

В.М. Абрамов, Л.Н. Карлин, Г.Г. Гогоберидзе, Н.Н. Попов, С.В. Бербуши, Р.И. Бачиев

МЕТОД ОЦЕНКИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА КАК ЭНВИРОНМЕНТАЛЬНОГО ФАКТОРА РИСКА ДЛЯ МОРСКИХ ЛЬДОВ В АРКТИКЕ

V.M. Abramov, L.N. Karlin, G.G. Gogoberidze, N.N. Popov, S.V. Berboushi, R.I. Bachiev

THE METHOD OF ESTIMATING FOR MULTI-YEAR VARIABILITY OF BLACK CARBON AS AN ENVIRONMENTAL RISK FACTOR FOR SEA ICE IN THE ARCTIC

Предложен метод оценки изменчивости черного углерода по базам данных измерений взвешенных веществ. В качестве примера применения метода выполнена оценка многолетней изменчивости черного углерода в Санкт-Петербурге. В ходе исследований в качестве инструмента научной коммуникации использована платформа https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/?ev=hdr_xprf. Результаты могут быть использованы для разработки систем поддержки принятия решений, в том числе при рациональном природопользовании в российской Арктике, включая морские и прибрежные районы.

Ключевые слова: черный углерод, изменение климата, Арктика, морской лед, системы поддержки принятия решений.

We proposed the method of estimating for the multi-year variability of black carbon using the databases of particulate matter measurements within the air quality nets. As example we estimate the long-term variability of black carbon in St. Petersburg. We used https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/?ev=hdr_xprf as tool for scientific communication during research. The results can be used to develop systems for decision-making support within environmental management in the Russian Arctic including marine and coastal areas.

Key words: black carbon, climate change, the Arctic, sea ice, system decision support.

Введение

Важным фактором экологических рисков [Карлин, 2013а], влияющим на изменение климата в Арктике, является черный углерод (black carbon) [Bond, 2013; Abramov, 2014b; Карлин, 2014; Карлин, 2012а,б,в], способный вызывать значительное уменьшение альбедо морских льдов. Уменьшение альбедо морских льдов способно вызвать их ускоренное таяние, появление значительных пространств чистой воды в

Арктике, что создаст условия для ускоренного потепления климата регионе за счет запуска механизма положительной связи [Bond, 2013]. На рис. 1–3 приведены иллюстрации различных фаз поступления черного углерода в Арктику.



Рис. 1. Поступление черного углерода в атмосферу зимой [Abramov, 2015a]

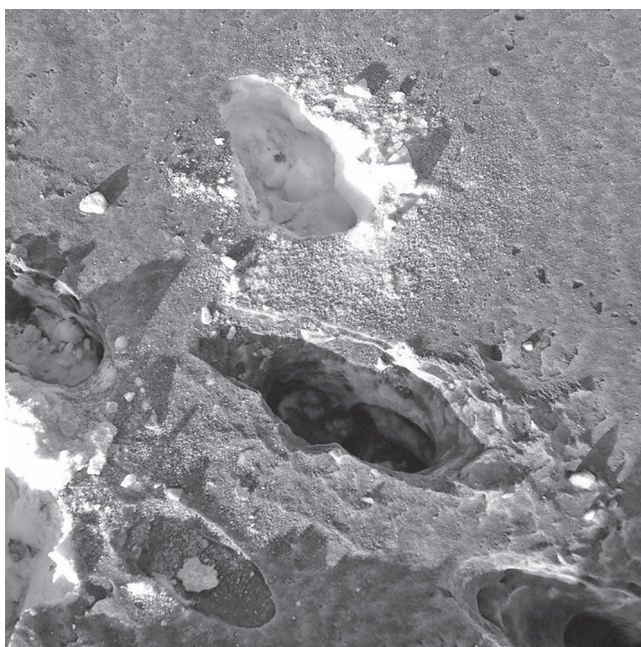


Рис. 2. Черный снег [Abramov, 2015b]

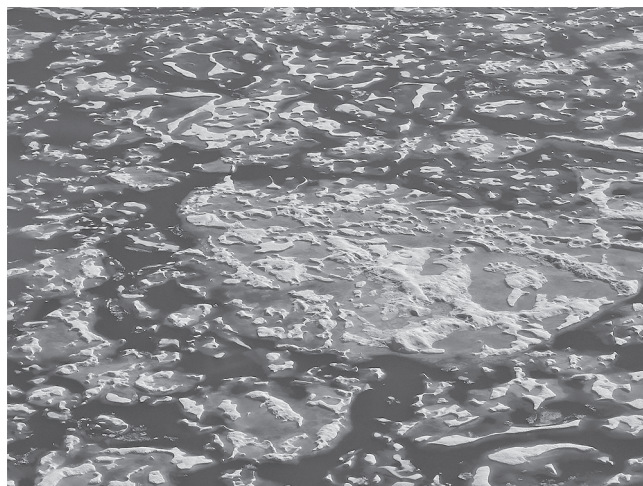


Рис. 3. Морской лед в период таяния [Abramov, 2015c]

Риски изменения климата в Арктике необходимо учитывать при реализации программ социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) [Карлин, 2013б], широко используя системы поддержки принятия решений [Абрамов, 2013а,б,в,г]. В [Abramov, 2014b; Карлин, 2014] приведены основные положения стратегии развития национальной системы для контроля черного углерода в российской Арктике. В [Карлин, 2012а,б,в] указано, что основными источниками формирования черного углерода являются города и индустриальные зоны, которые для Российской Федерации обычно находятся вне Арктики, в пределах густонаселенных промышленных районов страны. От этих источников черный углерод поступает в Арктику за счет циркуляции атмосферы, где и выпадает на снег и лед, изменяя их альбедо. Чем крупнее город и чем ближе он расположен к арктическим широтам, тем более мощным потенциальным источником поступления черного углерода в Арктику он является.

В настоящее время инструментальных измерений черного углерода в России не производится. Более того, в мире не существует прямых инструментальных измерений черного углерода в атмосфере весовым методом из-за того, что фактические концентрации этого загрязнителя чрезвычайно низки, и он присутствует в воздухе в составе целого семейства аэрозолей различного происхождения [Bond, 2013]. Существующие косвенные инструментальные методы оценки содержания черного углерода в атмосфере различаются используемыми физико-химическими принципами его выделения из состава других аэрозолей и приводят к заметно различающимся между собой результатам [Bond, 2013]. В рамках данной статьи описан метод косвенной оценки определения черного углерода по данным измерений взвешенных веществ, накопленных в базах данных (БД) в составе существующих сетей контроля качества воздуха. Этот метод ориентирован на оценку многолетней изменчивости содержания черного углерода в атмосфере крупных промышленных городов, являющихся наиболее значимыми источниками черного углерода в России.

Методология и исходные данные

В ходе исследований использованы следующие методические основы:

- теория управление рисками [Карлин, 2013];
- теория динамических измерений случайных полей [Абрамов, 1989];
- экспериментальные методы определения черного углерода [Bond, 2013]

Описание метода

Введем в рассмотрение случайное поле массовой концентрации взвешенных веществ в воздухе (particulate matter) с аэродинамическими диаметрами частиц d [Watson, 2001] не более наперед заданного граничного значения x , указываемого в микрометрах: $PM_x(t, \mathbf{X})$, где t — время, а \mathbf{X} — трехмерный вектор пространственных координат, конкретный вид которого зависит от выбранной системы пространственных координат (декартова, сферическая, геоид и т.п.). В дальнейшем в целях упрощения записей будем при обсуждении свойств поля $PM_x(t, \mathbf{X})$ указывать только его символьный признак PM_x , опуская пространственно-временную символьную часть (t, \mathbf{X}) , где это возможно без потери смысловой информации. Тогда, PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , $PM_{0.1}$ будет в рамках данной работы обозначать случайные поля массовых концентраций взвешенных частиц с аэродинамическими диаметрами менее 10, 2,5, 1 и 0,1 мкм соответственно.

Введем в рассмотрение случайное поле тотальной массовой концентрации взвешенных веществ в воздухе (particulate matter) $PM_t(t, \mathbf{X})$, где t — время, а \mathbf{X} — трехмерный вектор пространственных координат, конкретный вид которого зависит от выбранной системы пространственных координат (декартова, сферическая и т.п.). В дальнейшем в целях упрощения записей будем при обсуждении свойств поля $PM_t(t, \mathbf{X})$ указывать только его символьный признак PM_t , опуская пространственно-временную символьную часть (t, \mathbf{X}) , где это возможно без потери смысловой информации. Отметим, что в современной англоязычной литературе введенному случайному объекту PM_t соответствует термин «Total Suspend Particles» (*TSP*), что можно перевести как «все взвешенные частицы». Таким образом, по определению $PM_t = TSP$. В отечественной литературе термину «Total Suspend Particles» соответствуют нечеткие термины «пыль» или «взвешенные вещества». Смысл введения обозначения PM_t в рамках данной работы вместо эквивалентного обозначения *TSP* становится ясным при необходимости совместного обсуждения введенных выше случайных полей взвешенных частиц в контексте их свойств по спектру размеров таких частиц. Очевидно, что PM_t обозначает случайные поля взвешенных частиц с аэродинамическими диаметрами всех размеров или, что эквивалентно по смыслу, без разделения взвешенных частиц по размерам. Таким образом, отказ от обозначения *TSP* в пользу PM_t приводит к символьной однородности рассматриваемых случайных полей массовой концентрации взвешенных веществ как с разделением по спектру их аэродинамических размеров, так и при отсутствии такого разделения. В дальнейшем по ходу изложения будет использоваться общее обозначение PM_x с указанием в случае необходимости конкретных значений индекса x , включая символьное значение t (total).

Известно, что в природных условиях поле взвешенных частиц представляет собой множество (семейство, группа) частиц различного происхождения антропогенного и

натурального генезиса (деструкция твердых материалов, неполное сгорание органического или ископаемого топлива и т.п.). При этом для каждого источника генезиса должен существовать набор физико-химических свойств, позволяющих отделить подмножество аэрозолей данного источника генезиса от всех остальных источников. Введем случайное поле массовой концентрации взвешенных частиц PM_x^{BC} , которые могут быть по своим свойствам отнесены к черному углероду в широком смысле [Abramov, 2014b; Bond, 2013] и отделены от случайных полей массовой концентрации взвешенных веществ, иной природы. Тогда введем определение истинной массовой доли черного углерода в общем поле PM_x :

$$K_x^{BC} = \frac{PM_x^{BC}}{PM_x}, \quad (1)$$

где K_x^{BC} — истинная массовая доля поля черного углерода PM_x^{BC} в поле PM_x . Очевидно, что по смыслу определения (1) истинная доля черного углерода является случайным полем $K_x^{BC}(t, X)$.

В соответствии с (1) может быть поставлена, а затем и решена инструментальным путем задача определения оценки $K_{x,est}^{BC}$ по данным измерений путем использования в (1) не истинных, а оценочных значений, полученных по данным измерений. Отметим, что при организации измерений и их интерпретации целесообразно использовать основы теории динамических измерений случайных полей [Абрамов, 1989]. В частности, необходимо учитывать, что для подобных измерений так называемые динамические погрешности носят случайный характер и могут многократно превышать систематические погрешности, определяемые в ходе тестовых экспериментов. Сами динамические погрешности обусловлены динамическими взаимодействиями средств измерений, как со случайными измеряемыми полями, так и случайными влияющими величинами различной природы [Абрамов, 1989].

Разработанный метод косвенной оценки PM_x^{BC} основан на следующих выкладках. Пусть для некоторого региона отсутствуют данные измерений $PM_{x,est}^{BC}$, но имеются данные измерений $PM_{x,est}$. Пусть также имеются данные об оценках $K_{x,est}^{BC}$ для других регионов, часть из которых имеет общий характер режимов образования случайных полей PM_x и PM_x^{BC} с исследуемым регионом. Такие регионы можно назвать регионами-аналогами или просто аналогами. Тогда можно использовать заимствованные у регионов-аналогов значения $K_{x,est}^{BC}$ для косвенной оценки $PM_{x,est}^{BC}$ исследуемого региона, переписав (1) в виде:

$$PM_{x,est}^{BC} = K_{x,est}^{BC} \cdot PM_{x,est}, \quad (2)$$

где $PM_{x,est}$ и $PM_{x,est}^{BC}$ относятся к исследуемому региону, а $K_{x,est}^{BC}$ заимствовано у региона-аналога.

Заметим, что оценку (2) можно выполнить для всего доступного множества значений нижнего индекса $x = \{t, 10, 2.5, 1.0, 0.1\}$, исходя из доступных величин в (2) и учитывая вопросы потенциальных погрешностей [Абрамов, 1989].

Применение метода включает в себя следующие этапы:

1. Нахождение для исследуемого региона баз данных (БД), содержащих пригодные для целей исследования результаты измерений $PM_{x,est}$.
2. Нахождение регионов-аналогов с определенными ранее оценками $K_{x,est}^{BC}$ и выполнение процедур заимствования.
3. Вычисление для исследуемого региона оценок $PM_{x,est}^{BC}$ по выражению (2).

Оценка многолетней изменчивости черного углерода в Санкт-Петербурге

В качестве примера использования предлагаемого метода выполнена оценка многолетней изменчивости черного углерода в Санкт-Петербурге на основе БД измерений взвешенных веществ, накопленных за период 1973–2013 гг. [Abramov, 2014a]. Отметим, что Санкт-Петербург является самым крупным в мире северным промышленным городом с населением около 5 млн человек, расположенным в непосредственной близости к Арктике. Его потенциальное влияние за счет эмиссии черного углерода на антропогенные риски [Карлин, 2013a] для морских льдов Арктики, включая айсберговые риски [Абрамов, 2008; Карлин, 2009a,б], весьма значительно и нуждается в специальных исследованиях.

В соответствии с содержанием первого этапа предложенного метода были найдены БД, содержащие измерения взвешенных веществ в атмосфере. Поскольку основной интерес в рамках данной работы представляет многолетняя изменчивость черного углерода, то в качестве исходных данных основной интерес представляют среднегодовые значения массовой концентрации взвешенных веществ по городу в целом. При поиске таких данных в исследованиях использовался ресурс <http://gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/>, являющийся официальным сайтом правительства Санкт-Петербурга в области экологии, а также следующие источники:

- годовые обзоры (далее ГО) «Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности» за 2003–2011 гг.;
- аналитический обзор (далее АО) «Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге», содержащий обобщенные данные по аэрозолям в Санкт-Петербурге за 1973–2003 гг.

Отмечено, что в Санкт-Петербурге одновременно существуют две сети наблюдений за качеством воздуха, в составе которых производятся измерения аэрозолей на различных нормативно-правовых основаниях и в различных режимах функционирования [Abramov, 2014a].

Первая сеть является федеральной сетью (ФС). Ее деятельность регулируется федеральным законом об охране атмосферы, и она функционирует по общим для всей Российской Федерации правилам. Здесь измеряется только общее количество взвешенных веществ (пыль) или в рамках введенной в настоящей статье терминологии PM_{10} . Измерения проводятся 3 раза в день на 10 станциях, равномерно распределенных по территории города. Измерения выполняются гравиметрическим методом, являющимся эталонным в данной области измерений. Анализ годовых результатов наблюдений публикуется в ГО в виде отдельного раздела. Из этих источников имеется

возможность извлечения оценок среднегодовой массовой концентрации $PM_{t,est}$ для города в целом, начиная с 2003 г.

Вторая сеть наблюдений за взвешенными веществами является городской сетью (ГС). Ее развитие началось в 1997 году в кооперации со шведским партнером по решению правительства Санкт-Петербурга. На первом этапе, начавшемся 7 декабря 1977 г., ГС состояла из 6 станций в различных районах Санкт-Петербурга с автоматическими измерениями $PM_{t,est}$. Одновременный мониторинг $PM_{t,est}$ и $PM_{10,est}$ начался с 2003 г. В 2011 г. к ним добавились наблюдения $PM_{2.5,est}$. С 2009 г. ГС состоит из 21 станции, расположенных во всех районах города, а также одной региональной станции в Шепелево (60 км от города), характеризующей фоновый уровень загрязнения атмосферы в регионе (background station). Измерения $PM_{10,est}$ и $PM_{2.5,est}$ проводятся на одиннадцати и пяти станциях соответственно. Точные адреса станций с указанием их номеров приведены в ГО за 2009 г. Отметим, что в России не существует нормативов, регламентирующих измерения $PM_{10,est}$ и $PM_{2.5,est}$, поэтому все измерения этих величин в рамках ГС выполняются в соответствии рекомендациями и требованиями, принятыми в Евросоюзе (ЕС), которые, в свою очередь, согласованы с аналогичными рекомендациями и требованиями Агентства по охране окружающей среды США (EPA US). Указанное обстоятельство позволяет использовать в описываемых исследованиях данные $PM_{10,est}$ и $PM_{2.5,est}$, полученные в рамках функционирования ГС, в частности при сравнении с аналогичными результатами, полученными в европейских и американских городах. Вопросы методологии и контроля качества измерений $PM_{10,est}$ и $PM_{2.5,est}$ в рамках функционирования ГС изложены в ГО 2011 г. Отметим, что анализ результатов измерений взвешенных веществ в рамках ГС публикуется в отдельном разделе ГО за каждый год сразу после раздела с результатами измерений взвешенных веществ в рамках ФС. Таким образом, результаты наблюдений и на ФС, и на ГС, публикуются в соседних разделах ГО и доступны для совместного анализа.

Перейдем к описанию $PM_{t,est}$ в Санкт-Петербурге за последние почти 40 лет. Период 1973–1985 гг. характеризуется максимальным развитием индустриальной активности в городе и наиболее высокими значениями $PM_{t,est}$ в интервале от 200 до 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. В период 1985–1998 гг. ежегодные значения $PM_{t,est}$ резко уменьшаются до 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ из-за острого спада индустриальной деятельности. С 1999 по 2011 г. среднегодовые значения $PM_{t,est}$ варьируют от 180 до 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ с тенденцией к убыванию год от года. В табл. 1 приведены среднегодовые значения $PM_{t,est}$ за период 2003–2011 гг. по данным измерений в рамках ФС.

Перейдем к рассмотрению среднегодовых значений $PM_{10,est}$ и $PM_{2.5,est}$, полученных в рамках ГС. В табл. 1 приведены значения этих величин за период 2003–2011 гг. Там же приведены различные комбинации отношений рассматриваемых величин друг к другу с целью их использования при поиске регионов-аналогов на следующем этапе исследований.

Перейдем к рассмотрению результатов поиска регионов-аналогов с целью заимствования $K_{x,est}^{BC}$. В ходе поиска были рассмотрены научные литературные источники, содержащие результаты целенаправленных экспериментов по определению $K_{x,est}^{BC}$ для различных регионов мира, в том числе европейских. Всего было рассмотрено несколько десятков таких источников. Практически все они были получены с

помощью коммуникационного инструмента, представляемого платформой https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2. Сравнение результатов из табл. 1 с аналогичными результатами в мире и показало достаточно хорошее совпадение. Отметим, что единственное значение $PM_{2.5,est} / PM_{10,est}$ из табл. 1 лежит в области максимальных значений для европейских городов. По результатам поиска в качестве аналога был выбран город Салоники (Греция), где изменчивость взвешенных веществ и черного углерода в их составе формируется в условиях напряженного автомобильного движения с многочисленными пробками, а также имеется крупный торговый порт, оказывающий свое влияние на исследуемые взвешенные вещества [Samara, 2014]. По выбранному региону-аналогу определены следующие заимствованные величины $K_{10,est}^{BC} = 0,14$ и $K_{2.5,est}^{BC} = 0,16$ [Samara, 2014].

Таблица 1

Среднегодовые значения $PM_{t,est}$, $PM_{10,est}$ и $PM_{2.5,est}$ в Санкт-Петербурге за период 2003–2011 гг.

Год	$PM_{t,est}$, мкг/м ³	$PM_{10,est}$, мкг/м ³	$PM_{2.5,est}$, мкг/м ³	$PM_{10,est} / PM_{t,est}$	$PM_{2.5,est} / PM_{t,est}$	$PM_{2.5,est} / PM_{10,est}$
2003	200	57	-	0,29	-	-
2004	180	67	-	0,37	-	-
2005	135	29	-	0,21	-	-
2006	150	33	-	0,2	-	-
2007	150	42	-	0,28	-	-
2008	150	28	-	0,19	-	-
2009	120	19	-	0,16	-	-
2010	105	25	-	0,24	-	-
2011	105	20	17	0,18	0,16	0,85

На последнем этапе применения метода к определению изменчивости черного углерода в Санкт-Петербурге вычислены и сведены в БД значения $PM_{10,est}^{BC}$ и $PM_{2.5,est}^{BC}$. Оценки $PM_{t,est}^{BC}$ в ходе данных исследований не вычислялись из-за их потенциально меньшей точности, чем $PM_{10,est}^{BC}$. Результаты вычислений $PM_{10,est}^{BC}$ представлены в табл. 2. В ходе вычислений проверялось выполнение условия [Watson, 2001]:

$$PM_{2.5,est}^{BC} \leq PM_{10,est}^{BC} \quad (3)$$

Полученные оценки изменчивости черного углерода в Санкт-Петербурге целесообразно использовать для планирования экспериментов по прямой оценке $K_{10,est}^{BC}$ и $K_{2.5,est}^{BC}$ путем одновременного измерения величин, входящих в выражение (1). Проведение подобных экспериментов даст возможность уточнения оценок изменчивости черного углерода в Санкт-Петербурге, в том числе и в ретроспективном направлении.

Среднегодовые значения и в Санкт-Петербурге за период 2003–2011 гг.

Год	$PM_{10,est}^{BC}$, мкг/м ³	$PM_{2,5,est}^{BC}$, мкг/м ³
2003	7,98	-
2004	9,38	-
2005	4,06	-
2006	4,62	-
2007	5,88	-
2008	3,92	-
2009	2,66	-
2010	3,50	-
2011	2,80	2,72

Заключение

Разработанный метод оценки изменчивости черного углерода может быть применен для всей территории Российской Федерации, опираясь на федеральные БД с результатами измерений общего количества взвешенных веществ (пыли). Подобные измерения проводятся федеральными органами контроля качества атмосферного воздуха и хранятся в виде соответствующих БД. Для целого ряда крупных городов, где уже проводятся измерения PM_{10} и $PM_{2,5}$ в рамках локальных сетей контроля качества воздуха могут быть получены уточняющие оценки изменчивости черного углерода. Результаты применения метода целесообразно рассматривать как первое приближение и использовать для планирования экспериментов по определению $K_{x,est}^{BC}$ для наиболее загрязненных регионов, способных давать наибольший вклад в процесс поступления черного углерода в Арктику. С помощью полученных прямых оценок $K_{x,est}^{BC}$ целесообразно получить второе приближение оценки изменчивости черного углерода на территории России, которое можно будет положить в основу планирования при создании национальной системы контроля черного углерода в российской Арктике [Abramov, 2014b; Карлин, 2014]. Результаты исследования имеют большое значение для развития национального рынка экологических товаров и услуг, в том числе с использованием инструментов технологической платформы «Технологии экологического развития» (ТП ТЭР) [Абрамов, 2013ж; Abramov, 2012]. Их целесообразно использовать при разработке новых учебных программ и модулей высшего профессионального образования в области управления экологическими рисками [Абрамов, 2008; Абрамов, 2006a,б; Абрамов, 2005; Карлин, 2013a; Карлин, 2009a,б]. В ходе исследований платформа https://www.researchgate.net/profile/Valery_Abramov2/?ev=hdr_xprf использована в качестве инструмента научной коммуникации. Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России (государственное задание 2525.2014/166).

Литература

1. *Абрамов В.М.* Динамические измерения океанологических полей: Теоретические основы. — Л., 1989. — DOI: 10.13140/2.1.4261.968.
2. *Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Гогоберидзе Г.Г.* Информационно-аналитическая система поддержки принятия решений в области экологической безопасности и экологического мониторинга в рамках рационального природопользования в Арктической зоне Российской Федерации с учетом различных масштабов изменения климата. Патент №135822 U1, 2013. — DOI: 10.13140/2.1.4076.0000.
3. *Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Гогоберидзе Г.Г.* Информационно-аналитическая система поддержки принятия решений в области обеспечения устойчивого развития при морском планировании в Арктической зоне Российской Федерации с учетом разномасштабных изменений климата. Патент №135162 U1, 2013. — DOI: 10.13140/2.1.3027.4245.
4. *Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Густов Д.В.* База данных обобщенных специальных параметров, характеризующих разномасштабные климатические изменения в Арктике. Свидетельство о регистрации №2013621141 от 12.09.2013. — DOI: 10.13140/2.1.5124.5767.
5. *Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Исаев А.В.* База данных обобщенных специальных параметров, характеризующих разномасштабные климатические изменения в морской части Арктики. Свидетельство о регистрации № 2013620880 от 30.08.2013. — DOI: 10.13140/2.1.1126.8801
6. *Абрамов В., Карлин Л., Касимов Н., Моргунов Б.* Технологическая платформа «Green Technologies» в аспекте международного сотрудничества на современном этапе изменения глобализации. // Дайджест мировой политики XXI века: ежегодный обзор, 2013, т. 6, с. 135–144. — DOI: 10.13140/2.1.3551.7123.
7. *Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Овсянников А.А.* О структуре айсберговой опасности в окрестностях Штокмановского газоконденсатного месторождения. // Ученые записки РГГМУ, 2008, № 8, с. 98–109.
8. *Абрамов В.М., Подгайский Э.В., Скобликова А.Л.* Проблемы кадрового обеспечения в сфере экологического туризма в России. // Международная конференция «Погода и биосистемы», 2006. — DOI: 10.13140/2.1.2437.6005.
9. *Абрамов В.М., Карлин Л.Н., Скобликова А.Л.* Гармонизация российских и европейских магистерских программ в области экологического туризма. // Ученые записки РГГМУ, 2006, № 3, с. 172–183.
10. *Абрамов В.М., Кийко В.В.* Управление экологической безопасностью морской среды. — СПб., 2005, 72 с. — DOI: 10.13140/2.1.3207.2003.
11. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М., Гогоберидзе Г.Г., Александрова Л.В., Попов Н.Н.* К вопросу о стратегии создания национальной системы контроля черного углерода в Арктике. // Ученые записки РГГМУ, 2014, № 36, с. 67–73.
12. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М.* Управление энвиронментальными и экологическими рисками. — СПб., 2013. — DOI: 10.13140/2.1.1978.8482.
13. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М., Гогоберидзе Г.Г., Леднова Ю.А.* Анализ социально-экономической ситуации в арктических приморских субъектах Российской Федерации на основе индикаторной оценки морского потенциала. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 30, с. 181–188.
14. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М.* Геополитические аспекты проблемы короткоживущих климатических факторов в Арктике. // Международная конференция «Арктика в процессе глобализационных изменений», 2012, с. 31–34. — DOI: 10.13140/2.1.4272.6088.
15. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М.* Контроль эмиссии черного углерода в Арктической зоне Российской Федерации: геополитические аспекты. // IV Морская конференция «Стратегия российской морской и экономической активности в Арктике», 2012, с. 39–40. — DOI: 10.13140/2.1.3813.8563.
16. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М.* Города и промышленные зоны как источники поступления черного углерода в Арктику. // VI Международная конференция «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон», 2012, с. 171–172. — DOI: 10.13140/2.1.1454.5602.
17. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М., Овсянников А.А.* Временная структура айсберговой опасности в центральной части Баренцева моря. // Океанология, 2009, т. 49, № 3, с. 327–329. — DOI: 10.1134/S0001437009030047.
18. *Карлин Л.Н., Абрамов В.М., Овсянников А.А.* О структуре айсберговой опасности в центральной части Баренцева моря. // 9-я Международная конференция и выставка RAO/CIS Offshore 2009. — DOI: 10.13140/2.1.2699.7446.
19. *Abraham V.M.* Black Snow in Murmansk, 2015. — Электронный ресурс: [https://www.researchgate.net/publication/272201707_Black_Snow_in_Murmansk].

20. *Abramov V.M.* Sea ice photo during melting, 2015. — Электронный ресурс: [https://www.researchgate.net/publication/271509821_Sea_ice_photo_during_melting].
21. *Abramov V.M.* Black Smoke photo in winter landscape, 2015. — Электронный ресурс: [https://www.researchgate.net/publication/271509583_Black_Smoke_photo_in_winter_landscape].
22. *Abramov V.M., Gogoberidze G.G., Karlin L.N., Lednova J.A., Malakhova J.A., Berboushi S.V.* Variability of particulate matter in Saint-Petersburg megacity air within climatic time scale. // 14th SGEM GeoConference on Energy and Clean Technologies, www.sgem.org, SGEM2014 Conference Proceedings, 2014, vol. 2, pp. 599–606. — doi: 10.5593/SGEM2014/B42/S19.079.
23. *Abramov V.M., Gogoberidze G.G., Karlin L.N., Lednova J.A., Popov N.* Clean technologies development strategy for the national black carbon controlling system in the Russian Arctic. // 14th SGEM GeoConference on Energy and Clean Technologies, www.sgem.org, SGEM2014 Conference Proceedings, 2014, vol. 2, pp. 313–320. — doi: 10.5593/SGEM2014/B42/S19.041.
24. *Abramov V.M., Karlin L.N., Kasimov N.N., Morgunov B.A.* The urban component of the technological platform «Technologies of ecological development» // VI International conference Ecological and hydrometeorological problems of the large cities and industrial areas, ECOHYDROMET-2012, 2012. — doi: 10.13140/2.1.2503.1367.
25. *Bond T.C. et al.* Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. // *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2013, vol. 118, pp. 5380–5552. — doi: 10.1002/jgrd.50171.
26. *Samara C. et al.* Organic and elemental carbon associated to PM₁₀ and PM_{2.5} at urban sites of northern Greece. // *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, vol. 21(3). — doi: 10.1007/s11356-013-2052-8.
27. *Watson J.G., Turpin B.J., Chow J.C.* The measurement process: Precision, accuracy, and validity. // In book: *Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants*, 9th edition, chapter 10. — Cincinnati, OH, 2001, pp. 201–216.