Спутниковые наблюдения распространения речного стока в море Лаптевых

Д.И. Глуховец^{1, 2}, В.А. Артемьев¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, 117997, Россия ²Московский физико-технический институт (государственный университет) Долгопрудный, 141700, Россия E-mail: glukhovets@ocean.ru

Работа посвящена исследованию особенностей распределения биооптических характеристик поверхностного слоя моря Лаптевых, обусловленных распространением речного стока Лены. Из-за трудности получения натурных данных в данном регионе в литературе представлено довольно малое количество подобных работ. Исследование выполнено на основе результатов судовых измерений в 63-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (август-октябрь 2015 г.). Результаты непрерывных проточных измерений характеристик поверхностного слоя сопоставлены со спутниковыми изображениями сканера цвета MODIS-Aqua, совпадающими по времени с проведением морских работ. Обнаружена сильная антикорреляция данных прямых измерений солености в поверхностном слое с показателем поглощения растворенного органического вещества, рассчитанного по спутниковым данным. Такая зависимость делает возможным определение границ области, подверженной влиянию речных вод, со спутника. Стратификация поверхностного слоя приводит к ослаблению связи между судовыми и спутниковыми данными в областях высокой мутности воды вблизи дельты Лены, которым соответствуют значения показателя ослабления $c > 3 \text{ м}^{-1}$. Вертикальные профили показателя ослабления получены на станциях зондирующим прозрачномером. Мезомасштабная структура дельты Лены – множество сливающихся проток, несущих относительно более мутные воды – хорошо видна на снимке Landsat-8. Пересечение этих проток зарегистрировано проточной системой и выражено в синхронных изменениях значений температуры, солености и интенсивностей флуоресценции с характерным масштабом порядка нескольких километров. Положение фронтальных разделов по спутниковым данным хорошо соответствует результатам судовых измерений. Переход к речным водам происходит более плавно, чем это наблюдалось ранее в Карском море.

Ключевые слова: спутниковые данные, море Лаптевых, речной сток, судовые измерения, растворенное органическое вещество

Одобрена к печати: 12.12.2016 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-175-184

Введение

Подобно Оби и Енисею, впадающим в Карское море, Лена оказывает сильное влияние на поверхностный слой моря Лаптевых (Kattner et al., 1999; Зацепин и др., 2010). Вместе с уменьшением солености это влияние проявляется в увеличении содержания растворенного органического вещества (РОВ) и мутности вод. Степень изменения характеристик поверхностного слоя, а также пространственные масштабы этого процесса позволяют проводить сопоставление контактных измерений со спутниковыми данными. Из-за частой плотной облачности над акваторией моря Лаптевых получение изображений в видимом диапазоне, совпадающих по времени с судовыми работами, происходит относительно редко. Поэтому целесообразно усреднять изображения за некоторый период, подбирая оптимальное соотношение между заполненностью карты и временем усреднения.

Работа посвящена сопоставлению результатов судовых оптических, гидрофизических и биологических измерений со спутниковыми данными видимого диапазона для наблюдения распространения речного стока Лены из космоса.



Рис. 1. Схема маршрута 63-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в море Лаптевых, где выполнялись судовые измерения проточного комплекса. 6–17 сентября 2015 г.

Материалы и методы

Судовые данные получены в 63-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карском море и море Лаптевых (август–октябрь 2015 г.). В экспедиции использовался проточный измерительный комплекс, разработанный в Лаборатории оптики океана (ЛОО) ИО РАН (Гольдин и др., 2015). В его состав входят двухканальный проточный флуориметр на сверхярких светодиодах ПФД-2, двухканальный лазерный спектрометр ЛС-2 и термосоленограф. Комплекс обеспечивал непрерывные измерения интенсивностей флуоресценции хлорофилла a (Хл a), окрашенной части растворенного органического вещества (ОРОВ), солености и температуры морской воды на глубине 2,7 м по маршруту судна. Схема маршрута экспедиции в море Лаптевых, где выполнялись судовые измерения с помощью проточного комплекса, показана на *рис. 1*. Для исследования влияния речного стока на поверхностный слой моря был выполнен разрез вдоль 130°30' в.д. от устья Лены до 78°22' с.ш.

С помощью универсального малогабаритного прозрачномера ПУМ-А (Артемьев и др., 2008), работающего в проточном варианте, проводились непрерывные измерения показателя ослабления света морской водой. На станциях производились зондирования прозрачномером ПУМ и отбор проб. Абсолютные значения концентраций Хл *а* в пробах определялись в лаборатории на судне.

В работе используются карты пространственного распределения концентрации Хл a, показателя поглощения желтым веществом, показателя рассеяния назад частицами $b_{\rm bp}$ и температуры в поверхностном слое вод, построенные по данным спутникового скане-

ра цвета MODIS-Aqua. Изображения обрабатывались с помощью стандартного алгоритма OC3M, региональных алгоритмов (Вазюля и др., 2014) и программы Satellite Monitoring of Caspian Sea, разработанной в ЛОО ИО РАН (Шеберстов, 2015).

Результаты и обсуждение

Возможность исследования распространения речного стока по спутниковым данным

На спутниковых картах распределения показателя поглощения желтого вещества (*puc. 2*) видно, как содержащие большее количество ОРОВ опресненные речным стоком воды распространяются по поверхности моря; можно выделить струи проток и локальные линзы. Эти карты построены по региональному полуаналитическому алгоритму (Система..., 2013), успешно применявшемуся для исследования Белого моря, которое, как и море Лаптевых, подвержено сильному влиянию речного стока. Пока региональных алгоритмов для исследуемого моря не существует, мы использовали наиболее подходящий. Наша цель – не определение абсолютных значений показателя поглощения РОВ, а получение инструмента для изучения распространения речного стока Лены из космоса. Для такой цели используемый алгоритм подходит хорошо.



Рис. 2. Распределения показателя поглощения желтого вещества, построенные по данным MODIS-Aqua за 7 сентября (слева) и с 6 по 17 сентября (справа) 2015 г.

Часть станций у дельты Лены выполнены 7 сентября 2015 г. при идеальных погодных условиях – практически штилевая погода и совершенно безоблачное небо. Поэтому интерес представляет участок разреза на подходе к устью Лены, выполненный 6-7 сентября, для которого удалось получить качественное изображение сканера цвета MODIS-Aqua от 7 сентября 2015 г. (*рис. 2*, слева). Такого совпадения редко удается достичь из-за частой облачности над северными морями. Для сопоставления всего массива судовых данных были построены карты за весь период работ – с 6 по 17 сентября (*рис. 2*, справа). Усреднение увеличивает заполненность карты, но может «стирать» мелкие детали. На *рис. 2* показано, что структура распределения речных вод на двух изображениях в целом весьма схожа. Эта схожесть означает приемлемость параметров усреднения.

Сильная связь ($R^2 = 0,86$) обнаружилась между показателем поглощения желтого вещества и прямыми измерениями солености (*рис. 3* слева) на разрезе T2 от точки начала измерений до самой южной точки маршрута. Такая зависимость делает возможным определение границ области, подверженной влиянию речных вод, со спутника. Содержание консервативной примеси – желтого вещества – оценивается по данным MODIS.

Связь солености и содержания желтого вещества определена единым процессом их формирования – речным стоком, приносящим пресные насыщенные растворенной органикой воды, что подтверждается прямыми определениями. Интенсивность флуоресценции ОРОВ, характеризующая содержание желтого вещества, на разрезе Т2 сильно антикоррелирует с соленостью (*puc. 3* справа).



Рис. 3. Диаграмма рассеяния показателя поглощения желтого вещества, рассчитанного по спутниковым данным, и прямых определений солености (слева); диаграмма рассеяния интенсивности флуоресценции ОРОВ и солености (справа). Разрез T2. 6–7 сентября 2015 г.

Сравнение всех данных прямых определений с усредненной по времени спутниковой картой вдоль всего маршрута приводит к ослаблению по сравнению с разрезом T2 и спутниковыми данными 6–7 сентября (*puc. 3*) связи между соленостью и показателем поглощения желтого вещества ($R^2 = 0.75$). Это происходит из-за ослабления влияния вод речного стока на поверхностный слой моря по мере удаления от дельты Лены, а также изза изменения положения струй речных проток: за время усреднения спутниковых данных в несколько дней их положение успевает измениться по сравнению с моментом проведения контактных измерений.

Фронтальные разделы

В *табл. 1* представлены результаты измерений в поверхностном слое показателя ослабления, температуры, солености, концентрации хлорофилла-А и ее расчета по спутниковым данным. Расчет концентрации Хл *а* выполнен с помощью алгоритма для Карского моря (Кузнецова и др., 2013), результаты которого имеют меньшее расхождение с контактными данными, тогда как стандартный алгоритм ОСЗМ завышает значения.

Станция, №	Дата	Глубина, м	с, м ⁻¹	<i>Т, °С</i>	S, enc	Хл а, изм., мкг/л	Хл а, расч., мкг/л
5216	07.09.16	10	12,0	8,32	3,0	1,69	1,52
5217	07.09.16	12	5,3	7,06	9,7	2,01	1,52
5218	08.09.16	16	10	8,34	5,8	1,76	1,54
5219	08.09.16	22	12	7,63	7,9	0,94	1,51
5220	08.09.16	24	2,4	5,10	17,8	1,38	1,44
5221	09.09.16	35	1,9	4,36	16,0	1,32	1,39
5222	09.09.16	45	1,3	3,73	15,9	0,97	0,99
5223	09.09.16	55	0,75	3,69	20,6	1,14	1,00
5224	10.09.16	57	0,9	3,60	21,6	0,42	1,18
5225	11.09.16	2800	0,35	2,03	30,1	0,70	0,85

Таблица 1. Показатель ослабления (*c*), температура (*T*), соленость (*S*), концентрация Хл *а* по данным прямых определений и рассчитанная по спутниковым данным. Поверхностный слой

Значительные различия для некоторых станций могут объясняться высокой изменчивостью характеристик воды в области фронтальных разделов. Спутниковая карта, построенная по данным MODIS, к сожалению, не способна передать субмезомасштабные элементы этих фронтов. Их структура хорошо видна на изображении Landsat-8 (*puc. 6*).

Начальная станция 5216 выполнена в самой южной части разреза – в области сильно распресненных вод с соленостью всего 3 епс. Последующие станции выполнялись мористее, чему соответствует повышение солености, уменьшение показателя ослабления и температуры. При удалении от дельты Лены происходит постепенное смешение речных и морских вод. На станции 5225 соленость достигает 30 епс, температура 2°С, что близко к водам Северного Ледовитого океана. Таким образом, выполненные станции охватывают практически всю зону смешения речных и морских вод.

На *рис.* 4 показаны распределения температуры (T), солености (S) и интенсивности флуоресценции ОРОВ и Хл a на разрезе от точки начала работ в море Лаптевых до устья Лены, а также схема маршрута разреза и пространственное распределение температуры. Северо-западная часть разреза находится в области квазиоднородных морских вод, независимых от воздействия стока Лены: значения интенсивностей флуоресценции низкие. Переход в распресненную речным стоком область сопровождается серией фронтальных разделов. Пунктиром (*рис.* 4a) и крестами (*рис.* 4б и b) показано положение фронтальных разделов.



Рис. 4. А – Распределение температуры, солености и интенсивностей флуоресценции ОРОВ и Хл а на разрезе Т2; Б – схема разреза; В – карта пространственного распределения температуры. 6–7 сентября 2015 г.

Положения фронтальных разделов, определенные по спутниковым данным, хорошо соответствуют результатам судовых измерений: синхронным изменениям температуры, солености и интенсивностей флуоресценции. В районе 74°23,3' с.ш. 129°14,8' в.д. зарегистрирована локальная область с резко возрастающей интенсивностью флуоресценции Хл *а* и спадающей интенсивностью флуоресценции ОРОВ. Увеличение солености и падение температуры свидетельствуют о затоке морской воды. На спутниковой карте видно, что этот участок разреза находится на границе струи, соответствующей одной из проток. Этот заток морской воды мог принести биогены, необходимые для развития колонии фитопланктона, флуоресценцию пигментов которой мы обнаружили.

После 73°19,9' с.ш. 130°30,1' в.д. влияние речной воды резко усиливается – соленость падает до 5 епс, температура поднимается до ~8,5°С. В целом переход к речным водам происходит более плавно, чем мы наблюдали это ранее в Карском море (Глуховец, Гольдин, 2014). По-видимому, это связано с принципиальными отличиями механизмов разбавления. Эстуарии Оби и Енисея двумя мощными потоками формируют резкие фронтальные разделы между областью поверхностного опресненного слоя и морскими водами. Перекрывающиеся вклады множества проток дельты Лены формируют иную структуру стока, они способствуют «размытию» области перехода.

Влияние стратификации

Сравнение измеренного на ходу судна показателя ослабления света морской водой (c) с показателем рассеяния назад частицами (b_{bp}), рассчитанным по данным MODIS (*puc. 5* слева), показало, что связь между ними слабая. Мы не ожидали сильной корреляции, учитывая, что рассеяние назад вносит малый вклад в показатель ослабления. Внимание привлекла часть *puc. 5* слева, где низкие значения показателя ослабления соответствуют высоким значениям b_{bp} . На *puc. 5* справа показаны вертикальные профили показателя ослабления на станциях 5216 и 5218 (*puc. 1*) вблизи устья Лены. Вода в проточную систему поступает с глубины 2,7 метра, то есть из области высокого градиента показателя ослабления связи между судовыми и спутник получает информацию только с верхних десятков сантиметров толщи воды. Таким образом, одно из возможных объяснений ослабления связи между судовыми и спутниковыми данными в области высокой мутности – стратификация поверхностного слоя. Расхождения в области значений c > 7 м⁻¹ обусловлены влиянием многократного рассеяния в кювете прозрачномера: ПУМ-А не рассчитан на измерения таких высоких значений. Излучение, выходящее из пучка после многократного рассеяния, увеличивает показания прибора.



Рис. 5. Диаграмма рассеяния b_{bp} и показателя ослабления для разреза T2 (слева) и вертикальные профили показателя ослабления на станциях 5216 и 5218 (справа). 6–7 сентября 2015 г.

Протоки Лены в масштабе Landsat-8

В заключение приводим изображение исследуемого региона от 8 сентября 2015 г., полученное со спутника Landsat-8 (*рис. 6*). На нем хорошо видна структура речного стока Лены – множество сливающихся выходов проток, несущих теплые ($T \sim 9^{\circ}$ C), пресные (S < 10 епс) и мутные воды ($c \sim 10$ м⁻¹). Пересечение выходов проток зарегистрировано проточной системой и выражено в синхронных колебаниях значений температуры, солености и интенсивностей флуоресценции с характерным масштабом порядка нескольких километров (*puc. 4*).



Рис. 6. Восточная часть дельты Лены. Landsat-8. 8 сентября 2015 г.

Заключение

Исследование показало возможность определения границ области, подверженной влиянию речных вод, со спутника благодаря сильной антикорреляции данных прямых измерений солености в поверхностном слое с показателем поглощения растворенного органического вещества, рассчитанного по спутниковым данным. Показатель поглощения ОРОВ – характеристика содержания консервативной примеси (желтого вещества). Региональный полуаналитический алгоритм, согласно которому производился расчет показателя ослабления ОРОВ, хорошо подходит для исследуемого региона, так как создавался для вод второго типа и успешно применялся для обработки изображений Белого моря. В областях высокой мутности воды вблизи дельты Лены пресные теплые воды создают стратификацию, которая приводит к ослаблению связи между судовыми и спутниковыми данными. Положения фронтальных разделов, определенные по спутниковым данным, хорошо соответствуют результатам судовых измерений. Сравнение результатов работы спутниковых алгоритмов определения концентрации хлорофилла-А с данными прямых определений показало, что для сокращения расхождений абсолютных значений необходимо разработать региональный алгоритм для моря Лаптевых. Авторы выражают благодарность Е.Г. Арашкевич за предоставленные данные прямых измерений концентрации хлорофилла, Н.В. Евтушенко за помощь в обработке изображения Landsat-8 и А.А. Кубрякову за полезные замечания.

Судовые данные получены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-17-00681); обработка и анализ спутниковых данных выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-50-00095). Гранты предоставлены через Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Литература

- 1. Артемьев В.А., Таскаев В.Р., Буренков В.И., Григорьев А.В. Универсальный малогабаритный измеритель вертикального распределения показателя ослабления света // Комплексные исследования Мирового океана: Проект «Меридиан». Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН. М.: Наука, 2008. С. 165–172.
- 2. Вазюля С.В., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Артемьев В.А. Оценка по спутниковым данным показателей поглощения окрашенного органического вещества и диффузного ослабления солнечного излучения в водах Белого и Карского морей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 31–41.
- 3. *Глуховец Д.И., Гольдин Ю.А.* Исследование биооптических характеристик вод Карского моря с использованием данных спутниковых и судовых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 346–350.
- 4. Гольдин Ю.А., Шатравин А.В., Левченко В.А., Веникут Ю.И., Гуреев Б.А., Копелевич О.В. Исследования пространственной изменчивости интенсивности флуоресценции морской воды в западной части Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 8. № 1. С. 17–26.
- моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 8. № 1. С. 17–26.
 Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Соловьев Д.М. Поверхностный опресненный слой в Карском море // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 698–708.
 Кузнецова О.А., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Мошаров С.А, Демидов А.Б. Оценка кон-
- 6. *Кузнецова О.А., Копелевич О.В., Шеберстов С.В., Буренков В.И., Мошаров С.А, Демидов А.Б.* Оценка концентрации хлорофилла в Карском море по данным спутникового сканера MODIS-Aqua // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 21–31.
- 7. Система Белого моря. М.: Научный мир, 2013. Т. 3. 668 С.
- Шеберстов С.В. Система пакетной обработки океанологических спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 6. С. 154–161.
 Kattner G., Lobbes J.M., Fitznar H.P., Engbrodt R., Nöthig E.M., Lara R.J. Tracing dissolved organic substanc-
- 9. *Kattner G., Lobbes J.M., Fitznar H.P., Engbrodt R., Nöthig E.M., Lara R.J.* Tracing dissolved organic substances and nutrients from the Lena River through Laptev Sea (Arctic) // Marine Chemistry. 1999. Vol. 65. No. 1. P. 25–39.

Satellite observations of the river runoff distribution in the Laptev Sea

D.I. Glukhovets^{1, 2}, V.A. Artemiev¹

¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow 117997, Russia ²Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny 141700, Russia E-mail: glukhovets@ocean.ru

The paper is devoted to the study of distribution features of the Laptev Sea surface layer bio-optical properties caused by the Lena River runoff. Relatively little information is available about this region because of the difficulties of contact data obtaining. The study is based on the results of shipboard measurements which were carried out during the 63-rd cruise of R/V "Akademik Mstislav Keldysh" (August–October 2015). The results of continuous flow-through measurements of the surface layer properties are compared with coincident MODIS-Aqua ocean color images. A strong anticorrelation of direct salinity measurements in the surface layer and absorption coefficient for dissolved

organic matter calculated from satellite data is detected. This relationship makes possible to define the borders of the region affected by river runoff from the satellite. Surface layer stratification leads to a reduction of the relation between shipboard and satellite data in high turbidity waters near the Lena delta (values of the attenuation coefficient are $c>3 m^{-1}$). Vertical profiles of the attenuation coefficient were obtained with transmissometer at the stations. The mesoscale structure of the Lena delta (a lot of converging streams carrying relatively more turbid waters) is clearly visible in the Landsat-8 image. The intersection of these streams registered with the flow-through system is represented by simultaneous changes in the values of temperature, salinity and fluorescence intensities at a typical scale of several kilometers. The front positions according to satellite data correspond well with the results of shipboard measurements. The transition to river waters comes more gradually compared to the one observed in the Kara Sea previously.

Keywords: satellite data, Laptev Sea, river runoff, shipboard measurements, dissolved organic matter

Accepted: 12.12.2016 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-175-184

References

- Artem'ev V.A., Taskaev V.R., Burenkov V.I., Grigor'ev A.V., Universal'nyi malogabaritnyi izmeritel' vertikal'nogo raspredeleniya pokazatelya oslableniya sveta (Universal compact transmissometer), *Kompleksnye issledovaniya Mirovogo okeana: Proekt "Meridian"* (Complex studies of the World Ocean: Project "Meridian"), In-t okeanologii im. P.P. Shirshova RAN, Moscow: Nauka, 2008, pp. 165–172.
 Vazyulya S.V., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Artem'ev V.A., Otsenka po sputnikovym dannym pokazatelei
- Vazyulya S.V., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Artem'ev V.A., Otsenka po sputnikovym dannym pokazatelei pogloshcheniya okrashennogo organicheskogo veshchestva i diffuznogo oslableniya solnechnogo izlucheniya v vodakh Belogo i Karskogo morei (Satellite estimation of the coefficients of CDOM absorption and diffuse attenuation in the White and Kara Seas), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 31–41.
 Glukhovets D.I., Gol'din Yu.A., Issledovanie bioopticheskikh kharakteristik vod Karskogo morya s ispol'zovaniem
- 3. Glukhovets D.I., Gol'din Yu.A., Issledovanie bioopticheskikh kharakteristik vod Karskogo morya sispol'zovaniem dannykh sputnikovykh i sudovykh izmerenii (A study of the bio-optical properties of the Kara Sea using satellite data and shipboard measurements), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, Vol. 11, No. 4, pp. 346–350.
- 4. Gol'din Yu.A., Shatravin A.V., Levchenko V.A., Ventskut Yu.I., Gureev B.A., Kopelevich O.V., Issledovaniya prostranstvennoi izmenchivosti intensivnosti fluorestsentsii morskoi vody v zapadnoi chasti Chernogo morya (Spatial variability of seawater fluorescence intensity in the Western Black Sea), *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2015, Vol. 8, No. 1, pp. 17–26.
- 5. Zatsepin A.G., Zav'yalov P.O., Kremenetskii V.V., Poyarkov S.G., Solov'ev D.M., Poverkhnostnyi opresnennyi sloi v Karskom more (Surface Desalinated Layer in the Kara Sea), *Okeanologiya*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 698–708.
- 6. Kuznetsova O.A., Kopelevich O.V., Sheberstov S.V., Burenkov V.I., Mosharov S.A, Demidov A.B., Otsenka kontsentratsii khlorofilla v Karskom more po dannym sputnikovogo skanera MODIS-Aqua (Estimation of chlorophyll concentration in the Kara Sea from data of MODIS-Aqua satellite scanner), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, No. 5, pp. 21–31.
- 7. Sistema Belogo morya (System of the White Sea), Moscow: Nauchnyi mir, 2013, Vol. 3, 668 p.
- 8. Sheberstov S.V. Sistema paketnoi obrabotki okeanologicheskikh sputnikovykh dannykh (System for batch processing of oceanographic satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 154–161.
- 9. Kattner G., Lobbes J.M., Fitznar H.P., Engbrodt R., Nöthig E.M., Lara R.J., Tracing dissolved organic substances and nutrients from the Lena River through Laptev Sea (Arctic), *Marine Chemistry*, 1999, Vol. 65, No. 1, pp. 25–39.