

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КАРА-ЧУМЫШСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ

А. В. КАЙДАЛИНА

Ниже приводится гидрохимическая характеристика воды Кара-Чумышского водохранилища, как малого питьевого источника, впервые организованного в условиях Западной Сибири в притаежной зоне. Гидрохимический режим изучался на 12 станциях, из которых шесть располагались в открытой части водохранилища и шесть в устьях притоков. Наблюдения были приурочены к следующим периодам года и биологическим циклам: подледный, половодье, период развития диатомовых водорослей, наивысшего развития фито- и зоопланктона и осенний (перед ледоставом). В открытый период отбиралось по две пробы на глубине 0,5 м от поверхности воды, в зимний — на 0,5 м от нижней поверхности льда.

В нашу задачу входило изучение физических свойств воды (температура, цветность, прозрачность, взвешенные вещества, муть, осадок, запах); активной реакции среды (рН), газового режима (растворенный кислород, свободная и агрессивная углекислота, сероводород); биогенных элементов (азот аммиака, нитриты, нитраты, фосфор, железо и кремний) и солевого состава Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} . Для характеристики растворимых органических веществ определялась окисляемость воды и биохимическое потребление кислорода. Методика исследования применялась общепринятая.

Температура воды определялась только в момент отбора проб. В зимний период в поверхностном слое она была равна 0° , у дна колебалась от $0,1$ до $0,3^\circ C$. В весенне-летний период температура воды в водохранилище была выше на $6-8^\circ$, чем в устьях притоков: Толдушки, Кузахтовой и Керлегеш, что объ-

ясняется питанием этих рек подземными ключами. В верхней, более мелководной, части водохранилища температура воды в августе была на 2,5° выше, чем в предплотинном участке. Прогрев толщи воды в водохранилище был довольно равномерным, так как разница у дна на глубине 8 м и на поверхности наблюдалась в пределах от 1,5 до 3,5° (рис. 1).

Высокой прозрачностью (выше 30 см) вода водохранилища и притоков обладала в подледный период. В мае, в связи с паводком, прозрачность снизилась до 5 см, в июле она была также низкой (11—15 см), вследствие массового развития диатомовых водорослей. В августе, несмотря на обильное «цветение», прозрачность увеличилась до 23, в октябре — до 30 см и выше, однако с наступлением осеннего паводка она вновь снизилась до 6 см. В устьях притоков Инчереп, Кармак и Керлегеш прозрачность воды в это время снижалась до 2,5 и 0 см (таблица 1):

Таблица 1.

Прозрачность воды по периодам и участкам по шрифту Снеллена, в см.

Станции	Март		Май	Июнь	Август		Октябрь		
Верхн. часть водохранилища на водоразделе рек Инчереп и Кара-Чумыш	20	30	5	14	11,5	19,5	23,5	18	21
У островов выше речки Кузахтовой	30	30	8	14	14	14	19	24	23
Центр вод-ща .	—	—	—	—	15	22	20,5	26	25
Залитое болото в районе р. Толдушки	30	30	9	14	15	21	22	30	26
Правый берег против станции первого подъема .	30	30	9	12	13,5	20,5	22	30	21
Левый берег водозабора ст. первого подъема . .	30	30	7	12	15	19	22	30	24
Речки: Кармак (устье)	30	30	30	30	—	28	30	30	0,0
Кара-Чумыш .	30	30	5	11	—	27	28	14	10
Инчереп . . .	30	30	13	15	15,5	17	30	30	2,5
Кузахтовая . .	30	30	17	27	22	27,5	26,5	30	6
Толдушка . . .	30	30	12	20	30	30	30	30	6,5
Керлегеш . . .	30	30	3	3,5	4	22,5	3,5	2,0	1,0

Из притоков с высокой прозрачностью воды в открытый период выделялись Кармак и Толдушка; низкой — р. Керлегеш, вследствие постоянного наличия в воде взвешенных глинистых частиц.

Цветность воды в зимний период в водохранилище была незначительная 3—5°. В весенний паводок от наличия органических и гуминовых веществ цветность фильтрованной воды повышалась до 40—50°, в июне в момент пышного развития диатомовых водорослей (астерионелла) до 60°, в августе она снизилась до 28°, несмотря на обильное «цветение», когда окраска воды в отраженном свете от наличия водорослей становилась ярко-зеленой. В осенний паводок цветность воды вновь возрастала, особенно в верхней части водохранилища до 50°, в предплотинной — не превышала 30°. В притоках цветность воды также менялась по сезонам (таблица 2).

Таблица 2.

Цветность воды (в градусах)

Станции	Март	Май	Июнь	Август	Октябрь				
Верхняя часть водохрани. на водоразделе рек Инчереп и Кара-Чумыш	3	5	50	45	60	35	35	50	50
Район островов выше речки Кузахтовой	5	3	45	45	60	35	30	50	48
Центр водохранилища	—	—	—	—	60	35	30	40	40
Залитые болота в районе р. Толдушки	10	12	45	40	60	35	30	35	38
Правый берег против первого подъема	5	5	45	45	60	35	28	28	30
Левый берег у водозабора первого подъема	5	5	45	45	60	35	28	28	29
Р. Кармак (устье)	3	3	17	13	—	25	25	13	25
• Кара-Чумыш	4	5	50	45	—	25	25	40	23
• Инчереп	3	3	40	40	60	40	25	25	50
• Кузахтовая	7	5	50	27	60	25	22	20	60
• Толдушка	10	10	50	25	22	12	12	15	60
• Керлегеш	5	3	20	13	60	35	15	18	25

Взвешенные вещества в воде водохранилища и притоках в зимий период не обнаружены; в мае количество их было незначительным, от 11,6 до 34,0 мг/л; потеря при прокаливании составляла от 0 до 13%, что указывает на минеральную природу взвешенных веществ. В августе содержание их было еще ниже — 0,4—26 мг/л, но потеря при прокаливании достигала до 59 и даже до 94%, что свидетельствует об органическом происхождении взвешенных веществ; в октябре, до наступления паводка, количество их было также незначительным (3,6—18,4 мг/л) и потеря колебалась от 0 до 30%.

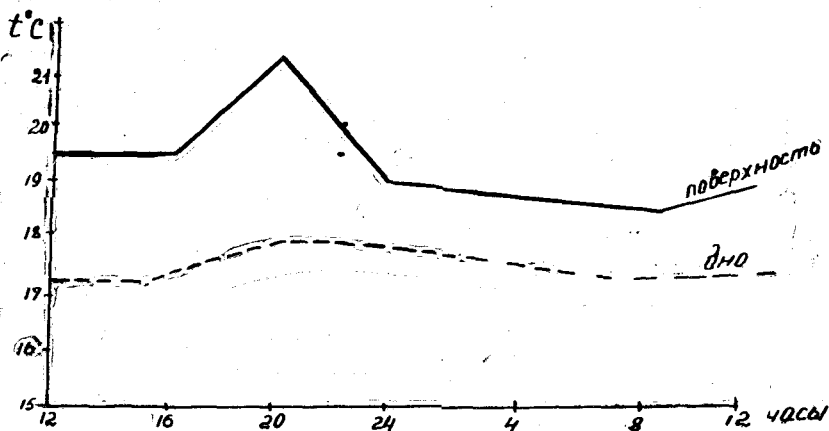


Рис. 1. Суточные колебания температуры воды 20 августа 1956 года

В притоках содержание взвешенных веществ в открытый период имело тот же предел колебаний, но с наступлением осеннего паводка количество их резко возросло, в притоке Керлегеш до 429 мг/л, причем взвесь была преимущественно минерального происхождения, так как потеря при прокаливании составила 12,5%, в Кармаке — 230 мг/л, взвесь больше органическая, поскольку потери при прокаливании составляли до 58%.

Муть в воде в подледный период характеризовалась легкой опалесценцией с включением изредка плавающих живых ракообразных. В мае появлялась мельчайшая коллоидная муть, которая удерживалась до октября с наличием большого количества животных и растительных организмов планктона.

Запах воды в водохранилище по сезонам характеризовался большим разнообразием: землистый, травянистый, болотно-землистый, затхлый, рыбный, известковый с интенсивностью от 1 до 5 баллов. Неоднородность запаха в открытый период, оче-

видно, вызвана развитием различных водорослей и разложением растительных и животных остатков.

Активная реакция воды (рН) в зимний и весенний периоды имела незначительные колебания, в пределах 6,95—7,70. В июне, с наступлением благоприятных условий для развития фитопланктона, показатель рН равнялся 7,90; в августе, в момент интенсивного фотосинтеза, он сдвинулся в щелочную сторону (8,0—8,45). Аналогичные сезонные изменения рН отмечались и в устьях притоков.

Суточные наблюдения за изменением активной реакции воды по вертикали в момент интенсивного развития микрофлоры показали, что в поверхностном слое активная реакция воды была более щелочная (8,3), чем у дна на глубине 8 м (7,44).

Окисляемость воды в водохранилище в зимний период наблюдалась сравнительно небольшая (1,3—3,0 мг/О₂/л), чему соответствовала низкая цветность (3—5°). В период весеннего половодья с увеличением цветности в водохранилище (до 45°) увеличивается и окисляемость, до 9,3—12,0 мг/О₂/л (таблица 3).

Таблица 3.
Окисляемость фильтрованной воды (в мг/О₂/л)

Станции	Март		Май		Август		Октябрь	
Верхняя часть водохранилища на водоразделе рек Инчереп и Кара-Чумыш	1,3	1,9	9,4	9,3	12,0	11,5	9,0	7,0
Район островов выше речки Кузахтовой	1,4	1,7	12,0	9,4	13,1	12,9	6,9	6,4
Центр водохранилища	—	—	—	—	12,5	12,0	6,9	6,8
Залитые болота в районе реки Толдушки	3,0	2,7	10,3	9,4	12,8	11,4	5,9	6,1
Правый берег против станции первого подъема	2,1	2,1	10,0	10,0	11,7	11,7	5,8	5,8
Левый берег против станции первого подъема	2,0	1,4	10,0	9,4	11,8	12,0	6,7	6,4
Р. Кармак (устье)	1,6	1,5	2,1	3,5	10,6	8,2	3,2	33,2
„ Кара-Чумыш „	1,7	2,5	10,4	8,5	9,6	8,8	7,4	14,0*
								4,1

* Фильтрованной воды

Станции	Март		Май		Август		Октябрь	
Р. Инчереп (устье)	1,3	1,4	10,4	9,4	13,8	12,0	4,8	16,1
Кузахтовая	1,4	1,5	12,7	6,6	9,3	7,0	1,6	19,7
Толдушка	2,8	2,7	11,6	8,5	5,6	3,2	1,6	17,3
Керлегеш	1,8	1,6	5,0	4,4	12,2	5,4	4,8	30,0
								7,0*

В августе высокую окисляемость (до 13 мг/л) обуславливали летние вспышки развития фитопланктона; в октябре она снизилась почти в два раза, но в момент паводка вновь возросла до 9,3 мг/О₂/л.

Помимо окисляемости, как условного показателя органического загрязнения воды, определялась биохимическая потребность кислорода. Максимум БПК₅ (4—7 мг/л) наблюдался в момент бурного развития микрофлоры и в подледный период на участках с наибольшим дефицитом кислорода.

Насыщение воды растворенным кислородом в марте было крайне напряженным и отличалось неравномерностью распределения по участкам водохранилища. В верхней его части насыщение составляло 73%, в приплотинной 48—7,7% нормы.

В мае содержание растворенного кислорода увеличилось до 83—92%, в июне (с повышением интенсивности биохимических процессов) наблюдался дефицит до 17—26%. В начале августа, во время усиленной фотосинтетической деятельности микрофлоры, имели место кислородные вспышки, достигающие 136—159% насыщения. В конце августа произошло снижение растворенного кислорода до 73%, вызванное отмиранием фито- и зоопланктона.

Соответственно менялось по сезонам и содержание свободной углекислоты, но в соотношениях обратных содержанию кислорода, и также характеризовалось неоднородностью распределения по водоему. Содержание СО₂ по отдельным пунктам по периодам года колебалось: в марте от 9,7 до 24 мг/л, в мае от 3,7— до 5,3 мг/л, в начале августа, в момент интенсивного фотосинтеза микрофлоры, свободная углекислота совсем исчезла, но в конце августа вновь появилась, сохраняясь до ледостава в пределах от 5 до 7 мг/л.

Суточными наблюдениями за изменением газового режима в водохранилище в поверхностных и придонных слоях установлена газовая стратификация (рис. 2).

Количество кислорода в поверхностном слое менялось в течение суток, достигая насыщения 124% в вечерние часы и минимума 90% — в утренние, в придонных слоях воды содержание кислорода было в 3 раза меньше (32%). Дефицит кислорода в

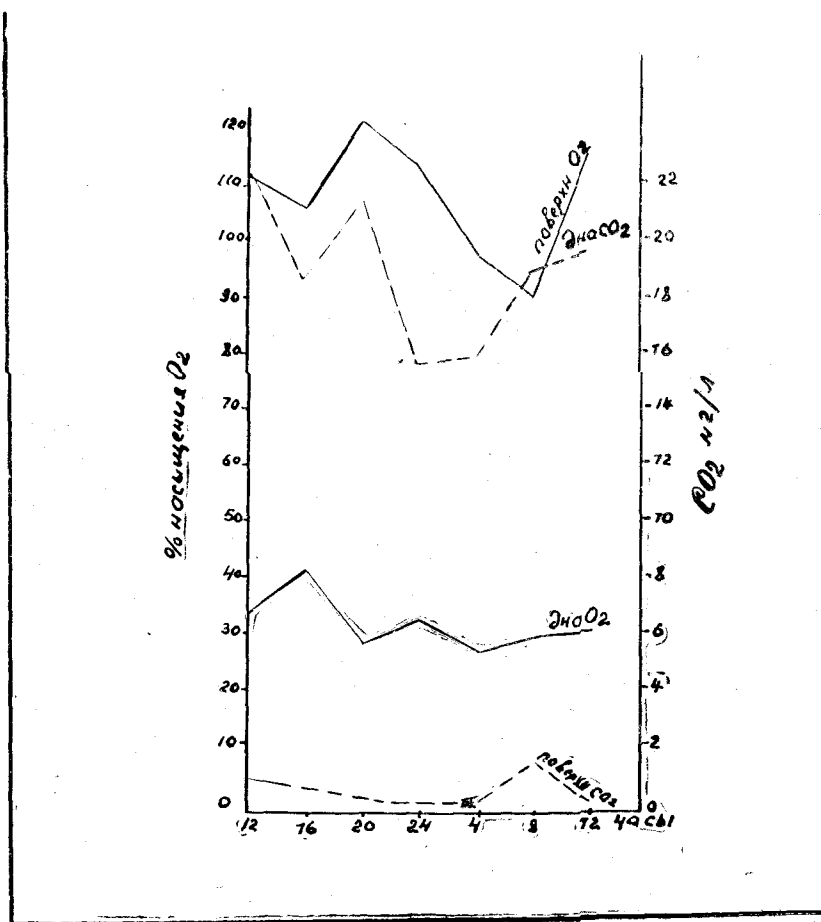


Рис. 2. Суточные колебания растворенного кислорода (%) свободной углекислоты (мг/л)

нижнем слое указывает на сильные окислительные процессы и отсутствие фотосинтеза здесь, чему и соответствовало максимальное содержание свободной углекислоты у дна (от 15 до

22 мг/л), в поверхностном слое углекислота отмечалась в ничтожно малых количествах или совсем отсутствовала.

С е р о в о д о р о д за весь период наблюдений не обнаружен.

Вода Кара-Чумышского водохранилища и питающих его притоков отличается богатством биогенных элементов, что обуславливает развитие обильной органической жизни в водоеме.

Максимальное содержание азота аммонийных солей до 0,5 мг/л, относится к моменту интенсивного развития и частичного разложения планктона и макрофитов (август), а не к подледному периоду, когда биологические процессы затухают и потребление азота сокращается. В зимний период количество азота аммиака не превышало 0,13 мг/л, в паводок наблюдалось колебание его от 0,11 до 0,38 мг/л. Аналогичные изменения солевого азота по сезонам происходили и в притоках. Азот нитратов и нитритов в момент бурного развития зеленых и сине-зеленых водорослей исчезал полностью. Однако, по мере отмирания и разложения фитопланктона, вновь накапливался NO_2 , достигая в октябре 0,002 мг/л и NO_3 до 0,15 мг/л, давая максимум в подледный период NO_2 0,008 и NO_3 1,2 мг/л.

Ф о с ф о р за весь период наблюдений обнаруживался в сотых долях (0,01—0,031 мг/л), еще больше снижаясь зимой и в момент развития микрофлоры. Несколько повышенное количество фосфора обнаружено в притоках Кармак 0,088 мг/л (август) и Керлегеш — 0,119 мг/л (октябрь). Средне-годовое содержание фосфора в притоках составляло 0,022 мг/л, в водохранилище — 0,016 мг/л.

Наименьшее количество общего железа (Fe^{+++}) в воде водохранилища выявлено в зимний период (0,05—0,17 мг/л), максимальное — 0,54 мг/л в июне, в период развития диатомовых водорослей. В августе, с повышением pH, а следовательно, частичным переходом железа в гидрат, количество его снизилось до 0,2 мг/л; в октябре вновь возросло до 0,46 мг/л, за счет притоков, которые в осенний паводок дали большое количество железа: Кара-Чумыш — 0,8, Инчереп — 1,5, Керлегеш — 2,8 мг/л.

К р е м н е к и с л о т а (SiO_2) в воде Кара-Чумышского водохранилища и притоков содержится в больших количествах, особенно в момент развития диатомовых водорослей (июнь) до 24—30 мг/л; в зимний период ее до 10,8 мг/л. Высокое содержание кремниевой кислоты в водоеме, вероятно, можно отнести за счет паводковых вод и наличия кремневых скелетов диатомовых водорослей, которые при массовой гибели возвращают кремний воде, В. И. Жадин (1950).

Вода водохранилища характеризуется средней минерализацией. Сухой остаток в зимний период не превышал

305 мг/л, жесткость 16,5°, в открытýй период сухой остаток имел колебание от 90 (май) до 200 мг/л (октябрь), соответственно менялась и общая жесткость от 3 до 10°. В открытýй период вода водохранилища может быть отнесена к слабоминерализованной. Минеральный состав обуславливается гидрокарбонатами кальция и магния, сульфаты и хлориды имеют второстепенное значение по сравнению с бикарбонатами. Наибольшее количество гидрокарбонатов отмечалось в подледный период (март — 352 мг/л); в мае происходит резкий спад (61 мг/л), после которого идет медленное, непрерывное нарастание в течение лета по всему водохранилищу и к концу октября HCO_3 в среднем достигает 186 мг/л, но осенний паводок вновь дает снижение до 148 мг/л. Соответствующие изменения претерпевали и другие солевые показатели воды (таблица 4).

Количество хлоридов в течение всего открытого периода было ничтожно (1,0—2,1 мг/л), зимний максимум составлял 6,8 минимум 3,0 мг/л. Сухой остаток при прокаливании терял в зимний период 0,3—4%; в мае потери увеличивались до 25, в августе — 45, в октябре — до 24—43%. Высокий процент потерь сухого остатка при прокаливании в летний период свидетельствует о довольно значительном содержании растворенных органических веществ в воде водохранилища.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ материалов, собранных в течение 1956 года по формированию гидрохимического режима Кара-Чумышского водохранилища и его притоков, позволяет сделать следующие обобщения.

Вода Кара-Чумышского водохранилища по физическим показателям в подледный период отвечает установленным гигиеническим нормам. В период открытой воды в связи с паводками и массовым развитием микрофлоры и микрофауны, физические свойства воды резко ухудшаются: появляется обильная коллоидная муть, низкая прозрачность, высокая цветность (40—60°), болотно-травянистый и рыбный запах, плавающие живые мелкие ракообразные и водоросли. В силу сказанного, вода в водохранилище становится в гигиеническом отношении неудовлетворительной и почти непригодной для питьевых целей без соответствующей очистки.

Цветность воды в водохранилище в осенний период убывала по направлению от зоны выклинивания к плотине. Реакция среды в период развития фитопланктона была

Таблица 4.

Сезонные изменения солевого состава воды в водохранилище

Показатели химизма	Март		Май		Июнь		Август		Октябрь	
	Верхн. и средняя зоны	Приплот. зона	Верхн. и средняя зоны	Приплот. зона	Верхн. и средняя зоны	Приплот. зона	Верхн. и средняя зоны	Приплот. зона	Верхн. и средняя зоны	Приплот. зона
Титрит. щелочн. в мл. н. к-ты . . .	5,71	5,72	1,34	1,15	1,80	1,58	3,33	3,21	3,14	3,55
Жесткость общая в градусах	16,0	16,0	3,8	3,6	—	—	9,2	9,0	8,8	9,9
НСО ₃ мг/л	348,7	348,9	82,5	69,8	110	96,4	201,3	196,4	190,3	216,4
Сухой ост. при 110°С мг/л	291,9	291,9	107,4	97,8	—	—	187,3	185,3	186,2	199,2
Са ⁺⁺	—	80,1	18,3	19,7	—	—	51,6	53,3	50,8	57,3
Mg ⁺⁺	10,1	11,8	4,8	3,9	—	—	7,8	7,9	6,9	7,4
SO ₄ ⁼⁼	6,31	6,7	3,8	5,4	—	—	3,6	3,9	6,5	6,43
Cl ⁻	2,98	5,1	1,54	1,6	—	—	1,4	1,3	1,2	1,1

щелочной, показатель рН держался устойчиво в пределах 8,0—8,4, в остальное время года он колебался от 6,95 до 7,95. Довольно высокая окисляемость воды (9—13 мгО₂/л) в открытый период свидетельствует о значительном количестве растворенных органических веществ в воде, чего не наблюдалось зимой (1,4 мгО₂/л).

Кислородный режим водохранилища в подледный период был крайне напряженным и характеризовался неравномерностью распределения О₂ по участкам водоема (4—73% насыщения); по вертикали отмечалась резкая кислородная недостаточность в открытый период (дефицит 16—27%). В момент бурной фотосинтетической деятельности микрофлоры (август) происходили кислородные вспышки (136—159% насыщения) и увеличивалось БПК₅.

Свободная углекислота не была обнаружена только в момент максимального фотосинтеза, в остальное время содержание ее в поверхностном слое колебалось от 1,0 до 24 мг/л. В летний период установлена газовая и термическая стратификация.

Вода водохранилища характеризуется высоким содержанием биогенных элементов, которые благоприятствуют обильному развитию органической жизни. Обращает на себя внимание особо высокое содержание кремния в водохранилище и его притоках, а также железа в притоках Керлегеш, Кармак и Кузахтовой в период осеннего паводка.

Воды водохранилища и его притоков характеризуются средней жесткостью, которая к концу подледного периода не превышает 16,5—18°. Минеральный состав воды обуславливается в основном гидрокарбонатами кальция и магния; хлориды и сульфаты, ввиду их малых количеств, существенного значения не имеют. В отдельные сезоны года вода характеризуется однородностью солевого состава по всем пунктам наблюдений. Сезонные изменения минерализации происходят закономерно; максимум 305 мг/л сухого остатка относится к концу подледного периода, минимум 90 мг/л — к весеннему периоду во время паводка. Увеличение минерализации после весеннего паводка идет довольно медленно и непрерывно, вследствие небольшой поточности водохранилища. В притоках увеличение минерализации наступает вслед за спадом паводка.

Учитывая, что водохранилище питается в основном паводковыми и ливневыми, слабоминерализованными водами, а также невысокий минеральный состав притоков, нельзя ждать значительного повышения в нем минерализации воды в последующие периоды формирования водоема.

Вследствие гидрологических, геологических и географических особенностей возникшего водоема, способствующих накоплению органических веществ в нем, не приходится ждать в ближайшие годы улучшения кислородного режима, особенно в подледный период.

При существующих способах эксплуатации водохранилища как питьевого источника (не осуществляются мероприятия по удалению славин, водной растительности; не производится механическая очистка дна на наиболее загрязненных участках и другие мероприятия, способствующие повышению самоочищающей способности водоема), нет оснований рассчитывать на уменьшение развития «цветения» и макрофитов, а следовательно, на снижение цветности, увеличение прозрачности, исчезновение запаха и снижение окисляемости в открытый период.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекси О. А. Общая гидрохимия, 1948.
- Драчев С. М. Клязьминское водохранилище как источник питьевого водоснабжения. Труды АМН СССР, 1951.
- Драчев С. М. Водохранилище как источник питьевого водоснабжения. Загрязнение и самоочищение водоемов, вып. 1, 1948.
- Жадин В. И. Жизнь в реках «Жизнь пресных вод СССР», т. III, 1950.
- Изъюрова А. И. Гидрохимия Клязьминского водохранилища в 1946 г. Труды АМН СССР, 1948.
- Киреева А. С. Некоторые данные по гидрохимии Рыбинского водохранилища. Труды биологической станции «БОРОК», 2, АН СССР, 1955.
- Лепнева С. Г. Жизнь в озерах. Жизнь пресных вод СССР, т. III, 1950.
- Митягина О. В. Цветность воды Клязьминского водохранилища. Труды АМН СССР, 1948.
- Сибиряков М. А. К изучению кислородного режима водоемов. Труды АМН СССР, 1951.
- Пауль И. И. и Виноградова В. А. Определение малых количеств сероводорода в воздухе. Новосибирский научно-исследовательский санитарный институт, 1953.
- Францев А. В. и Лебедева С. К. Химизм воды Учинского водохранилища. Труды Зоологического института, т. VII, вып. 1, АН СССР, 1941.
- Харкевич Н. С. Гидрохимическая характеристика Миккельского озера и Крошнозера. Труды Карельского филиала Акад. наук СССР, вып. II, 1956.
- Щербак ова А. Н. Гидрохимический режим Волги. Мологи и Шексны. Труды биологической станции «Борок», 1, 1950.