

**СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ  
РАСТВОРЁННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ОЗЕРЕ  
ДАЛЬНЕМ (КАМЧАТКА)**

**Н.М. Вецлер, А.Э. Шагинян**

*Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Набережная 18, Петропавловск-Камчатский, 683000, Россия. E-mail: vetsler@kamniro.ru*

Установлено, что сезонные колебания количества растворённого органического вещества (РОВ) в оз. Дальнее характеризуются постепенным повышением его содержания в озёрной воде в течение года с максимумом концентрации в ноябре. Многолетние изменения содержания РОВ в 2004–2010 гг. незначительны и не зависят от динамики термического режима водоёма и среднегодовой численности фитопланктона.

**SEASONAL AND LONG-TERM DYNAMICS OF DISSOLVED  
ORGANIC SUBSTANCE DENSITY IN DALNEYE LAKE,  
KAMCHATKA**

**N.M. Vetsler, A.E. Shaginyan**

*Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), 18 Naberedzhnaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia. E-mail: vetsler@kamniro.ru*

The density of dissolved organic substance (DOS) in Dalneye Lake was found to increase gradually in the course of year and reach its maximum in November. Long-term dynamics of DOS density for 2004–2010 was negligible and did not depend on water temperature dynamics of the lake and average annual density of phytoplankton.

Озеро Дальнее, расположенное на юго-востоке Камчатского п-ва, – нересто-нагульный водоём, в котором происходит воспроизводство тихоокеанского лосося – нерки (*Oncorhynchus nerka* Walb.). Морфологические параметры озера подробно представлены в работах Е.М. Крохина и Ф.В. Крогиус (Крохин, 1948; Крогиус и др., 1969, 1987). Несмотря на продолжительность гидрохимического мониторинга этого водоёма, охватывающего более чем семидесятилетний промежуток времени, исследования содержания растворённого органического вещества (РОВ) имеют эпизодический и кратковременный характер (Семенов и др., 1973; Калинина, 2004). В 2004–2010 гг. впервые были проведены регулярные круглогодичные сборы материала по содержанию РОВ в этом водоёме. Цель данной ра-

боты – обобщение результатов исследований РОВ в оз. Дальнее и характеристика сезонной и межгодовой изменчивости его содержания.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили данные круглогодичных гидрологических наблюдений и результаты обработки гидрохимических и планктонных проб за 2004–2010 гг., собранных на постоянной станции, расположенной в центральной глубоководной части пелагиали озера.

Обор проб воды на содержание РОВ и измерение температуры воды проводили с помощью опрокидывающегося батометра Нансена с глубоководным термометром на горизонтах 0, 5, 10, 20, 30, 40 и 50 м. В периоды комплексных мониторинговых работ для измерения температуры воды использовали гидрологический зонд Hidrolab Data Sonde 4A.

Концентрацию РОВ определяли методом высокотемпературного (680 °С) каталитического сожжения на автоматическом газоанализаторе ТОС-500. Содержание органического углерода определяли как разницу между концентрацией валового углерода и его неорганической формы (Руководство..., 2004). Всего было собрано и обработано 829 проб.

Анализ данных по содержанию РОВ и температурному режиму водоёма проводили по средневзвешенным величинам, рассчитанным для эвфотического слоя (0–20 м) (Сорокин и др., 1974; Павельева, 1984) и – 0–50 м.

Пробы планктона отбирали в слое 0–50 м (0–55) методом вертикального лова количественной сетью Джели с диаметром входного отверстия 18 см (газ № 64). Обработку планктонных проб проводили под микроскопом МБС-9 по стандартным гидробиологическим методикам (Киселев, 1969; Методические рекомендации..., 1984). В течение 2004–2010 гг. было собрано и обработано 85 проб планктона.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Состав и содержание органических веществ (ОВ) в водоёмах определяется совокупностью многих различных по своей природе и скорости процессов: посмертных и прижизненных выделений гидробионтов; поступления ОВ с атмосферными осадками, с поверхностным стоком в результате взаимодействия атмосферных вод с почвами и растительным покровом на поверхности водосбора (Зенин, Белоусова, 1988). В нерестово-нагульных озёрах Камчатки немаловажным источником поступления ОВ являются тела отнерестовавшей нерки (Крохин, 1974а; Агатова и др., 2004). Репрезентативный показатель содержания РОВ в природных водах – концентрация растворённого органического углерода (Зенин, Белоусова, 1988, Агатова и др., 2008). Сезонные колебания его количества в водоёмах определяются гидрологическим режимом водных объектов и связанными с ним изменениями химического состава и интенсивности биологических процессов (Зенин, Белоусова, 1988).

Изменения средневзвешенных концентраций растворённого органического углерода в слоях 0–20 и 0–50 м в оз. Дальнее в 2004–2010 гг. различаются незначительно, что свидетельствует об однородности распределения РОВ по вертикали.

Таблица  
Средневзвешенные концентрации РОВ (С орг., мг/л) в оз. Дальнее в 2004–2010 гг.

Год	Слой, м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2004	0-20	3,0	1,6	1,5	1,4	-	4,5	2,2	4,8	2,1	5,8	6,8	4,0
	0-50	3,2	1,8	1,7	1,5	-	4,4	1,9	4,6	2,0	6,0	6,9	4,2
2005	0-20	3,3	2,5	2,2	2,0	-	2,9	4,1	2,3	4,7	5,4	5,2	-
	0-50	3,4	2,6	2,4	2,1	-	2,8	3,9	2,2	4,5	5,5	5,3	-
2006	0-20	-	2,2	2,1	2,0	-	3,0	4,5	2,7	4,0	4,4	4,4	4,8
	0-50	-	2,3	2,2	2,1	-	2,9	4,3	2,6	3,8	4,5	4,5	4,9
2007	0-20	1,2	1,3	1,0	1,1	-	1,3	5,1	2,4	2,9	3,2	-	-
	0-50	1,3	1,3	1,2	1,2	-	1,2	4,9	2,3	2,7	3,3	-	-
2008	0-20	1,7	1,0	0,8	4,4	-	1,6	2,0	1,9	2,0	2,3	4,8	3,2
	0-50	1,8	1,0	1,0	4,5	-	1,5	1,8	1,8	1,9	2,3	4,9	3,3
2009	0-20	2,0	1,8	2,0	4,5	-	2,7	4,1	2,6	3,2	2,8	2,7	2,6
	0-50	2,1	1,8	2,2	4,6	-	2,6	3,9	2,5	3,0	2,9	2,8	2,7
2010	0-20	-	2,2	2,2	1,6	-	1,9	4,0	3,9	2,3	3,9	-	-
	0-50	-	2,3	2,3	1,7	-	1,8	3,9	3,7	2,1	4,1	-	-

Размах колебаний этих показателей за семилетний период составляет для эвфотического слоя 0,8–6,8 мг С/л и для слоя 0–50 м – 1,0–6,9 мг С/л (таблица).

По осредненным данным за 2004–2010 гг. количество РОВ в слое 0–50 м в первую половину года не превышает 1,9–2,5 мг С/л (рис. 1). Преобладание деструкционных процессов в водоёме в зимний период при минимальной интенсивности фотосинтеза определяет низкое содержание органического углерода в озёрной воде в это время (Крохин, 1974а).

Поступление ОВ с паводковыми водами и массовое развитие водорослей в безлёдный период способствует росту концентрации РОВ. Летний максимум содержания органического углерода приурочен к июлю и совпадает с периодом

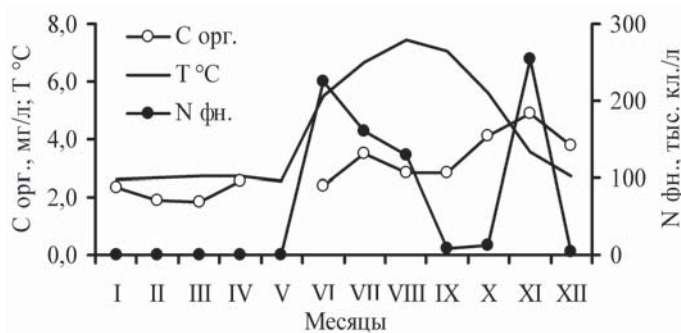


Рис. 1. Сезонные изменения среднееголетних значений содержания РОВ (С орг.), температуры воды (Т °С) и численности сетного фитопланктона (N фн.) в оз. Дальнее в 2004–2010 гг.

ослабления весеннего «цветения» водоёма и началом отмирания диатомовых водорослей, когда значительное количество РОВ поступает в воду в результате разложения клеток фитопланктона (рис. 1).

Аналогичный ход сезонной динамики растворенного органического углерода был отмечен и в 2003 г. В июле происходило повышение его

содержания в слое 0–50 м до 3,1 мг С/л с максимумом концентрации в поверхностном слое (4,5 мг С/л) (Калинина, 2004). Взаимосвязь сезонной динамики органического углерода с изменениями в жизнедеятельности фитопланктона и рост количества РОВ в конце июня в слое 0–5 м впервые были отмечены сотрудниками Гидрохимического института (г. Новочеркасск), определявших содержание ОВ в воде оз. Дальнее в летне-осенний период 1970 г. (Семенов и др., 1973; Крохин, 1974б).

Основными потребителями РОВ природных вод являются гетеротрофные бактерии, утилизирующие органические соединения (Христофорова, 1989). В августе и сентябре, при максимальном прогреве водоёма и интенсивном развитии бактерий (Павельева, 1974), концентрация органического углерода в озере закономерно снижается. К этому времени приурочен и максимальный рост численности мелких зоопланктонных организмов, потребляющих бактерии: коловраток, науплиусов *Cyclops scutifer*, молоди ветвистоусых рачков (Куренков, 2005; Вецлер, 2006; 2007).

Наибольшее повышение содержания РОВ в озёрной воде происходит в конце года, чему, наряду с лизисом клеток водорослей, вероятно, способствует значительное поступление аллохтонной органики за счёт разложения тел отнерестовавшей нерки и с поверхностным стоком во время осенних циклонов. Годовой максимум концентрации органического углерода приурочен к ноябрю, когда повышение его содержания также обеспечивает и интенсивное осеннее «цветение» диатомовых водорослей (рис. 1).

Увеличение концентрации РОВ в осенний период, в основном, за счёт разложения сненки, было отмечено и в самом крупном нерестово-нагульном водоёме Камчатки – оз. Курильское (Агатова и др., 2004; Лепская и др., 2005).

По данным Е.Б. Павельевой (1974), основная масса ОВ в оз. Дальнее имеет планктонное происхождение, поскольку поступление аллохтонной органики в озеро незначительно. На второстепенное значение аллохтонного ОВ в водоёме указывал и Е.М. Крохин (1974а), считая, что им обеспечивается не более 15 % дополнительной энергии по отношению к продукции фитопланктона, а поступившее ОВ используется через бактериальное звено. Исследования бактериопланктона в оз. Дальнее проводили только в 1970-е годы (Сорокин, Павельева, 1972; Павельева, 1974). Авторами было установлено, что численность бактерий в летний период варьирует в пределах 0,2–5,3 млн кл./мл и, в среднем, составляет 1–2 млн кл./мл. Биомасса бактерий, в среднем, за период вегетации равна 50–150 мг С/м<sup>3</sup>. В зоне термоклина, где во второй половине лета скапливается отмирающий фитопланктон, биомасса бактериопланктона может достигать 200 мг С/м<sup>3</sup>.

Изучение питания зоопланктонных организмов в озере показало, что только около 10 % продукции фитопланктона непосредственно потребляется зоопланктоном, а основная часть – в виде детрита и бактериопланктона (Павельева, Сорокин, 1971). Поэтому периоды повышения биомассы зоопланктона совпадают не с максимумом первичной продукции, а со временем наибольшего бактериального разложения недоиспользованной зоопланктоном первичной продукции (Сорокин и др., 1974). Этим объясняется синхронность сезонных изменений содержания РОВ и биомассы зоопланктонных организмов (рис. 2) и наличие прямой связи между этими показателями ( $r = 0,79$ ;  $n = 70$ ,  $P < 0,01$ ) (рис. 3).

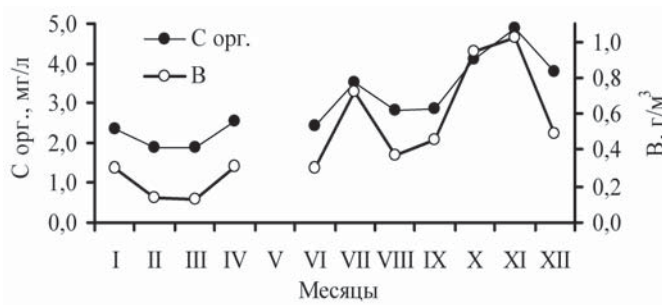


Рис. 2. Сезонные изменения среднееголетних значений содержания РОВ (С орг.) и биомассы зоопланктона (В) в оз. Дальнее в 2004–2010 гг.

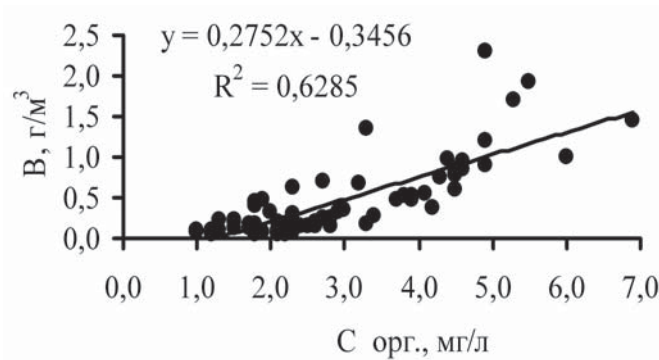


Рис. 3. Связь между содержанием РОВ (С орг.) в слое 0–50 м и биомассой зоопланктона в оз. Дальнее в 2004–2010 гг.

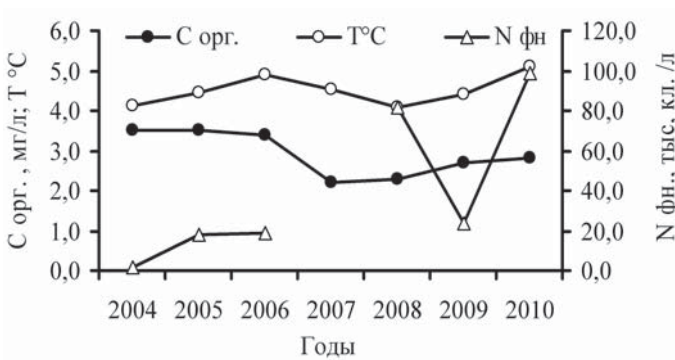


Рис. 4. Межгодовые изменения содержания РОВ (С орг.), температуры воды (Т °С) и численности сетного фитопланктона (N фн.) в оз. Дальнее в 2004–2010 гг.

Среднегодовые значения концентрации растворённого органического углерода в воде оз. Дальнее в 2004–2010 гг. колебались в достаточно узких пределах (2,2–3,5 мг/л) и не зависели от изменений термического режима водоёма и среднегодовой численности фитопланктона (рис. 4). Среднее количество РОВ в июле–октябре в 2000-е гг. (включая данные 2003 г., (Калинина, 2004)), составило 3,3 мг/л и было в 1,7 раза выше, чем в летне-осенний период 1970 г.

Многолетние колебания численности дальнеозёрской нерки характеризуются высоким уровнем, достигающим 40–150 тыс. экз., в 1930–1940-е гг. (Крогиус и др., 1969; 1987) и во второй половине 1980-х гг. (Погодаев, 1993; 2002) и депрессивным состоянием стада (0,6–30 тыс. экз.) в 1948–1983 и 1990–2010 гг. Исследования РОВ как в 1970-е, так и в 2004–2010 гг. приходится на периоды низких заходов производителей нерки в водоём, что не позволяет проследить влияние притока аллохтонного ОВ с телами отнерестовавших рыб. Тем не менее, следует отметить, что наибольшее количество РОВ в озёрной воде за период исследований 2004–2010 гг. наблюдали в 2004–2006 гг. при низкой численности фитопланктона, но после захода в озере 30 тыс. половозрелой нерки в 2003 г. (рис. 4).

Среднегодовые значения концентрации растворённого органического углерода в воде оз. Дальнее в 2004–2010 гг. колебались в достаточно узких пределах (2,2–3,5 мг/л) и не зависели от изменений термического режима водоёма и среднегодовой численности фитопланктона (рис. 4). Среднее количество РОВ в июле–октябре в 2000-е гг. (включая данные 2003 г., (Калинина, 2004)), составило 3,3 мг/л и было в 1,7 раза выше, чем в летне-осенний период 1970 г.

Многолетние колебания численности дальнеозёрской нерки характеризуются высоким уровнем, достигающим 40–150 тыс. экз., в 1930–1940-е гг. (Крогиус и др., 1969; 1987) и во второй половине 1980-х гг. (Погодаев, 1993; 2002) и депрессивным состоянием стада (0,6–30 тыс. экз.) в 1948–1983 и 1990–2010 гг. Исследования РОВ как в 1970-е, так и в 2004–2010 гг. приходится на периоды низких заходов производителей нерки в водоём, что не позволяет проследить влияние притока аллохтонного ОВ с телами отнерестовавших рыб. Тем не менее, следует отметить, что наибольшее количество РОВ в озёрной воде за период исследований 2004–2010 гг. наблюдали в 2004–2006 гг. при низкой численности фитопланктона, но после захода в озере 30 тыс. половозрелой нерки в 2003 г. (рис. 4).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение РОВ по вертикали в оз. Дальнее имеет однородный характер: средневзвешенные значения его концентрации в слоях 0–20 и 0–50 м различаются незначительно.

Сезонная динамика содержания растворённого органического углерода характеризуется постепенным повышением его количества в течение года. Наличие летнего и годового максимумов концентрации РОВ, приуроченных к периодам интенсивного развития фитопланктона, свидетельствуют, что основным источником повышения содержания органического углерода в водоёме является образование ОВ при фотосинтезе и в процессе автолиза клеток фитопланктона. Наибольшее количество РОВ в озёрной воде отмечено в период с октября по декабрь, когда помимо автохтонной органики повышению его концентрации, по-видимому, способствует поступление аллохтонного ОВ от разложения отнерестовавшей нерки и с поверхностным стоком.

За семилетний период исследований (2004–2010 гг.) среднегодовые значения концентрации РОВ изменялись в пределах 2,2–3,5 мг С/л и не зависели от изменений термического режима водоёма и среднегодовой численности фитопланктона.

Сезонная динамика содержания растворённого органического углерода и биомасса зоопланктонных организмов имеют синхронный характер изменений. Наличие прямолинейной связи между этими показателями, очевидно, вызвано сезонными колебаниями численности бактериопланктона, являющегося связующим звеном в трофической цепи между РОВ и зоопланктонными организмами.

## ЛИТЕРАТУРА

- Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И., Сапожников В.В., Миловская Л.В. 2004.** Органическое вещество и скорости его трансформации в нерестово-нагульных озёрах Камчатки // Водные ресурсы. Т. 31, № 6. С. 691–701.
- Агатова А.И., Аржанова Н.В., Лапина Н.М., Торгунова Н.И. 2008.** Пространственно-временная изменчивость органического вещества Азовского моря // Водные ресурсы. Т. 35, № 6. С. 703–714.
- Вецлер Н.М. 2006.** Многолетняя динамика сообщества коловраток в озере Дальнее и факторы, её определяющие // Тез. докл. IX съезд Гидробиол. об-ва РАН, Тольятти, 18–22 сентября 2006 г. Тольятти: ИЭВБ РАН. Т. 1. С. 80.
- Вецлер Н.М. 2007.** Биология и динамика численности Cladocera в озере Дальнее (Камчатка) // Ветвистоусые ракообразные: систематика и биология: материалы всерос. школы-конференции, Борок, 8–12 октября 2007 г. Нижний Новгород: Вектор ТиС. С. 217–221.
- Зенин А.А., Белоусова Н.В. 1988.** Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат. 239 с.
- Калинина И.Б. 2004.** Материалы по содержанию растворенного углерода и его форм в нерковых водоёмах Камчатки и Корякского нагорья // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 7. Петропавловск-Камчатский. С. 51–58.
- Киселев И.А. 1969.** Планктон морей и континентальных водоемов. Т. 1. Л.: Наука. С. 140–416.
- Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Меншуткин В.В. 1969.** Сообщество пелагических рыб озера Дальнего. Л.: Наука. 86 с.
- Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Меншуткин В.В. 1987.** Тихоокеанский лосось (нерка) в экосистеме оз. Дальнего (Камчатка). Л.: Наука. 200 с.

- Крохин Е.М. 1948.** Паратунские озера (гидрология, гидрография, биология): дис. ...д-ра биол. наук. Петропавловск-Камчатский: Камчатское отд. ТИНРО. 286 с.
- Крохин Е.М. 1974а.** К расчету количества аллохтонного органического вещества, поступающего в оз. Дальнее // Изв. ТИНРО. Т. 90. С. 93–96.
- Крохин Е.М., 1974 б.** Обзор работ, проведённых Камчатским отделением ТИНРО по Международной биологической программе // Изв. ТИНРО. Т. 90. С. 3–16.
- Куренков И.И. 2005.** Зоопланктон озер Камчатки. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 178 с.
- Лепская Е.В., Уколова Т.К., Калинина И.Б., Свириденко В.Д. 2005.** Органическое вещество озер Курильское и Паланское (Камчатка), его связь с элементами биоты // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 3. Владивосток: Дальнаука. С. 199–213.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. 1984.** // Ред. Г.Г. Винберг и Г.М. Лаврентьева. Ленинград: Промрыбвод. 19 с.
- Павельева Е.Б. 1974.** Начальные звенья продукционного процесса и их утилизация в оз. Дальнем: автореф. дис. ...канд. биол. наук. Минск. 24 с.
- Павельева Е.Б. 1984.** Уровень трофии оз. Дальнего (Камчатка) в 70-х годах // Биологические ресурсы внутренних водоемов Сибири и Дальнего Востока. М: Наука. С. 189–198.
- Павельева Е.Б., Сорокин Ю.И. 1971.** Изучение питания зоопланктона озера Дальнего на Камчатке // Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР. Вып. 22(25). С. 56–63.
- Погодаев Е.Г. 1993.** Значение пресноводного периода в формировании цикличности поколений нерки озера Дальнего // Исследования биологии и динамики численности промысловых рыб Камчатского шельфа. Вып. 2. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 107–116.
- Погодаев Е.Г. 2002.** Состояние экосистемы оз. Дальнего (прошлое, настоящее, будущее). Фосфатный режим // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 6. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 291–295.
- Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры. 2004.** М.: Изд-во ВНИРО. 123 с.
- Семенов А.Д., Семенова И.М., Курапцева Р.Н., Крогиус Ф.В., Крохин Е.М. 1973.** Соединения биогенных элементов и органические вещества в воде оз. Дальнего // Гидрохим. материалы. Т. 59. С. 69–81.
- Сорокин Ю.И., Павельева Е.Б. 1972.** К количественной характеристике экосистемы пелагиали озера Дальнего на Камчатке // Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР. Вып. 23 (26). С. 24–38.
- Сорокин Ю.И., Павельева Е.Б., Васильева М.И. 1974.** Особенности первичной продукции лососевого озера // Журн. общ. биологии. Т. 35, № 5. С. 746–755.
- Христофорова Н.К. 1989.** Растворённое органическое вещество в водах бухты Кратерной // Биология моря. № 3. С. 44–49.