Антарктиды уменьшаются. Уровень Мирового океана растёт по 3 мм в год. К сожалению, эта скорость увеличивается. Такое развитие природных процессов может привести к уменьшению площади островов в Северном Ледовитом океане, а некоторые из них и вовсе могут исчезнуть.

Появились и новые опасные гидрометеорологические явления [6].

Шокирующее цунами изо льда обрушилось в центральной части Канады и на севере США в январе 2014 года, вынудив жителей в панике покинуть свои дома (рис. 2).



*Рис. 2.* Цунами изо льда  
*Fig. 2.* Tsunami of ice

Ледяные волны вышли на берег, словно замедленное замёрзшее цунами, пройдя по лужайкам и достигнув прибрежных домов.

Ледяное цунами было вызвано сильным ветром, который достигал скорости 60 км/ч, и поднялся с южного побережья озера Милле Лакс — второго самого большого озера штата Миннесота, США.

Похожее событие произошло через несколько дней в канадской провинции Манитоба, где ветер поднял груды льда в озере Дофин, разрушив 6 домов и повредив около 14. Чудом никто из жителей не пострадал. Люди рассказывали о том, что услышали звук, похожий на звук проходящего поезда, и мгновенно лёд заполнил дома.

Слой льда покрыл 16 км береговой линии и достиг 9 метровой высоты, повредив отдельные дома полностью, а в некоторых – двери и окна [14].

Ещё одна опасность связана с парниковым газом метаном ( $\text{CH}_4$ ). В Северном Ледовитом океане слой гидратов метана начинается на глубине 20–50 метров ниже морского дна.

Этот феномен был обнаружен в 2010 году сотрудниками Университета Аляски Натальей Шаховой и Игорем Семилетовым во время арктической экспедиции. После обработки результатов исследования учёные выдвинули версию о том, что из-за повышения температуры в Арктике и прогрева зоны вечной мерзлоты на дне (которая прежде сдерживала метан), этот газ начал вырываться сквозь дно океана в его воды, а затем в атмосферу [2].

Специалисты из Кембриджа и университета Эразма Роттердамского построили компьютерную модель RAGE09, которая оценила данные запасы в 50 млрд т метана под дном океана. Далее исследователи, предположив, что температура в Арктике будет расти с той же скоростью, что и в последнее десятилетие, пришли к выводу, что весь этот запас газа окажется в атмосфере Земли в период с 2015 по 2025 год [13]. Это может произойти в связи с таянием слоя вечной мерзлоты.

В ноябре 2009 года РИА Новости сообщило о новой угрозе территории России, связанной с природными процессами в Арктической зоне.

Скорость эрозии берегов на арктическом побережье России значительно выросла из-за таяния вечной мерзлоты, и сейчас ежегодно исчезает около 30 км<sup>2</sup> российской территории.

Процесс таяния мерзлоты из-за потепления климата может иметь не только экономические последствия, но и геополитические – речь, в частности, идёт о потере территории России [15].

Современный этап глобального потепления климата начался в конце 1970-х годов. На это указывают данные наблюдений за приповерхностной температурой воздуха и температурой воды на поверхности океана, собранные в нескольких климатических центрах (CRU, Hadley Centre, NASA GISS и др.).

Для личного состава требуется специальная утеплённая одежда и обмундирование, в том числе с подогревом.

Анализ данных показывает, что минимальные температуры воздуха близки к минус 60 °С и даже могут быть ниже неё и очень велики скорости ветра. Сочетание столь низких температур с большими скоростями ветра крайне отрицательно сказывается на самочувствии людей и их работоспособности и затрудняет работу авиационной и обслуживающей техники. Поэтому необходимо применять специальные сорта смазочных материалов и топлива. Даже температуры ниже -30 °С требуют уменьшения продолжительности нахождения личного состава на открытом воздухе до 2 часов, а при несении часовыми караульной службы – до 1 часа [5]. Сильные порывы ветра в сочетании с большими снеговыми нагрузками могут привести к разрушению различных сооружений, в том числе высотных (радио- и телемачты) [11].

Обобщение данных наблюдений за приповерхностной температурой воздуха показывает наличие 2 периодов повышения полушарной и глобальной приповерхностной температуры воздуха: с 1910 по 1940-е годы и с 1970-х годов. В промежутке между этими периодами температура в целом понижалась [12]. Сравнение изменений в разных широтных зонах Северного полушария показывает усиление потеплений в высоких широтах.

Глобальный анализ температуры воды на поверхности океана с 1860 по 2000 год также показывает 2 периода её роста, разделённые понижением.

Кроме того, выделяется ускоренное повышение глобальной приповерхностной температуры воздуха с 1992 по 2005 год и последующее её понижение, приостановленное повышением приповерхностной температуры воздуха в 2010 году.

Потепление в морской Арктике развивалось неравномерно и, в основном, с середины 1990-х годов. Предшествовавшие относительно тёплые летние сезоны отмечались в 1960-е годы.

Сокращение площади морского льда является наиболее обсуждаемым проявлением современного потепления в Арктике. Согласно [3], абсолютный минимум площади, занятой морским льдом, пришёлся на сентябрь 2012 года. Подобного сокращения площади льдов не наблюдалось никогда ранее. Минимальное значение составило 3,37 млн км<sup>2</sup> 22–25 сентября 2012 года.

Толщина льда является наиболее трудным для массовых измерений параметром морского ледяного покрова. Методы измерения пока развиваются и совершенствуются. Измерения ведутся с летательных аппаратов, подводных судов и заякоренных подлёдных установок, но полной картины пока нет.

По данным подводных лодок в Арктическом бассейне найдено уменьшение средней по бассейну толщины льда на 42 % к середине 1990-х годов относительно среднего значения за 1958–1977 годы.

После 1987 года отмечено сокращение доли многолетних льдов в 2–3 раза и уменьшение всей их толщины в Арктическом бассейне к 2006 году на 23 %. Спутниковые оценки показали, что осенью объём льда уменьшился на 4292 км<sup>3</sup>, а зимой – на 1479 км<sup>3</sup> [3].

Причина резкого сокращения количества арктических льдов в конце летнего периода связана с потеплением климата. С развитием потепления произошла перестройка циркуляционной системы с формированием дипольной структуры.

При сравнении потепления в Арктике с глобальным потеплением или потеплением в Северном полушарии отмечают его максимальное развитие в Арктике. Этот феномен назван Арктическим усилением [3].

В целом, при всей резкой изменчивости климата однозначного ответа нет: непонятно, в каком направлении это изменение климата произойдет.

Человечество должно быть готово к возможным двум противоположным направлениям изменения климата.

### *Список литературы*

1. Акселевич В. И. Порядок разработки прогнозов погоды и моделирования мезонеоднородностей с использованием современных информационных технологий // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 40. С. 104–112.
2. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Российской Федерации / под ред. С. К. Шойгу. М.: Феория, 2011. 720 с.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории РФ. М., 2014. С. 206–277.

4. Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб.: Наука, 2004. 294 с.
5. Исаев А. А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2001. С. 16–262.
6. Кобышева Н. В., Акентьева Е. М., Галюк Л. П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. СПб.: Кириллица, 2015. 216 с.
7. Мазуров Г. И., Акселевич В. И., Дроздов С. А. Если растают льды Северного Ледовитого океана // Метеоспектр. 2012. № 3. С. 108–112.
8. Мазуров Г. И., Нестерук В. Н. Метеорологические условия и полёты вертолётов. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 254 с.
9. Морозов В. Н. Математическое моделирование атмосферно-электрических процессов с учётом влияния аэрозольных частиц и радиоактивных веществ. СПб.: РГГМУ, 2011. 254 с.
10. Социально-экономические и экологические основы безопасности Северных регионов России / под общ. ред. М. Б. Глотова, Ю. Л. Матвеева. СПб.: Лема, 2012. С. 3–193.
11. Хандожко Л. А. Экономическая метеорология. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 491 с.
12. Энциклопедия климатических ресурсов России / под. ред. Н. В. Кобышевой, К. Ш. Хайруллина. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 319 с.
13. Наша планета [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.planeta.moy.su/blog/arkticheskaja\\_quot\\_metanovaja\\_bomba\\_quot\\_razrushit\\_mir/2013-08-15-59566](http://www.planeta.moy.su/blog/arkticheskaja_quot_metanovaja_bomba_quot_razrushit_mir/2013-08-15-59566) (дата доступа: 25.03.17).
14. Новости [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.infoniac.ru/news/V-Kanade-i-SShA-proshlo-ledyanoe-cunami.html> (дата доступа: 19.04.17).
15. Информационное агентство [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.trend.az/world/russia/1584969.html> (дата доступа: 20.04.17).

*Статья поступила в редакцию 15.05.2017; принята к публикации 25.05.2017*

#### **Библиографическое описание статьи**

*Акселевич В. И., Мазуров Г. И., Хайруллин К. Ш.* Гидрометеорологические опасности Арктики и методика их мониторинга // Учёные записки Забайкальского государственного университета. Сер. Физика, математика, техника, технология. 2017. Т. 12, № 4. С. 29–37. DOI: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-29-37.

**Vitaliy I. Akselevich,**

*Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Leading Researcher,  
Voeikov Main Geophysical Observatory  
(7 Karbysheva st., Saint Petersburg, 194021, Russia),  
e-mail: vaksster@gmail.com*

**Gennadiy I. Mazurov,**

*Doctor of Geography, Professor, Leading Researcher,  
Voeikov Main Geophysical Observatory  
(7 Karbysheva st., Saint Petersburg, 194021, Russia),  
e-mail: nanmaz@rambler.ru*

**Kamil Sh. Khairullin,**

*Candidate of Geography, Leading Researcher,  
Voeikov Award Laureate in Climatology,  
Voeikov Main Geophysical Observatory  
(7 Karbysheva st., Saint Petersburg, 194021, Russia),  
e-mail: khairullink@mail.ru*

## Hydrometeorological Hazards of the Arctic and Methodology for their Monitoring

The article is devoted to the description of natural hazards and peculiarities of work in the Arctic zone. The method of their monitoring is considered. New dangerous phenomena are described, such as the ice tsunamis, the rise of methane during the thawing of permafrost, the rise in the level of the world's oceans, the increase in the rate of erosion of the shores of the Arctic Ocean. The question of global warming and cooling is being discussed.

**Ключевые слова:** monitoring, Arctic zone, temperature change, ice tsunamis, methane, reduction of ice area, rising sea level

### References

1. Akselevich V. I. Poryadok razrabotki prognozov pogody i modelirovaniya mezone-odnorodnosti s ispol'zovaniem sovremennykh informatsionnykh tekhnologii // Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2015. № 40. S. 104–112.
2. Atlas prirodnykh i tekhnogennykh opasnostei i riskov chrezvychainykh situatsii Rossiiskoi Federatsii / pod red. S. K. Shoigu. M.: Feoriya, 2011. 720 s.
3. Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmenenii klimata i ikh posledstviyakh na territorii RF. M., 2014. S. 206–277.
4. Dmitriev V. V., Frumin G. T. Ekologicheskoe normirovanie i ustoichivost' prirodnykh sistem. SPb.: Nauka, 2004. 294 s.
5. Isaev A. A. Ekologicheskaya klimatologiya. M.: Nauchnyi mir, 2001. S. 16–262.
6. Kobysheva N. V., Akent'eva E. M., Galyuk L. P. Klimaticheskie riski i adaptatsiya k izmeneniyam i izmenchivosti klimata v tekhnicheskoi sfere. SPb.: Kirillitsa, 2015. 216 s.
7. Mazurov G. I., Akselevich V. I., Drozdov S. A. Esli rastayut l'dy Severnogo Ledovitogo okeana // Meteospektr. 2012. № 3. S. 108–112.
8. Mazurov G. I., Nesteruk V. N. Meteorologicheskie usloviya i polety vertoletov. SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. 254 s.
9. Morozov V. N. Matematicheskoe modelirovanie atmosferno-elektricheskikh protsessov s uchetom vliyaniya aerazol'nykh chastits i radioaktivnykh veshchestv. SPb.: RGGMU, 2011. 254 s.
10. Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie osnovy bezopasnosti Severnykh regionov Rossii / pod obshch. red. M. B. Glotova, Yu. L. Matveeva. SPb.: Lema, 2012. S. 3–193.



11. Khandozhko L. A. Ekonomicheskaya meteorologiya. SPb.: Gidrometeoizdat, 2005. 491 s.
12. Entsiklopediya klimaticheskikh resursov Rossii / pod. red. N. V. Kobyshevoi, K. Sh. Khairullina. SPb.: Gidrometeoizdat, 2005. 319 s.
13. Nasha planeta [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: [http://www.planeta.moy.su/blog/arkticheskaja\\_quot\\_metanovaja\\_bomba\\_quot\\_razrushit\\_mir/2013-08-15-59566](http://www.planeta.moy.su/blog/arkticheskaja_quot_metanovaja_bomba_quot_razrushit_mir/2013-08-15-59566) (data dostupa: 25.03.17).
14. Novosti [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.infoniac.ru/news/V-Kanade-i-SShA-proshlo-ledyanoe-cunami.html> (data dostupa: 19.04.17).
15. Informatsionnoe agentstvo [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.trend.az/world/russia/1584969.html> (data dostupa: 20.04.17).

*Received: May 05, 2017; accepted for publication May 25, 2017*

#### **Reference to article**

*Akselevich V. I., Mazurov G. I., Khairullin K. Sh.* Hydrometeorological Hazards of the Arctic and Methodology for their Monitoring // Scholarly Notes of Transbaikal State University. Series Physics, Mathematics, Engineering, Technology. 2017. Vol. 12, No 4. PP. 29–37. DOI: 10.21209/2308-8761-2017-12-4-29-37.