

УДК 543. 842

МАТЕРИАЛЫ ПО СОДЕРЖАНИЮ РАСТВОРЁННОГО УГЛЕРОДА И ЕГО ФОРМ В НЕРКОВЫХ ВОДОЁМАХ КАМЧАТКИ И КОРЯЖСКОГО НАГОРЬЯ

И. Б. Калинина



Целью работы является характеристика сезонной изменчивости и вертикального распределения содержания различных форм растворённого углерода в нерковых водоёмах. В холодное время года преобладают деструкционные процессы и происходит снижение содержания растворённого органического углерода (РОУ) и увеличение концентрации неорганического углерода, что наиболее ярко выражено в неглубоких водоёмах. В вегетационный сезон содержание РОУ увеличивается не только в озёрах, но и в нерестовых реках и притоках вследствие захода половозрелых рыб и минерализации снётки. Дано сезонное вертикальное распределение различных форм углерода. В постнерестовый период и в холодное время года в отдельных нерковых нерестово-выростных водоёмах происходит накопление неорганического углерода в придонных слоях.

I. B. Kalinina. Data on the concentration of dissolved carbon and carbon derivatives in the sockeye salmon watersheds of Kamchatka and Koryak plateau // Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwest part of Pacific Ocean: Selected Papers. Vol. 7. Petropavlovsk-Kamchatski: KamchatNIRO. 2004. P. 51–58.

The purpose of this work was to characterize seasonal variations and vertical scattering of the concentration of dissolved carbon various derivatives in the sockeye salmon watersheds. For cold time of a year, when dominating the destructive processes, the concentration of dissolved organic carbon (DOC) gets reduced, whereas the concentration of inorganic carbon gets increased, what has been exhibited maximum clear in the shallow watersheds. During the season of vegetation DOC concentration has been increased not only in the lakes, but in spawning rivers and tributaries as a result of presence of adult escapement and mineralization of carcasses. We have demonstrated seasonal vertical scattering by various carbon derivatives. For the period after spawn and cold period of year inorganic carbon has been accumulated in particular sockeye salmon spawning-nursery watersheds at the bottom up layers.

Органический углерод входит в состав всех живых организмов и присутствует в белках, углеводах, липидах, нуклеиновых кислотах. В природных водах органический углерод составляет примерно 50% от содержания органического вещества (Агатова и др., 1991). Оценка запасов растворённых органических веществ позволяет характеризовать биологическую продуктивность водоёмов. По сезонным изменениям концентрации растворённого органического вещества (в большей степени это относится к растворённому органическому углероду) можно выявить зоны активного первичного продуцирования, дать оценку скорости преобразования органического вещества в продукционно-деструкционном цикле и полноты использования вещества и энергии в метаболизме данной экосистемы и охарактеризовать физиологическое состояние фито- и бактериопланктона природного водоёма (Сапожников и др., 1981).

Важнейшее значение в жизни растительных организмов занимает неорганический углерод. В природных водоёмах неорганический углерод в подавляющем случае находится в виде двуокиси углерода (CO_2 — углекислый газ) (Секи, 1986). Главным источником поступления двуокиси углерода в природные воды являются процессы биохимического распада органических остатков, окисления органических веществ, дыхание водных организмов. Одновременно с процессами поступления значительная часть двуокиси углерода потребляется при фотосинтезе. Уменьшение двуокиси углерода в воде происходит

также в результате выделения её в атмосферу. Содержание CO_2 тесно связано с процессами продукции и деструкции органического вещества (Алёкин, 1970). Обычно весной и летом содержание двуокиси углерода в водоёме понижается, а в конце зимы достигает максимума. Впервые публикуются данные по содержанию неорганического углерода для нерковых нерестово-выростных водоёмов Камчатки (озёр паратунской зоны — Ближнее и Дальнее, озёр Курильское, Лиственничное, Большой Виллой, водохранилища Толмачёва), озёр Коряжского нагорья (Вагыт-Гытхын, Илир-Гытхын) и отдельных рек. Также впервые приводятся данные по концентрации растворённого органического вещества для водохранилища Толмачёва, озёр Большой Виллой, Лиственничное, Вагыт-Гытхын, Илир-Гытхын.

Для более детального представления географических особенностей водоёмов на рис. 1 приведена схема Камчатки и Коряжского автономного округа с обозначением исследуемых водоёмов.

Озёра отличаются не только по своему географическому положению, но и по происхождению и морфометрическим характеристикам (табл. 1). Самое крупное из представленных озёр — оз. Курильское, с максимальной глубиной более 300 м, одно из мелководных озёр — оз. Большой Виллой.

Целью данной работы является характеристика сезонной изменчивости и вертикального распределения содержания органической (С орг.) и неорганической (С неорг.) форм углерода.

Таблица 1. Краткая лимнологическая характеристика озёр

Водоёмы	Площадь, км ²	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Происхождение
Оз. Лиственничное	2,34	29,8	–	Лагунное
Оз. Ближнее	2,59	37,8	18,3	Ледниковое
Оз. Дальнее	11,3	60	31,5	Ледниковое
Оз. Большой Виллой	6,2	5,5	–	Лагунно-лиманное
Оз. Ватыт-Гытхын	3,55	64,2	30,4	Ледниковое
Оз. Илир-Гытхын	7,66	66,2	31,62	Ледниковое
Оз. Курильское	79,25	316	184	Кальдерное
Водохранилище Толмачёва	44,3	35	9,9	Кальдерное

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследования послужили пробы воды, отобранные на стандартных станциях и горизонтах из нерковых водоёмов Камчатки и КАО, где проводятся многолетние гидрохимические и ихтиологические мониторинговые наблюдения. Пробы старались отобрать во все сезоны 2003–2004 гг., всего обработано 343 пробы (табл. 2).

По различным причинам, связанным с техническими условиями, не всегда соблюдалась определённая периодичность отбора проб (например, оз. Лиственничное, оз. Ватыт-Гытхын, оз. Илир-Гытхын, оз. Большой Виллой).

Концентрация общего растворённого углерода и концентрация растворённого неорганического углерода в пробах (в основном, содержание двуокиси углерода) определялись на автоматическом анализаторе общего органического углерода (ТОС-500, «Shimadzu», Япония) методом высокотемпературного (680°C) каталитического сжигания. Содержание органического углерода прибор определяет по разности общего и неорганического углерода.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Озеро Лиственничное. Концентрация растворённого углерода S_{org} возрастала в весенне-летний период на всех горизонтах, включая поверхностный слой (табл. 3). Концентрация неорганического углерода ($S_{неорг.}$), в данном случае углекислого газа (CO_2), снижалась в июне в 1,5–1,9 раза, по сравнению с содержанием в феврале. В начале июля отмечено резкое увеличение содержания органического углерода в поверхностном слое озера и на глубине 10 м при низкой концентрации CO_2 (табл. 3).

В середине июля наблюдалось небольшое повышение содержания органического и неорганического углерода на глубине 20 и 30 м. В сентябре содержание органического и неорганического углерода увеличилось на всех горизонтах. В октябре вертикальное распределение S_{org} было неравномерным при относительно однородной концентрации двуокиси углерода, содержание которой понизилось по сравнению с сентябрём (табл. 3).

Озеро Ближнее. Наибольшая концентрация двуокиси углерода зафиксирована в апреле, когда озеро ещё находилось подо льдом. В июне количество неорганического углерода понизилось, особенно в поверхностном слое водоёма (табл. 4). В конце июля отмечено самое низкое содержание углекислого газа на всех горизонтах при незначительном увели-

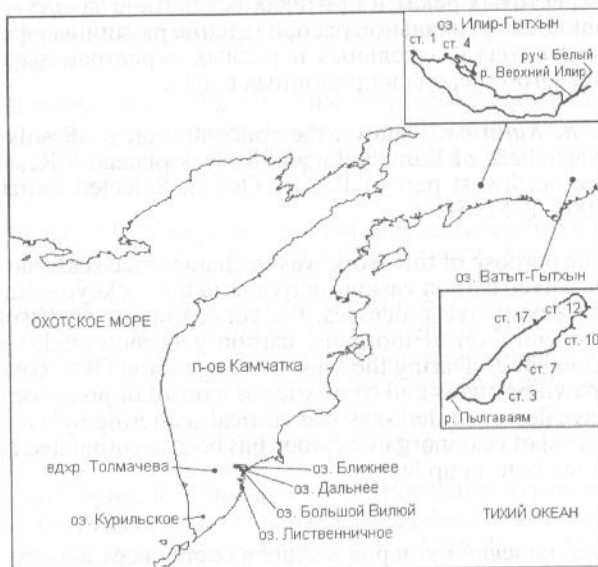


Рис. 1. Схема расположения исследуемых водоёмов п-ова Камчатка и Корякского нагорья

Таблица 2. Количество обработанных проб

Водоёмы	Общее количество проб
Оз. Лиственничное	33
Оз. Ближнее	50
Оз. Дальнее	77
Оз. Большой Виллой	4
Оз. Ватыт-Гытхын	31
Оз. Илир-Гытхын	20
Ручей Белый	2
Река Верхний Илир	1
1 станция	2
4 станция	2
Оз. Курильское	96
Река Озерная	1
Водохранилище Толмачёва	24

чении концентраций от поверхности к придонному слою. Повышенное содержание органического углерода зафиксировано в конце июля, особенно высокая концентрация наблюдалась в поверхностном и придонном слоях (табл. 4).

В сентябре и октябре происходило увеличение содержания неорганического углерода, по сравнению с летним периодом. Наибольшее количество неорганического углерода характерно для придонного слоя (табл. 5). В ноябре и декабре 2003 г. увеличилось со-

Таблица 3. Вертикальное распределение органической (С орг., мг/л) и неорганической (С неорг., мг/л) форм углерода в озере Лиственничное в 2003 г.

Глубина, м	Дата													
	26.02.03		23.06.03		6.07.03		14.07.03		4.09.03		12.09.03		06.10.03	
	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.
0	2,26	1,49	3,60	0,78	18,67	0,66	3,07	0,53	8,84	1,67	4,77	0,68	2,67	0,79
5	1,8	1,15	3,71	0,80	3,9	0,72	2,11	0,68	6,41	1,28	4,55	0,71	4,51	0,79
10	3,21	1,23	3,53	0,89	6,97	0,62	3,59	0,60	6,14	1,24	8,70	0,89	6,95	0,81
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,85	0,61
20	—	—	5,70	0,77	4,37	0,87	4,64	1,25	5,02	0,98	4,50	1,04	2,71	0,80
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,32	0,75
30	—	—	3,20	0,62	3,18	0,83	4,28	0,96	7,28	0,83	4,81	1,19	3,85	0,83
СВС 0–30	2,27	1,26	4,23	0,78	5,94	0,75	3,77	0,88	6,23	1,13	5,63	0,94	4,76	0,76

Примечание. В данной таблице и последующих СВС — средневзвешенное содержание в слое

Таблица 4. Вертикальное распределение органической (С орг., мг/л) и неорганической (С неорг., мг/л) форм углерода в озере Ближнее в весенне-летний период в 2003 г.

Глубина, м	Дата							
	16.04.03		09.06.03		18.06.03		29.07.03	
	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.
0	2,85	2,31	4,21	2,05	3,16	2,25	4,98	1,66
5	4,09	4,23	3,11	2,99	2,83	2,11	3,37	1,77
10	3,34	3,44	3,01	2,75	2,89	2,46	3,27	1,81
20	3,41	3,13	4,67	2,78	2,82	2,57	3,45	1,89
30	2,92	3,03	3,73	2,76	2,60	1,91	4,55	2,23
СВС 0–30	3,38	3,31	3,80	2,74	2,83	2,40	3,70	1,88

держания органического углерода на всех горизонтах, особенно на глубине 30 м. Концентрация неорганического углерода снизилась по сравнению с октябрём при сравнительно однородном вертикальном распределении (табл. 5). В январе наметилась тенденция к снижению уровня органического и повышению неорганического углерода на всех горизонтах, особенно в поверхностном слое. В феврале содержание органического углерода возросло на всех горизонтах, наиболее высокая концентрация С орг. зарегистрирована на глубинах 5 и 30 м (придонный слой). Концентрация двуокиси углерода стабилизировалась.

Озеро Дальнее. В апреле, по сравнению с зимним периодом, происходит некоторое увеличение средневзвешенного содержания С орг. Следует отметить неравномерное распределение неорганического углерода в это время. В феврале значительное увеличение двуокиси углерода наблюдалось на глубинах 20 и 40 м, по сравнению с другими горизонтами. В апреле большое количество С неорг. отмечено на глубинах 40 и 50 м (придонный слой) (табл. 6).

В июне содержание как органического, так и неорганического углерода стабилизировалось на всех исследуемых глубинах. В целом, в этот период отмечалось небольшое снижение концентрации двуокиси углерода, особенно в придонном слое, по сравнению с зимне-весенним периодом.

В июле произошло повышение содержания органического и снижение неорганического углерода, наиболее ярко проявившееся в поверхностном слое озера

(табл. 6). В сентябре, в результате снижения интенсивности фотосинтеза, количество органического углерода несколько понизилось, при возрастании содержания двуокиси углерода. В октябре и ноябре уровень неорганического углерода продолжал увеличиваться при сравнительно однородном распределении. В декабре, за счет разложения снёлки, концентрация С орг. увеличилась в 1,5 раза практически на всех горизонтах. Содержание неорганического углерода в этот период оставалось высоким (табл. 7).

В середине января наблюдалось повышенное содержание неорганического углерода и неравномерное распределение его концентрации по горизонтам. Количество С орг., напротив, снизилось по сравнению с предшествующим месяцем. В феврале отмечено выравнивание концентраций неорганического углерода на всех глубинах (табл. 7).

Сопоставление содержания растворённого органического вещества в паратунских озёрах (Ближнее и Дальнее), осуществлённое по среднемесячным средневзвешенным концентрациям, показало большое содержание растворённой органики в оз. Ближнее (рис. 2).

Озеро Большой Вилюй. В апреле для водоёма характерно высокое содержание растворённого органического углерода в придонном слое (табл. 8). В центре, в придонной части озера, из-за продолжающейся деструкции органических веществ и малой циркуляции водных масс содержание С орг. увеличено в 3 раза по сравнению с поверхностным слоем. На станции, расположенной близ рыбоводного завода, содержание органического углерода также в 1,5 раза превышало его содержание в поверхностном слое, а концентрация неорганического углерода более высокая по сравнению с центральной частью водоёма (минерализация протекает более интенсивно).

Озеро Ватыт-Гытхын. Вертикальное распределение растворённого органического углерода в июле характеризовалось неоднородностью с резким увеличением концентрации на глубине 20 и 60 м и повышенным содержанием в поверхностном слое (табл. 9). Увеличение содержания неорганического углерода в придонном слое (60 м) возможно обусловлено более интенсивной деструкцией органического вещества.

В начале сентября практически на всех горизонтах наблюдался высокий уровень органического уг-

Таблица 5. Распределение органической (С орг., мг/л) и неорганической (С неорг., мг/л) форм углерода в озере Ближнее в осенне-зимний период в 2003–2004 гг.

Глубина, м	Дата											
	18.09.03		22.10.03		20.11.03		28.12.03		18.01.04		27.02.04	
	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.
0	3,92	2,27	4,52	2,87	4,36	2,78	4,55	3,01	1,89	4,79	3,37	2,74
5	3,46	1,70	3,67	2,41	4,32	2,83	4,03	2,61	4,90	2,89	5,40	3,01
10	3,43	2,45	3,00	3,40	3,74	2,76	5,36	2,63	3,78	3,19	4,21	2,75
20	3,28	2,85	3,20	4,00	3,75	3,84	4,47	2,46	3,76	3,28	4,90	3,17
30	3,03	3,56	2,88	6,74	5,67	2,94	5,01	2,41	3,46	3,47	5,39	3,46
СВС 0–30	3,56	2,63	3,29	3,95	4,21	3,16	4,17	2,64	3,75	3,35	4,77	3,05

Таблица 6. Вертикальное распределение органической (С орг., мг/л) и неорганической (С неорг., мг/л) форм углерода в озере Дальнее в весенне-летний период в 2003 г.

Глубина, м	Дата									
	16.02.03		16.04.03		09.06.03		18.06.03		29.07.03	
	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.
0	2,87	2,14	2,07	2,07	3,19	3,00	2,40	2,70	4,50	1,59
5	2,81	2,91	2,58	2,54	2,61	3,58	2,95	2,72	2,95	1,45
10	1,94	1,78	3,53	2,96	3,07	3,32	2,84	2,99	3,24	2,03
20	2,65	5,05	2,50	3,29	2,37	3,42	2,37	3,21	2,83	2,32
30	2,24	3,08	2,90	3,47	2,46	3,30	2,39	3,30	3,31	2,36
40	2,52	5,12	3,35	7,95	3,04	3,38	2,06	3,41	3,05	2,37
50	2,86	3,64	2,76	4,06	3,09	2,72	2,57	3,81	2,94	2,90
СВС 0–50	2,48	3,68	2,92	4,15	2,76	3,30	2,46	3,21	3,14	2,23

Таблица 7. Вертикальное распределение органической (С орг., мг/л) и неорганической (С неорг., мг/л) форм углерода в озере Дальнее в осенне-зимний период в 2003–2004 гг.

Глубина, м	Дата											
	18.09.03		22.10.03		20.11.03		28.12.03		16.01.04		26.02.04	
	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.
0	2,11	2,61	2,87	3,25	2,75	2,52	3,66	5,06	3,31	4,69	4,85	4,53
5	2,95	2,71	2,95	3,26	3,58	4,04	4,25	4,34	3,72	5,98	3,50	4,27
10	2,68	2,87	3,63	3,63	3,00	3,49	4,64	4,40	2,61	6,65	4,04	4,25
20	2,72	2,89	3,70	3,70	2,64	3,88	4,27	4,04	2,88	4,62	3,52	4,35
30	3,07	2,90	2,63	2,63	3,05	3,28	5,48	2,47	2,76	7,73	2,97	4,61
40	2,92	3,56	2,86	2,86	2,97	4,04	4,78	3,59	2,55	4,37	6,06	4,70
50	2,65	1,82	2,96	2,96	2,96	3,63	4,86	3,89	3,28	8,12	5,99	4,66
СВС 0–50	2,81	2,88	3,12	3,17	2,97	3,66	4,70	3,76	2,89	5,98	4,31	4,46

лерода с максимумом в поверхностном слое. Вертикальное распределение неорганического углерода характеризовалось стабильностью с минимумом в поверхностном слое (табл. 9).

Любопытные данные по содержанию углерода отмечены в притоках озера Ватыг-Гытхын и в реке Пылгаваям (табл. 10). В конце июля зарегистрировано высокое содержание органического и очень низкое значение неорганического углерода на станции 17 и в р. Пылгаваям. В начале сентября наблюдалось наибольшее содержание органического углерода на станциях 7 и 12, что, возможно, связано с биомассой отнерестившихся рыб. Концентрация двуокиси углерода в этот период на всех станциях изменялась слабо.

Озеро Илир-Гытхын. Вертикальное распределение содержания растворённого органического углерода характеризовалось выраженной неоднородностью (табл. 11). В конце июля наибольшее содержание отмечено на глубине 5 м, значительное количество С орг. также присутствовало на горизонтах 40 м и в придонном слое. В сентябре содержание С орг., в целом, значительно возросло по сравнению с июлем, наибольшая концентрация наблюдалась на горизонтах 15 и 30 м. Средневзвешенное содержание и вертикальное распределение неорганического углерода было сравнительно стабильным (табл. 11).

Высокое содержание органического углерода зафиксировано в реках, впадающих в оз. Илир-Гытхын, и, веро-

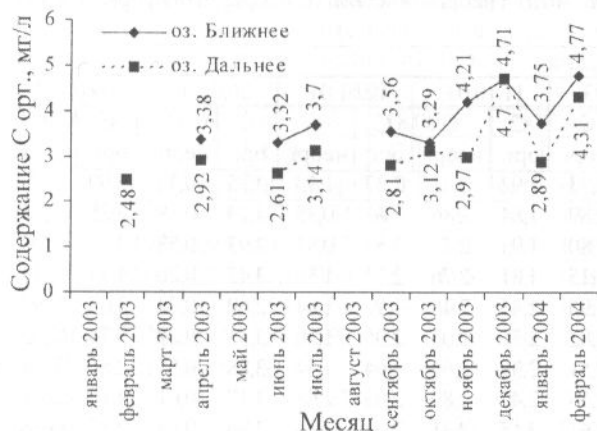


Рис. 2. Динамика среднемесячного средневзвешенного содержания растворённого органического углерода в паратунских озёрах

Таблица 8. Концентрация органической (C орг., мг/л) и неорганической (C неорг., мг/л) форм углерода в поверхностном и придонном слоях озера Большой Вилной в марте 2003 г.

Место отбора проб	Дата	
	03.04.03	
	C орг.	C неорг.
Центр (поверхность)	2,99	1,58
Центр (дно)	9,23	1,93
У завода (поверхность)	3,99	3,01
У завода (дно)	5,89	3,58

Таблица 9. Вертикальное распределение органической (C орг., мг/л) и неорганической (C неорг., мг/л) форм углерода в озере Ватыг-Гытхын в летне-осенний период в 2003 г.

Глубина, м	Дата			
	25.07.03		04.09.03	
	C орг.	C неорг.	C орг.	C неорг.
0	4,07	1,26	5,99	1,38
5	—	—	5,05	1,56
10	3,01	1,69	4,53	1,43
15	3,63	1,82	4,55	1,83
20	8,31	1,36	4,74	1,77
30	2,78	1,62	3,65	1,68
40	3,68	1,68	5,70	1,73
50	2,85	1,36	4,65	1,77
60	7,19	2,37	4,62	1,79
СВС 0-60	3,91	1,63	4,74	1,67

Таблица 10. Концентрация органической (C орг., мг/л) и неорганической (C неорг., мг/л) форм углерода в притоках озера Ватыг-Гытхын (станции 3, 7, 10, 12, 17) и в реке Пылгаваям в июле и сентябре 2003 г.

№ станции	Дата			
	25.07.03		04.09.03	
	C орг.	C неорг.	C орг.	C неорг.
3	4,17	2,38	3,08	2,45
7	3,41	2,47	10,12	2,48
10	3,56	1,88	5,14	1,91
12	2,21	1,58	8,47	2,03
17	12,9	0,38	7,74	2,05
р. Пылгаваям	9,94	0,77	4,98	1,53

ятно, связано с биомассой нерестующих рыб. В то же время уровень неорганического углерода в реках и притоках озера невелик, минимальное содержание двуокиси углерода наблюдалось в сентябре в ручье Белый (табл. 11).

Озеро Курильское. Результаты обработки проб позволяют проследить тенденцию сезонных изменений содержания углерода (табл. 12). В июне концентрация органического углерода повышена, по сравнению с началом июля. Вертикальное распределение неоднородно, очень высокое содержание C орг. зафиксировано на глубине 150 м, что обусловлено постепенным оседанием фитопланктона после цветения и подтверждается повышенным содержанием неорганического углерода на глубине 200 м.

Вертикальное распределение содержания органического и неорганического углерода в начале июля достаточно однородное. В конце месяца увеличилось содержание C орг. на отдельных горизонтах и резко возросло количество неорганического углерода в слое 5–100 м. В августе наблюдалось повышенное содержание C орг. на глубине 100 м и сравнительно однородное распределение содержания двуокиси углерода. В октябре содержание органического и неорганического углерода стабилизировалось и прослеживалась тенденция к плавному увеличению концентрации C орг. с глубиной в слое 0–200 м, а двуокиси углерода — в слое 0–100 м. В течение января содержание C орг. на всех горизонтах увеличилось от начала к концу месяца; содержание двуокиси углерода, напротив, снизилось, за исключением глубин 2–5 м. В феврале вертикальное распределение органического углерода, в целом, характеризовалось более высокими значениями от поверхности до 40 м, глубже наблюдалась тенденция к снижению его содержания. Вертикальное распределение неорганического

Таблица 11. Вертикальное распределение органической (C орг., мг/л) и неорганической (C неорг., мг/л) форм углерода в озере Илир-Гытхын и в реках озера в летне-осенний период в 2003 г.

Глубина, м	Дата			
	30.07.03		06.09.03	
	C орг.	C неорг.	C орг.	C неорг.
0	4,17	1,30	4,18	1,40
5	7,61	2,60	5,57	1,69
10	3,08	1,48	3,37	1,77
15	3,01	1,58	9,92	1,40
20	3,14	1,76	3,71	1,93
30	2,74	1,74	10,11	1,78
40	5,83	1,23	5,13	2,04
50	2,62	1,45	5,78	1,52
60	3,30	2,04	4,80	1,59
65	5,58	1,16	5,00	1,60
СВС 0-65	3,89	1,65	6,02	1,72
Ручей Белый	11,17	1,02	8,98	0,37
Река Верхний Илир	—	—	10,75	2,23
1 станция	3,34	1,5	5,29	2,28
4 станция	5,71	1,84	6,13	2,01

Примечание. 1 станция — ручей, вытекающий из озера. 4 станция — приток озера

Таблица 12. Вертикальное распределение органической (С орг., мг/л) и неорганической (С неорг., мг/л) форм углерода в озере Курильское и в реке Озерная в 2003–2004 гг.

Глубина, м	Дата															
	25.06.03		10.07.03		24.07.03		12.08.03		11.10.03		12.01.04		26.01.04		09.02.04	
	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.
0	3,39	1,95	2,68	2,57	2,47	2,45	3,81	2,73	1,92	2,62	2,37	1,33	3,75	0,42	3,90	2,79
2	1,76	2,03	1,79	2,61	2,20	1,53	2,65	2,89	1,84	2,86	2,63	0,35	4,13	0,58	3,25	2,75
5	1,44	3,08	1,92	2,77	3,00	7,46	2,29	2,80	1,93	2,72	2,57	0,31	2,93	0,53	3,79	2,04
7	2,77	2,01	1,90	3,90	4,30	9,38	4,57	1,15	1,81	2,76	2,73	1,39	3,45	0,26	4,43	1,76
10	4,95	2,10	2,36	2,64	2,76	9,57	4,42	1,95	2,45	2,45	1,97	1,64	2,69	0,94	3,69	2,97
15	2,31	1,86	2,11	2,50	3,80	4,82	2,31	2,82	2,75	2,05	2,95	1,40	3,35	0,27	3,74	2,62
20	2,22	2,25	1,72	2,55	2,83	9,32	2,19	2,51	2,36	2,69	1,94	1,54	3,88	0,55	2,81	2,84
40	2,13	2,27	1,85	2,70	4,71	9,78	2,68	2,18	2,47	2,89	2,05	1,68	3,17	0,61	4,10	3,41
70	3,94	2,64	2,64	2,63	4,04	9,51	3,16	2,61	3,15	2,41	2,61	1,24	3,86	0,84	2,87	3,28
100	2,29	2,30	2,00	2,03	3,19	8,80	6,11	2,66	2,54	3,02	2,69	1,60	3,88	0,99	2,81	2,29
150	7,77	2,33	1,60	2,26	3,70	4,86	2,02	2,77	2,98	1,54	1,89	1,76	3,23	0,23	3,41	0,27
200	2,95	3,98	2,01	2,19	2,59	0,80	2,90	2,58	3,47	1,83	2,24	0,76	3,62	0,23	3,15	2,64
СВС 0–40	2,47	2,13	1,92	2,69	3,30	8,13	2,71	2,37	2,34	2,45	2,20	1,40	3,44	0,55	3,55	2,13
СВС 0–200	4,01	2,53	1,97	2,38	3,51	6,86	3,32	2,58	2,81	2,33	2,28	1,45	3,54	0,57	3,26	2,03
Р. Озерная	2,71	0,66	2,15	2,35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

углерода было более неоднородным с минимумом на глубине 150 м.

По среднемесячным данным, между средне-взвешенным содержанием неорганического углерода в фотическом слое и слое 0–200 м имеется линейная зависимость ($R^2=0,951$; $n=6$).

Динамика средне-взвешенного содержания органического углерода, оценённая по среднемесячным показателям (рис. 3), демонстрирует максимальное содержание С орг. для слоя 0–200 м в июне, обусловленное постепенным погружением фитопланктона в более глубокие горизонты (содержание С орг. в фотическом слое в 1,6 раза ниже). В августе наблюдалось небольшое увеличение концентрации органического углерода для слоя 0–200 м, в октябре и январе — снижение и стабилизация концентрации. Содержание С орг. в феврале возросло как в фотическом слое, так и в слое 0–200 м за счёт постепенного разложения снёлки.

Аналогичным образом оценённая сезонная изменчивость содержания неорганического углерода (рис. 4) характеризовалась максимальным содержанием в июле и последующим снижением концентрации по

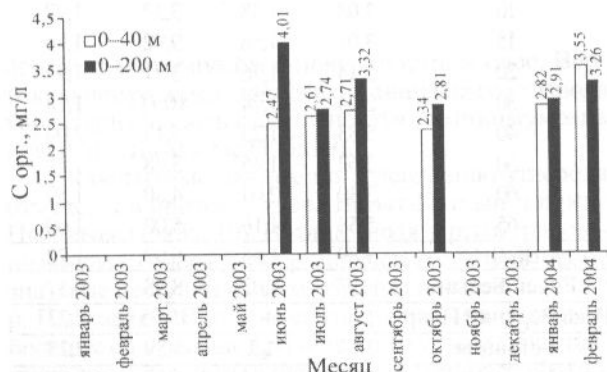


Рис. 3. Динамика среднемесячного средне-взвешенного содержания растворённого органического углерода в оз. Курильское в 2003–2004 гг.

январю. Увеличение содержания в феврале обусловлено замедленной минерализацией органического вещества при низкой температуре воды. Отсутствие ледостава способствовало свободному обмену двуокиси углерода с атмосферой.

Водохранилище Толмачёва. Вертикальное распределение содержания органического углерода (табл. 13) в марте (когда ледостав и слой снега над льдом достигают наибольшей толщины) и в октябре (перед становлением ледостава) практически равномерное, с небольшим увеличением концентрации в глубоководной зоне (30 м). В вегетационный сезон (по данным за июль и август) вертикальное распределение характеризуется большей изменчивостью. В июле наибольшее содержание С орг. обнаружено для поверхностного и придонного слоёв, а в августе — для поверхностного слоя и горизонта 10 м.

Вертикальное распределение неорганического углерода в безледоставный период (июль, август–октябрь) было однородным, только в глубоководной впадине озера (33 м) содержание неорганического углерода оказалось повышенным. В зимний период

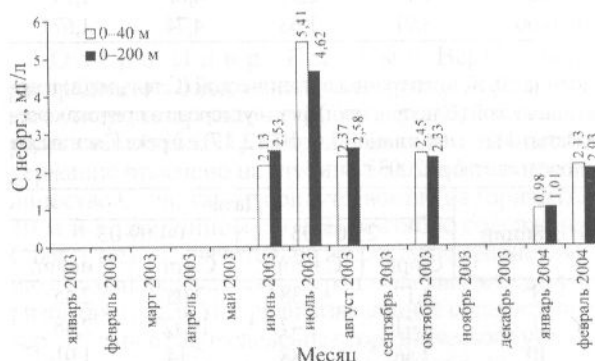


Рис. 4. Динамика среднемесячного средне-взвешенного содержания неорганического углерода в оз. Курильское в 2003–2004 гг.

Таблица 13. Вертикальное распределение органической (С орг., мг/л) и неорганической (С неорг., мг/л) форм углерода в Толмачёвском водохранилище в 2003 г.

Глубина, м	Дата							
	16.04.03		09.06.03		18.06.03		29.07.03	
	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.	С орг.	С неорг.
0	3,07	2,29	4,77	0,54	4,76	0,80	3,47	1,19
5	2,72	2,93	3,37	0,65	3,84	1,11	3,25	1,21
10	2,60	3,17	3,50	0,80	4,35	1,05	3,03	1,23
15	—	—	3,59	0,64	3,44	1,06	2,85	1,23
20	2,26	4,72	4,83	0,90	2,53	1,38	2,50	1,24
25	2,17	4,15	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	1,25	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	0,96	3,11	1,33
СВС 0–20	2,60	3,39	3,82	0,70	3,82	1,08	3,03	1,22

(метеорологические условия в марте для данного водоёма такие же как зимой) содержание неорганического углерода значительно увеличивалось с глубиной.

В 2003 г. пробы отбирались на станциях с различной глубиной (20–33 м), для сравнения рассчитаны средневзвешенные концентрации для слоя 0–20 м (табл. 13). Средневзвешенное содержание органического углерода в слое 0–20 м в безлёдный период характеризовалось малой изменчивостью (3,03–3,82 мг/л); содержание неорганического углерода было более переменным (0,70–1,22 мг/л). Подолдом (в марте) содержание органического углерода значительно снизилось, а неорганического — возросло.

ОБСУЖДЕНИЕ

Приведённые данные для нерковых нерестово-выростных водоёмов Камчатки и Корякского автономного округа (озёр Ближнее, Дальнее, Лиственничное, Курильское, Большой Виллой, Илир-Гытхын, Ватыг-Гытхын, водохранилища Толмачёва и отдельных рек) по содержанию органического и неорганического углерода демонстрируют наличие сезонной изменчивости. Содержание неорганического углерода обычно достигает максимума в зимнее время, когда процесс фотосинтеза почти отсутствует; минимум наблюдается в вегетационный период. Большое влияние на концентрацию неорганического углерода оказывает наличие или отсутствие ледостава (Алёкин, 1970). Подолдом скорость деструкции превышает скорость первичного продуцирования, в результате накапливается некоторое количество двуокиси углерода. Этот избыток углерода не может выделиться в атмосферу из-за ледяного покрова (оз. Дальнее, табл. 7).

Как показали наблюдения, количество растворённого органического углерода увеличивается в летний период, когда преимущественно идёт процесс фотосинтеза. Это особенно чётко проявляется в озёрах с интенсивно протекающими процессами создания и разложения органического вещества (Алябина и др., 1989). Наиболее ярко сезонные колебания концентрации органического и неорганического углерода наблюда-

ются в неглубоких водоёмах (оз. Лиственничное, табл. 3; водохранилище Толмачёва, табл. 13). Это связано с лучшей прогреваемостью воды в весенне-летний и осенний периоды, а также с более интенсивной циркуляцией и перемешиванием (оз. Ближнее, табл. 4; оз. Дальнее, табл. 6). С увеличением размера озера сезонные изменения разных форм углерода сглаживаются. Следует отметить незначительную стратификацию в распределении концентрации органического углерода в больших и глубоких озёрах (оз. Курильское, табл. 12), по сравнению с более мелкими водоёмами.

Немаловажную роль в содержании углерода играет и степень проточности озёр, взаимное расположение главных притоков и рек, вытекающих из озёр (по сообщению Сапожникова). Различные притоки могут вносить и выносить органические и биогенные вещества (табл. 10, 11, 12). Учитывая специфику камчатских водоёмов, иногда связанную с вулканической активностью, в некоторых озёрах (таких как Курильское) может иметь место разгрузка термальных вод, содержащая избыточное количество двуокиси углерода. Увеличение содержания двуокиси углерода также может быть следствием возрастания объёма грунтового стока. Скорость деструкции органического вещества в водной среде зависит от температуры, и при низкой температуре воды высокое содержание органического углерода в отдельных водоёмах наблюдается в зимний период из-за продолжающегося процесса окисления (оз. Большой Виллой, табл. 8).

Можно предположить, что соотношение и содержание в водоёмах различных форм углерода также зависит от продолжительности нерестового периода и скорости разложения снёлки. В это время возможно увеличение содержания органического углерода (оз. Ватыг-Гытхын, табл. 9; оз. Илир-Гытхын, табл. 11). В результате деструкции через определённое время в придонных слоях может отмечаться повышенное содержание неорганического углерода (оз. Ближнее, табл. 5).

Требуется продолжение исследований и накопление данных по содержанию форм углерода в нерковых нерестово-выростных водоёмах, с привлечением данных по биогенным элементам, количеству и составу гидробионтов, чтобы охарактеризовать механизм продукционно-деструкционных процессов, определить трофический статус и продукционные возможности водоёмов в зависимости от поступления аллохтонной органики, содержания биогенов и температуры воды, определяющих скорость процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Собран и проанализирован обширный материал по содержанию различных форм углерода в нерковых водоёмах Камчатки в 2003–2004 годах, обработано более трёхсот проб.

Впервые представлены данные по содержанию растворённого неорганического углерода в нерковых нерестово-выростных водоёмах Камчатки (в озёрах паратунской зоны: Ближнее и Дальнее, в

озере Лиственничное, Большой Виллой, Курильское, водохранилище Толмачёва), в озёрах Корякского нагорья (Ватыт-Гытхын, Илир-Гытхын) и отдельных реках. Кроме того, впервые приведены данные по концентрации растворённого органического углерода для водохранилища Толмачёва, озера Большой Виллой, нерестовых рек и озёр Корякского автономного округа (Ватыт-Гытхын, Илир-Гытхын).

На основании приведённых данных можно предположить, что вертикальная стратификация различных форм углерода в исследуемых озёрах зависит от скорости разложения снёлки. В вегетационный период содержание растворённого органического углерода увеличивается не только в озёрах, но и нерестовых реках и притоках вследствие захода половозрелых рыб и минерализации снёлки.

Большое влияние на содержание углерода оказывают сезонные периоды. Наибольшее содержание органического и наименьшее содержание неорганического углерода наблюдается в летний период. Это связано с прогревом, интенсивной циркуляцией и перемешиванием водных слоёв, а также с преобладанием продукционных процессов. Зимой, при

затухании активного фотосинтеза, происходит повышение концентрации неорганического и уменьшение концентрации органического углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агатова А.И., Налётова И.А., Зубаревич В.Л. и др. 1991. Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство. М.: Агропромиздат, 222 с.

Алекин О.А. 1970. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоздат, 444 с.

Алябина Г.А., Барбашова М.А., Беляков В.П. и др. 1989. Трансформация органического и биогенных веществ при антропогенном эвтрофировании озёр. Л.: Наука, 268 с.

Сапожников В.В., Шинкар Г.Г., Георгиев А.А. 1981. Исследование процессов эвтрофирования путём непрерывной регистрации продукции и деструкции // Водные ресурсы. № 4. С. 161–167.

Секи Х. 1986. Органические вещества в водных экосистемах. Л.: Гидрометеоздат, 196 с.