

06  
ИБВВ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

**ДИНАМИКА  
ВОДНЫХ МАСС  
ВОДОХРАНИЛИЩ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

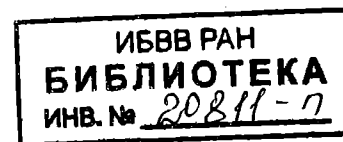
А К А Д Е М И Я    Н А У К    С С С Р

ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ВНУТРЕННИХ ВОД

*Труды, вып. 7 (10), 1*

ДИНАМИКА  
ВОДНЫХ МАСС  
ВОДОХРАНИЛИЩ

*(В СВЯЗИ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ  
ОРГАНИЗМОВ)*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

Ответственный редактор  
доктор биологических наук  
Б. С. КУЗИН

Редактор издания  
доктор биологических наук  
Б. К. ШТЕГМАН

## О ВОДНЫХ МАССАХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ

Понятие о водных массах возникло при изучении вод океана, и в практике океанологических исследований им пользуются уже давно. Впервые это понятие было введено Геланд-Гансеном (Helland-Hansen, 1912), а затем применено Дефантом (Defant, 1929). Дефант под водной массой подразумевал однородные, ограниченные или неограниченные водные объемы, характеризующиеся вполне определенными, более или менее постоянными физическими или химическими свойствами. Впоследствии понятие Дефанта о водной массе было уточнено В. К. Агеновым (1944). Под водной массой Агенов подразумевает такую достаточно большую массу воды, характеристики которой, формируемые климатическими и гидрологическими условиями, или совсем не меняются в пространстве, или меняются так, что градиент их остается постоянным.

Дальнейшее развитие этого вопроса связано с работами А. Д. Добровольского (1947, 1961), который дал следующее определение водной массы: «Водной массой следует называть некоторый, сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе Мирового океана — очаге, источнике этой массы, — обладающий в течение длительного времени почти постоянным и непрерывным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющих единый комплекс и распространяющихся как одно, единое целое». В результате такого определения водной массы стало возможным выделять ее в пределах того или иного бассейна с помощью некоторых числовых показателей, представляющих собой величины различных физических, химических и биологических характеристик.

Добровольский подчеркивает необходимость «резко различать понятия „водная масса“ как некая индивидуальность, со свойственными именно ей физико-химическими и биологическими характеристиками, и понятие „масса воды“, когда речь идет о любой воде как о веществе, наполняющей чашу моря». Эти два понятия особенно часто отождествляются при исследованиях внутренних водоемов, когда обычно под водной массой понимают именно любой объем воды, наполняющей водоем.

Для выделения водных масс в океанах и морях существует ряд косвенных методов, которые достаточно полно описаны В. Т. Тимофеевым и В. В. Пановым (1962).

Впервые термин «водная масса» применительно к пресноводным водоемам встречается в работах Г. Ю. Верещагина (1936). Используя многолетние наблюдения над температурой и отчасти гидрохимическими особенностями вод Байкала, Верещагин расчленил объем воды, наполняющей озеро, по вертикали на ряд зон: альтернирующую, зону мезотермического максимума, перенирующую и придонную. Каждая из этих зон имеет свою определенную водную массу, с присущими только ей физическими и хи-

мическими свойствами. Таким образом, расчленяя воды Байкала на ряд зон, Верещагин четко отличал понятие «водная масса» от массы воды, наполняющей водоем. Предложенная Верещагиным схема вертикальной зональности вод Байкала представляет собой первую попытку выделения водных масс в большом континентальном водоеме и не лишена недостатков, которые с точки зрения температурного режима подробно рассмотрены Л. Л. Россолимо (1957), а по химизму вод — К. К. Вотинцевым (1961). Однако, несмотря на эти недостатки, предложения Верещагина об использовании термических и некоторых гидрохимических показателей для выделения водных масс в континентальных водоемах имеют важное значение для изучения их гидрологического и гидрохимического режима. Развивая идеи Верещагина, вопросами зональности вод Байкала занимались и другие исследователи, в частности В. А. Толмачев (1957) и К. К. Вотинцев (1961), которые в основном подтвердили выводы Верещагина.

Исследования вод Байкала позволяют предполагать, что водные массы существуют и в других континентальных водоемах. Вполне понятно, что характеристики, служащие показателями водных масс для каждого водоема, могут быть различны, но горизонтальное и вертикальное распределение их в водоеме, обусловленное целым комплексом причин, имеет определенную закономерность.

Более поздние исследования Великих озер, выполненные американскими и канадскими учеными, подтвердили это положение. Изучая возможности регулирования вод Великих озер, некоторые организации США и Канады провели комплексное исследование этих водоемов. Большое внимание при этом уделялось изучению водных масс и их динамике. Так, Эйерс и др. (Ayers *et al.*, 1956) подробно изучили водные массы озера Гурон, а несколько позже — озера Мичиган (Ayers *et al.*, 1958). Подробное изучение гидрологии озера Онтарио выполнено Мортеном и Розенбергом (Morton, Rosenberg, 1959), а общая характеристика циркуляции вод в Великих озерах описана Эйерсом (Ayers, 1959).

При изучении водных масс Великих озер американские авторы применили тот же метод, что и Верещагин при изучении вод Байкала. Для выделения и характеристики водных масс они использовали комплекс гидрологических и гидрохимических показателей. В число таких показателей входили температура воды, цветность и прозрачность, электропроводность, содержание в воде ионов магния, кремния и кальция. Работы американских исследователей на Великих озерах подтвердили возможность применения понятия «водная масса» к пресным водоемам и показали, что распределение значений некоторых гидрологических и гидрохимических показателей, обусловленное целым комплексом причин, позволяет выделить в водоеме отдельные водные массы, обладающие определенными индивидуальными физическими и химическими свойствами, присущими только данной водной массе. Таким образом, работами русских и зарубежных авторов убедительно показано, что понятие «водная масса» применимо не только к морям, но также и к большим пресноводным озерам.

В результате интенсивного гидротехнического строительства, особенно в СССР, возникли крупные искусственные водоемы — водохранилища. Такие гиганты-водохранилища, как Братское, Куйбышевское, Рыбинское и др., по площади зеркала превосходят некоторые большие естественные озера. Большая акватория водохранилищ, значительные участки рек с различным гидрологическим и гидрохимическим режимом в зоне подпора, замедленный водообмен, особенности ветрового перемешивания и поступления грунтовых вод в разных частях водохранилищ дают основание предполагать и в их пределах наличие различных по составу водных

масс. Это прежде всего связано с тем, что водохранилища питаются водами основной реки (а иногда и нескольких, как Рыбинское) и водами боковой притока. Физические и химические характеристики вод, питающих водохранилища, часто существенно различаются между собой, поэтому естественно, что, поступая в водоем замедленного водообмена, эти воды в определенных районах более или менее продолжительное время сохраняют свои свойства и представляют в водоеме обособленные водные массы.

На наличие водных масс различного происхождения в водохранилищах впервые обратил внимание М. А. Фортунатов (1959). Изучая степень окрашенности вод и характер ее изменения, а также прозрачность воды, он установил наличие различных водных масс в Рыбинском водохранилище, показал их распределение и высказал соображения о возможностях использования этих показателей для изучения трансформации вод в водоеме замедленного водообмена.

Несколько позже Н. М. Казаровец (1960), применяя кондуктометрический метод, показала, что даже в навигационный период, когда водоем подвержен интенсивному ветровому перемешиванию, в Рыбинском водохранилище хорошо выделяются водные массы различного происхождения. Это дает основание использовать понятие «водная масса» и при изучении режима водохранилищ.

Однако, учитывая специфические особенности водоемов суши, нельзя механически перенести существующее в океанологии определение водной массы на эти водоемы, — хотя бы потому, что очаги или источники формирования их совершенно различны. Если океаническая водная масса формируется в океане, то водные массы континентальных водоемов обычно формируются на водосборе бассейна и при этом целиком определяются геологическими, морфологическими и природными условиями бассейна. В отличие от океанических водных масс, физико-географические особенности водосборов обуславливают на суше в однородных климатических условиях формирование различных по свойствам водных масс. Исходя из этих соображений, для континентальных водоемов понятие «водная масса» следует сформулировать таким образом: «Водной массой можно называть некоторый, сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенных физико-географических условиях бассейна или в самом водоеме, обладающий в течение каждой фазы гидрологического режима почти постоянными величинами и непрерывным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющих единый комплекс и распространяющихся как одно, единое целое».

Естественно, что понятие «водная масса» является в известной степени условным. Из самого определения следует, что единого метода выделения водных масс для любого водоема не существует и не может быть, так как каждому водоему свойственны индивидуальные особенности в распределении и изменении как гидрологических, так и других характеристик водной среды. Следовательно, методы выделения водных масс в конкретных условиях должны учитывать особенности гидрологического режима водоема.

Используя химические и физические характеристики вод, нам удалось установить, что в Рыбинском водохранилище водные массы различного происхождения отчетливо прослеживаются в течение всего года (Рыбопромысловый атлас Рыбинского водохранилища, 1963). Наиболее легко в этом водоеме выделяются воды Волги, Мологи, Шексны и центральной части водохранилища. Различия в некоторых показателях этих водных масс отчетливо видны из табл. 1.

Более детальное изучение распределения вод Рыбинского водохранилища в весенний период (Ершова, паст. сб.) показало, что и при значительной проточности водоема во время его наполнения указанные выше водные массы сохраняют свои особенности. Это относится не только к весне, но и к другим сезонам года (табл. 2). В отдельные сезоны существенные различия между водными массами отчетливо прослеживаются даже на ограниченных участках водоема; из табл. 3 видно, что жесткая вода, двигаясь по бывшему руслу Волги, заполняет также значительную часть правобережной поймы. На левую пойму эта вода практически не распространяется. Переливаясь в придонном слое через водораздел между Волгой и Суткой, она заполняет затопленное русло Сутки и не выходит за его пределы. От этого русла вся левобережная пойма занята мягкими водами не волжского происхождения. Наиболее резкое изменение всех показателей, использованных для выделения водных масс, отмечается на водоразделе между Волгой и Суткой и указывает на существование в этом

Таблица 1

Некоторые характеристики водных масс Рыбинского водохранилища в весенний период

Водная масса	№№ станций	Температура		Электропроводность, ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>		Гидрокарбонаты, мг-экв./л		Жесткость, мг-экв./л		Цветность, град.		Прозрачность, см
		поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно	поверхность	дно	
1960 г.												
Шекснинская	23	8.00	8.00	92 · 10 <sup>-6</sup>	93 · 10 <sup>-6</sup>	0.71	0.69	1.09	1.09	70	70	90
	24	6.30	6.10	78 ·	79 ·	0.58	0.58	0.97	0.89	60	65	110
	25	4.00	3.80	79 ·	80 ·	0.58	0.59	0.95	0.88	55	50	90
Моложская	36	10.10	10.20	97 ·	97 ·	0.80	0.79	1.10	1.08	60	60	—
	37	10.00	10.09	95 ·	95 ·	0.82	0.82	1.14	1.15	60	60	100
	38	9.20	8.41	88 ·	89 ·	0.72	0.72	1.03	0.95	65	60	80
Волжская	1	8.10	7.90	114 ·	110 ·	0.91	0.90	1.16	1.14	35	35	90
	2	7.80	7.60	109 ·	109 ·	0.91	0.89	1.20	1.15	45	38	90
	7	7.40	7.23	104 ·	106 ·	0.91	0.90	1.12	1.07	35	35	95
Центральной части водохранилища	10	4.20	3.95	241 ·	244 ·	2.15	2.17	2.43	2.48	25	23	150
	33	4.30	4.30	211 ·	212 ·	1.80	1.81	2.06	2.06	25	20	130
	34	3.40	3.20	272 ·	270 ·	2.39	2.42	2.48	2.73	30	40	180
1961 г.												
Шекснинская	23	6.60	2.20	105 · 10 <sup>-6</sup>	107 · 10 <sup>-6</sup>	0.65	0.72	1.29	1.76	70	70	110
	24	2.00	2.10	128 ·	136 ·	0.68	0.88	1.89	1.66	40	30	100
	25	2.40	2.70	171 ·	206 ·	1.18	1.32	1.98	2.34	60	50	110
Моложская	36	10.10	10.20	98 ·	90 ·	0.70	0.72	1.36	1.36	70	80	—
	37	9.70	8.90	88 ·	90 ·	0.50	0.62	1.15	1.34	75	75	110
	38	9.20	7.10	93 ·	100 ·	0.68	0.75	1.52	1.33	70	65	110
Волжская	1	8.50	8.40	117 ·	110 ·	0.95	0.95	1.34	1.27	40	40	—
	2	8.60	8.40	115 ·	116 ·	1.00	0.95	1.76	1.34	40	40	120
	7	4.80	4.80	127 ·	127 ·	1.10	1.18	1.46	1.48	35	35	120
Центральной части водохранилища	10	2.60	2.50	226 ·	227 ·	1.95	2.05	2.60	2.55	40	40	185
	33	2.00	2.22	216 ·	215 ·	1.88	1.88	2.67	2.48	40	40	—
	34	2.20	2.30	198 ·	198 ·	1.55	1.70	2.57	2.25	40	40	—

Т а б л и ц а 2

Сезонное изменение характеристик водной массы центральной части  
Рыбинского водохранилища в 1961 г.

Сезон	№№ станций	Температура		Электропроводность, $\text{ом}^{-1} \text{см}^{-1}$		Гидрокарбонаты, мг-экв./л		Жесткость, мг-экв./л		Цветность, град.		Прозрачность, см
		поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	
Весна	10	2.60	2.50	$226 \cdot 10^{-6}$	$227 \cdot 10^{-6}$	1.95	2.05	2.60	2.55	40	40	185
	33	2.00	2.22	216 ·	215 ·	1.88	1.88	2.67	2.48	40	40	—
	34	2.20	2.30	198 ·	198 ·	1.55	1.70	2.57	2.25	40	40	—
Лето	10	21.40	20.05	155 ·	158 ·	1.45	1.42	1.67	1.75	35	35	140
	33	21.00	19.40	156 ·	158 ·	1.43	1.47	1.82	1.96	50	50	160
	34	21.50	19.83	153 ·	156 ·	1.43	1.44	1.77	1.23	50	50	130
Осень	10	10.00	9.90	165 ·	165 ·	1.25	1.25	1.77	1.72	40	50	170
	33	10.10	10.10	148 ·	148 ·	1.10	1.03	1.60	1.73	40	40	130
	34	9.90	9.80	146 ·	147 ·	1.01	0.85	1.62	1.64	40	40	110
Зима	10	0.70	1.60	202 ·	217 ·	1.85	1.82	2.49	2.40	50	50	—
	33	0.60	2.40	169 ·	222 ·	1.05	1.88	1.91	2.62	25	40	—
	34	0.90	2.90	164 ·	184 ·	1.02	1.48	2.01	2.34	30	25	—

Т а б л и ц а 3

Некоторые характеристики водных масс волжского плеса по створу  
Борок—Коприно 10 апреля 1962 г.

№№ вертикалей	Расстояние от уреза правого берега, м	Электропроводность, $\text{ом}^{-1} \text{см}^{-1}$		Гидрокарбонаты, мг-экв./л		Жесткость, мг-экв./л		Кальций, мг-экв./л	
		поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно
1	420	$275 \cdot 10^{-6}$	$275 \cdot 10^{-6}$	2.38	2.38	2.74	2.97	1.76	2.00
2	820	269 ·	271 ·	2.36	2.45	2.74	2.54	1.88	1.92
3	1060	274 ·	282 ·	2.27	2.38	2.81	2.97	1.84	2.00
4	1420	78 ·	293 ·	0.51	2.62	0.93	3.03	0.60	2.08
5	1500	75 ·	213 ·	0.48	1.69	0.87	2.39	0.48	1.53
6	1560	73 ·	256 ·	0.47	2.16	1.05	2.52	0.48	1.80
7	1700	65 ·	67 ·	0.47	0.42	0.87	0.85	0.50	0.45
8	1920	67 ·	76 ·	0.18	0.46	0.85	0.81	0.48	0.54
9	2130	63 ·	61 ·	0.85	0.36	0.62	0.64	0.41	0.45

месте границы между этими водными массами (Буторин и Бакулин, 1963). Подобные явления наблюдаются и на других водохранилищах.

Исследуя изменения химического состава воды Волги в связи с образованием Горьковского и Куйбышевского водохранилищ и применяя для определения неоднородности химического состава ее электропроводность, А. А. Зенин (1961) обнаружил, что водная масса обоих водохранилищ, особенно Волги ниже устья Оки, по химическому составу неоднородна. Полностью подтвердилось мнение Г. И. Долгова (1928) о том, что более



минерализованная окская вода на всем протяжении от устья Оки до устья Суры располагается у правого берега и четко отличается от волжской. Полное смешение волжской и окской воды происходит только через несколько десятков километров и зависит от скорости потоков, соотношения их расходов, рельефа дна, конфигурации берегов и ряда других причин. Поскольку скорости течения, а следовательно и водообмен, в водохранилищах значительно ниже, чем в реке, то смешение водных масс различного происхождения в них происходит еще медленнее. На примере Горьковского водохранилища это хорошо показал К. К. Эдельштейн (наст. сб.). Исследуя по ряду физико-химических показателей воды, поступающие в Горьковское водохранилище, он пришел к выводу, что воды, сформировавшиеся в одинаковых физико-географических условиях, имеют устойчивый комплекс физических и химических показателей, который позволяет выделить в водоеме отдельные водные массы, приуроченные к определенным районам водохранилища (табл. 4).

Таблица 4

Некоторые характеристики водных масс Горьковского водохранилища  
2—5 сентября 1962 г.  
(По К. К. Эдельштейну)

Водные массы	Температура	Электропроводность, $\text{ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	Гидрокарбонаты, $\text{мг-экв./л}$	Жесткость, $\text{мг-экв./л}$	pH	Цветность, град.	Прозрачность, см
Волжская (буй № 19) . . .	15.0	$173 \cdot 10^{-6}$	1.22	1.95	7.9	50	110
Р. Немды (Сорочково) . .	13.4	99 .	0.53	1.12	7.4	170	80
Р. Унжи (Селянцево) . .	14.2	126 .	1.06	1.55	7.7	120	110
Водохранилища (русло у буй № 14)	13.7	140 .	1.14	1.69	7.9	60	120

Все это дает основание использовать понятие «водная масса» при исследовании вод озер и водохранилищ. Изучение этого вопроса имеет важное значение для познания закономерностей гидрологического режима континентальных водоемов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- А г е н о р о в В. К. 1944. Об основных водных массах в гидросфере. Тр. п.-и. учреждений, сер. V (Гидрология моря), вып. 10, Гидрометеониздат.
- Б у т о р и н Н. В. и К. А. Б а к у л и н. 1963. Структура скоростного поля зимнего потока на разрезе Борок—Коприно. В сб.: Биол. аспекты изуч. водохр., Изд. АН СССР, М.—Л.
- В е р е щ а г и н Г. Ю. 1936. Основные черты вертикального распределения динамики водных масс на Байкале. В сб.: Работы акад. В. И. Вернадского, к пятидесятилетию научной и педагогической деятельности, Изд. АН СССР, М., вып. 2.
- В о т и н ц е в К. К. 1961. Гидрохимия озера Байкал. Тр. Байкальской лимнол. ст., т. XX.
- Д о б р о в о л ь с к и й А. Д. 1947. Водные массы северной части Тихого океана. (Дисс.). МГУ, М.
- Д о б р о в о л ь с к и й А. Д. 1961. Об определении водных масс. Океанология, вып. 1.

- Долгов Г. И. 1928. О неоднородности воды в реке. Русский гидробиол. журнал, № 3—4.
- Ершова М. Г. 1965. Распределение вод различного происхождения в Рыбинском водохранилище в весенний период. Наст. сб.
- Зенин А. А. 1961. Неоднородность состава волжской воды и процессы смещения ее водных масс. Гидрохим. матер., т. XXXI.
- Казаровец Н. М. 1960. Применение кондуктометрического метода к изучению распределения водных масс Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр., № 7.
- Россолимо Л. Л. 1957. Температурный режим озера Байкал. Тр. Байкальской лимнол. ст., т. XVI.
- Рыбопромысловый атлас Рыбинского водохранилища. 1963. Ярославль.
- Тимофеев В. Т., В. В. Панов. 1962. Косвенные методы выделения и анализа водных масс. Гидрометеониздат, Л.
- Толмачев В. А. 1957. Некоторые гидрохимические показатели внутреннего водообмена в Байкале. Докл. АН СССР, т. 113, № 3.
- Фортулатов М. А. 1959. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его режима. Тр. Инст. бпол. водохр., вып. 2 (5).
- Эдельштейн К. К. 1965. Водные массы озерной части Горьковского водохранилища. Наст. сб.
- Ayers J. C. 1959. Great Lakes waters-circulation and physical and chemical characteristics. Bull. Geol. Soc. America, 70, № 12, Part 2, 1799.
- Ayers J. C., D. V. Anderson, D. C. Chandler, G. H. Lauff. 1956. Currents and water masses of lake Huron. Publ. Gr. Lakes Res. Inst., № 1.
- Ayers J. C., D. C. Chandler, G. H. Lauff, C. F. Powers, E. Henson. 1958. Currents and water masses of lake Michigan. Publ. Gr. Lakes Res. Inst., № 3.
- Defant A. 1929. Dynamische Oceanographie. Berlin.
- Holland-Hansen B. 1912. The Ocean Waters. Int. Rev. d. Ges. Hydrob. u. Hydrogr., Hydrogr. Suppl., 1 ser., H. 2.
- Morton F. I., H. B. Rosenberg. 1959. Hydrology of lake Ontario. J. Hydrolog. Div. Proc. Amer. Soc. Civil. Engrs., 85, № 5.
-

К ИЗУЧЕНИЮ ВОДНЫХ МАСС РЫБИНСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА

Для раскрытия закономерностей гидрологического режима Рыбинского водохранилища большое значение имеет изучение формирования, распределения и трансформации водных масс. С водными массами в водоеме перемещаются тепло, растворенные газы и соли, взвешенные органические и неорганические вещества. Четкое представление о водных массах, наполняющих водоем, позволит не только уточнить и дополнить сведения по отдельным элементам водного режима, но и может служить основой при расчетах водного, теплового, химического и биотического балансов водоема. Данные о водных массах дают возможность подойти к изучению генезиса взвесей и их аккумуляции в водоеме.

Многолетние исследования Института биологии внутренних вод АН СССР показали, что изучение водных масс необходимо и для познания биологических процессов, протекающих в водоемах. Вода, наполняющая водоем, представляет собой среду обитания живущих в ней организмов. Отличительной особенностью этой среды является ее подвижность, которая определенным образом действует на населяющие ее организмы. От нее зависит не только распределение температуры и других физических и химических характеристик водной толщи, но и распределение организмов. В отношении зоопланктона это убедительно показано Р. Рагоцким и Р. Брисоном (Ragotzkie, Bryson, 1953) на примере распространения взрослых дафний в озере Мендота, а советскими авторами (Монаков, 1958; Мордухай-Болтовской и Монаков, 1963) — на ряде других организмов в Рыбинском водохранилище. Подвижность среды влияет не только на распределение животного и растительного планктона. Перемещения водных масс способствуют распространению икры и молоди рыб, пока они не приобретут способности к самостоятельному передвижению (Carruthers, 1954). Кроме того, подвижность среды, особенно течения, сказывается на ориентации рыб и в значительной степени управляет передвижением их в районы, где они находят благоприятные условия существования. Это говорит о том, что при изучении распределения организмов в водоеме и для познания биологических процессов, протекающих в нем, необходимо иметь данные о конкретных свойствах водных масс водоема. Этот вопрос и рассматривается в настоящей работе на примере Рыбинского водохранилища.

Рыбинское водохранилище представляет собой водоем замедленного водообмена, наполнение и питание которого происходит в основном за счет речного стока с его бассейна. Следовательно, формирование водных масс его должно определяться прежде всего особенностями вод, поступающих в водоем, а распределение и динамика их зависят от соотношения приходной и расходной составляющих водного баланса. В связи с этим,

прежде чем рассматривать вопрос о водных массах водохранилища, необходимо иметь представление об основных составляющих водного баланса водоема и об особенностях вод хотя бы наиболее крупных рек, за счет которых происходит основное наполнение и питание водоема. Характеристику основных составляющих водного годового баланса Рыбинского водохранилища и пределы колебаний отдельных элементов с 1947—1948 по 1954—1955 гг. (в км<sup>3</sup>) мы приводим по данным В. И. Рутковского и Т. Н. Курдиной (1959).

Элементы водного баланса	Средний приход	Пределы колебаний годовых величин
Приток . . . . .	33.30	27.8—46.4
Осадки . . . . .	2.08	1.7—2.9
Ошибки . . . . .	—0.26	0.75%
<hr/>		
Всего . . . . .	35.12	
<hr/>		
Элементы водного баланса	Средний расход	Пределы колебаний годовых величин
Сброс . . . . .	31.30	23.6—44.4
Испарение . . . . .	2.15	1.6—2.5
Фильтрация . . . . .	1.2	—
Изменение объема водохранилища с апреля 1947 г. по апрель 1955 г. . . . .	0.2	—
Ошибки . . . . .	0.27	0.75%
<hr/>		
Всего . . . . .	35.12	

При разрешении вопроса о формировании водных масс водохранилища наибольший интерес представляет приходная составляющая водного баланса, а в ней — приток воды за счет отдельных рек (табл. 1).

Из таблицы видно, что значительную часть общей приточности Рыбинского водохранилища составляют малые реки, сток которых по периметру водохранилища распределяется неравномерно. Однако по географическим и геологическим особенностям своих бассейнов они в большинстве случаев тяготеют к одной из основных рек бассейна водохранилища: Волге, Мологе или Шексне. Естественно, что, располагаясь в сходных физико-географических условиях с крупными реками, воды малых рек по химическому составу близки к ним (Алексин, 1948). Учитывая это, мы предприняли попытку распределить сток малых рек между Волгой, Мологой и Шексой, чтобы в дальнейшем учитывать его со стоком этих рек.

Распределение стока малых рек бассейна водохранилища между Волгой, Мологой и Шексой производилось с учетом ландшафта территории по водоразделам этих рек, а затем подсчитывался сток Волги, Мологи и Шексы с учетом стока малых рек (табл. 2).

Расчеты стока выполнены нами за два крайних по водности года: мало-водного (1954 г.) и многоводного (1955 г.). Следовательно, абсолютные

Т а б л и ц а 1

Соотношение отдельных составляющих приточности Рыбинского водохранилища (по В. И. Рутковскому и Т. Н. Курдиной)

Реки	Приточность, %
Волга . . . . .	36
Молога . . . . .	13
Шексна . . . . .	15
Малые реки . . . . .	36

значения приточности отдельных лет должны быть в пределах указанных величин. Из табл. 2 видно, что значения приточности в водохранилище от года к году могут изменяться в больших пределах, но распределение стока между Волгой, Мологой и Шексой независимо от водности года практически остается постоянным. Сопоставляя данные табл. 1 и табл. 2, легко заметить, что распределение стока малых рек между Волгой, Мологой и Шексой вносит существенные изменения в сток Мологи и Шексны.

Таблица 2

Распределение стока малых рек бассейна водохранилища между Волгой, Мологой и Шексой				
Реки	1954 г.		1955 г.	
	км³	%	км³	%
Волга . . . .	9.82	35	18.83	37
Молога . . . .	7.52	27	13.08	26
Шексна . . . .	10.75	38	17.84	37
Всего . . . .	28.09	100	49.75	100

анализа сезонных изменений стока рек. На рис. 1 показана последовательность изменений стока Волги, Мологи и Шексны в течение года. Хотя кривые рис. 1 характеризуют сезонные изменения стока лишь для крайних по водности годов, тем не менее они дают представление о существенных различиях во внутригодовом распределении стока рассматриваемых рек (табл. 3).

Таблица 3

Распределение годового стока волжских, моложских и шексинских вод по сезонам									
Река	Весна (IV—V)		Лето (VI—VIII)		Осень (IX—XI)		Зима (XII—III)		
	км³	%	км³	%	км³	%	км³	%	
Маловодный год (1954)									
Волга . . . . .	3.28	33.4	1.10	11.2	2.16	22.0	3.28	33.4	
Молога . . . . .	3.05	40.6	1.32	17.6	2.02	26.8	1.13	15.0	
Шексна . . . . .	3.49	32.4	2.43	22.6	3.25	30.3	1.58	14.7	
Многоводный год (1955)									
Волга . . . . .	12.23	64.9	2.65	14.1	1.06	5.6	2.89	15.4	
Молога . . . . .	8.39	64.2	3.04	23.2	0.73	5.6	0.92	7.0	
Шексна . . . . .	9.15	51.3	5.45	30.6	2.13	11.9	1.11	6.2	

Из рис. 1 видно, что сезонное распределение стока Мологи и Шексны после создания Рыбинского водохранилища практически не изменилось. Значительная часть годового стока этих рек приходится на весеннее половодье. Участие весеннего стока в годовом для Мологи и Шексны состав-

сток первой из них увеличивается по сравнению со средним многолетним в маловодный год на 14% и в многоводный на 13%, а второй, соответственно, на 23 и 22%. С учетом стока малых рек, сток Волги и Шексны практически одинаков, а Мологи — значительно меньше (табл. 2). Отсюда следует, что Волга и Шексна по объему годового стока принимают одинаковое участие в формировании водных масс Рыбинского водохранилища, а доля участия Мологи несколько меньше.

Для выявления участия вод той или иной реки в формировании водных масс водохранилища в отдельные сезоны года возникает необходимость

дает 30—40% в маловодный и 50—60% в многоводный годы. Весенний сток Шексны всегда несколько больше стока Мологи.

Более существенные различия в объеме стока моложских и шекснинских вод наблюдаются в летне-осенний период. Летний сток Шексны заметно больше стока Мологи. Объем осеннего стока рек зависит от величины и характера осенних паводков. Обычно объем осеннего стока больше летнего, — так, в 1954 г. он превышал летний на 11.2% для Мологи и на 7.7% для Шексны; но в отдельные годы он может быть и меньше летнего (табл. 3). Минимальный сток в году как для Мологи, так и для Шексны наблюдается зимой. В отдельные годы зимний сток этих рек составляет менее 10% от годового. По объему, как и в предшествующие сезоны, сток Шексны зимой значительно больше зимнего стока Мологи.

Несколько иное распределение стока по сезонам года наблюдается в Волге. В результате сооружения Иваньковского и Угличского водохра-

Таблица 4

Некоторые характеристики вод Волги, Мологи и Шексны до создания водохранилища  
(По А. П. Щербакову)

Дата	Температура	Прозрачность, см (по Секки-лену)	Цветность, град.	Ca	Mg	НСО <sub>3</sub>	Общая жесткость, град.
В о л г а							
17 II	0.05	29	20	77.0	19.6	284.8	15.3
24 III	—	—	15	48.3	11.9	184.0	9.5
26 IV	—	—	66	19.3	3.7	58.5	3.6
5 V	5.4	10	83	22.6	4.9	63.9	4.1
10 VI	—	19	71	40.5	8.7	122.8	7.7
2 VII	20.5	11	58	37.9	8.6	140.4	7.3
17 VIII	21.7	13	55	46.5	11.3	170.0	9.1
13 IX	11.4	12	40	46.3	11.4	168.3	9.1
30 XII	0.00	16	23	59.7	14.9	216.9	11.8
М о л о г а							
18 II	0.0	24	35	66.2	17.2	246.8	13.3
12 III	—	—	21	51.2	13.7	187.2	10.4
14 III	—	—	16	43.8	11.1	157.8	8.7
27 III	0.05	60	20	54.5	14.7	210.5	11.0
1 IV	—	—	17	59.1	14.2	199.2	11.6
2 IV	—	—	20	62.0	14.4	208.1	12.0
6 V	7.6	14	130	17.4	4.0	53.5	3.4
29 VI	20.6	19	71	41.3	9.5	132.7	8.0
10 VII	21.0	21	70	42.5	10.3	139.7	8.3
20 VIII	21.2	24	40	43.3	11.6	151.1	8.8
21 IX	—	—	21	49.1	15.4	187.6	10.5
22 IX	10.9	37	34	49.1	13.9	173.5	10.1
22 IX	10.8	35	32	50.9	13.8	172.0	10.3
Ш е к с н а							
20 II	0.0	19	37	79.7	19.4	232.2	15.7
25 III	—	22	30	74.8	20.6	220.2	15.2
7 V	6.1	9	125	18.5	4.6	48.3	3.7
7 VII	18.2	14	88	37.1	9.4	108.7	7.4
16 VIII	21.4	10	45	29.4	7.9	98.0	5.9
30 XII	0.0	22	38	51.0	14.2	159.3	10.4

илищ естественное распределение стока Волги нарушилось. Для маловодных и средних по водности лет распределение стока по сезонам стало более равномерным. Частичная аккумуляция весеннего половодья и стока летне-осенних паводков заметно уменьшили весенний и летне-осенний сток Волги, а искусственные пуски воды из Угличского водохранилища значительно увеличили зимний сток. Так, из табл. 3 видно, что для маловодного 1954 г. весенний и зимний сток волжских вод равны по объему и составляют 33.4% годового. В многоводный 1955 г., ввиду малой емкости вышележащих водохранилищ, весенний сток Волги значительно увеличивается и в отдельных случаях может составить свыше 60% годового.

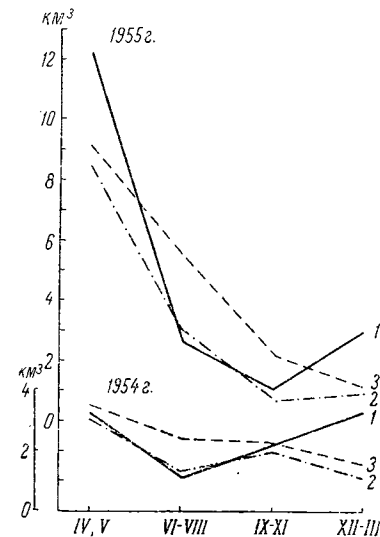


Рис. 1. Кривые сезонного изменения стока Волги (1), Мологи (2) и Шексны (3) в многоводный (1955) и маловодный (1954) годы.

Анализ распределения стока Волги, Мологи и Шексны по сезонам года показывает, что в отдельные сезоны участие каждой реки в формировании водных масс Рыбинского водохранилища различно. Весной объем волжских, моложских и шекснинских вод, поступающих в водохранилище, в маловодные годы практически одинаков, а в многоводные — заметно преобладают волжские воды. Летом наблюдается обратная картина. Как в маловодные, так и в многоводные годы волжские воды по объему заметно уступают моложским и особенно шекснинским. Такое соотношение в объеме вод, поступающих в водохранилище, сохраняется и осенью. В зимний период резко увеличивается поступление волжских вод. Зимний сток Волги превышает сток моложских и шекснинских вод, взятых вместе.

Таким образом, водная масса центральной части водохранилища весной формируется в общем почти равномерно всеми тремя потоками, летом и осенью основное участие в формировании ее принимают воды Шексны, а зимой — преимущественно волжские воды.

В связи с сооружением плотины у Череповца и зарегулированием стока Шексны, сезонное распределение его изменится и по характеру будет близким к волжскому потоку.

Установив количественное соотношение вод Волги, Мологи и Шексны в приточности водохранилища в течение года и по сезонам, необходимо привести некоторые данные, характеризующие состав вод этих рек, и показать существующие различия между ними, которые должны проявляться и в водохранилище. Так как при выделении водных масс в Рыбинском водохранилище мы используем некоторые гидрохимические показатели, то для качественной характеристики вод, поступающих в водохранилище, можно взять их химический состав.

Некоторое представление о гидрохимической характеристике вод Волги, Мологи и Шексны в районе водохранилища до его образования можно получить из работы А. П. Щербакова (1950). Данные по цветности воды и основным компонентам солевого состава для этих рек представлены в табл. 4, из которой видно, что воды всех трех рек имеют довольно высокую цветность, но воды Мологи и Шексны по цветности заметно превосходят волжские. Это особенно заметно в период весеннего половодья и во

время осенних паводков, когда моложская и шекснинская воды окрашены значительно сильнее волжской.

По общей минерализации все три реки в общем сходны между собой. Это особенно хорошо прослеживается во время весеннего половодья, когда в реках наблюдается наименьшая концентрация солей. Подобная картина в это время наблюдается и в отношении общей жесткости воды. Нарастание минерализации летом и осенью происходит одновременно во всех этих реках, но в Шексне оно идет медленнее, чем в Волге и Мологе. Наиболее отчетливо различие в минерализации вод этих рек прослеживается зимой, в период максимальных ее значений, когда наименьшая минерализация воды наблюдается в Мологе, а наибольшая — в Шексне.

Как и по общей минерализации, в период весеннего половодья воды Волги, Мологи и Шексны сходны между собой по содержанию бикарбонатов, — особенно Волги и Мологи. Только в отдельные сезоны намечается незначительное преобладание их в воде Волги. Шекснинская вода заметно беднее бикарбонатами, чем волжская и моложская. Более существенные различия вод рассматриваемых рек прослеживаются по сульфатам. Весной Шексна имеет несколько повышенное содержание их по сравнению с Волгой и Мологой. Если в воде Волги и Мологи сульфаты составляют около 25% общей суммы анионов, то в Шексне их около 35% (Щербаков, 1950). После половодья содержание сульфатов в Шексне увеличивается быстрее, чем в Волге и Мологе, и к зиме воды Шексны в несколько раз богаче сульфатами, чем волжские и моложские. Разница в содержании сульфатов в воде Волги и Мологи невелика. В моложской воде их несколько больше, чем в волжской. По содержанию сульфатов на первом месте стоит Шексна, затем идут Молога и Волга.

Таким образом, А. П. Щербаков показал, что воды трех основных рек, питающих Рыбинское водохранилище, по химическому составу имеют заметные различия. Прежде всего это касается цветности и солевого состава. Общее содержание солей в воде Волги и Мологи летом и осенью выше, чем в Шексне, а зимой и весной — наоборот. Последовательность сезонного изменения общего соотношения компонентов этих трех рек хорошо иллюстрируется рис. 2, составленным Ф. И. Безлером (1963). Как указывает этот автор, ввиду ограниченности количества наблюдений, по которым построены кривые рис. 2, последние представляют ориентировочные значения химических показателей, но характерные различия вод Волги, Мологи и Шексны по сезонам года на графике видны вполне отчетливо.

Приступая к исследованию водных масс Рыбинского водохранилища, мы предполагали, что, несмотря на своеобразный гидрологический режим его, воды Волги, Мологи и Шексны, поступая в водохранилище, в определенных районах более или менее продолжительное время сохраняют свои особенности. На это указывали результаты синхронных гидрометеорологических наблюдений на суточных станциях в различных участках водохранилища. Оказалось, что в одно и то же время, при одних и тех же погодных условиях в разных частях водоема отдельные элементы режима имеют существенные различия (Рутковский, 1958). Дальнейшие исследо-

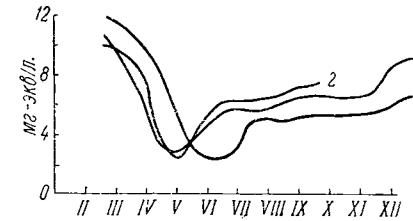


Рис. 2. Сезонное изменение общего содержания ионов в Волге (1), Мологе (2) и Шексне (3) по Ф. И. Безлеру.



вания М. А. Фортунатова (1959) и Н. М. Казаровец (1960) показали, что эти различия связаны прежде всего с наличием в водохранилище водных масс различного происхождения.

До последнего времени исследования водных масс Рыбинского водохранилища носили предварительный характер. При неустойчивом режиме водохранилища для полного и всестороннего изучения формирования, распределения и динамики его водных масс требовались массовые материалы наблюдений над целым комплексом физических и химических характеристик вод водоема. Непостоянство водного режима водоема вызывается значительной его площадью, резко пересеченным рельефом дна и небольшой средней глубиной в сочетании с большими колебаниями уровня. Эти колебания весьма значительны как в течение года, так и по годам. Годовая амплитуда колебания уровня в отдельные годы для открытой части водохранилища превышает 5 м (Буторин, 1963). В связи с большими колебаниями уровня площадь зеркала водохранилища и объем воды в нем претерпевают значительные изменения. В результате зимней сработки площадь водохранилища может уменьшаться на 48%, а объем — на 67% (Антипова, 1961).

Район Рыбинского водохранилища характеризуется повышенной ветровой активностью. По данным Рыбинской гидрометеорологической обсерватории, в открытой части водохранилища скорость ветра в среднем составляет 7 м/сек., а при сильных штормах достигает 25 м/сек. Повышенная ветровая деятельность при большой площади водохранилища вызывает интенсивные волновые явления. Как указывает В. Б. Вайсбанд (1959), в открытой части водохранилища при ветре 8 м/сек. высота волны достигает 1 м, а по подсчетам Е. М. Селюк, ветры со скоростями 8 м/сек. и выше в отдельные годы наблюдаются в общей сложности в течение 98 суток, т. е. более половины навигационного периода. Продолжительные и свежие ветры вызывают в открытой части водохранилища не только волнение, но и ветровые течения. Даже при слабых и неустойчивых ветрах в открытой части водохранилища отмечается большая подвижность поверхностных вод. В движение приходит вся водная масса эпилимниона, причем она расслаивается в нем иногда на два подслоя, движение воды в которых происходит с разными скоростями и в различных направлениях (Эдельштейн, 1963).

Ветровые течения в навигационный период преобладают на всей площади открытой части водохранилища и в пограничных с ней участках. Кроме ветровых течений, в водоеме наблюдаются стоковые течения, которые особенно заметно проявляются в речных участках водохранилища (Буторин и Литвинов, 1963). В результате воздействия волнения, ветровых и стоковых течений устойчивость водных масс водохранилища очень мала. Период заметного термического расслоения водной массы непродолжителен. Хорошо выраженный температурный скачок наблюдается в водохранилище лишь в весенний период (Буторин, 1962). К этому периоду относится и максимальная устойчивость водных масс. Для открытой части водоема средние значения градиента плотности в металимнионе, характеризующие устойчивость слоя скачка, по расчетам К. К. Эдельштейна (1963), порядка  $500-600 \cdot 10^{-8}$  г/см.<sup>4</sup>

Таким образом, при неустойчивом режиме водохранилища неизбежны резкие изменения отдельных характеристик среды в течение суток и тем более на протяжении нескольких суток, особенно в период интенсивного наполнения и прогрева, а также при резком изменении погодных условий. В связи с этим при изучении водных масс водохранилища возникла необходимость организации специальных экспедиционных исследований. Опыт

работы на Рыбинском водохранилище показал, что для этих целей наиболее целесообразным методом сбора материалов наблюдений являются синхронные съемки (Буторин, наст. сб.). Всего за период с 1960 по 1963 г. нами выполнено 25 синхронных съемок водохранилища, из них 17 в навигационный период и 8 со льда. Некоторые сведения о распределении водных масс в водохранилище по материалам этих съемок приводятся нами в «Рыбопромысловом атласе Рыбинского водохранилища» (1963) и в работе М. Г. Ершовой (наст. сб.).

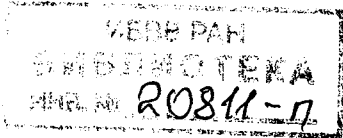
Здесь дается более полная характеристика водных масс водохранилища и их распределение в водоеме по сезонам года. Используя химические и физические показатели вод, полученные по материалам синхронных съемок, мы смогли установить, что в Рыбинском водохранилище легко выделяются водные массы Волги, Мологи, Шексны и центральной части водоема. Водные массы различного происхождения в Рыбинском водохранилище отчетливо прослеживаются в течение всего года. Границы между отдельными водными массами непостоянны и перемещаются в зависимости от уровня водохранилища и времени года.

В первой половине весны, когда происходит интенсивное наполнение водохранилища, по Мологе, Шексне и другим притокам в водоем поступают воды половодья. Несмотря на то что происхождение их одинаково, даже в этот период водные массы заметно различаются между собой (табл. 5). Прежде всего шекснинская водная масса ранней весной значительно холоднее моложской. Электропроводность ее обычно выше моложской, и она более жесткая. Эти водные массы мало различаются по прозрачности воды. Распределение их в водохранилище хорошо видно на

Таблица 5

Некоторые характеристики водных масс Рыбинского водохранилища в весенний период 1960 г.

№ станции	Температура		Электропроводность ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>		Гидрокарбонаты, мг-экв./л		Жест- кость, мг-экв./л		Цвет- ность, град.		Прозрачность, см
	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	
Шекснинская вода											
23	8.00	8.00	92 · 10 <sup>-6</sup>	93 · 10 <sup>-6</sup>	0.71	0.69	1.09	1.09	70	70	90
24	6.30	6.10	78 ·	79 ·	0.58	0.58	0.97	0.89	60	65	110
25	4.00	3.80	79 ·	80 ·	0.58	0.59	0.95	0.88	55	50	90
Моложская вода											
36	10.10	10.20	97 · 10 <sup>-6</sup>	97 · 10 <sup>-6</sup>	0.80	0.79	1.10	1.08	60	60	—
37	10.00	10.09	95 ·	95 ·	0.82	0.82	1.14	1.15	60	60	100
38	9.20	8.41	88 ·	89 ·	0.72	0.72	1.03	0.95	65	60	80
Волжская вода											
1	8.10	7.90	114 · 10 <sup>-6</sup>	110 · 10 <sup>-6</sup>	0.91	0.90	1.16	1.14	35	35	90
2	7.80	7.60	109 ·	109 ·	0.91	0.89	1.20	1.15	45	38	90
7	7.40	7.23	104 ·	106 ·	0.91	0.90	1.12	1.07	35	35	95
Вода центральной части водохранилища											
10	4.20	3.95	241 · 10 <sup>-6</sup>	244 · 10 <sup>-6</sup>	2.15	2.17	2.43	2.48	25	23	150
33	4.30	4.30	211 ·	212 ·	1.80	1.81	2.06	2.06	25	20	130
34	3.40	3.20	272 ·	270 ·	2.39	2.42	2.48	2.73	30	40	180



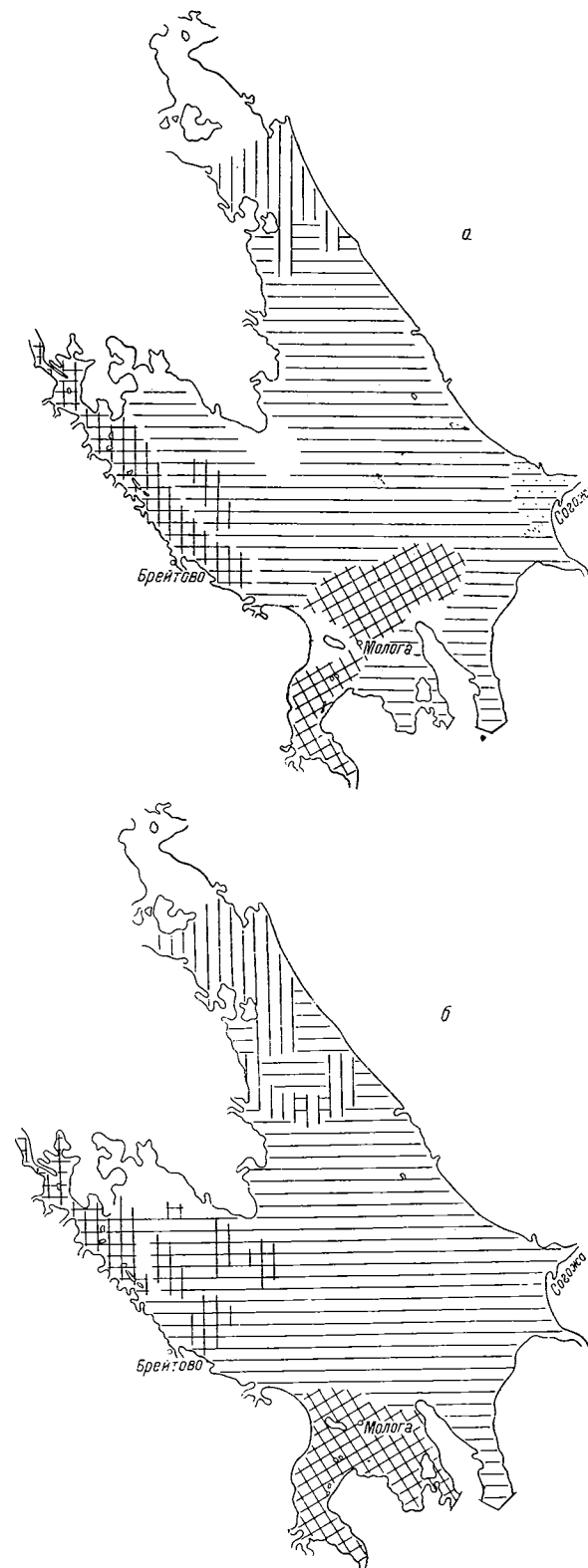


рис. 3, а. Граница шекснинской водной массы весной проходит обычно в районе Мушина, а моложская водная масса спускается южнее Брейтова и захватывает значительную часть водоема к северо-востоку от этого пункта. Воды весеннего половодья в это время находятся и в приустьевых участках других притоков, где они подперты зимними водами открытой части водохранилища, что хорошо видно на примере Согожи (рис. 3, а).

Волжская водная масса в этот период существенно отличается от моложской и шекснинской, так как в ее формировании принимают участие не только воды весеннего половодья, но и зимние воды верхневолжских водохранилищ. По температуре она занимает промежуточное положение между моложской и шекснинской водными массами. Волжская водная масса значительно теплее шекснинских вод, но заметно холоднее моложских. Электропроводность ее обычно выше, чем шекснинской и моложской водных масс, а цветность почти в два раза ниже. Прозрачность волжских вод мало отличается от таковой шекснинских и моложских. Волжская водная масса весной занимает всю южную часть водохранилища и вклинивается в воды центральной части севернее затопленного города Мологи.

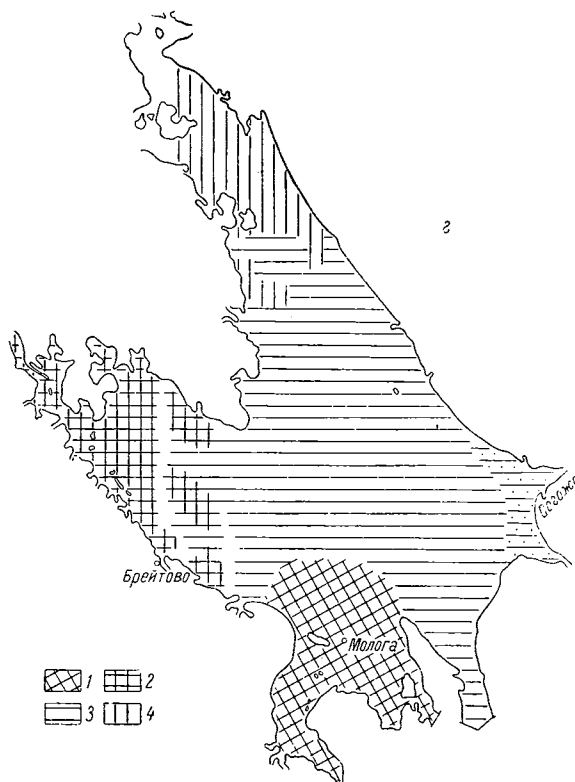
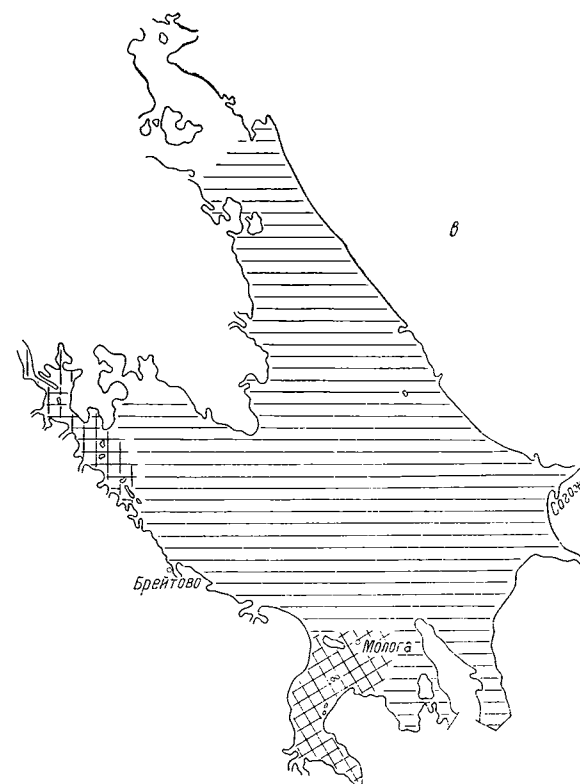
Рис. 3. Распределение водных масс весной (а), летом (б),

1 — волжская водная масса; 2 — моложская водная масса; 3 — шекснинская водная масса; 4 — масса водохранилища

Всю центральную часть водохранилища в первой половине весны занимают холодные зимние воды, которые представляют собой трансформированные воды Волги, Мологи и Шексны. Температура этой водной массы заметно ниже таковой речных водных масс. Она обладает высокой электропроводностью, которая почти в два раза выше электропроводности волжской водной массы. Воды центральной части водохранилища более жестки, чем речные. Они имеют очень низкую цветность и высокую прозрачность. Расположение их показано на рис. 3, а.

Такое распределение водных масс в водохранилище сохраняется и к концу весеннего наполнения водоема. К этому времени зимние воды центральной части водохранилища постепенно вытесняются весенними паводковыми водами и частично перемешиваются с ними. В период интенсивного прогрева водная масса центральной части водохранилища более устойчива, чем водные массы речных участков водоема. В ряде случаев в ней наблюдается четко выраженная стратификация температуры с максимальными градиентами до  $8.6^{\circ}$  на метр (Буторин, 1962).

Летом различие между характеристиками водных масс заметно уменьшается (табл. 6). Моложский и шекснинский район водо-



в Рыбинском водохранилище осенью (а), зимой (б).

1 — волжская водная масса; 2 — водная масса Моложского района; 3 — водная масса Шекснинского района; 4 — водная масса Рыбинского района.

1 2  
3 4

Таблица 6

Некоторые характеристики водных масс Рыбинского водохранилища в летний период 1962 г.

№ станции	Температура		Электропроводность, ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>		Гидрокарбонаты, мг-экв./л		Жест-кость, мг-экв./л		Цвет-ность, град.		Прозрачность, см
	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	поверх-ность	дно	
Шекснинская вода											
23	23.20	23.05	151 · 10 <sup>-6</sup>	165 · 10 <sup>-6</sup>	1.46	1.46	2.26	2.24	25	20	100
24	23.20	22.80	163 ·	168 ·	1.39	1.43	2.21	2.03	35	30	110
25	23.60	23.45	145 ·	135 ·	1.23	1.23	1.96	2.23	40	35	100
Моложская вода											
36	23.80	23.15	200 · 10 <sup>-6</sup>	205 · 10 <sup>-6</sup>	1.83	1.86	2.44	2.58	50	30	—
37	23.90	22.65	184 ·	200 ·	1.74	1.80	2.58	2.49	30	37	90
38	23.90	22.8	154 ·	168 ·	1.45	1.53	2.01	2.15	45	30	80
Воляжская вода											
1	23.4	20.00	151 · 10 <sup>-6</sup>	158 · 10 <sup>-6</sup>	1.35	1.39	2.43	2.07	30	55	—
2	24.0	19.90	145 ·	161 ·	1.34	1.40	1.82	1.80	25	65	90
7	23.2	20.80	157 ·	155 ·	1.38	1.38	1.96	1.68	20	35	130
Вода центральной части водохранилища											
10	23.80	23.90	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-6</sup>	1.42	1.49	2.49	1.96	20	25	190
33	24.12	22.95	168 ·	167 ·	1.44	1.44	2.30	2.44	15	15	170
34	23.40	24.42	163 ·	172 ·	1.41	1.43	2.48	2.02	20	25	190

храпилища, а также приустьевые участки ряда притоков в это время заполнены речными водами. В центральной части водохранилища зимние воды полностью замещаются несколько трансформированными водами весеннего половодья. В период максимального прогрева водные массы не различаются по температуре. Величины электропроводности в них также близки между собой. Несколько повышенной электропроводностью отличается моложская водная масса. Последняя и водная масса центральной части водохранилища летом более жесткие, чем шекснинская и особенно воляжская. Наиболее четко различие между водными массами в летний период прослеживается по их цветности и прозрачности. Так, цветность моложской водной массы несколько выше шекснинской, заметно выше воляжской и в два раза превышает цветность вод центральной части водохранилища. Обратная картина наблюдается в распределении прозрачности. Наименьшей прозрачностью летом характеризуется моложская водная масса. Прозрачность ее в два раза меньше, чем водной массы центральной части водохранилища (рис. 3, б).

Различие между водными массами водохранилища заметно увеличивается осенью (табл. 7). Несмотря на интенсивное ветровое перемешивание вод, в осенний период полного смешения их не происходит. С началом заморозков на почве и уменьшением поверхностного стока в речных районах водохранилища усиливается влияние вод грунтового питания. Температура водных масс в этих районах быстро падает. Осенью шекснинская и моложская водные массы заметно холоднее воляжской, которая в этот период имеет наиболее высокую температуру. Будучи одинаковыми по температуре, шекснинская и моложская водные массы

Т а б л и ц а 7

Некоторые характеристики водных масс Рыбинского водохранилища в осенний период 1960 г.

№ стаций	Температура		Электропроводность ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>		Гидрокарбо- наты, мг-экв./л		Жест- кость, мг-экв./л		Цвет- ность, град.		Прозрачность, см
	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	
Шекснинская вода											
23	8,50	8,45	178 · 10 <sup>-6</sup>	177 · 10 <sup>-6</sup>	1,43	1,44	2,20	2,36	25	30	—
24	8,60	8,60	173 ·	172 ·	1,37	1,36	1,94	2,39	25	25	—
25	8,40	8,40	166 ·	166 ·	1,32	1,33	1,96	2,57	25	25	170
Моложская вода											
36	8,80	8,89	251 · 10 <sup>-6</sup>	255 · 10 <sup>-6</sup>	2,38	2,32	2,88	2,80	30	10	—
37	8,80	8,90	238 ·	240 ·	2,19	2,22	2,88	2,93	25	25	200
38	8,60	8,57	160 ·	161 ·	1,45	1,40	2,21	2,50	25	30	160
Волжская вода											
1	10,60	9,92	252 · 10 <sup>-6</sup>	250 · 10 <sup>-6</sup>	2,10	2,08	2,76	2,78	35	35	—
2	10,10	9,90	237 ·	233 ·	2,11	2,03	2,52	2,63	35	35	120
7	9,20	9,05	168 ·	168 ·	1,43	1,41	2,59	2,04	35	25	130
Вода центральной части водохранилища											
10	9,50	9,30	159 · 10 <sup>-6</sup>	159 · 10 <sup>-6</sup>	1,30	1,42	2,04	1,88	30	30	110
33	9,30	9,31	161 ·	160 ·	1,33	1,33	2,02	2,19	35	30	—
34	9,40	9,42	161 ·	160 ·	1,30	1,31	1,89	1,98	30	35	—

заметно различаются по электропроводности. Последняя в шекснинских водах несколько увеличивается против летней, но она заметно ниже, чем в моложских. Наибольшей электропроводностью в осенний период обладают моложская и волжская водные массы, в которых она практически одинакова. Трудно различимы эти водные массы между собой также по цветности и прозрачности воды, хотя цветность моложской воды осенью несколько ниже, чем волжской, а прозрачность, наоборот, у моложской водной массы заметно выше, чем у волжской. Наиболее четко различие этих водных масс прослеживается по температуре: волжские воды значительно теплее моложских. Водная масса центральной части водохранилища осенью легко выделяется по относительно низкой электропроводности. Цветность ее такая же, как и волжской, прозрачность значительно ниже, чем у водных масс речных участков водохранилища (рис. 3, в).

В течение зимы происходит постепенное заполнение водохранилища речными водами грунтового питания. В зимний период температура водных масс практически одинакова, но все же воды центральной части водохранилища несколько теплее речных вод (табл. 8). Сравнительно легко водные массы выделяются в этот период по электропроводности. Наиболее высокая она у волжской водной массы, несколько ниже у моложской. Электропроводность шекснинской водной массы заметно выше таковой центральной части водохранилища и значительно ниже электропроводности моложской и особенно волжской водных масс. Наибольшей цветностью в зимний период обладают моложские и шекснинские воды (рис. 3, г).

Таблица 8  
Некоторые характеристики водных масс Рыбинского водохранилища  
в зимний период 1961 г.

№№ станций	Температура		Электропроводность, ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>		Гидрокарбонаты, мг-экв./л		Жесткость, мг-экв./л		Цветность, град.	
	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно
Шекснинская вода										
23	0.00	1.40	288 · 10 <sup>-6</sup>	308 · 10 <sup>-6</sup>	2.09	2.14	3.35	3.97	50	50
24	0.10	1.90	224 ·	298 ·	1.68	2.06	2.42	4.40	30	40
25	0.10	1.80	216 ·	241 ·	1.67	1.83	2.65	2.87	25	35
Моложская вода										
36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	0.40	2.60	188 · 10 <sup>-6</sup>	294 · 10 <sup>-6</sup>	1.62	2.72	2.18	4.44	60	40
Волижская вода										
1	—	—	—	—	1.49	1.92	2.42	2.59	60	79
2	0.00	0.05	210 · 10 <sup>-6</sup>	213 · 10 <sup>-6</sup>	1.92	—	2.44	—	60	—
7	0.00	0.10	238 ·	246 ·	1.74	1.86	2.42	2.90	60	65
Вода центральной части водохранилища										
10	0.00	1.10	164 · 10 <sup>-6</sup>	193 · 10 <sup>-6</sup>	1.92	1.77	1.82	2.19	30	40
33	0.00	2.40	186 ·	243 ·	1.52	1.94	2.90	2.90	30	40
34	0.20	2.00	168 ·	187 ·	1.34	1.49	1.98	2.50	30	25

В отдельные сезоны существенные различия между водными массами отчетливо прослеживаются даже на ограниченных участках водоема. Так, в волижском плесе жесткая вода, двигаясь по старому руслу Волги, заполняет также значительную часть правобережной поймы. На левую пойму эта вода практически не распространяется. Переваливая в придонном слое через водораздел между Волгой и Суткой, она заполняет старое русло Сутки и не выходит за его пределы. От этого русла вся левобережная пойма занята мягкими водами неволижского происхождения. Наиболее резкое изменение всех показателей отмечается на водоразделе между Волгой и Суткой и указывает на существование в этом месте границы между этими водными массами (Буторин и Бакулин, 1963).

Таким образом, анализ материалов синхронных съемок за ряд лет подтверждает существенные различия в физических и химических характеристиках вод отдельных участков Рыбинского водохранилища, которые наблюдаются из года в год. Вполне очевидно, что отмеченная неоднородность водных масс определяется прежде всего особенностями формирования вод, поступающих в водохранилище. Воды различного происхождения располагаются в водоеме крупными массами и заполняют вполне определенные районы водохранилища, в которых продолжительное время сохраняют свои свойства. Как уже отмечалось нами, в течение всего года наиболее четко выделяются четыре основных водных массы: волижская, молодежская, шекснинская и собственно водохранилища. В зависимости от типа питания рек бассейна в различные сезоны показатели водных масс водохранилища заметно меняются, но в общих чертах схема расположения их в водоеме сохраняется. Распределение и перемещение водных масс водохранилища определяется характером его водообмена.

## ЛИТЕРАТУРА

- А л е к с и н О. А. 1948. Основы гидрохимии. Гидрометеиздат, М.
- А н т и п о в а О. П. 1961. Рыбинское водохранилище. Изв. Всес. н.-н. инст. озерн. и рыбн. хоз., т. 10.
- Б е з л е р Ф. И. 1963. Сезонные изменения химических свойств воды Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 5 (8).
- Б у т о р и н Н. В. 1962. О температурном расслоении водной массы Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 12.
- Б у т о р и н Н. В. 1963. Уровень Рыбинского водохранилища и его колебания (1948—1960 гг.). Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 5 (8).
- Б у т о р и н Н. В. 1965. Синхронные гидрологические съемки на Рыбинском водохранилище. Наст. сб.
- Б у т о р и н Н. В. и К. А. Б а к у л и н. 1963. Структура скоростного поля зимнего потока на разрезе Борок—Коприно. В сб.: Биол. аспекты изуч. водохр., Изд. АН СССР, М.—Л.
- Б у т о р и н Н. В. и А. С. Л и т в и н о в. 1963. О течениях в Рыбинском водохранилище. В сб.: Биол. аспекты изуч. водохр., Изд. АН СССР, М.—Л.
- В а й с б а н д В. Б. 1959. Применяемые методы наблюдений и прогноза ветрового волнения на Рыбинском водохранилище. В сб.: Работы Рыбинской гидромет. обсерв., вып. 1.
- Е р ш о в а М. Г. 1965. Распределение вод различного происхождения в Рыбинском водохранилище в весенний период. Наст. сб.
- К а з а р о в е ц Н. М. 1960. Применение кондуктометрического метода к изучению распределения водных масс Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, 7.
- М о н а к о в А. В. 1958. Зоопланктон воляжского устьевоего участка Рыбинского водохранилища за период 1947—1954 гг. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 3.
- М о р д у х а й - Б о л т о в с к о й Ф. Д. и А. В. М о н а к о в. 1963. Распределение зоопланктона в Рыбинском водохранилище в весенний период. В сб.: Биол. аспекты изуч. водохр., Изд. АН СССР, М.—Л.
- Р у т к о в с к и й В. И. 1958. Предварительные итоги первой гидролого-гидрохимической съемки Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
- Р у т к о в с к и й В. И. и Т. Н. К у р д и н а. 1959. Водный баланс Рыбинского водохранилища за период с 1947 по 1955 г. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1 (4).
- Р ы б о п р о м ы с л о в ы й а т л а с Рыбинского водохранилища. 1963. Ярославль.
- Ф о р т у н а т о в М. А. 1959. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его режима. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2 (5).
- Щ е р б а к о в А. П. 1950. Гидрохимический режим Волги, Мологи и Шексны в районе Рыбинского водохранилища (до наполнения водохранилища). Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 1.
- Э д е л ь ш т е й н К. К. 1963. О слое температурного скачка и его динамике в Рыбинском водохранилище. В сб.: Биол. аспекты изуч. водохр., Изд. АН СССР, М.—Л.
- C a r r u t h e r s I. N. 1951. An attitude on «Fishery hidrography». Journ. Mar. Res. U. X, № 1.
- R a g o t z k i e R. A., R. A. B r y s o n. 1953. Correlation of currents With the distribution of adult Daphnia in Lake Mendota. Journ. Mar. Res. № 3.



**СИНХРОННЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ  
НА РЫБИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

Строительство крупных водохранилищ на больших равнинных реках как в нашей стране, так и за рубежом началось сравнительно недавно. Однако уже в настоящее время только в европейской части СССР созданы такие водохранилища-гиганты, как Куйбышевское, Рыбинское, Волгоградское, Цимлянское, Каховское и др. Площадь зеркала каждого из перечисленных водохранилищ превышает 2000 км<sup>2</sup>. Следовательно, отдельные искусственные водоемы-водохранилища по площади зеркала превосходят большие естественные озера.

Крупные водохранилища являются своего рода большими естественными лабораториями, и всестороннее изучение гидрологического режима их представляет большой интерес как для решения некоторых теоретических вопросов гидрологии, так и с практической точки зрения. В изучении гидрологического режима водохранилищ нуждаются гидростроительство и энергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство и здравоохранение, коммунальное и сельское хозяйство и ряд других отраслей народного хозяйства.

В настоящее время изучение гидрологического режима водохранилищ производится в основном гидрометеослужбой. Ею организованы на крупных водохранилищах гидрометеорологические обсерватории и специализированные озерные станции. Обсерваториям придается необходимое число гидрометеорологических постов, метеостанций, гидрометрических створов на притоках, водонепарительных станций, а в отдельных случаях и плавучие станции для производства гидрологических и метеорологических наблюдений в открытых частях водоема. Таким образом, гидрометеорологические обсерватории ведут в основном систематические стационарные наблюдения различных элементов гидрометеорологического режима водохранилищ. Кроме того, обсерватории периодически проводят гидрологические и метеорологические наблюдения по профилям и рейдовые наблюдения, а в зимний период — снегосъемки и ледовые наблюдения.

Однако для исследования гидрологического режима водохранилища недостаточно данных стационарных наблюдений. Для более глубокого и всестороннего изучения его последние должны быть дополнены экспедиционными исследованиями. Только правильное сочетание экспедиционных исследований со стационарными наблюдениями дает возможность должным образом осветить гидрологический режим водоема.

Особенно большое значение имеют экспедиционные исследования при изучении гидрологического режима водохранилищ озерного типа. Такие водохранилища образуются, как правило, на водоразделах и обычно

представляют собой относительно мелководные, но большие по площади искусственные водосмы, гидрологический режим которых в силу особенностей первоначального рельефа чаши водоема существенно отличается от режима водохранилищ, расположенных в долинах рек. Примером водохранилищ озерного типа может служить Рыбинское.

Это водохранилище существует уже более 20 лет, и отдельные элементы его гидрологического режима — уровень, волнение, температура, прозрачность — изучены сравнительно хорошо. Однако такие важные вопросы, как режим течений и динамика водной массы в целом, были до последнего времени исследованы совершенно недостаточно. Для изучения этих вопросов, в частности для исследования гидродинамических процессов в таком водоеме, как Рыбинское водохранилище, следует уделять особое внимание методике сбора полевых материалов. До последнего времени лабораторией гидрологии Института биологии внутренних вод АН СССР при изучении гидрологического режима Рыбинского водохранилища в основном велись экспедиционные исследования, материалы которых состояли из попутных гидрологических наблюдений, полученных в комплексных экспедициях и обыкновенных маршрутных гидрологических съемках. При протяженности водоема с северо-запада на юго-восток более чем в 140 км и общей площади 4550 км<sup>2</sup> каждая его съемка продолжалась минимум 3—4 дня. Большая акватория водохранилища, обширные участки рек с различным гидрологическим и гидрохимическим режимом в зоне подпора, особенности ветрового перемешивания и поступления грунтовых вод в разных частях водохранилища давали основание предполагать наличие разных по составу водных масс, распространение и особенности которых при рейсовых исследованиях установить не представлялось возможным.

Для проверки этого предположения были применены синхронные суточные гидрологические наблюдения. С пяти однотипных судов, в пяти пунктах, а именно — в речных плесах Волги, Мологи и Шексны, в центре водохранилища и в сбросном плесе (см. рисунок), производились гидрологические и метеорологические наблюдения и изучение газового режима через каждые четыре часа в течение полутора суток. В начале и в конце наблюдений отбирались пробы воды для определения солевого состава.

Эти наблюдения показали, что действительно в одно и то же время, при одних и тех же погодных условиях в разных частях водохранилища отдельные элементы гидрологического режима имеют существенные различия. Это относится не только к температуре, прозрачности и цветности воды, но и к газовому режиму. Даже изменения характеристик гидрологического режима, так же как и газового, в течение суток в разных частях водохранилища были различны (Рутковский, 1958). Несмотря на то, что подобные съемки позволили при идентичных погодных условиях дать характеристику отдельным гидрологическим элементам в разных частях водохранилища и проследить их суточный ход, вопрос о наличии водных масс различного происхождения и о распределении их в водохранилище по сезонам года оставался невыясненным, так как по одной станции невозможно было характеризовать гидрологический режим большого участка водохранилища.

Для получения полного представления о гидрологических условиях в водоеме при определенной синоптической обстановке мы начиная с 1960 г. стали применять известный в практике метод синхронных наблюдений по определенной сетке станций, расположенных более или менее равномерно по всему водохранилищу (см. рисунок). Исходя из наличия сотрудников

лаборатории и оборудования, мы смогли укомплектовать для этой работы четыре экспедиционных судна. В день съемки эти суда шли определенными маршрутами и с них производились наблюдения по указанной сетке станций. Общее число станций при синхронных съемках водохранилища

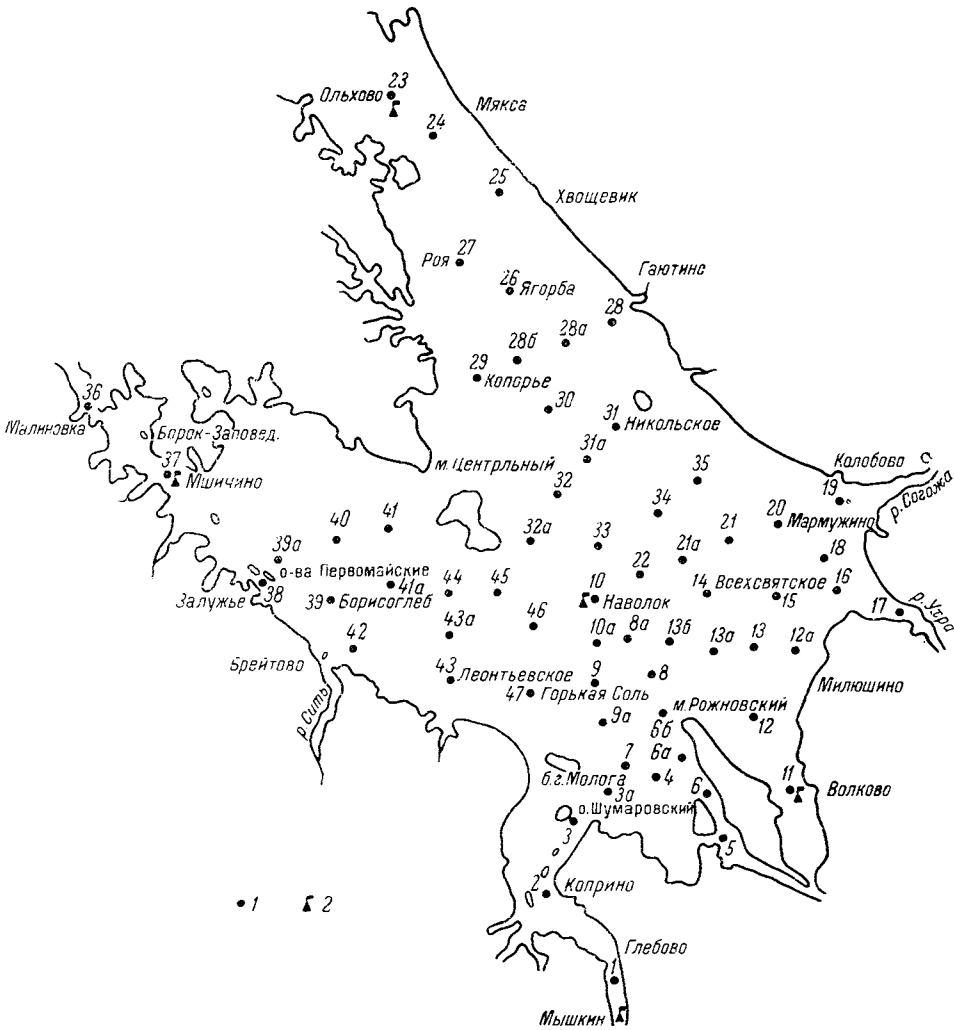


Схема расположения станций.  
1 — станции синхронных гидрологических съемок 1960—1963 гг.; 2 — суточные станции синхронной съемки 1957 г.

в навигационный период было около 60. Местоположение их при первой съемке определялось засечками по береговым ориентирам, станции наносились на карту, и с карты снимались их координаты. Расположение станций увязывалось с навигационной обстановкой водохранилища, что значительно облегчало нахождение их при последующих съемках. Время от времени местоположение отдельных станций проверялось повторным пеленгованием. Не претендуя на высокую точность определения местоположения станций, все же можно сказать, что при хорошем знании района

исследований повторность взятия данных в определенном месте для поставленной задачи вполне достаточна.

Все суда начинали работу в заранее установленное время и, имея примерно одинаковую скорость и соответствующим образом рассчитанный маршрут, заканчивали ее почти одновременно. Между судами и берегом поддерживалась радиосвязь. Все это позволило ограничить время съемки водохранилища 12—14 часами и полученные материалы наблюдений считать синхронными. С каждого судна в период съемки выполнялось на заданном маршруте 15—17 станций. На станциях измерялись глубина, температура воды по вертикали, прозрачность воды и в отдельных случаях скорость течения. Здесь же производился отбор проб воды с поверхности, середины глубины и из придонного слоя для определения электропроводности, цветности и некоторых характеристик солевого состава: гидрокарбонатов, жесткости, ионов кальция и магния. Одновременно производились наблюдения над ветром, волнением, облачностью и другими метеорологическими элементами.

В навигационный период 1960 г. было выполнено шесть гидрологических синхронных съемок водохранилища, в 1961 г. — четыре и в 1962 г. — три. Первая съемка водохранилища ежегодно приурочивалась к началу освобождения водоема от льда, а последняя — к началу ледостава. В зимний период наблюдения производились с помощью автомашины ГАЗ-47, при этом количество станций заметно уменьшалось, а продолжительность съемки увеличивалась до 7—8 суток. Местоположение станций определялось от исходной точки на берегу по расстоянию и компасу. Станции закреплялись специальными щитами (Бакастов, наст. сб.). Зимой синхронность получения материалов наблюдений не имеет такого значения, как в навигационный период, так как наличие ледового покрова исключает непосредственное влияние метеорологических условий на водные массы водохранилища. Зимой 1960/61 г. было выполнено две таких съемки, 1961/62 г. — три, 1962/63 г. — две.

Предварительный анализ материалов синхронных съемок показал большие преимущества этого метода против обычных гидрологических рейсов. Данные наблюдений, полученные при синхронных съемках, подтвердили наши предположения о наличии в отдельных районах водохранилища различных по составу водных масс. Они позволили не только уточнить и дополнить уже известные сведения по отдельным элементам гидрологического режима, но и дали возможность составить общее представление о водной массе Рыбинского водохранилища и ее особенностях в зависимости от района водохранилища и сезона года. Одновременно с этим удалось составить общее представление о перемещении водных масс в пределах водохранилища, которое хорошо согласуется с данными инструментальных измерений течений.

Некоторые результаты анализа материалов синхронных съемок, характеризующие водные массы водохранилища и их распределение в весенний период, приводятся в настоящем сборнике (Буторин, Ершова). Эти же материалы позволили рассмотреть изменение характеристик водных масс по сезонам года, дать распределение и динамику температуры дна водохранилища в зимний период и предпринять попытку рассчитать его теплозапас. Использование материалов синхронных съемок не ограничивается перечисленными возможностями. Синхронность гидрологических наблюдений с охватом всех сезонов года дала возможность собрать материал, который может быть использован как для различных научных исследований, так и для оперативного гидрометеорологического обслуживания запросов ряда отраслей народного хозяйства.

Таким образом, метод синхронных съемок при изучении гидрологического режима водохранилищ, особенно озерного типа, вполне себя оправдал.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Б а к а с т о в С. С. 1965. Распределение и динамика температуры дна Рыбинского водохранилища в зимний период. Паст. сб.
- Б у т о р и н П. В. 1965. К изучению водных масс Рыбинского водохранилища. Паст. сб.
- Е р ш о в а М. Г. 1965. Распределение вод различного происхождения в Рыбинском водохранилище в весенний период. Паст. сб.
- Р у т к о в с к и й В. И. 1958. Предварительные итоги первой гидрологической съемки Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 2.
-

**ВОДНЫЕ МАССЫ ОЗЕРНОЙ ЧАСТИ ГОРЬКОВСКОГО  
ВОДОХРАНИЛИЩА**

Горьковское водохранилище представляет собой нижнюю ступень верхневолжского каскада. Оно расположено непосредственно ниже Рыбинского водохранилища, обеспечивающего годичное регулирование стока Волги. Это в значительной мере определяет характер гидрологического режима и состав вод рассматриваемого водоема, так как более 60% приходной части его годового водного баланса составляют сбросы Рыбинского гидроузла.

В водохранилище впадает большое число разнообразных по химизму воды притоков. Хотя боковая приточность дает около 40% приходной части годового водного баланса водоема, в отдельные сезоны ее роль в формировании водной массы водоема колеблется в широких пределах.

В работе рассматриваются физико-химические особенности вод, участвующих в формировании водной массы озерной части Горьковского водохранилища, и дается предварительный анализ протекающих при этом процессов. Полевые наблюдения производились в навигационный период 1961—1962 гг., в течение которого в озерной части водоема (рис. 1) было выполнено более 600 комплексных гидрологических станций. Чтобы уточнить положение зон смешения различных по происхождению вод, между отдельными станциями велись учащенные (через каждые 1—3 км) определения температуры и электропроводности поверхностного слоя воды.

**ХАРАКТЕРИСТИКА ВОД, ПОСТУПАЮЩИХ В ОЗЕРНУЮ ЧАСТЬ  
ВОДОХРАНИЛИЩА**

Водная масса озерного участка Горьковского водохранилища складывается из вод, поступающих с его верхних участков (их мы будем условно называть волжскими водами), и вод боковой приточности этой части водоема. Объемы вод различного происхождения, поступавших в озерную часть водохранилища в половодье и летние месяцы 1961 г., а также процентные соотношения их приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что для рассматриваемого участка водохранилища волжские воды составляли в 1961 г. более 80% притока. В период половодья они давали 70%, а в летние месяцы — 90% притока. Р. Унка — наиболее крупный приток озерной части водохранилища — в 1961 г. дала около 12% общего притока. В период половодья объем приносимых ею вод увеличивался до 20%, в летние месяцы уменьшался и составлял всего 5—10% общего притока. Влияние более мелких рек на водную массу водохранилища ничтожно, так как в летние месяцы объемы их стока составляли менее 1% общего притока. В 1962 г. летний сток был выше, чем в 1961 г., и приведенное в табл. 1 процентное соотношение стока по

Волге и боковым притокам изменилось в сторону некоторого увеличения роли боковых притоков.

Для выявления районов распространения вод различного происхождения и зон их смешения мы использовали ряд показателей физико-химических свойств воды. В 1961 г. это были температура, электропроводность,

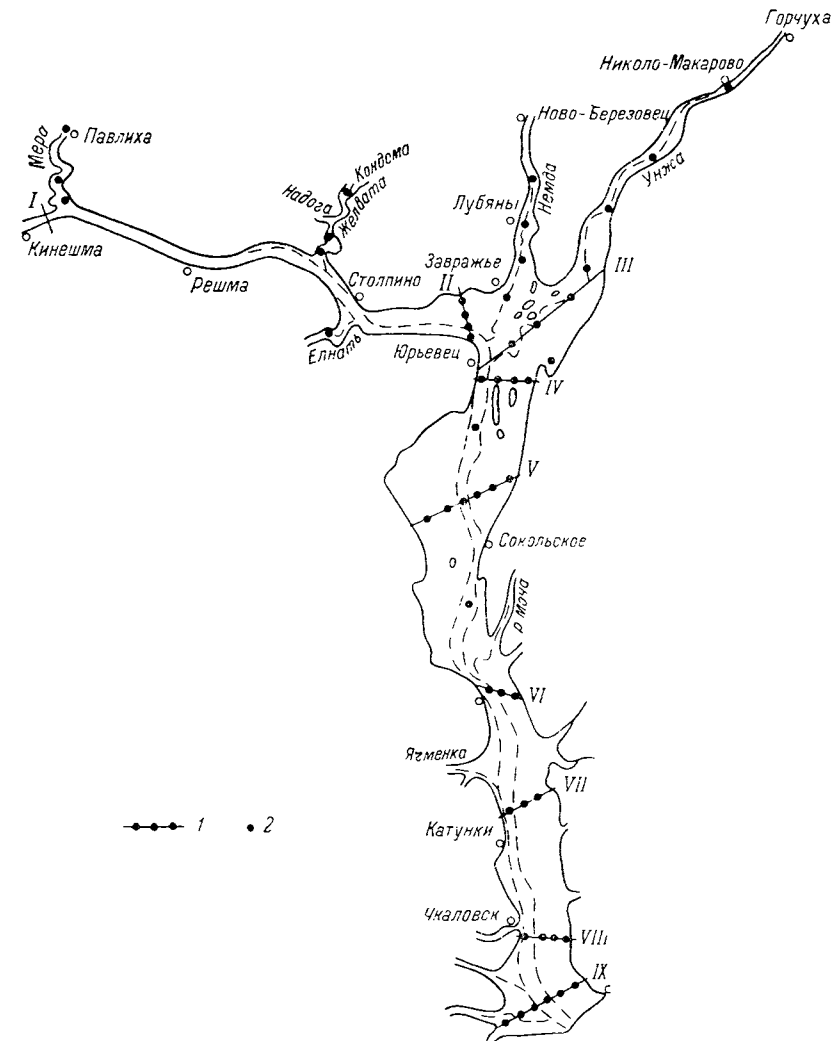


Рис. 1. Схема озерной части Горьковского водохранилища.

1 — гидрологические разрезы I—IX; 2 — гидрологические станции.

прозрачность и цветность. В 1962 г. к числу этих показателей были добавлены: щелочность, жесткость и pH.

**В о л ж с к и е в о д ы.** За входной створ озерного участка водохранилища для волжских вод мы принимаем створ, расположенный ниже Кинешмы, в 2 км выше устья р. Меры. Здесь обычно наблюдается хорошо выраженное стоковое течение со скоростями от 10 до 30 см/сек. Наличие постоянного течения обуславливает значительную однородность физико-химических свойств вод, протекающих через этот створ: наибольшие раз-

Т а б л и ц а 1

Приточность озерной части Горьковского водохранилища в 1961 г.

	Апрель— май		Июнь		Июль		Август		Год	
	км³	‰	км³	‰	км³	‰	км³	‰	км³	‰
Волжские воды . . . . .	14.92	70.2	3.17	88.2	2.79	90.8	3.14	92.0	45.85	83.1
Сбросы Рыбинского гидро- узла . . . . .	7.61	35.8	2.88	80.1	2.52	82.0	2.91	85.3	36.14	65.5
Боковая приточность верх- них участков . . . . .	7.31	34.4	0.29	8.1	0.27	8.8	0.23	6.7	9.71	17.6
Боковая приточность озер- ного участка . . . . .	6.33	29.8	0.42	11.8	0.28	9.2	0.27	8.0	9.29	16.9
Р. Унка . . . . .	4.78	22.5	0.36	10.0	0.22	7.2	0.20	5.9	7.00	12.7
Р. Немда . . . . .	0.52	2.4	0.02	0.6	0.02	0.7	0.03	0.9	0.78	1.4
Р. Мера . . . . .	0.42	2.0	0.01	0.3	0.01	0.3	0.01	0.3	0.54	1.0
Р. Желвата . . . . .	0.16	0.8	0.01	0.3	0.01	0.3	0.01	0.3	0.21	0.4
Прочая боковая приточ- ность участка . . . . .	0.45	2.1	0.02	0.6	0.02	0.7	0.02	0.6	0.76	1.4
Суммарная приточность в во- дохранилище . . . . .	21.25	100	3.59	100	3.07	100	3.41	100	55.14	100

ности температур не превышают 1°, чаще всего составляют 0.5—0.6°; изменения электропроводности также невелики, они не превышают 5—8 · 10<sup>-6</sup> ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>. Однородность свойств волжских вод в кишемском створе как по вертикали, так и по поперечнику позволяет характеризовать внутрисезонные изменения их показателей по данным поверхностного горизонта (табл. 2). Характеристики волжских вод в летне-осенний пе-

Т а б л и ц а 2

Характеристики волжских вод в районе<sup>7</sup>Кишемы в летне-осенний период 1961 и 1962 гг.

Дата	Темпера- тура воды	Прозрач- ность, см	Цветность, град.	pH	Электро- провод- ность, ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	Щелоч- ность, мг-экв./л	Жест- кость, мг-экв./л
1961 г.							
2 VI	13.8	—	—	—	150 · 10 <sup>-6</sup>	—	—
29 VI	19.7	80	55	—	196 ·	—	—
9 VII	18.8	100	50	—	174 ·	—	—
25 VII	22.0	100	60	—	176 ·	—	—
29 VII	21.8	—	50	—	174 ·	—	—
27 VIII	17.4	—	—	—	182 ·	—	—
1962 г.							
18 VI	14.8	80	45	7.6	185 · 10 <sup>-6</sup>	1.50	1.66
29 VI	16.6	90	42	7.6	202 ·	1.63	1.90
19 VII	20.2	80	45	7.4	166 ·	1.36	1.80
1 VIII	18.0	70	50	7.8	150 ·	1.04	1.75
11 VIII	18.1	—	—	—	155 ·	—	—
20 VIII	16.8	—	—	—	166 ·	—	—
31 VIII	15.1	110	55	7.7	164 ·	1.25	1.82
12 IX	13.2	130	55	—	155 ·	1.13	1.67
20 X	6.3	90	50	—	158 ·	1.23	1.62
29 X	3.7	100	62	7.4	171 ·	1.42	1.76



риод испытывают незначительные колебания, что связано с регулирующим влиянием Рыбинского водохранилища, которое не только выравнивает сток Волги в количественном отношении, но и определяет относительное постоянство физико-химических свойств поступающих из него вод.

Воды боковой приточности. Воды притоков, поступающих в озерную часть водохранилища, значительно отличаются по физико-химическим свойствам от волжских. Относительно сильно минерализованные, менее цветные и прозрачные в начале лета, воды межени сменяются

Таблица 3

Характеристики летне-осенних вод боковой приточности

Река, пункт	Дата	Температура воды	Прозрач- ность, см	Цвет	Щелочность, град.	рН	Электропре- водность, ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	Щелочность, мг-экв. л	Жесткость, мг-экв. л
Р. Мера:									
Навлиха . . . . .	29 VI 1961	20.5	—	—	35	—	318 · 10 <sup>-6</sup>	—	—
	18 VI 1962	16.6	145	XVI	22	7.6	326 ·	3.37	3.17
	19 VII 1962	21.6	40	Желтый	60	7.2	193 ·	2.03	2.14
	31 VIII 1962	13.7	30	Желтый	60	—	178 ·	1.70	2.13
	20 X 1962	1.8	110	—	38	—	280 ·	3.09	3.07
Р. Желвата:									
Устье Кондомы . . . .	30 VI 1961	21.9	60	Корич- невый	105	—	124 ·	—	—
Устье Падогн . . . .	18 VI 1962	17.1	80	XX	108	7.2	118 ·	0.90	1.07
Устье Кондомы . . . .	1 IX 1962	12.8	50	Бурый	170	6.8	53 ·	0.24	0.65
Устье Падогн . . . .	21 X 1962	1.1	40	XXI	120	7.2	68 ·	0.29	0.72
Р. Елпать:									
Костяево . . . . .	1 IX 1962	13.9	30	XIX	40	7.4	137 ·	1.09	1.50
Р. Немда:									
Ново-Березовец	1 VII 1961	20.3	—	—	60	—	174 ·	—	—
	19 VI 1962	16.9	80	XVIII	73	—	162 ·	1.45	1.47
	20 VII 1962	20.2	60	XXI	150	6.9	98 ·	0.80	1.06
	2 IX 1962	13.3	30	Буро- желтый	150	7.0	71 ·	0.50	0.84
	21 X 1962	1.2	70	Буро- корич- невый	144	6.9	110 ·	0.56	1.22
Р. Ушка:									
Николо-Макарово	2 VII 1961	20.0	155	—	40	—	250 ·	—	—
	22 X 1962	1.1	80	XXI	100	7.3	187 ·	1.46	2.04
Горчуха . . . . .	20 VI 1962	16.8	120	—	42	7.2	233 ·	1.81	2.17
	22 VII 1962	18.2	40	XX	85	7.3	184 ·	1.71	1.95
	3 IX 1962	13.3	50	XVIII	130	7.3	137 ·	1.02	1.62
Р. Моча:									
Беляиха . . . . .	3 VII 1961	19.0	60	—	75	—	136 ·	—	—
	24 VII 1962	20.8	50	XIX	85	7.1	88 ·	0.56	0.74
	24 X 1962	1.1	60	XX	124	6.8	86 ·	0.42	0.69
Р. Ячменка:									
Пелья-Высоково . .	4 VII 1961	18.5	70	—	—	—	158 ·	—	—
	23 VI 1962	16.4	40	XVII	42	7.2	169 ·	1.38	1.47
	24 VII 1962	19.9	25	Желтый	55	7.1	106 ·	0.74	0.97
	6 IX 1962	12.3	50	Желтый	60	7.4	97 ·	0.77	0.97
	25 X 1962	1.6	40	XVIII	45	7.1	137 ·	1.11	1.34

в период летних паводков менее минерализованными, желтовато-бурыми и мало прозрачными. В октябре 1962 г. характеристики вод вновь приближаются к значениям меженного периода. Эта общая закономерность характерна для всех изучавшихся притоков, хотя они несут различные по качеству воды. В табл. 3 приведены некоторые характеристики вод притоков в самых верхних створах, принимавшихся нами за входные.

Воды р. Меры отличаются очень высокой по сравнению с другими притоками минерализацией и прозрачностью при малой цветности. Соседняя по бассейну с р. Мерой р. Желвата, наоборот, имеет воды мало минерализованные и высокой цветности. Воды рр. Немды и Мочи подобны водам р. Желваты, но их электропроводность несколько выше, а цветность — ниже. Меженные воды р. Унжи более минерализованы, чем волжские. Во время паводков их электропроводность становится ниже таковой волжских вод, а цветность значительно возрастает.

Существенное различие физических и химических свойств вод, поступающих в озерную часть водохранилища, позволяет нам проследить их продвижение внутри водоема, наблюдать процессы смешения и изменения свойств, или трансформацию водных масс.

#### ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОД В ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Основным показателем вод различного происхождения мы принимаем электропроводность, попутно привлекая прочие физические и химические характеристики в целях уточнения и большей детализации описываемых явлений. Электропроводность воды — наиболее легко определяемый консервативный, а потому и наиболее надежный показатель разнородных по химизму вод. Это видно из многочисленных исследований электропроводности воды самых разнообразных водоемов (Долгов, 1954; Казаровец, 1960; Зенин, 1961; Еринова, 1962; Gessner, 1962, и др.). Предварительный анализ изменения электропроводности вод водохранилища показал, что быстрее всего этот показатель изменялся в зоне смешения вод различного происхождения. Для выделения качественно разнородных вод и уточнения местоположения границ водных масс мы использовали метод, предложенный В. К. Агепоровым (1944), который считает, что ядро водной массы характеризуется либо неизменностью репрезентативного показателя, либо его равномерным изменением; иными словами — градиент гидрологической характеристики по расстоянию либо равен нулю, либо постоянен. Граница водных масс соответствует максимуму указанного градиента.

В конце июня 1961 г. однородные во всей своей массе волжские воды с электропроводностью около  $200 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  и цветностью  $60-70^\circ$  занимали весь участок от Кинешмы до Юрьевца, а также северо-западную (большую) часть Юрьевецкого расширения и низовья залива по Немде (рис. 2, а). Четко выраженная граница между волжскими водами и блокированными ими водами с высокой цветностью (более  $105^\circ$ ) и малой минерализованностью (электропроводность ниже  $110 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ) — трансформированными водами весеннего половодья реки Немды — проходила в 8 км севернее Завражья. На востоке и юго-востоке волжские воды соприкасались с водами половодья Унжи. Ядро этих вод, наименее измененное процессами смешения (табл. 4), располагалось у юго-восточного побережья Юрьевецкого расширения. Севернее этого ядра воды половодья были трансформированы сильнее — с запада волжскими водами, а с севера, выше дер. Кобылино, более минерализованными и менее цвет-

Т а б л и ц а 4

Характеристики трансформированных вод половодья рек Немды и Унжи

Показатели	Немда у Лубян		Унжа			
	1 VII 1961	19 VI 1962	у Кобылина		у левого берега III разреза	
			2 VII 1961	20 VI 1962	3 VII 1961	21 VI 1962
Электропроводность, ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup> . . . . .	107 · 10 <sup>-6</sup>	105 · 10 <sup>-6</sup>	145 · 10 <sup>-6</sup>	154 · 10 <sup>-6</sup>	133 · 10 <sup>-6</sup>	137 · 10 <sup>-6</sup>
Цветность, град. . . . .	Более 105	97	90	90	85	80
Прозрачность, см . . . .	80	70	90	70	110	120
Щелочность, мг-экв./л . .	—	0.84	—	1.15	—	0.96
Жесткость, мг-экв./л . . .	—	0.99	—	1.42	—	1.22
pH . . . . .	—	7.4	—	7.6	—	7.4

ными меженными водами Унжи. В наиболее «чистом» виде последние располагались у Николо-Макарова и имели высокую электропроводность ( $250 \cdot 10^{-6}$  ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>), цветность 40° и прозрачность 155 см, в то время как волжские воды и трансформированные воды половодья имели прозрачность 80—100 см. Граница между волжскими и унженскими водами проходила от группы островов на севере Юрьевецкого расширения к станции № 2 разреза II (рис. 1) и далее к юго-западу на Юрьевец, а затем поворачивала к югу вдоль левой бровки русла Волги и цепочки Юрьевецких островов. Наименьшая ширина зоны смешения этих вод наблюдалась на бровке русла Волги против Юрьевца, где горизонтальный градиент электропроводности достигал высокого (для рассматриваемого водоема) значения —  $25 \cdot 10^{-6}$  ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>/км.

На участке от Юрьевца до Сокольского располагалась зона интенсивного смешения волжских и унженских вод и формирования однородной по своим свойствам водной массы южной части водохранилища. Этот участок водоема был занят чрезвычайно однородной водной массой с электропроводностью  $150\text{—}160 \cdot 10^{-6}$  ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>, цветностью 55—65° и прозрачностью 125—155 см. Только вблизи плотины находились воды с несколько пониженной электропроводностью ( $137\text{—}140 \cdot 10^{-6}$  ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>) и цветностью до 80°. К середине лета (25—28 июля) волжские воды полностью вытеснили унженские воды половодья из верхней части озерного участка водохранилища (рис. 2, б). Граница волжских и меженных унженских вод располагалась в этот период у входа в Унженский залив, несколько южнее дер. Кобылино. Южнее Пучежа все еще сохранялось некоторое влияние вод половодья на водную массу приплотинного участка, что выражалось в постепенном уменьшении электропроводности к плотине от 174 до  $144 \cdot 10^{-6}$  ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>.

В конце августа последние следы унженских вод половодья, еще заметные в конце июля, совершенно исчезли. Всю озерную часть водохранилища, исключая глубоко вдающиеся в сушу заливы, целиком заняли волжские воды с электропроводностью  $180\text{—}190 \cdot 10^{-6}$  ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>.

В 1962 г. общий характер распределения, перемещения и трансформации водных масс был таким же, как и в предшествующем году, а наблюдавшиеся различия в размещении и динамике вод обусловлены гидрометеорологическими особенностями года. Во второй половине июня 1962 г. волжские воды по основным характеристикам были почти совер-

шенно подобны водам того же периода 1961 г. (табл. 2). Они занимали весь участок от Кинешмы до Юрьевца и северо-западную часть Юрьевецкого расширения. Южнее Юрьевца эти воды распространялись вдоль правого берега по русловой части водоема до Сокольского и даже несколько южнее, занимая при этом и всю правую часть расширения, расположенного между Юрьевцем и Сокольским (рис. 2, *в*). На севере, в нижней части залива по Немде, волжские воды граничили с блокированными в районе Лубян трансформированными водами половодья Немды, показатели которых близки к соответствующим показателям 1961 г. (табл. 4).

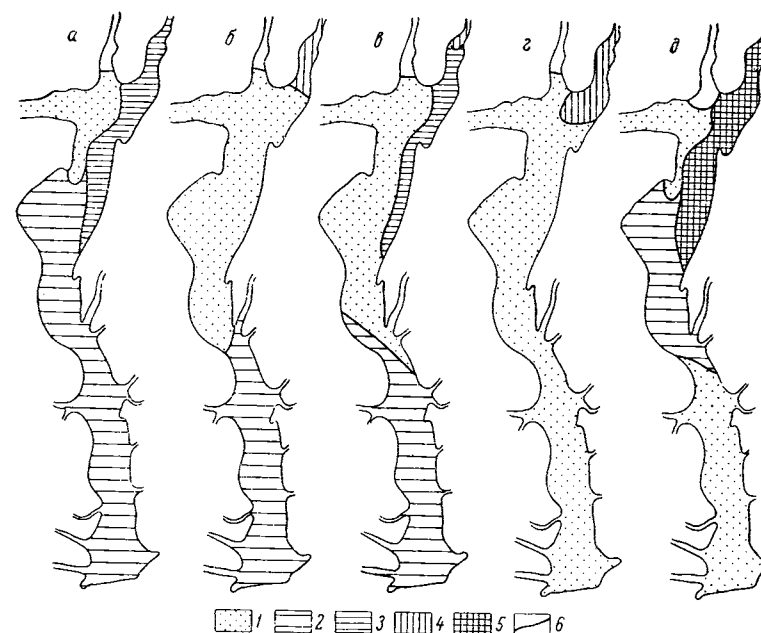


Рис. 2. Размещение вод различного происхождения.

*а* — 29 VI — 5 VII 1961; *б* — 25—28 VII 1961; *в* — 18—23 VI 1962; *г* — 19—26 VII 1962; *д* — 1—7 IX 1962. 1 — волжские воды; 2 — трансформированные волжские воды; 3 — воды половодья Унжи; 4 — воды межени Унжи; 5 — воды паводка Унжи; 6 — границы водных масс.

Как и в предшествующем году, трансформированные воды половодья Унжи занимали нижнюю часть Унженского залива, восточную и юго-восточную часть Юрьевецкого расширения и распространялись далее к югу вдоль левого берега водохранилища до Сокольского. Их характеристики очень близки к таковым 1961 г. (табл. 4), даже ядро наименее трансформированных вод находилось на том же месте. В отличие от предшествующего года в 1962 г. граница между волжскими и унженскими водами была смещена к востоку и проходила по середине затопленной левобережной поймы Волги, восточнее островов. Верхнюю часть Унженского залива занимала сильно растянутая зона смешения вод половодья Унжи с ее же меженными водами, менее минерализованными, чем в 1961 г. (табл. 3). В приплотинной части водохранилища, южнее Пучежа, в июне 1962 г. находились трансформированные волжские воды.

К двадцатым числам июля волжские воды полностью вытеснили из озерной части водохранилища воды весеннего половодья. Вся аквато-

рия водоема, кроме северо-восточной части Юрьевецкого расширения, была занята водами, однородными по электропроводности ( $165—180 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ) и цветности ( $45—50^\circ$ ) (рис. 2, з). Северную часть Юрьевецкого расширения и низовья залива по Немде занимали волжские воды, трансформированные за счет смешения их с водами Немды. Граница между водами Волги и Немды проходила южнее Лубян. В восточной части Юрьевецкого расширения находились меженные воды Унки с пониженной по сравнению с обычно наблюдаемой в межень электропроводностью (около  $190 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ), повышенной цветностью ( $70—80^\circ$ ) и соответствующими изменениями жесткости и щелочности вод. Указанные изменения характеристик вод Унки связаны со смешанным характером питания реки в июле, когда к грунтовым водам добавились большие объемы поверхностного стока за счет ливневых осадков этого периода.

Через неделю, к 1 августа, воды дождевого паводка Унки продвинулись до района Кобылина, в результате чего в низовьях Унженского залива электропроводность понизилась до  $113 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , щелочность — до 0.68 мг-экв/л., жесткость — до 1.35 мг-экв/л, прозрачность — до 60 см, а цветность повысилась до  $140^\circ$ . Граница волжских и унженских паводочных вод проходила в районе станции № 3 II разреза (рис. 1). Унженские меженные воды полностью перемешались с гораздо большими по объему волжскими в период длительного шторма 25—27 июля при северных ветрах, достигавших в порывах 15—18 м/сек. После этого шторма вся озерная часть водохранилища, кроме северо-восточной части Юрьевецкого расширения, была занята однородной водой волжского происхождения с электропроводностью  $150—160 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Очень высокий летний сток по Унке маломинерализованных и высокоцветных вод преимущественно дождевого питания к началу сентября определил характер распределения вод в озерной части, в значительной мере повторяющий основные черты июньского периода. Волжские воды с электропроводностью  $160—170 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  и цветностью  $50—55^\circ$  занимали участок Кинешма—Юрьевец, западную часть Юрьевецкого расширения и русловую часть водохранилища между правым юрьевецким берегом и цепочкой островов (рис. 2, д). Трансформированные паводочные воды Унки, отличающиеся от вод ее половодья большей мутностью и цветностью, располагались в Унженском заливе, в восточной части Юрьевецкого расширения и в пойменной части водохранилища между островами и левым берегом. Унженский залив был заполнен трансформированными водами паводка. Северную часть Юрьевецкого расширения и низовья залива по Немде занимали воды этой реки, видоизмененные смешением с водами Волги. Граница между этими водами под влиянием высокого летнего стока Немды выдвинулась в расширение и достигла Завражья. В расширенном участке водохранилища у Сокольского и южнее — вплоть до Пучежа — находилась зона интенсивного смешения волжских и унженских вод. Приплотинная часть водохранилища, как и в августе, была занята трансформированными волжскими водами.

Последняя съемка 1962 г. была проведена в третьей декаде октября и показала, что распределение водных масс сохранялось примерно такое же, как и в сентябре. Несколько более минерализованная и цветная, чем в сентябре, волжская вода заполняла большую часть водохранилища. И только вдоль восточного побережья, от Унженского залива до Сокольского, располагались воды Унки смешанного питания (дождевого и грунтового). Вверх по Унженскому заливу минерализация воды возрастала,

а цветность несколько снижалась, что указывает на постепенное возрастание роли грунтового питания в формировании стока реки.

Анализ материалов, полученных в течение двух навигаций, показывает наличие в Горьковском водохранилище, водоеме с относительно высокой проточностью (Буторин, 1963), значительной неоднородности физико-химических свойств вод, заполняющих его чашу в летне-осенний период. Эта неоднородность целиком определяется особенностями формирования поступающих в него вод, т. е. связана с их происхождением. При этом воды, сформировавшиеся в сходных условиях, имеют определенный комплекс физико-химических характеристик, повторяющийся от года к году. Воды различного происхождения располагаются крупными массами в определенных районах водоема, между которыми существуют преимущественно неширокие зоны смешения. При определенных условиях эти массы вод могут длительное время сохранять почти неизменными характерные для них свойства, т. е. они обладают известным постоянством во времени. Установленные нами особенности распределения вод в водоеме дают право применять термин «водная масса» к водам единого происхождения именно в том смысле, который вкладывает в это понятие для морских вод А. Д. Добровольский (1961). К подобному выводу приходит и Н. В. Буторин (наст. сб.). Зоны раздела между водными массами по аналогии могут быть названы «фронтами».

В летне-осенний период в озерной части Горьковского водохранилища прослеживаются четыре основных водных массы: волжская, Немды, Унжи и собственно водохранилища. Наибольшим постоянством физических и химических показателей в пределах рассматриваемого периода обладает волжская водная масса, которая в основном формируется в Рыбинском водохранилище. Водным массам рек свойственны значительные колебания показателей, что связано с внутрисезонной сменой типа их питания. Поэтому представляется целесообразным в речных водных массах в летне-осенний период различать три их разновидности, или модификации: воды половодья, межени и дождевого паводка. Для всех четырех водных масс водохранилища и их модификаций установлены наиболее типичные значения показателей, характеризующие их физико-химические свойства, приведенные нами в таблицах.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В Горьковском водохранилище в летне-осенний период наблюдается существенная неоднородность физико-химических свойств вод, наполняющих его чашу. Эта неоднородность связана с происхождением вод, с особенностями районов их формирования.

2. Воды, сформировавшиеся в одинаковых условиях, имеют устойчивый комплекс физических и химических показателей, которые повторяются из года в год.

3. Воды различного происхождения занимают в водоеме определенные районы, между которыми существуют четко выраженные зоны смешения. Положение и размеры этих районов несколько варьируют в зависимости от соотношения объемов волжских вод и вод притоков, поступающих в водоем.

4. В летне-осенний период в озерной части Горьковского водохранилища мы выделяем четыре основные водные массы: волжскую, Унжи, Немды и собственно водохранилища, формирующуюся в результате трансформации в озерной части водоема поступивших туда вод.

## ЛИТЕРАТУРА

- А г е н о р о в В. К. 1944. Об основных водных массах в гидросфере. Гидрометеоздат, М.—Свердловск.
- Б у т о р и н Н. В. 1963. Формирование гидрологического режима Горьковского водохранилища (1955—1959 гг.). Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 5 (8).
- Б у т о р и н Н. В. 1965. О водных массах континентальных водоемов. Наст. сб. Д о б р о в о л ь с к и й А. Д. 1961. Об определении водных масс. Океанология, № 1.
- Д о л г о в Г. И. 1954. Определение удельной электропроводности в практике водных исследований. ВОДГЕО, М.
- Е р ш о в а М. Г. 1962. О распространении талых вод в Рыбинском водохранилище перед его вскрытием. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 13.
- З е п и н А. А. 1961. Неоднородность состава волжской воды и процессы смешения ее водных масс. Гидрохимические материалы, т. XXXI, М.
- К а з а р о в е ц Н. М. 1960. Применение кондуктометрического метода к изучению распределения водных масс Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 7.
- G e s s n e r Fr. 1962. Der Elektrolytgehalt des Amazonas. Arch. Hydrobiol., Bd. 58, H. 4.
-

**ДИНАМИКА ВОДНОЙ МАССЫ РЕЧНОЙ ЧАСТИ  
ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Комплексное гидробиологическое изучение водохранилища продолжалось в течение всего периода его становления. В ходе этих исследований стала особенно очевидна роль проточности водоема как важной характеристики среды обитания водных организмов. С интенсивностью водообмена на отдельных участках водохранилища тесно связаны особенности распределения и биомасса планктона (Шырина, 1959; Приймаченко, 1961), бентоса (Мордухай-Болтовской, 1961), условия питания, численность и видовой состав рыбного стада (Захарова-Ильина, 1959, и др.). Некоторые сведения о течениях в первые годы заполнения водохранилища приводятся Н. В. Буториным (1959, 1963). В работах Н. В. Буторина дается общая картина постепенного снижения скорости течения по направлению к Горьковскому гидроузлу.

Проведенное нами в 1961—1963 гг. изучение водных масс водохранилища дало новые данные о характере стоковых течений этого водоема. В настоящей статье рассматриваются материалы по динамике водной массы речной части водохранилища, собранные в 19 рейсах. Наблюдения производились как по продольному разрезу речного участка водоема, так и на многочисленных поперечных разрезах.

Гидродинамический режим речной части водохранилища формируется в результате взаимодействия трех основных факторов: режима сбросов Рыбинской ГЭС, стока притоков и характера регулирования уровня в верхнем бьефе Горьковского гидроузла. Ветровое воздействие на водную массу в данном случае несущественно из-за небольшой ширины водоема и его извилистости. Главным из перечисленных факторов является режим попусков Рыбинского гидроузла, около 98% годового сброса которого производится через агрегаты ГЭС (Белых, 1959). Для работы Рыбинской ГЭС характерны резкие колебания расходов воды в течение суток: в ночные часы сбросы минимальны; максимальные сбросы наблюдаются обычно в утренние и вечерние часы. Суточные амплитуды колебания расходов воды в отдельные дни достигают 2000—3000 м<sup>3</sup>/сек. Ежедневное чередование дневных максимумов и ночных минимумов стока нарушается в нерабочие дни, когда расход воды, поступающей в нижний бьеф, определяется небольшими холостыми сбросами, фильтрацией и расходами воды на плузование. Такие дни с минимальным стоком хорошо заметны на гидрографе среднесуточных расходов Рыбинского гидроузла (рис. 1, а).

Уровенный режим верхнего бьефа Горьковского гидроузла определяется характером регулирования стока водохранилища. В навигационный период положение уровня воды в приплотинной части водоема сохраняется близким к НПГ. В зимний период амплитуда колебаний суточных сбросов возрастает (рис. 1, в) за счет понижения гарантированного рас-



хода воды, сбрасываемого в нижний бьеф, увеличения транзитного стока из Рыбинского водохранилища, а также предвесенней сработки собственного полезного объема. Перечисленные особенности регулирования стока обуславливают непостоянство уровня воды в верхнем бьефе в зимний период.

Роль боковой приточности в формировании гидродинамического режима речной части водохранилища менее значительна, чем двух рассмотренных факторов, и носит временный и локальный характер. В периоды максимальных сбросов Рыбинского гидроузла объем стока притоков ничтожно мал по сравнению с водной массой, поступающей из Рыбинского водохранилища. При уменьшении сбросов в ночные часы и в нерабочие дни сток Костромы, Которосли, Солоницы и других притоков даже

Уровень воды (в см) в дни отсутствия интенсивных сбросов Рыбинской ГЭС (1961 г.)

	9 VII	6 VIII	17 IX	24 IX	8 XI
Тутаев . . . . .	408	407	427	432	421
Приращение уровня . . . . .	—2	—5	—3	+3	—7
Ярославль . . . . .	410	412	430	429	428
Приращение уровня . . . . .	—10	—9	—14	—11	—20
Кострома . . . . .	420	421	444	440	448

в межень может составлять 50—100% расхода воды Рыбинского гидроузла, а иногда и превышать его.

В результате резких колебаний расходов воды Рыбинской ГЭС при суточном и недельном регулировании в ее нижнем бьефе возникают волны попусков, которые затем распространяются вниз по водоему, вызывая волнообразные колебания его уровня. Проследить перемещение

волн отдельных попусков в настоящее время не представляется возможным, поскольку нет достаточно подробных данных о суточном ходе уровня в речной части водохранилища. Нельзя для этой цели использовать и материалы, опубликованные Б. И. Фелициным (1956) и А. П. Жидиковым (1960), так как в этих работах рассматривается процесс трансформации волн попусков до постройки Горьковской ГЭС. В условиях подпертого бьефа, каким является речная часть водохранилища, динамика вод существенно меняется: в периоды сбросов уменьшаются скорости течения, а скорость распространения волны попуска возрастает (Крицкий и Менкель, 1952). В связи с недельной цикличностью работы Рыбинской ГЭС в речной части Горьковского водохранилища во все сезоны года очень четко выражены недельные колебания уровня воды, прослеживающиеся по среднесуточным данным водомерных постов (рис. 1, б).

В навигационный период недельный ритм колебания уровня затухает практически в районе г. Плеса, хотя отдельные пики уровня иногда прослеживаются и на участке Кинешма—Решма. В выходные дни, когда уровень минимален, поверхность водоема почти горизонтальна, а на участке Тутаев—Кострома нередки случаи обратных уклонов (см. таблицу).

В зимний период амплитуда колебаний уровней резко возрастает (рис. 1, б), что связано с увеличением сбросов Рыбинской ГЭС, влиянием ледяного покрова и общим понижением уровня в верхнем бьефе Горьковского гидроузла. К концу зимы на нижнем участке речной части водохранилища возникают недельные колебания уровня, вызванные сбросами Горьковской ГЭС. Граница зон преимущественного воздействия той или другой гидростанции на колебания среднесуточного уровня зимой 1961 г. находилась вблизи Плеса, а в 1962 г. из-за повышенных сбросов Рыбинской ГЭС эта граница прослеживалась между Плесом и Кинешмой.

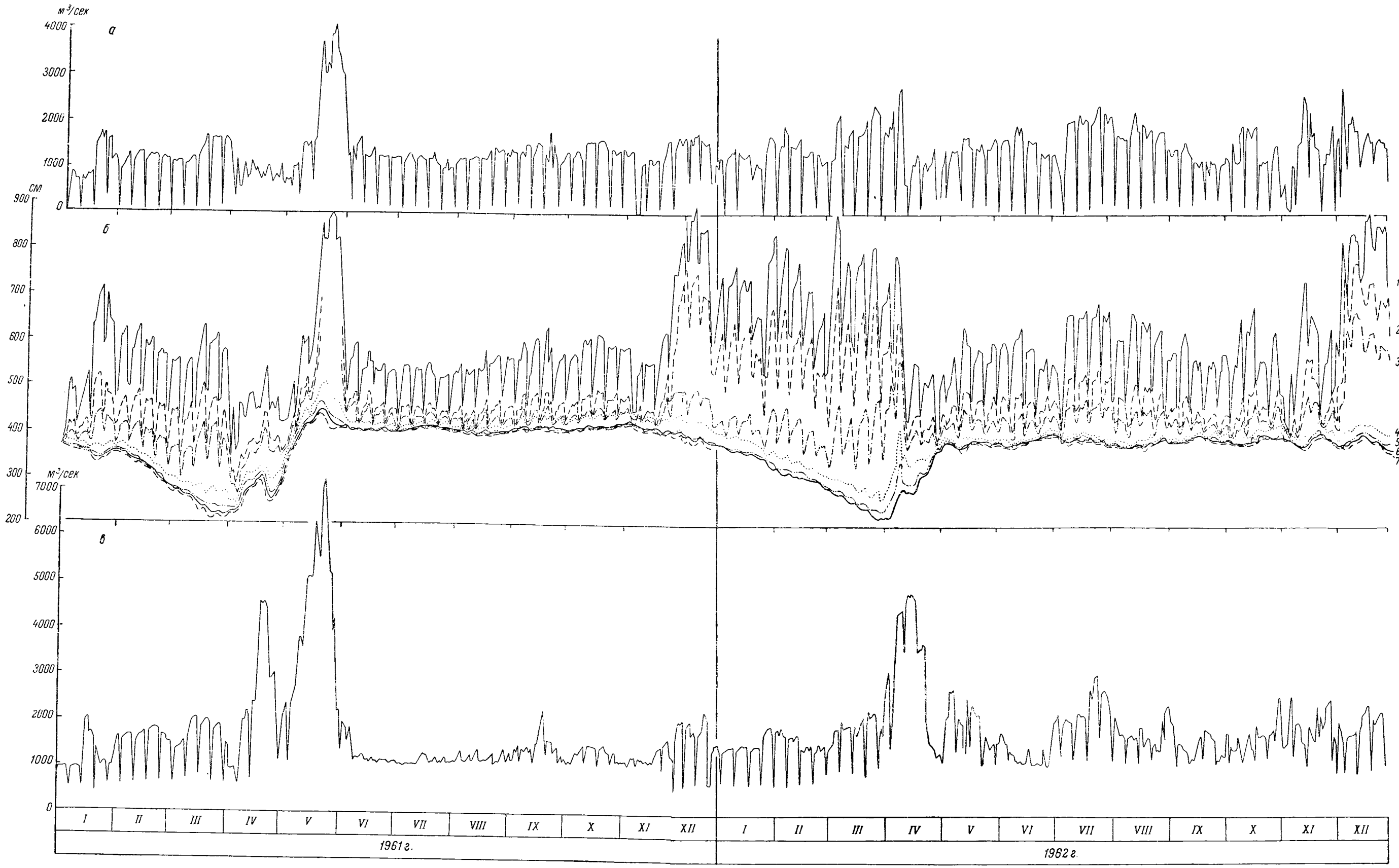


Рис. 1. Среднесуточные расходы воды Рыбинского (а) и Горьковского (б) гидроузлов и уровни водохранилища (в) у Рыбинска (1), Тутаева (2), Ярославля (3), Костромы (4), Плеса (5), Кинешмы (6) и Столици (7) за 1961 и 1962 гг.  
По вертикали — расходы и уровни воды.



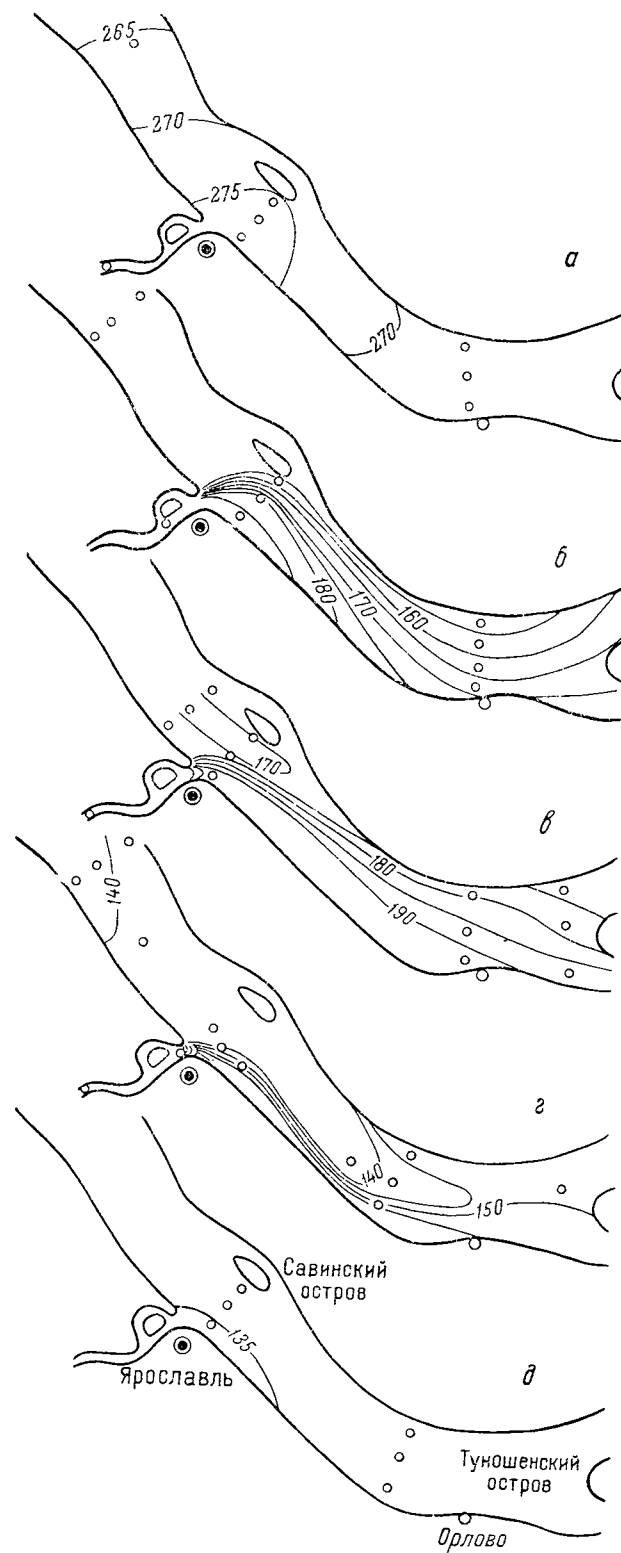


Рис. 3. Электропроводность воды водохранилища  
вблизи устья Которосли.

а — 17 часов 16 V 1963; б — 18 часов 11 VII 1963; в — 20 часов  
27 VI 1963; г — 9 часов 29 VIII 1962; д — 17 часов 13 IX 1962.  
(См. объяснение в тексте).

В период весеннего наполнения водохранилища нарушается обычная для других сезонов ритмичность колебания уровня. Характер изменения уровня связан с режимом работы ГЭС, определяющимся в этот период соотношением полезной емкости водохранилищ и объема половодья. Большое влияние на ход уровня весной оказывает поступление вод половодья притоков. Продольные уклоны водной поверхности водоема в это время зависят не только от объемов весеннего стока Костромы, Которосли, Унжи и других рек, но и от сроков поступления максимальных весенних расходов той или иной реки в водохранилище.

Имеющееся в настоящее время число инструментальных измерений скоростей течения (Буторин, 1963) еще далеко не достаточно для того, чтобы составить правильное представление о характере перемещения вод в речной части водохранилища. Эти измерения свидетельствуют о том, что на любом участке в отдельные периоды течение может полностью отсутствовать, т. е. скорости течения соизмеримы или ниже начальной скорости гидрометрической вертушки. С другой стороны, в моменты сбросов воды Рыбинской ГЭС максимальные скорости у Рыбинска могут достигать 130—140 см/сек., а ниже по течению они постепенно уменьшаются до 10—20 см/сек. в районе Кинешмы—Решмы. Такое снижение максимальных скоростей объясняется распластыванием волн попусков в водоеме с постепенно возрастающей площадью поперечного сечения.

В ряде съемок речной части водохранилища отмечались незначительные по величине, но вполне закономерные изменения электропроводности воды. В результате анализа неоднородности водной массы с учетом режима сбросов, уровней и уклонов водной поверхности создано следующее представление о качественной стороне процесса перемещения воды в подпертом нижнем бьефе гидроузла.

В течение большей части года поступление основной доли притока в водохранилище происходит через Рыбинскую ГЭС в виде периодических попусков, подчиненных четкому суточному ритму. При сбросе каждой новой суточной порции вод в нижнем бьефе возникает волна попуска, быстро распространяющаяся по руслу Волги и вызывающая в нем стоковое течение. Быстрота распространения толчка, связанного с началом попуска и стокового течения, в условиях подпертого бьефа весьма велика. По нашим наблюдениям, у Ярославля вода приходит в движение спустя примерно 1.5 часа после начала попуска Рыбинской ГЭС, что соответствует скорости добегания более 60 км/час. В ночные часы, после прекращения дневного попуска, стоковое течение на верхнем участке затухает. Пульсирующий режим перемещения водной массы, вследствие присущей ей инерции, постепенно выравнивается в районе Кострома—Кинешма. Ниже внутрисуточные колебания скорости стокового течения, связанные со сбросами Рыбинской ГЭС, неощутимы.

Отсутствие дневного попуска в нерабочие дни нарушает обычный суточный ритм. Стоковые течения в такие дни почти полностью прекращаются на всем протяжении речной части водоема, а на отдельных ее участках, вероятно, могут иногда возникать возвратные перемещения водной массы. О возможности этого явления свидетельствуют обратные уклоны водной поверхности между соседними водомерными постами (см. таблицу). Пульсирующий режим перемещения вод речной части водохранилища искажается временными изменениями режима работы ГЭС, половодьями и паводками на крупных притоках.

Для характеристики динамики вод исследованного района с использованием неоднородности волжской водной массы приведем материалы съемки верхнего участка речной части водохранилища 28—29 августа

1962 г. (рис. 2). Электропроводность воды в русле Волги у Рыбинского шлюза в 10 часов 28 августа была равна  $178 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Ниже устья Шексны она резко понижалась до 140, а в 14 часов выше Константиновского — до  $131 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Подобные воды занимали все русло Волги до Константинова и стрежневую часть потока вплоть до Красного Холма (рис. 2, б). Ниже электропроводность увеличивалась и в 17 часов у Норского достигла  $150 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Между Фрольцевым и устьем Которосли она вновь понизилась до  $133 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Повышение электропроводности водной массы на  $15 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , обнаруженное между Норским и Фрольцевым, не может быть связано со стоком притоков или сбросами сточных вод в расположенных выше населенных пунктах. Это доказывается соответствующим расчетом по формуле смешения (Алмазов, 1956). Наиболее вероятным объяснением происхождения этого «пятна» вод с повышенной электропроводностью может быть только существенное изменение обычного соотношения объемов вод, поступающих в то время через ГЭС и через шлюзы.<sup>1</sup>

В среднем за сутки расходы воды на шлюзование составляют менее 5%, и только в воскресенье (с 8 часов 26 августа до 4 часов 27 августа) в нижний бьеф было сброшено через шлюзы 26% общего сброса гидроузла за этот период ( $11.3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ ). Именно это и вызвало увеличение электропроводности сравнительно большого объема вод. Проверка по формуле смешения (электропроводность исходных вод 180 и 135, вод смеси —  $150 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ) дает приблизительно сходное соотношение исходных объемов вод (33% — шлюзование, 67% сброса — сработка воды ГЭС) с фактически наблюдавшимся 26 августа. Реальность такого объяснения происхождения «пятна» вод с повышенной электропроводностью подтверждается и средней скоростью перемещения водной массы. Воды, сброшенные через ГЭС утром 27 августа (рис. 2, а), на следующий день к вечеру достигли Норского, пройдя 80 км за 37 часов. Средняя скорость перемещения воды 2.2 км/час, или 0.6 м/сек.

Рассмотренный пример изменения электропроводности на верхнем участке водоема свидетельствует о том, что воды, сброшенные через Рыбинский гидроузел, перемещаются затем вниз по руслу Волги отдельными объемами, своего рода «порциями». Такие порции, объемом более  $10 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ , сохраняют свои индивидуальные свойства в течение нескольких суток и могут быть прослежены на значительном удалении от Рыбинской ГЭС. «Порции» вод, отличающиеся по своим свойствам от предшествующих и последующих, могут быть обнаружены в нижнем бьефе ГЭС только в такие периоды, когда перед шлюзами и ГЭС Рыбинского гидроузла находятся различные водные массы. Все это может быть использовано для определения проточности и водообмена верхнего участка водохранилища.

а) Вторым примером, характеризующим пульсирующий режим перемещения волжской водной массы, могут служить изменения электропроводности воды вблизи устья Которосли. На рис. 3 представлен ряд характерных моментов смешения водных масс Которосли и водохранилища.

Минимальные сбросы Рыбинской ГЭС (менее  $170 \text{ м}^3/\text{сек}$ ) и высокий сток Которосли на спаде половодья. Речная водная масса занимает все предустьевое пространство русла Волги и распространяется не только вниз по нему, но и вверх — до Фрольцова.

<sup>1</sup> В описываемый период через шлюзы сбрасывались воды с электропроводностью  $180 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , а через ГЭС — с электропроводностью  $130\text{—}140 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

б) Сбросы ГЭС также минимальны ( $110 \text{ м}^3/\text{сек}$ ), а сток Которосли соответствует летней межени. Зона смешения водных масс начинается у устья притока и сразу же охватывает все поперечное сечение русла Волги.

Небольшие сбросы Рыбинской ГЭС ( $500 \text{ м}^3/\text{сек}$ ) и повышенный сток Которосли за счет дождевого паводка. Смешение вод начинается на выходе вод Которосли в русло Волги. Зона смешения быстро расширяется и в 10 км от устья притока охватывает все поперечное сечение водоема. Ниже по течению электропроводность воды потока равномерно возрастает от левого берега к правому.

в) Начальный момент интенсивного парастания волны попуска ГЭС, через час после возникновения стокового течения в русле Волги у Ярославля. Расходы Которосли повышенные из-за дождевого паводка. Хорошо выраженная узкая струя смеси вод прослеживается вдоль правого берега Волги более чем на 15 км, а большая часть сечения водоема занята волжской водой.

г) Очень интенсивный сброс ГЭС с расходом воды около  $3000 \text{ м}^3/\text{сек}$  и сток Которосли, по величине близкий к летнему межениному. Влияние вод Которосли на электропроводность волжских вод практически отсутствует.

д) В зависимости от соотношения расходов воды волжского потока и Которосли характер процесса втекания последней в водоем может сильно меняться. В ночные часы, когда сбросы Рыбинской ГЭС невелики, смешение вод Которосли с волжским потоком происходит в русле Волги. Утром, спустя 3—5 часов после начала сброса ГЭС, уровень в Волге у Ярославля настолько возрастает, что в устье Которосли возникают обратные уклоны. Воды водохранилища заходят в устье притока, и зона смешения водных масс продвигается вверх по реке. В такие моменты воды Которосли накапливаются в предустьевом участке реки, практически совсем не поступая в водохранилище. Наиболее значительные объемы вод притока, по-видимому, вливаются в водоем в период спада уровня после прекращения сбросов ГЭС. Сходный внутрисуточный режим свойствен и другим приустьевым участкам притоков водохранилища, спадающих выше Костромского расширения.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

При анализе неоднородности водной массы в речной части Горьковского водохранилища с учетом режима сбросов ГЭС, стока притоков и колебаний уровня воды выявлен пульсирующий характер перемещения вод. Это указывает на то, что речная часть водохранилища представляет собой своеобразный водоем, унаследовавший от Волги только внешний облик и ложе. Структура водной массы, наполняющей этот водоем, и ее динамика настолько изменились по сравнению с бытовым стоком Волги, что речную часть следует считать водоемом особого типа, возникшим в условиях подпертого нижнего бьефа гидроэнергетического каскада.

#### ЛИТЕРАТУРА

- А л а з о в А. М. 1956. О соотношении концентрации ионов в воде открытых лиманов. Докл. АН СССР, т. 108, № 5.
- Б е л ы х Ф. И. 1959. О точности определения расходов воды на гидротехнических сооружениях Рыбинского узла. В сб.: Работы Рыбинской гидромет. обсерв., вып. 1, Гидрометеоиздат, Л.
- Б у т о р и н Н. В. 1959. Изменение элементов гидрологического режима Волги на участке Горьковского водохранилища в первый год его наполнения. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 1 (4).

- Б у т о р и н Н. В. 1963. Формирование гидрологического режима Горьковского водохранилища (1955—1959 гг.). Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 5 (8).
- Ж и д и к о в А. П. 1960. Расчет неустановившегося движения воды по методу Г. П. Калинина и П. И. Милюкова для нижнего бьефа Рыбинской ГЭС при суточном регулировании. Тр. Центр. инст. прогнозов, вып. 96.
- З а х а р о в а - И л ь и н а Л. К. 1959. Возрастной состав стада и рост леща Горьковского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 3.
- К р и ц к и й С. Н. и М. Ф. М е п к е л ь. 1952. Водохозяйственные расчеты. Гидрометеониздат, Л.
- М о р д у х а й - Б о л т о в с к о й Ф. Д. 1961. Процесс формирования донной фауны в Горьковском и Куйбышевском водохранилищах. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
- И р и м а ч е н к о А. Д. 1961. Фитопланктон Горьковского водохранилища в первые годы его существования (1956—1957 гг.). Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
- П ы р и н а И. Л. 1959. Фотосинтетическая продукция в Волге и ее водохранилищах. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 3.
- Ф е л ь ц и н Б. П. 1956. Режим уровня при суточном регулировании в нижнем бьефе Щербаковской ГЭС. Метеор. и гидрол., № 1.
-



# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОД РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В РЫБИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Распределение и перемещение вод различного происхождения в Рыбинском водохранилище было впервые описано М. А. Фортунатовым (1959). По степени окрашенности и прозрачности он установил наличие в этом водохранилище более или менее обособленных водных масс. Несколько позже Н. М. Казаровец (1960) показала возможность применения кондуктометрического метода для изучения их распределения летом и осенью. Некоторые общие сведения о распределении водных масс Рыбинского водохранилища в течение года приводятся Н. В. Буториным (наст. сб., стр. 10—23).

В настоящей статье рассматривается распределение и перемещение водных масс в весенний период — после вскрытия водохранилища. Данные, характеризующие распределение водных масс в подледный период, были приведены нами ранее (Ершова, 1962). Для выделения водных масс, как и прежде, мы использовали в качестве основного показателя электропроводность воды. Материал собирался в синхронных рейсах с трех горизонтов станций, расположение которых показано на рисунке в статье Н. В. Буторина (наст. сб., стр. 10—23). Определения электропроводности производились в стеклянном сосудике с платинированными электродами при помощи реохордного моста Р-38. Все величины удельной электропроводности приведены к температуре  $+18^{\circ}$  и выражены в обратных омах на 1 см.

Были проанализированы материалы четырех синхронных съемок, выполненных 9 мая и 3 июня 1960 г., 12 мая и 8 июня 1961 г. Эти два года существенно различались по водности, особенно в весенний период. Так, в 1960 г. уровень предвесенней сработки водохранилища был на 4.5 м, а к концу весеннего наполнения на 1.3 м ниже НПГ, а в 1961 г. — на 2.5 м ниже и на 0.3 м выше НПГ. Распределение притока по месяцам для весеннего периода этих двух годов дано в табл. 1.

При съемках частота станций оказалась достаточной для построения изолиний электропроводности воды на схеме Рыбинского водохранилища.

К началу мая 1960 г. в водохранилище поступило более 8 км<sup>3</sup> талой воды (табл. 1) при запасе ее к началу наполнения около 10 км<sup>3</sup>.

Электропроводность воды в начале мая 1960 г. имела существенные различия по акватории водохранилища вследствие различного химического состава талых и зимних вод (рис. 1, а). В Волжском плесе 9 мая талые воды с низкой электропроводностью ( $100—110 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ) занимали пространство до района затопленного города Мологи. Севернее этого района волжские воды распространялись узким потоком, однородным по вертикали, но с несколько повышающейся к центру водохранилища электропроводностью. Этот поток вклинивался в более минерализованные



воды центральной части водохранилища; в Моложском плесе воды с низкой электропроводностью ( $81 - 96 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ) располагались в основном вдоль его западного побережья (рис. 1, а). Это связано с тем, что продвижение весенних талых вод Мологи и малых рек западного побережья происходило главным образом по старому руслу Мологи. Распространению этих вод к востоку от русла до Борисоглеба в значительной мере препятствовала гряда островов, вышедших из под воды при низком уровне этого года.

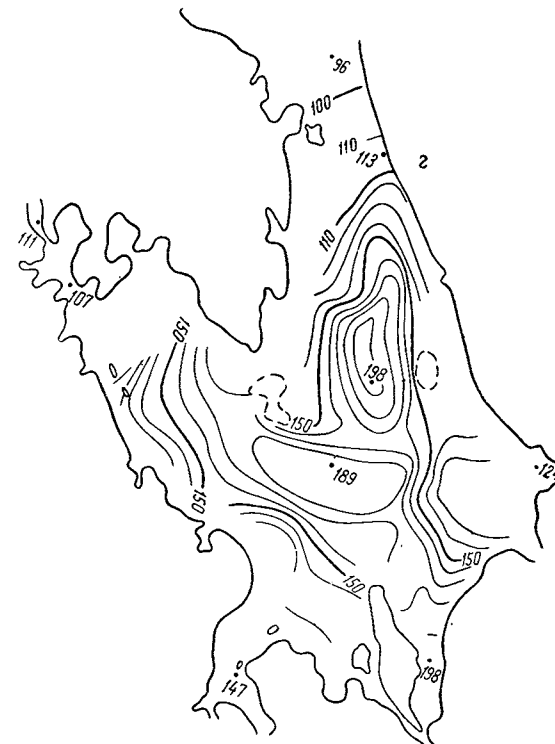
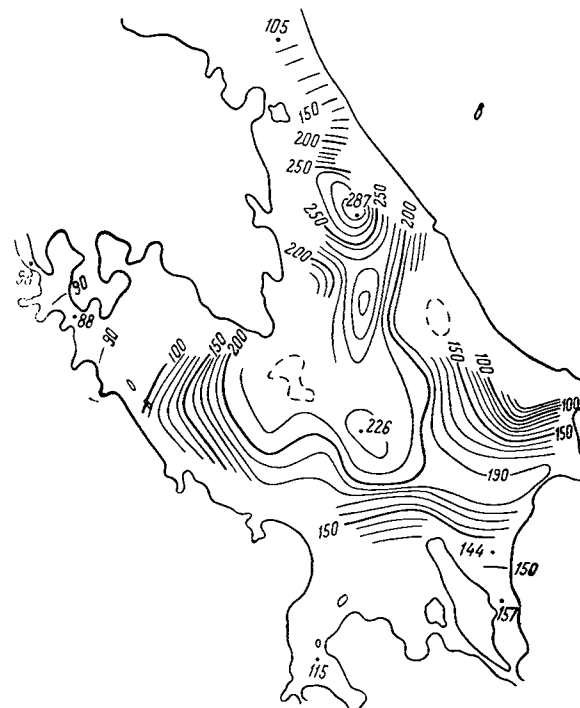
Талые воды, поступающие с верховьев Шекснинского плеса, к началу мая продвинулись до района Хвощевика. Южнее Хвощевика наименее минерализованные воды обнаруживаются не на русле, а в прибрежных районах, в основном на правой пойме (рис. 1, а). Это вызвано тем, что с правобережья широкой части Шекснинского плеса поступает большое количество мало минерализованных вод склонового стока и малых притоков. Влияние этих вод проявляется также в понижении электропроводности на участке от Ягорбы до ПОМа («Пункта открытого моря»), где на правой пойме Шексны электропроводность составляла  $160 - 180 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Наимень-

Рис. 1. Распределение электропроводности в весенний период. 1 — электропроводность воды; 2 — глубина. а — 9 мая 1960 г.; б — 3 июня 1960 г.

а — 9 мая 1960 г.; б — 3 июня 1960 г.

шая электропроводность воды в водохранилище ( $72 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ) была обнаружена в устье Согожи. Талые воды этой реки вклинивались в воды центральной части водохранилища, подобно волжским, но имели значительно меньший объем. Центральная часть водохранилища была занята зимними водами с высокой электропроводностью — до  $241 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  в районе Наволока и  $272 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  к северу от Всехсвятского. Сбросной плес заполняли воды, неоднородные по вертикали: у дна располагались воды из центральной части водохранилища с повышенной минерализацией, а в поверхностном слое — сильно трансформированные талые воды Волги и Согожи (табл. 2).

Таким образом, к началу мая 1960 г. в центре водохранилища располагались высоко минерализованные воды, а по всему периметру прибрежные районы были заполнены слабо минерализованными талыми водами склонового стока и малых притоков. Талые воды речного стока заполняли значительную часть плесов. Минимальные величины электропроводности прослеживались на выходах вод из речных в расширенные участки плесов. Некоторое повышение электропроводности в вер-



водности воды в Рыбинском водохранилище удельной электропроводности  $10 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

а — 12 мая 1961 г.; б — 8 июня 1961 г.

Т а б л и ц а 1

Распределение притока в Рыбинское водохранилище								
Река	1960 г.				1961 г.			
	апрель		май		апрель		май	
	км <sup>3</sup>	%	км <sup>3</sup>	%	км <sup>3</sup>	%	км <sup>3</sup>	%
Волга . . . . .	2.4	28.6	1.4	34.1	4.0	41.6	1.5	16.3
Молога и Чагодоща . . . . .	1.5	17.8	1.1	26.8	1.7	17.7	2.1	22.9
Шексна и Суды <sup>1</sup> . . . . .	1.6	19.0	1.6	39.0	1.4	14.6	3.1	33.7
Мелкие притоки и склоновый сток . . . . .	2.9	34.6	< 0.05	0.1	2.5	26.1	2.5	27.1
Сумма . . . . .	8.4	100	4.1	100	9.6	100	9.2	100
Сумма за апрель и май, в км <sup>3</sup> . . . . .	12.5				18.8			

ховьях речных плесов связано с поступлением сюда вод конца половодья с большим удельным весом грунтового питания. Продвижение талых вод в мае 1960 г. было замедленным вследствие того, что в этот период

Т а б л и ц а 2  
Электропроводность воды в Сбросном плесе 9 мая 1960 г.

№ станции	Глубина, м	Электропроводность, ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>		
		поверхность	середина глубины	дно
41	20.0	165 · 10 <sup>-6</sup>	204 · 10 <sup>-6</sup>	219 · 10 <sup>-6</sup>
42	22.0	189 ·	197 ·	204 ·
43	13.0	177 ·	177 ·	202 ·

между Шуморовским островом и районом г. Мологи. К началу июня талые воды заняли большую часть Моложского плеса, о чем свидетельствует значительное понижение электропроводности в придонных горизонтах на станциях 41а, 43а, 44. Однако ко времени июньской съемки они в поверхностных горизонтах были перекрыты более минерализованными водами центральной части водохранилища (табл. 3).

Минимальные величины электропроводности в массе моложских вод повысились с 81 · 10<sup>-6</sup> ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> в начале мая до 99 · 10<sup>-6</sup> ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> 3 июня, но по-прежнему наблюдались в районе Борисоглеба. В Шекснинском плесе воды половодья к началу июня переместились в район Рои и Копорья, как и в мае, прижимаясь к правому берегу (рис. 1, б). Воды, располагавшиеся в мае к юго-востоку от Центрального мыса, с электропроводностью 160—180 · 10<sup>-6</sup> ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> сдвинулись к району Наволока, вытеснив более минерализованные воды и частично смешавшись с ними. В результате в районе Наволока образовалась зона однородных вод с электропровод-

<sup>1</sup> Кроме стока Шексны и Суды, сюда включен еще сток с бассейнов рек, расположенных между восточной границей водосбора Мологи и западной границей водосбора Ягорбы.

в водохранилище поступило только 33% весеннего притока.

К 3 июня 1960 г. однородные волжские воды с электропроводностью 120—130 · 10<sup>-6</sup> ом<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> продвинулись до северной оконечности Рожновского мыса. Эти же воды заполнили Переборский залив. Севернее Рожновского мыса они вклинивались в центральную часть водохранилища. Наименее минерализованные воды в Волжском плесе, как и в мае, располагались на участке

ностью  $180—190 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Согожские воды продвинулись в юго-западном направлении — главным образом в поверхностных горизонтах (табл. 4).

За период с 9 мая по 3 июня максимальная электропроводность вод центральной части водохранилища понизилась до  $230 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Эти воды сдвинулись в направлении Сбросного плеса, сохраняя конфигурацию пятна, вытянутого в сторону ГЭС (рис. 1, б). В Сбросном плесе характер распределения и абсолютные величины электропроводности остались почти без изменений.

Таким образом, в течение мая 1960 г., наряду с перемещением талых вод притоков в глубь водохранилища, происходило повышение их электропроводности с  $80—100 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  до  $100—130 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  и понижение электропроводности вод центральной части водохранилища с  $270—280 \times 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  до  $220—230 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Переходя к рассмотрению распределения электропроводности воды в водохранилище весной 1961 г. (рис. 1, в), следует отметить, что отличия ее показателей от таковых предшествующего года обусловлены не только различным объемом притока, но и иным его распределением по времени (табл. 1). К началу мая 1961 г. в водохранилище поступило более  $9.5 \text{ км}^3$  талой воды, при запасе ее к началу наполнения больше  $15.5 \text{ км}^3$ .

Т а б л и ц а 4

Электропроводность воды в юго-западном районе водохранилища 3 июня 1960 г.

№№ станций	Электропроводность, $\text{ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	
	поверхность	дно
19	$140 \cdot 10^{-6}$	$155 \cdot 10^{-6}$
18	145 ·	193 ·
15	161 ·	216 ·

ной плес поступали несколько трансформированные волжские воды с электропроводностью  $140—160 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , но они четко отличались от высоко минерализованных вод центральной части водохранилища и в некоторой степени препятствовали продвижению последних в этот район (рис. 1, в). Интенсивным притоком волжских вод в апреле 1961 г. объясняется и глубокое проникновение их к северо-западу по затопленному руслу Мологи. Моложские талые воды в 1961 г. заполняли широкую часть плеса, начиная от Мшичина, в то время как в предшествовавшем году распространение их по плесу начиналось к югу от Первомайских островов.

Наибольшие различия в распределении вод между весной 1960 и 1961 гг. наблюдались в Шексинском плесе, где 12 мая район Ягорба-Роя оказался заполненным водами с электропроводностью

Т а б л и ц а 3

Электропроводность воды в Моложском плесе 3 июня 1960 г.

№№ станций	Электропроводность, $\text{ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$	
	поверхность	дно
41а	$176 \cdot 10^{-6}$	$135 \cdot 10^{-6}$
43а	176 ·	158 ·
44	191 ·	167 ·

до  $288 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , максимальной для водохранилища. Однако эти зимние воды были, вероятно, уже несколько трансформированы, о чем свидетельствует измеренная нами 25 апреля электропроводность в районе Мяксы, равная  $390 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Одновременно к западу от района Роя-Никольское были обнаружены талые воды с электропроводностью в  $100\text{—}150 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , которые вызвали понижение электропроводности воды в районе Центрального мыса до  $176\text{—}220 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  и, как в 1960 г., образовали зону вод с пониженной по сравнению с зимней электропроводностью. Замедленное продвижение талых вод из верховьев Шекснинского плеса в начале весны 1961 г. объясняется меньшим стоком Шексны

Т а б л и ц а 5  
Электропроводность воды в Моложском плесе 8 июня 1961 г.

№ ст-ции	Глубина, м	Электропроводность, $\text{ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$		
		поверхность	средняя глубины	дно
39	16.0	$147 \cdot 10^{-6}$	$128 \cdot 10^{-6}$	$127 \cdot 10^{-6}$
40	11.0	149 ·	138 ·	141 ·
41	9.0	184 ·	185 ·	173 ·
41а	9.5	167 ·	156 ·	153 ·
43а	6.5	170 ·	168 ·	149 ·
46	6.5	187 ·	182 ·	164 ·

зимние воды шекснинского происхождения. Волюжский поток препятствовал также проникновению к югу согожских вод с электропроводностью  $57\text{—}70 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Несмотря на более значительное поступление талых вод по сравнению с весной 1960 г., глубина их проникновения к центру водохранилища к началу июня была такой же, как и в предшествовавшем году. Это, видимо, объясняется тем, что к началу июня отношение притока к запасу воды в водохранилище перед началом наполнения в эти годы было одинаковым (1.28 в 1960 г. и 1.21 в 1961 г.).

Волюжский плес к 8 июня был заполнен водами с электропроводностью от 137 до  $170 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . В поверхностных горизонтах она была  $137\text{—}141 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , а у дна — до  $160\text{—}170 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  (рис. 1, г). Повышение электропроводности до  $170 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  вызвано поступлением из Угличского водохранилища более минерализованных вод начала летней межени. В мае приток Волги составлял лишь 16.2% от суммарного притока в водохранилище, и более глубокого, чем к началу мая, проникновения волюжских талых вод в центральную часть водоема не наблюдалось.

В Моложском плесе к началу июня наблюдалась картина, аналогичная предшествующему году. На ряде станций электропроводность воды понизилась по сравнению с началом мая, что свидетельствует о перемещении талых моложских вод к центру водохранилища. Как и в 1960 г., в этом районе были обнаружены повышенные по сравнению с придонными величины электропроводности в поверхностном слое (табл. 5).

Наиболее достоверным объяснением такого распределения электропроводности воды является поступление в этот период в Моложский плес более минерализованных вод из центральной части водохранилища. Судя по анализу метеорологических условий в Моложском плесе в мае 1960 и 1961 гг., ветровой нагон этих вод исключается. Возможно, они сме-

в этот период по сравнению с 1960 г. (табл. 1). В связи с этим и минимальные величины электропроводности были обнаружены в 1961 г. севернее, у Ольхова, а не у Мяксы, как в предыдущем году.

В районе Всехсвятского располагались сильно трансформированные зимние воды, которые вследствие подпора их потоком талых волюжских вод были сдвинуты к северу. Их электропроводность достигала лишь  $190\text{—}195 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Это значительно меньшие величины, чем наблюдавшиеся в этом районе в мае предыдущего года, когда сюда сдвинулись

щаются в сторону Моложского плеса под напором шекснинских талых вод, сток которых в этот период превышает сток моложских и вожских вод.

В Шекснинском плесе, вследствие запаздывания половодья, талые воды к началу июня сдвинулись лишь к району Ягорбы, и трансформация их происходила в южной части Шекснинского плеса, а не в центре водоема, как в 1960 г. Пятно высоко минерализованных вод продвинулось к югу. Максимальная электропроводность в нем упала до  $230 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Воды, окружавшие Центральный мыс, также переместились южнее и заняли более обширный район. Согожские талые воды с электропроводностью, увеличившейся до  $125 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , продвинулись к центру водохранилища, но лишь в поверхностных горизонтах (двух-, трехметровом слое).

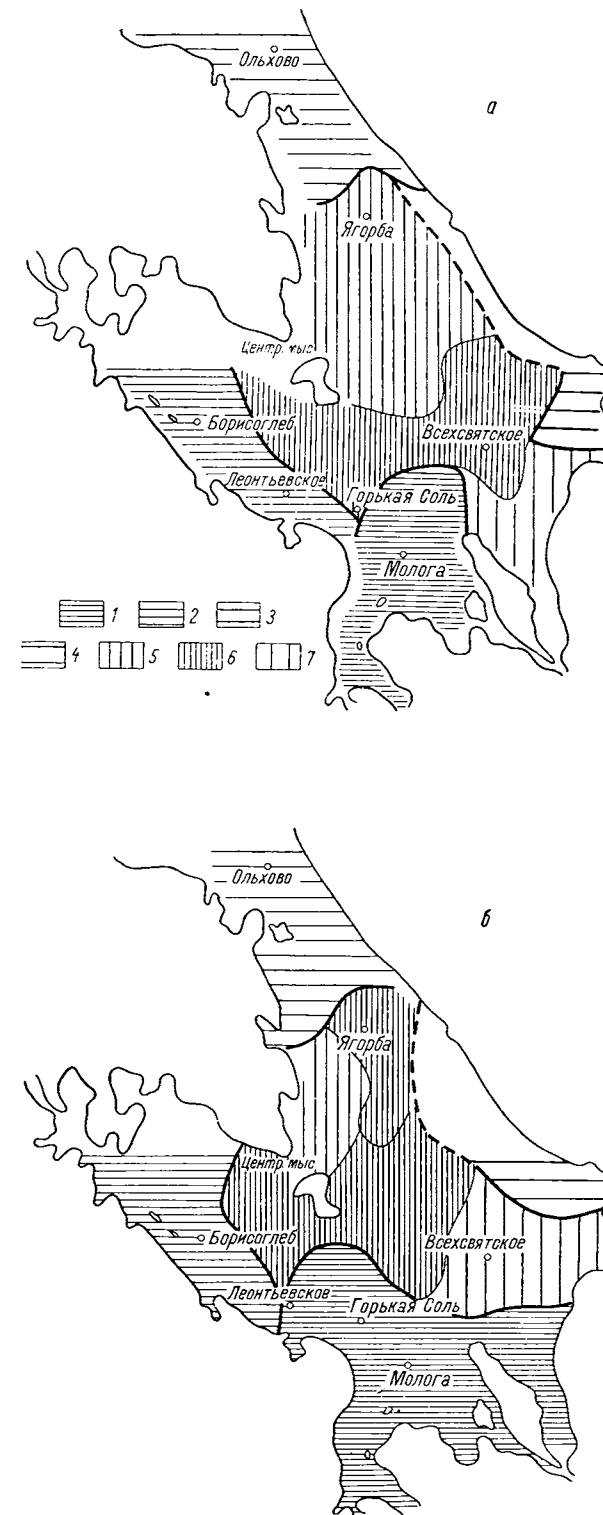
Анализ распределения электропроводности воды в водохранилище весной 1960 и 1961 гг. и изменения ее величин в течение сезона позволяет сказать, что одни и те же участки водохранилища ежегодно и приблизительно в одно и то же время заполняются водами с одинаковой электропроводностью. Некоторые изменения ее распределения и абсолютных значений определяются в основном гидрометеорологическими условиями. В табл. 6 показано различие электропроводности талых вод, поступивших в плесы водохранилища в весенний период, и зимних, занимающих центральную часть водоема. Большие колебания величин электропроводности, характеризующих воды центральной части водохранилища, обусловлены различной степенью трансформации зимних вод, электропроводность которых в свою очередь различна в разных частях водохранилища. Исходя из данных табл. 6, можно утверждать, что электропроводность вод связана с их происхождением и сохраняется на протяжении довольно длительного времени и при их перемещении. Установление такой закономерности распределения вод в Рыбинском водохранилище дает возможность провести аналогию между водами разного происхождения в водохранилище и водными массами в море. В. К. Агенов (1944) предлагает разделять водные массы по линиям, проведенным через точки, в которых наблюдаются максимальные градиенты характеристик. Этим методом мы и попытались воспользоваться для проведения границ между водными массами водохранилища.

Используя схемы с изолиниями электропроводности и рассчитанные по профилям градиенты электропроводности между станциями, мы провели по линиям максимальных градиентов границы между водными массами для каждой из описанных выше съемок. На рис. 2, а, б толстыми

Т а б л и ц а 6

Воды	Электропроводность воды, $\text{ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$			
	9 V 1960	3 VI 1960	12 V 1961	8 VI 1961
Вожские . . . . .	104—110 · 10 <sup>-6</sup>	122—130 · 10 <sup>-6</sup>	115—120 · 10 <sup>-6</sup>	128—150 · 10 <sup>-6</sup>
Моложские . . . . .	84—90 ·	99—110 ·	88—100 ·	106—110 ·
Шекснинские . . . .	78—80 ·	91—100 ·	103—110 ·	96—110 ·
Согожские . . . . .	72—80 ·	138—155 ·	57—70 ·	124—130 ·
Центральной части водохранилища	165—274 ·	168—226 ·	176—288 ·	147—219 ·

4\*



линиями показаны границы между водными массами притоков (шекснинской, моложской, волжской, согожской и водной массой центральной части водохранилища), тонкими — границы между различными компонентами водной массы центральной части (зимними водами волжско-моложского и шекснинского происхождения, водами Центрального мыса и водами центра). Границы между водными массами в мае 1960 и 1961 гг. представляют собой вертикальные плоскости, о чем свидетельствует вертикальное расположение изолиний электропроводности на профилях. Названия выделенных водных масс условны. Например, под Шекснинской водной массой подразумеваются воды не только Шексны, но и всех рек, поступающих в Шекснинский плес. Различие между компонентами водной массы центральной части водохранилища по их электропроводности видно из табл. 7.

К началу июня по электропроводности уже трудно разделить водную массу центральной части водохранилища на компоненты, различающиеся по своему происхождению. Поэтому они объединены под названием трансфор-

Рис. 2. Распределение водных масс Рыбинского водохранилища. а — 9 V 1960; б — 12 V 1961. Водные массы плесов:

1 — волжская; 2 — моложская; 3 — шекснинская; 4 — согожская. Водная масса центральной части водохранилища: 5 — воды Центрального мыса; 6 — зимние воды волжско-моложского и шекснинского происхождения; 7 — воды центра.



Т а б л и ц а 7

Электропроводность центральной части водохранилища в весенний период

Воды	Электропроводность воды, ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>			
	9 V 1960	3 VI 1960	12 V 1961	8 VI 1961
Зимние шекснинского происхождения . . . . .	230—277 · 10 <sup>-6</sup>	—	240—287 · 10 <sup>-6</sup>	—
Зимние волжско-молжского происхождения . . . . .	200—241 ·	—	200—226 ·	—
Центра . . . . .	165—230 ·	—	150—197 ·	—
Центрального мыса . . . . .	150—230 ·	170—180 · 10 <sup>-6</sup>	176—230 ·	180—190 · 10 <sup>-6</sup>
Трансформированные зимние . . . . .	—	150—226 ·	—	150—219 ·

мированных зимних вод. Особо выделена лишь водная масса Центрального мыса, так как, по всей вероятности, ее формирование идет несколько отлично от остальных вод центральной части. Это объясняется тем, что водная масса Центрального мыса лежит несколько в стороне от направлений основных потоков в водохранилище и поэтому более стабильна.

Рис. 2, а, б значительно более четко, чем схемы с изолиниями, показывает различия в расположении водных масс и границ между ними в мае 1960 и 1961 гг. Эти различия заключаются в основном в глубине проникновения в водохранилище волжских талых вод и в местоположении высоко минерализованных зимних вод шекснинского происхождения. К началу июня эти различия в значительной мере сглаживаются. Проведение границ между водными массами позволяет составить представление о перемещении их в течение сезона и по годам.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- 1. В Рыбинском водохранилище ежегодно в весенний период формируются и сохраняются определенное время водные массы с различными физическими и химическими свойствами.
- 2. Некоторые отклонения в абсолютных величинах показателей и различное взаиморасположение водных масс от года к году связаны с характером распределения притока и водностью года.
- 3. В водохранилище выделяются следующие водные массы: шекснинская, молжская, волжская, согожская и водная масса центральной части водохранилища. Последняя разделяется на несколько компонентов: зимние воды волжско-молжского и шекснинского происхождения, воды Центрального мыса и воды центра.
- 4. Перемещение водных масс в весенний период обусловлено характером водообмена водоема, который определяется режимом стоковых течений.

ЛИТЕРАТУРА

А г е н о р о в В. К. 1944. Об основных водных массах в гидросфере. Тр. Н.-и. учрежд., сер. V, вып. 10, Гидрометеиздат, М.—Свердловск.  
Б у т о р и н Н. В. 1965. О водных массах континентальных водоемов. Наст. сб.

- Б у т о р и н Н. В. 1965. Синхронные гидрологические съемки на Рыбинском водохранилище. Наст. сб.
- Е р ш о в а М. Г. 1962. О распространении талых вод в Рыбинском водохранилище перед его вскрытием. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 13.
- К а з а р о в е ц Н. М. 1960. Применение кондуктометрического метода к изучению распределения водных масс Рыбинского водохранилища. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 7.
- Ф о р т у н а т о в М. А. 1959. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его режима. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2 (5).
-

## ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СБРОСНОГО ПЛЕСА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В НАВИГАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

Рыбинский гидроузел включает два створа сооружений. В состав основных сооружений гидроузла входят: на Волге — бетонная водопропускная плотина, земляная плотина и плюзы; на Шексне — земляная плотина и гидростанция. Основные сбросы воды из водохранилища происходят через сооружения Шексинского узла. Холостые сбросы через водопропускную плотину предусмотрены только для годов с критическим паводком.

Граница Сбросного плеса в настоящей работе принята по линии, соединяющей северную оконечность Каменниковского полуострова, мыс Рожновский и дер. Григорово на восточном берегу водохранилища. В указанных пределах Сбросной плес представляет собой при нормальном подпорном горизонте залив длиной около 23 км с максимальной шириной в северной его части около 18 км. По мере приближения к плотине ширина плеса уменьшается и у дер. Волково, расположенной примерно в 9 км к северу от створа плотины, достигает своего минимума — 3.3 км. К югу от дер. Волково ширина плеса увеличивается и у ГЭС достигает 5 км. Площадь Сбросного плеса — 156 км<sup>2</sup>, а объем — 1.0 км<sup>3</sup>, что составляет соответственно 3.4 и 4% от площади и объема водохранилища. Средняя глубина плеса — 6.7 м, а максимальная — 30.4 м. Средняя же глубина водохранилища — около 5.6 м. Таким образом, Сбросной плес является наиболее глубоководным участком водохранилища.

Положение Сбросного плеса, который играет роль подводящего канала к ГЭС, и его морфометрические особенности определяют своеобразный гидрологический режим этого участка водохранилища. Гидрологические наблюдения в Сбросном плесе производились Рыбинской гидрометеорологической обсерваторией начиная с 1951 г. с целью выяснения причин, вызывающих образование внутриводного льда, и условий, при которых имеют место ледовые затруднения в работе ГЭС (Тачалов, 1957). Отдельные наблюдения над скоростями течений производились обсерваторией и в последующие годы.

Гидрологические наблюдения в северной части Сбросного плеса Институтом биологии внутренних вод АН СССР были начаты зимой 1954/55 г. и продолжались в последующие годы во время синхронных съемок водохранилища. Однако этих наблюдений оказалось недостаточно, чтобы дать удовлетворительную гидрологическую характеристику этого участка, необходимую для понимания гидрологического режима всего водохранилища. Поэтому предшествующие наблюдения мы дополнили специальными исследованиями.

## МЕТОДИКА РАБОТ

В 1962 г. было выполнено три специальных рейса: первый — 22 мая, второй — с 21 по 24 июня, третий — с 9 по 12 октября. Во время рейсов наблюдения производились на 22 станциях по четырем стандартным разрезам (рис. 1). Разрезы располагались следующим образом: I — в 1.5 км от ГЭС, II — у дер. Волково, III — в 7 км севернее дер. Волково, IV — по линии Рожновский мыс — дер. Григорово. Число разрезов и их местоположение выбиралось с учетом морфометрии плеса и имеющихся материалов по гидрологическому режиму.

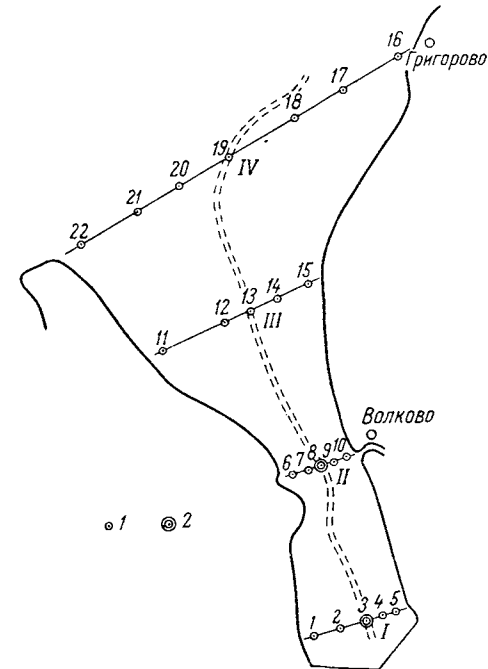


Рис. 1. Схема расположения гидрологических станций в Сбросном плесе водохранилища.

1 — стандартные станции; 2 — суточные станции.

по данным Рыбинской гидрометеорологической обсерватории, — 22 апреля, а средняя дата очищения от льда — 27 апреля. Нагревание воды начинается еще подо льдом — после того, как сходит снег, — но особенно интенсивно оно проходит в первый месяц после вскрытия. О ходе прогрева воды в прибрежной части плеса можно судить по ее среднедекадным температурам на водомерных постах Волково и мыс Рожновский (табл. 1).

Наблюдения 22 мая 1962 г. производились при следующих погодных условиях. В течение дня температура воздуха изменялась от  $11.8^{\circ}$  в 7 часов утра до  $23.1^{\circ}$  в 13 часов. К концу съемки температура воздуха была  $18-19^{\circ}$ . Скорость ветра над акваторией плеса изменялась от 2.9 м/сек. до 6.4 м/сек. Направление ветра в период съемки было довольно устойчивым и изменялось от южного до юго-восточного. Волнение достигало 1—2 баллов. Наибольшая высота волны отмечалась в северной части плеса, что связано с направлением ветра.

Наиболее высокая температура воды 22 мая наблюдалась в поверхностном слое в северо-западной части плеса, в районе мыса Рожновского.

В период первого рейса производились наблюдения над температурой воды, прозрачностью, электропроводностью, а также отбирались пробы воды на химический анализ. В последующие два рейса к этому комплексу наблюдений прибавились измерения скорости течения. Кроме того, во всех рейсах велись попутные наблюдения над температурой воздуха, скоростью и направлением ветра. Во втором и третьем рейсах были выполнены три суточных станции: две в районе дер. Волково на старом русле р. Шексны и одна на русловой станции разреза I в 1.5 км от ГЭС (рис. 1).

Наблюдения над распределением температуры воды на вертикали производились с помощью термистров, а в поверхностном слое — обычным ртутным термометром в металлической оправе. Скорости течения измерялись вертушкой Ж-3 и морской модернизированной вертушкой с облегченными лопастями. Определение электропроводности производилось на борту судна или в лаборатории кондуктометрическим методом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Температура воды. Средняя дата вскрытия Сбросного плеса за период с 1946 по 1955 г.

По мере приближения к плотине она понижалась и на русловых станциях разреза II у дер. Волково имела наименьшее значение. У самой плотины температура воды вновь повышалась. Следует также отметить, что в северной части плеса температура воды у западного берега была выше, чем у восточного, а в южной, наоборот, наиболее высокая температура воды была у восточного берега и на старом русле Шексны. В придонном слое наиболее высокая температура воды наблюдалась на пойменных станциях, а минимальная — в русле.

Вертикальное распределение температуры на станциях разреза IV было различным. Наибольшее температурное расслоение воды отмечалось в северо-западной части разреза IV, где в поверхностном слое температура воды достигала 14°. Ярво выраженный слой температурного скачка наблюдался здесь на глубине 1.4 м. Начиная с этой глубины в слое 0.25 м температура воды понижалась на 2.2°, а в следующем 0.35 м — на 1.1°. На других станциях разреза IV температурный скачок был выражен слабее. Полностью он отсутствовал на русловой станции и в прибрежной зоне у восточного берега. В табл. 2 приведено вертикальное распределение температуры на станциях этого разреза.

На станциях разрезов I и III вертикальное распределение температуры было примерно таким же. Слой температурного скачка располагался на глубине от 2 до 4 м, а его толщина изменялась на отдельных станциях от 1 до 3 м (рис. 2). Несколько иное распределение температуры наблюдалось на разрезе II, расположенном в самой узкой части плеса у дер. Волково (табл. 3). Температурный скачок здесь наблюдался только на левобережной пойме. На других станциях разреза, как видно из табл. 3, в верхнем слое (от 2 до 7 м), как правило, наблюдалась гомотермия, а затем постепенное понижение температуры ко дну.

Образование резко выраженного температурного скачка в мелководном прибрежном участке северо-западной части плеса, очевидно, связано с интенсивным дневным прогревом поверхностного слоя и отсутствием

Таблица 1

Средние декадные температуры воды		
Декада месяца	Волково (1950—1956 гг.)	Мыс Рожновский (1952—1955 гг.)
Апрель { I	4.6°	—
	7.5	3.4°
Май { II	8.7	7.6
	10.3	10.3

Таблица 2

Вертикальное распределение температуры воды на станциях разреза IV

№№ станций	Глубина, м	Горизонты								
		поверхность	1 м	2 м	3 м	5 м	7 м	10 м	15 м	дно
16	2.8	10.6	10.5	10.5	—	—	—	—	—	10.4
17	5.5	10.4	10.4	10.2	9.9	8.5	—	—	—	8.6
18	7.0	10.2	10.0	10.0	10.0	8.8	—	—	—	8.9
19	22.0	11.0	10.6	10.1	9.4	8.4	7.8	7.6	7.6	7.6
20	8.2	11.5	11.5	10.9	10.0	9.1	8.7	—	—	8.6
21	5.1	11.6	11.5	11.4	11.0	—	—	—	—	9.6
22	2.8	14.0	13.9	10.5	—	—	—	—	—	10.5

Таблица 3

Вертикальное распределение температуры воды на станциях разреза II

№№ стан-ций	Глубина, м	Горизонты								
		поверх-ность	1 м	2 м	3 м	5 м	7 м	10 м	15 м	дно
6	2.4	10.4	10.4	10.4	—	—	—	—	—	10.4
7	8.6	9.3	9.3	9.3	9.3	9.2	8.8	—	—	8.3
8	15.0	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.0	—	8.7
9	7.7	9.9	9.9	9.9	9.8	9.8	8.6	—	—	8.6
10	2.7	11.6	11.6	11.6	—	—	—	—	—	11.4

ветрового перемешивания. Постепенное же понижение температуры с приближением к суженной части плеса связано с перемешиванием вод волжского потока с более холодными водами центральной части водохранилища,

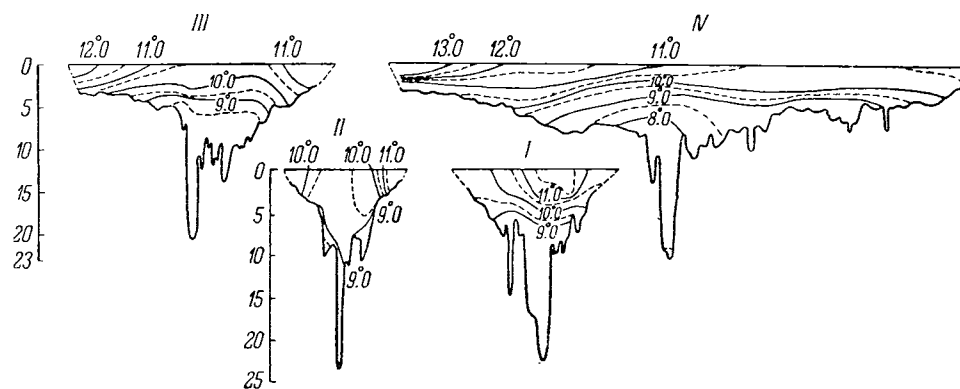


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды на поперечных разрезах I—IV (22 V 1962).

поступающими в Сбросной плес по старому руслу Шексны. Температура этих вод в поверхностном слое в районе маяка Всехсвятского была  $9.7^{\circ}$ , а в северной части плеса повышалась до  $10.2-10.4^{\circ}$ . Таким образом, она была ниже температуры волжских вод на  $1.4-1.8^{\circ}$ .

Некоторое понижение температуры воды в поверхностном слое центральной части разреза II объясняется, с одной стороны, ночным охлаждением, а с другой стороны — интенсивным перемешиванием, вызванным работой Рыбинской ГЭС. При среднесуточных сбросах воды в период наблюдений  $1400 \text{ м}^3/\text{сек.}$  скорости течения в наиболее узкой части плеса на старом русле Шексны достигали  $0.20-0.25 \text{ м/сек.}$  Южнее дер. Волково поток вод, поступающих к Рыбинской ГЭС, в связи с морфометрическими особенностями плеса несколько отклоняется к юго-западу. Вследствие этого более холодные воды русла прижимаются к юго-западному берегу. Повышение же температуры воды до  $11.6-11.7^{\circ}$  на русловой станции разреза I и на правобережной пойме объясняется как дневным прогревом, так и поступлением сюда более прогретых вод с мелководий восточного берега.

При повторном обследовании плеса, которое проводилось с 21 по 24 июня 1962 г., на русловой станции разреза II у дер. Волково была выполнена

суточная станция. В предшествующие съемке сутки и в период самой съемки происходило понижение температуры воздуха. 21 июня максимальная температура воздуха была 21.6°, а минимальная 14.7°. 22 июня максимальная температура понизилась до 17.2°, а минимальная до 11.9°. 24 июня максимальная и минимальная температуры были соответственно 15.8 и 14.1°. Скорость ветра 21 июня изменялась от 3.6 до 12.1 м/сек., а направление — от южного до юго-восточного. 22 и 23 июня направление ветра изменилось на западное и северо-западное, а скорость составляла 1—6 м/сек. К концу съемки направление ветра вновь стало южным, а скорость его не превышала 4.8 м/сек.

Понижение температуры воздуха сказалось и на температуре поверхностного слоя воды. Так, на суточной станции 21 июня максимальная температура воды была 16.7°, а 22 июня она понизилась до 16.1°. Средняя температура воды по вертикали в течение суток изменялась от 15.4 до 16.0°. Максимальная температура воды на поверхности была выше максимальной на вертикали на 0.8°.

По акватории плеса в поверхностном слое температура воды изменялась от 15.6 до 17.2°. Наиболее прогретыми в этот период, как и при первой съемке, были пойменные участки плеса. Самая низкая температура воды, 9.0°, наблюдалась у дна в северной части плеса на русловой станции 19. По ходу воды температура повышалась и в 6 км к югу от этой станции составляла 12.4°, а у дер. Волково 13.7°. Подобное повышение температуры в придонном слое по старому руслу Шексны с приближением к плотине объясняется выравниванием температуры воды за счет увеличения скоростей течения и вызванного им турбулентного перемешивания.

Вертикальное расслоение водной массы Сбросного плеса в последней декаде июня отсутствовало. Как правило, на большинстве станций в поверхностном слое температура воды была на 0.1—0.5° выше, чем в придонном, а на прибрежных станциях (с глубинами 2.6—4.0 м) наблюдалась гомотермия. Исключение составляют станции по старому руслу Шексны, где наблюдалось резкое понижение температуры в придонном слое (табл. 4).

Таблица 4  
Вертикальное распределение температуры воды по бывшему руслу р. Шексны

№№ стан-ций	Глубина, м	Горизонты								
		поверхность	2 м	5 м	10 м	15 м	17 м	19 м	20 м	дно
19	20.5	15.6	15.6	15.6	15.5	15.2	15.0	14.7	14.5	9.0
13	20.5	16.3	16.3	16.2	15.9	15.7	15.3	14.9	14.8	12.4
8	18.6	16.3	16.1	16.0	15.6	15.0	14.8	—	—	13.7
3	20.5	15.8	15.8	15.8	15.7	15.6	15.4	14.8	14.8	14.0

В период третьей съемки, которая проводилась с 9 по 12 октября 1962 г., преобладали ветры западного и северо-западного направлений со скоростью 4—7 м/сек. Некоторое ослабление ветра (до 2—3 м/сек.) наблюдалось лишь к вечеру 9 октября. К утру 10 октября ветер вновь усилился до 7—9 м/сек. и оставался таким до конца съемки. Максимальная температура воздуха 9 октября была 11.0°. К 11 октября она понизилась до 8.2°. Наиболее резкое понижение температуры воздуха наблюдалось 12 октября. В ночь с 11 на 12 октября температура воздуха коле-

балась от  $4.5$  до  $4.8^{\circ}$ , а к 15 часам 12 октября понизилась до  $2.3^{\circ}$ . Такое резкое понижение температуры сопровождалось ливневым градом и снегом с резким усилением ветра (до  $12-13$  м/сек.). Сильный ветер и наличие стоковых течений, вызываемых работой ГЭС, обусловили почти полную гомотермию. Разность между придонными и поверхностными температурами не превышала  $0.3^{\circ}$ .

На акватории плеса как в придонном, так и в поверхностном слоях изменения температуры не превышали  $0.7^{\circ}$ . Минимальная температура воды на поверхности и у дна,  $10.0^{\circ}$ , отмечалась у восточного берега плеса в районе дер. Волково, а максимальная,  $10.7^{\circ}$ , — в северной части плеса на старом русле Шексны. Следует также отметить, что в октябре по старому руслу Шексны на всех станциях температура воды как на поверхности, так и у дна была на  $0.1-0.3^{\circ}$  выше, чем на пойменных станциях. При описанных метеорологических условиях протекало интенсивное охлаждение всей водной массы. Наблюдения, произведенные на суточной станции несколько севернее ГЭС, показали, что с 15 часов 10 октября по 15 часов 11 октября в поверхностном слое температура воды понизилась на  $0.6$ , а на всей вертикали — на  $0.4^{\circ}$ . За следующие сутки, с 16 часов 11 октября по 15 часов 12 октября, охлаждение воды протекало равномерно. На русловой станции, выполненной примерно в 1 км южнее дер. Волково, по всей вертикали температура воды понизилась на  $0.6^{\circ}$ .

**Электропроводность воды.** По данным гидрологической съемки, проведенной 12 мая 1962 г., в Рыбинском водохранилище находились воды со следующей электропроводностью: Волжский плес —  $120-140 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , Моложский —  $70-120 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , Шекснинский —  $70-120 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , Центральный —  $170-200 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . По акватории Сбросного плеса электропроводность воды изменялась от 145 до  $198 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Такое различие в величинах электропроводности указывает на поступление в Сбросной плес вод различного происхождения.

Наименьшие величины электропроводности наблюдались в северо-западной части плеса, что указывает на поступление в этот район частично трансформированных вод Волжского потока. На разрезе мыс Рожновский—дер. Григорово эти воды прижаты к западному берегу и занимают сравнительно небольшую площадь. Основная же масса воды плеса более минерализована (рис. 3). С продвижением на юг воды с электропроводностью менее  $160 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  в поверхностном слое занимают значительно большую площадь. Граница их в поверхностном слое проходит уже восточнее старого русла Шексны. В придонном же слое все еще большую площадь занимают воды с электропроводностью выше  $170 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

На наиболее узком участке плеса, в районе дер. Волково, 22 мая основная масса воды имела электропроводность ниже  $160 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Воды центральной части водохранилища с высокой электропроводностью были прижаты к восточному берегу плеса. Здесь наблюдалось максимальное горизонтальное изменение электропроводности. Изменение ее по вертикали было незначительное (рис. 3). Южнее дер. Волково основная масса воды имела электропроводность ниже  $160 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Однако на старом русле Шексны в районе ГЭС в придонном слое она повышалась до  $168 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . Такое повышение электропроводности на этом участке плеса связано с поступлением в старое русло Шексны более минерализованных вод, прижатых к восточному берегу.

В конце июня общая картина поступления вод в Сбросной плес сохранилась. Вдоль западного берега, как и в мае, поступают воды волжского потока, имеющие электропроводность ниже  $160 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  (рис. 4). В северной части плеса они несколько прижимаются к западному



берегу. По старому руслу Шексны в плес поступают воды, сформировавшиеся зимой в центральной части водохранилища. Электропроводность этих вод в районе маяка Всехсвятского колебалась около  $190—200 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . На разрезе же мыс Рожновский—дер. Григорово она

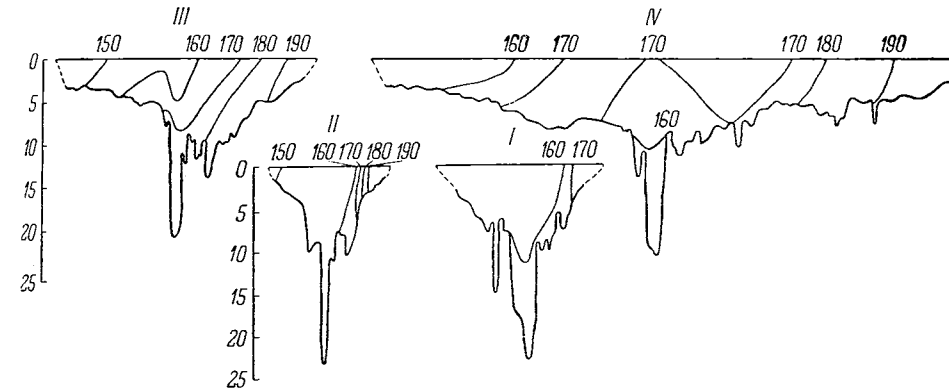


Рис. 3. Вертикальное распределение электропроводности воды на поперечных разрезах I—IV (22 V 1962).

несколько понижалась. Максимальные величины электропроводности так же, как и в мае, наблюдались в северо-восточной части плеса.

Воды волжского потока и центральной части водохранилища перемешивались между собой по ходу воды. Их электропроводность несколько повышалась, и они занимали уже большую часть плеса, располагаясь по всей правобережной пойме и над старым руслом Шексны в поверх-

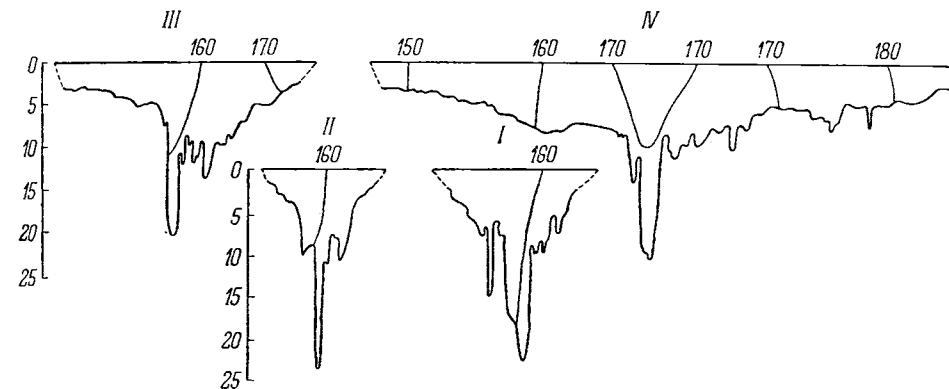


Рис. 4. Вертикальное распределение электропроводности воды на поперечных разрезах I—IV (21—24 VI 1962).

ностном слое (рис. 4). К восточному берегу плеса электропроводность повышалась, однако в 7 км севернее дер. Волково она уже не превышала  $171 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ . В районе ГЭС происходит еще большее выравнивание электропроводности по разрезу. Здесь различие в величинах электропроводности между восточным и западным берегом не превышало  $11 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ .

Во время третьего рейса (с 9 по 12 октября) распределение электропроводности воды в Сбросном плесе изменилось. Это связано с перерас-

пределением электропроводности по акватории всего водохранилища. Осенью, в предледоставный период, наиболее высокая электропроводность наблюдается в речных участках водохранилища. Воды же с более низкой электропроводностью занимают его центральную часть. В соответствии с этим, в октябре в Сбросном плесе наиболее высокая электропроводность воды наблюдалась у западного берега, где находились воды волжского потока. Распределение электропроводности по акватории Сбросного плеса показано на рис. 5.

Несколько меньшие величины электропроводности в районе мыса Рожновского, очевидно, объясняются сильными северо-западными ветрами, которые наблюдались в период рейса. Это создало благоприятные

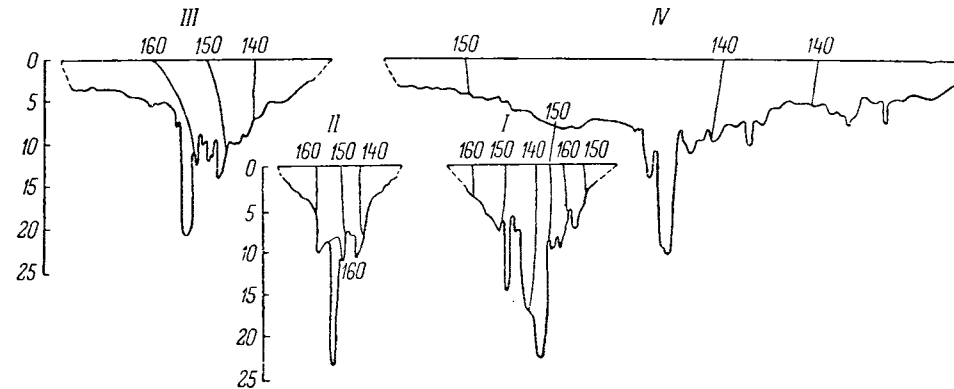


Рис. 5. Вертикальное распределение электропроводности воды на поперечных разрезах I—IV (9—12 X 1962).

условия для интенсивного перемешивания вод волжского потока и центральной части водохранилища.

Максимальные величины электропроводности наблюдались в районе дер. Волково на правобережной пойме. Как и во время предыдущих рейсов, на этом участке плеса большая площадь живого сечения была занята водами волжского потока.

В районе ГЭС на правобережной пойме и в старом русле Шексны электропроводность воды несколько понижалась. Это понижение на данном участке обусловлено поступлением в русло менее минерализованных вод с левобережной поймы, которое наблюдалось и при предыдущих съемках.

Как видно из рис. 5, в Сбросном плесе почти на всех станциях вертикальное изменение электропроводности было очень незначительно. Это связано с хорошей проточностью плеса и интенсивным ветровым перемешиванием. Наблюдения, произведенные на суточных станциях, показали, что суточные изменения электропроводности отсутствуют. Незначительные изменения электропроводности в течение суток наблюдались несколько севернее плотины. Но они, очевидно, были связаны с изменением режима работы ГЭС.

**Течения.** Наблюдения над скоростями течений в Сбросном плесе производились нами на суточных станциях, расположенных в районе дер. Волково, а также на всех станциях I, II и III разрезов в период второй и третьей съемок. Наши наблюдения и данные по скоростям течений в предыдущие годы показали, что Сбросной плес Рыбинского водохранилища является одним из наиболее проточных его участков. Скоростной режим

этого плеса как в летний, так и в зимний период находится в непосредственной связи с работой Рыбинской ГЭС.

На рис. 6 приведены скорости течения на суточной станции, выполненной 11—12 октября в районе дер. Волково, и расходы Рыбинской ГЭС. Как видно из рисунка, максимальные скорости почти на всех горизонтах соответствуют максимальным сбросам. С уменьшением же расходов воды через ГЭС заметно уменьшаются и скорости течения. Однако, как видно из рис. 6, 12 октября при минимальных сбросах воды через ГЭС, начиная с горизонта 5 м, скорости течения достигали 0.06—0.11 м/сек., в то время

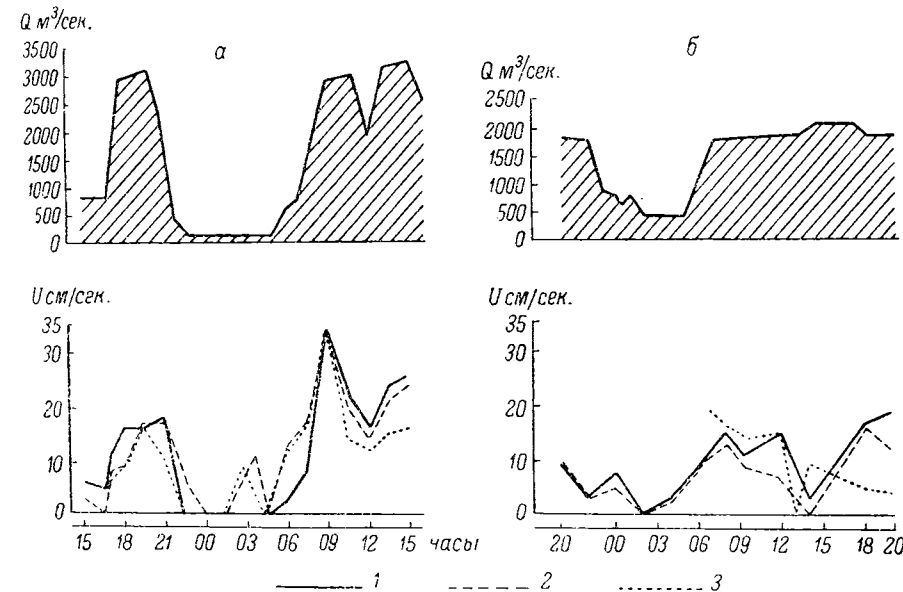


Рис. 6. Сбросы Рыбинской ГЭС и скорости течения в районе дер. Волково.

а — 11—12 X 1962; б — 21—22 VI 1962. 1 — горизонт 2.0 м; 2 — горизонт 5.0 м; 3 — горизонт 15.0 м. По вертикали — сбросы Рыбинской ГЭС ( $Q$  м³/сек.) и скорости течения ( $U$  см/сек.); по горизонтали — время.

как на поверхности течение отсутствовало. Можно предполагать, что в этот период направление течения было противоположным обычному. Случаи обратных течений в Сбросном плесе неоднократно отмечались рыбаками по прогибу сетей.

Обратные течения постоянно наблюдаются в Воляжском плесе водохранилища. Причина их — образование обратных уклонов водной поверхности вследствие инерции водных масс при резком уменьшении или полном прекращении сбросов воды через плотину (Буторин и Литвинов, 1962). Очевидно, что причина обратных течений в Сбросном плесе аналогична.

Максимальные скорости течения наблюдались в Сбросном плесе на старом русле Шексны в районе ГЭС и у дер. Волково, где они достигали 0.34 м/сек. На пойменных участках этих разрезов скорости течения изменялись от 0.06 до 0.18 м/сек. С удалением от ГЭС скорости течения постепенно уменьшались и даже в старом русле Шексны в 7 км севернее дер. Волково не превышали 0.12 м/сек., а на пойменных станциях — 0.10 м/сек. Характер потока на разрезе, расположенном в 7 км севернее дер. Волково, был аналогичен, т. е. максимальные скорости течения

по старому руслу Шексны наблюдались в поверхностном слое и уменьшались ко дну и к берегам. В северной части плеса скорости течения не превышали чувствительности вертушки.

#### ВЫВОДЫ

1. Водная масса Сбросного плеса Рыбинского водохранилища формируется из вод волжского потока и центральной части водохранилища, которые легко различаются по их электропроводности.

2. Температура воды в Сбросном плесе определяется главным образом температурой вод волжского потока и центральной части водохранилища.

3. Максимальные скорости течения в Сбросном плесе наблюдаются в районе ГЭС и у дер. Волково. При сбросах 2800—3000 м<sup>3</sup>/сек. скорости течения составляют 0.32—0.34 м/сек. По мере удаления от ГЭС скорости течения уменьшаются и в северной части плеса в безледоставный период не превышают чувствительности вертушки.

4. При резком уменьшении расходов воды через Рыбинскую ГЭС или при резком их увеличении в придонном слое Сбросного плеса возникают обратные течения, скорость которых в районе дер. Волково достигает 0.09 м/сек.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Б у т о р и н Н. В. и А. С. Л и т в и н о в. 1962. Опыт применения самописца течений Ю. К. Алексеева для изучения скоростного режима водохранилищ. Бюлл. Инст. биол. водохр. АН СССР, № 12.
- Т а ч а л о в С. Н. 1957. Методика прогноза ледовых затруднений на Щербаковской ГЭС. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 66.
-

**ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ВОЛГИ В ЗОНЕ ПОДПОРА  
ВОЛГОГРАДСКОЙ ГЭС**

Волгоградское водохранилище, созданное в результате перекрытия Волги плотинной гидроузла 30 октября—1 ноября 1958 г., является одним из самых крупных искусственных водоемов нашей страны. Площадь его при нормальном подпорном горизонте (НПГ) составляет 3117 км<sup>2</sup>, полный объем — 31.5 км<sup>3</sup>, полезный объем — 8.25 км<sup>3</sup>, средняя ширина — около 6.0 км, максимальная — 14.0 км, средняя глубина — 10.0 м. Максимальная глубина на приплотинном участке достигает 40.0 м. Подпор, созданный плотинной ГЭС, распространяется вверх по Волге более чем на 500 км (Волков, 1961).

В течение 1959—1961 гг. Куйбышевская станция Института биологии внутренних вод АН СССР в безледоставный период проводила на Волгоградском водохранилище экспедиционные рейсы для сбора гидробиологических и гидрологических данных. По длине водохранилища наблюдения проводились на русловых станциях и разрезах (рис. 1). Скорость течения измерялась вертушкой Ж-3 в 3—5 точках по глубине. За три года было сделано семь рейсов. Полученный материал гидрологических наблюдений позволил нам проследить изменения скоростного режима Волги на участке Волгоградского водохранилища в процессе его наполнения.

В связи с большим объемом и условиями строительства всего комплекса гидротехнических сооружений наполнение чаши водохранилища осуществлялось в течение трех лет (1958—1960 гг.). К концу 1958 г. уровень воды на приплотинном участке поднялся выше волжского бытового на 7.0—8.0 м. В 1959 г. продолжалось постепенное наполнение водохранилища, и к концу года уровень воды, по данным приплотинного водпоста, превышал меженный волжский на 16.0—17.0 м. К этому времени подпор распространился на 350—370 км вверх от плотины, в район г. Саратова. С начала весеннего половодья 1960 г. началось дальнейшее наполнение водохранилища. По данным Дубовского водомерного поста, уровень воды повысился еще на 6—7 м и 16 мая достиг проектной отметки (НПГ). После этого в связи с перераспределением водных масс и увеличением сбросов уровень воды в водохранилище к июню понизился на 2 м ниже отметки НПГ и в дальнейшем до конца года не изменялся. В весенний период 1961 г. уровень воды снова достиг отметки НПГ и оставался таким с небольшими колебаниями до конца года (рис. 2). Зона выклинивания подпора при отметке НПГ находится на расстоянии 520—550 км от плотины, в районе г. Балаково. Таким образом, за три этапа наполнения уровень в водохранилище поднялся выше волжского бытового на 23.0 м. В результате были затоплены левобережная пойма, устьевые участки притоков и отдельные понижения (овраги, балки) правого высокого берега Волги.

По данным Гидрометслужбы, средние скорости течения Волги в естественных условиях на участке от г. Балаково до района плотины Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС по руслу в межень были в пределах 0.5—

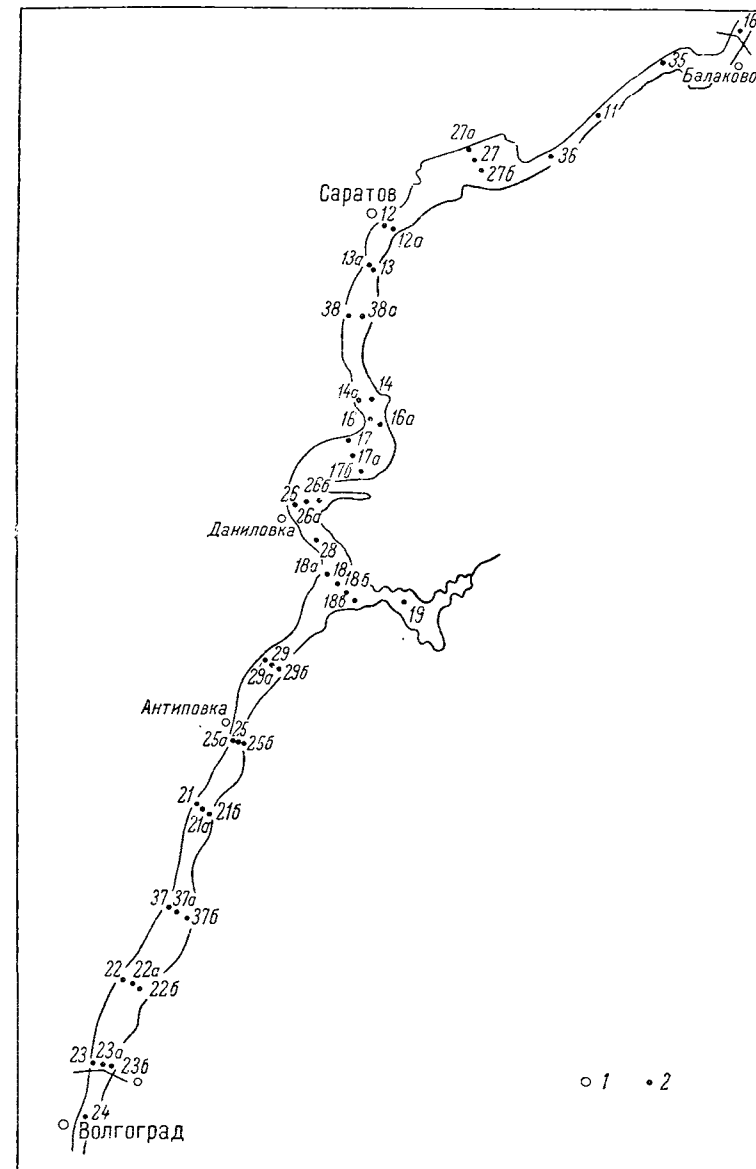


Рис. 1. Схема Волгоградского водохранилища.

1 — населенные пункты; 2 — станции наблюдений.

1.6 м/сек. С повышением уровня и увеличением расходов воды в период весеннего половодья скорости течения увеличивались до 1.0—2.0 м/сек. Наибольшие скорости, до 2.5 м/сек., наблюдались в половодье на русле реки в поверхностном слое.

Наблюдения, проведенные в ходе наполнения водохранилища в летне-осенний период 1959 г., показали, что скоростной режим Волги в зоне подпора на участке от плотины до г. Саратова претерпел существенные изменения. Так, скорости течения на участках от плотины до с. Даниловки по бывшему руслу снизились на поверхности до 0.20—0.40, у дна — до 0.10—0.20 м/сек., в районе Саратова соответственно — до 0.40—0.60 и 0.30—0.40 м/сек. (Ляхов, 1961).

Подъем уровня в весенний период 1960 г. увеличил распространение подпора по длине водохранилища и вызвал дальнейшее уменьшение скоростей течения. На приплотинном участке от плотины до с. Даниловки на русловых станциях в поверхностном слое скорости течения уменьшились до 0.15—0.25, у дна — до 0.06—0.10 м/сек., на участке с. Даниловка—г. Саратов на поверхности до 0.20—0.35, у дна — до 0.15—0.25 м/сек. и на участке Саратов—Балаково — до 0.40—0.60 м/сек. на поверхности и 0.20—0.30 м/сек. у дна.

Весной 1961 г. в период прохождения половодья на водохранилище скорости течения увеличивались. Так, по наблюдениям в апреле—мае при сбросных расходах в нижний бьеф гидроузла от 15.000 до 26.000 м<sup>3</sup>/сек. скорости по затопленному руслу Волги в нижней части водохранилища (плотина—с. Даниловка) были 0.30—0.70 на поверхности и 0.15—0.30 м/сек. у дна, в средней части (с. Даниловка—г. Саратов) — соответственно 1.0—1.3 и 0.6—1.0 м/сек. и в верхней (г. Саратов—г. Балаково) — 1.2—2.0 и 0.75—1.3 м/сек. (рис. 3).

В летне-осенний период 1961 г. при НПУ скорости течения в водохранилище снова уменьшились и составляли на участках: плотина—с. Даниловка — до 0.10—0.15 м/сек. на поверхности и 0.05—0.10 м/сек. у дна; с. Даниловка—Саратов — соответственно 0.20—0.25 и 0.10—0.15 м/сек.; Саратов—Балаково — 0.40—0.50 и 0.20—0.25 м/сек.

В июне 1961 г. в основном закончился период наполнения водохранилища и началась его нормальная эксплуатация. В связи с этим можно предполагать, что наблюдавшийся в навигационный период 1961 г. скоростной режим Волгоградского водохранилища с небольшими отклонениями сохранится и в последующие годы.

Таким образом, материалы наблюдений показывают, что скорости течения в Волгоградском водохранилище при нормальном подпорном гори-

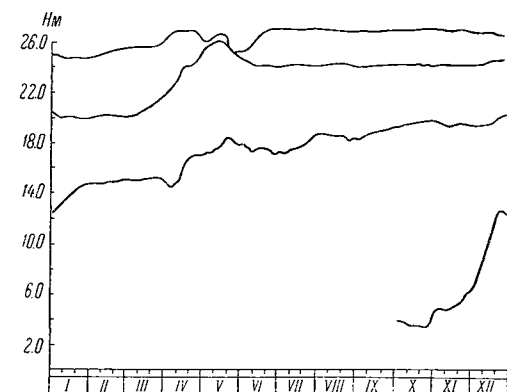


Рис. 2. Колебания уровня водохранилища в период наполнения (1958—1961 гг.) по данным Дубовского водомерного поста.

1 — 1958 г.; 2 — 1959 г.; 3 — 1960 г.; 4 — 1961 г.  
По вертикали — глубина, м.

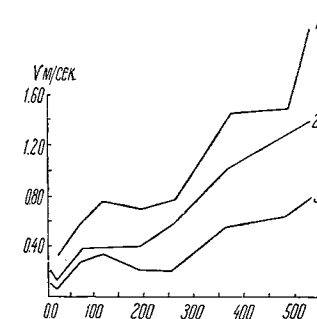


Рис. 3. Распределение поверхностных скоростей течения по длине водохранилища по годам.

1 — апрель—май 1961 г.; 2 — июль 1959 г.; 3 — июль 1960 г.  
По вертикали — скорость течения, м/сек.; по горизонтали — расстояние от плотины, км.

зонте (ИПГ) уменьшились по отношению к естественным скоростям Волги весной в среднем на участках: плотина—Даниловка — в 3, Даниловка—Саратов — в 1.5, Саратов—Балаково — в 1.2 раза, а в летне-осеннюю межень соответственно в 6.4 и 2

Скорости течения на русловой станции у с. Антиповка, измеренные в процессе наполнения водохранилища

Дата	Отметка уровня, м	Скорость течения, м/сек.			
		поверх- ность	середин а	дно	средняя
29 IX 1958	3.50	0.86	0.84	0.70	0.80
19 VII 1959	17.74	0.39	0.27	0.16	0.27
23 VII 1960	24.29	0.24	0.10	0.07	0.13
19 VII 1961	26.99	0.15	0.10	0.05	0.10

О величии изменения скоростей течения в процессе наполнения водохранилища на отдельных участках его в летне-осеннюю межень можно судить по русловой станции у с. Антиповки (см. таблицу), а о характере изменения их с глубиной — по эпюрам (рис. 4). По ширине водохранилища скорости течения распределяются неравномерно. Максимальные скорости на поверхности

и у дна наблюдались на русловых станциях, при этом поверхностные скорости, при относительно тихой погоде, заметно превышали придонные (рис. 4). На затопленной пойме по левобережью в нижней и средней частях водохранилища в летне-осенний период наблюдалось слабое течение, скорости которого были на пределе чувстви-

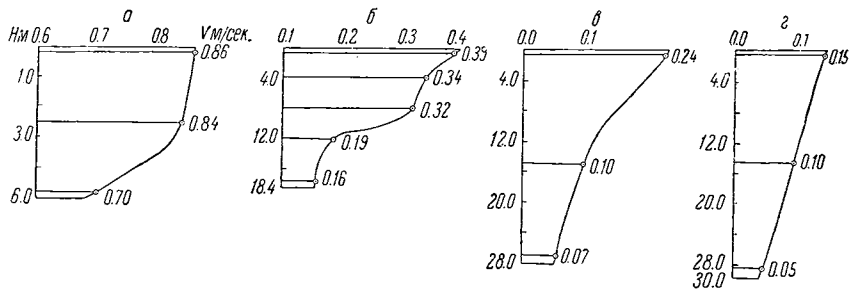


Рис. 4. Эпюры скоростей течения на русле Волги у с. Антиповки по годам в период наполнения водохранилища.

а — 29 IX 1958, отм. уровня 3.50 м; б — 19 VII 1959, отм. уровня 17.74 м; в — 23 VII 1960, отм. уровня 24.29 м; г — 19 VII 1961, отм. уровня 26.99 м.

ности вертушки. Весной во время пропуска через плотину максимальных расходов весеннего половодья скорости течения наблюдались по всей ширине водохранилища. В конце апреля—начале мая 1961 г. скорости течения по левобережью на участке плотина—Даниловка составляли 0.10—0.30 на поверхности и 0.05—0.20 м/сек. у дна, на участке Даниловка—Саратов соответственно — 0.30—0.70 и 0.20—0.50 м/сек., на участке Саратов—Балаково — 0.50—0.90 и 0.40—0.80 м/сек.

Распределение скоростей течения по длине и ширине водохранилища находится в тесной зависимости от площади поперечного сечения, величины притока и сбросных расходов воды. Расход воды через Волгоградскую ГЭС им. XXII съезда КПСС в течение всего года примерно равен приточности. Вследствие этого уровень воды в водохранилище колебался незначительно. Только в исключительно маловодные годы правилами эксплуатации предусмотрена сработка уровня на 2.0 м в навигационный и на 1.0 м в зимний периоды. В связи с этим при относительно небольшой



ширипе в Волгоградском водохранилище наблюдаются относительно большие скорости течения. Коэффициент водообмена Волгоградского водохранилища равен 7.5, что почти в 1.5 раза больше Куйбышевского.

#### ЛИТЕРАТУРА

- В о л к о в Л. Н. 1961. Водоохранилище Волгоградского гидроузла и перспективы его использования. Гидротехн. строит., № 9.
- Л я х о в С. М. 1961. Формирование бейтоса Волгоградского водохранилища в первый год его существования. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 4 (7).
-

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ДНА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Донные отложения, аккумулируя тепло летом и отдавая его воде зимой, оказывают существенное влияние на общий тепловой баланс мелководных водоемов.

Л. Л. Россолимо (1932), производивший регулярные наблюдения над термикой донных отложений на оз. Белом в Косине, нашел, что удельный вес донных отложений в общем тепловом балансе озера (вода+донные отложения) за год составляет 24%. Сравнивая данные, полученные для оз. Белого, с аналогичными данными для оз. Мендота (Birge a. oth., 1928), Л. Л. Россолимо пришел к заключению, что удельный вес донных отложений в общем тепловом балансе водоема находится в обратно пропорциональной зависимости от средней глубины водоема. Учитывая это, можно предположить, что в Рыбинском водохранилище, как мелководном водоеме с интенсивно прогреваемым дном, удельный вес донных отложений в тепловом балансе достаточно существен и величина его близка к значению, полученному Л. Л. Россолимо. Последним автором дана общая картина годового теплооборота в донных отложениях по створу от мелководья до максимальных глубин озера. Исходным материалом для этого послужили данные регулярных наблюдений над температурами на разных глубинах. Вычисленный теплозапас донных отложений по створу и его изменение были затем распространены на все озеро на основе предположения, что одинаковые глубинные зоны озера имеют одну и ту же температуру по всему водоему. Подобная методика, видимо, пригодна для непроточных озер, на которых работали Россолимо и Бердж, однако при использовании ее следует иметь в виду, что на температуру донных отложений озер и особенно водохранилищ, кроме глубины, на которой они залегают, оказывает определенное влияние ряд других факторов: проточность участка, морфология дна, грунтовое питание, характер грунта и др.

Для определения удельного веса донных отложений в общем тепловом балансе и характеристики температурного режима донных отложений на таких больших водохранилищах, как Рыбинское, с разнообразным составом грунтов и разной проточностью отдельных его участков первостепенное значение имеет изучение пространственного распределения донных температур. Малочисленность материалов по температуре донных отложений объясняется сложностью методики ее определения и отсутствием подходящих для этой цели измерительных приборов. Конструкция имеющихся ртутных термометров не позволяет непосредственно измерять ими температуру грунта и его поверхности.

В Институте биологии внутренних вод начиная с 1958 г. разрабатывалась методика определения температуры поверхности грунта и донных отложений. Нами были сконструированы электротермометр с полупровод-

никовым датчиком и донный термошуп. Первым из них измерялась температура воды и поверхности грунта, а вторым — температура донных отложений. Электротермометр состоит из датчика, погружаемого в воду на проводе, и измерительной схемы. Последняя представляет собой специально рассчитанный неуравновешенный мост с микроамперметром М-24. Прибор позволяет отсчитывать непосредственно температуру в интервале от 0 до 30° с точностью до 0.1°.

Донный термошуп построен по той же схеме, что электротермометр, но датчик заключен в специальную оправу — стержень из нержавеющей стали диаметром 14 мм и длиной 1800 мм. Специальный поддон фиксирует положение датчика на поверхности грунта, затем стержень забивается в грунт с судна или со льда грузом на тросе, поддон при этом остается на поверхности грунта. Контактное устройство позволяет определять глубину погружения датчика в грунт. Конструкция термошупа дает возможность измерять температуру донных отложений в слое грунта до 1 м от поверхности (Бакастов, 1963).

Сбор материалов производился на гидрологических съемках (Буторин, наст. сборн.). При назначении станций ставилась цель наиболее полно охватить наблюдениями все водохранилище. Это дало возможность при обработке данных получить продольные и поперечные разрезы по характерным участкам водохранилища. Работы производились зимой 1960/61 и 1961/62 гг. В качестве транспорта использовалась машина ГАЗ-47 на гусеничном ходу. Во время первой съемки местоположение намеченных станций определялось по расстоянию, которое учитывалось по спидометру и по компасу. При хорошей видимости правильность местоположения станций проверялась засечками по береговым ориентирам. Станции закреплялись пятами, окрашенными в красный цвет, и при последующей съемке наблюдения повторялись в тех же местах.

Температура воды измерялась в 0.5 м от нижней поверхности льда, по вертикали через 1 м, в 0.5 м от дна и непосредственно у дна. Температура грунта измерялась у поверхности грунта и в 5, 10, 20, 40, 60, 80 и 100 см от нее. Наблюдения над температурой воды и грунта сопровождалось измерением толщины льда и снега на льду. Зимой 1960/61 г. были проведены две температурные съемки водохранилища — в феврале и марте, а зимой 1961/62 г. три — в январе, феврале и марте.

Полученные материалы наблюдений представлены в виде ряда картосхем пространственного распределения донной температуры по акватории водохранилища. При составлении схем величины температур дна были нанесены на топографическую основу и проведены изотермы через 1°. Планиметрированием были определены площади водохранилища с температурой дна от 0 до 1°, от 1 до 2° и т. д. Осушенные к моменту съемки при понижении уровня прибрежные участки дна на схемах заштрихованы. Полученные схемы дают возможность получить представление о распределении донных температур по акватории водохранилища и об их изменении в зимний период.

В феврале 1961 г. наблюдалось характерное для середины зимы распределение зимней температуры дна (рис. 1, а). Изотерма 1° проходит вдоль берега всего водохранилища, ограничивая прибрежную мелководную зону с более низкими температурами. Сравнительно низкая температура дна здесь обусловлена высокой теплоотдачей грунта через небольшой слой воды и лед в атмосферу, а также частично скатыванием более теплых и плотных вод в прирусловые участки. Эта общая для водохранилища картина нарушается в южной части водоема, где изотерма 1° близ Горькой Соли отклоняется далеко на северо-восток, по направлению к Всехсвят-

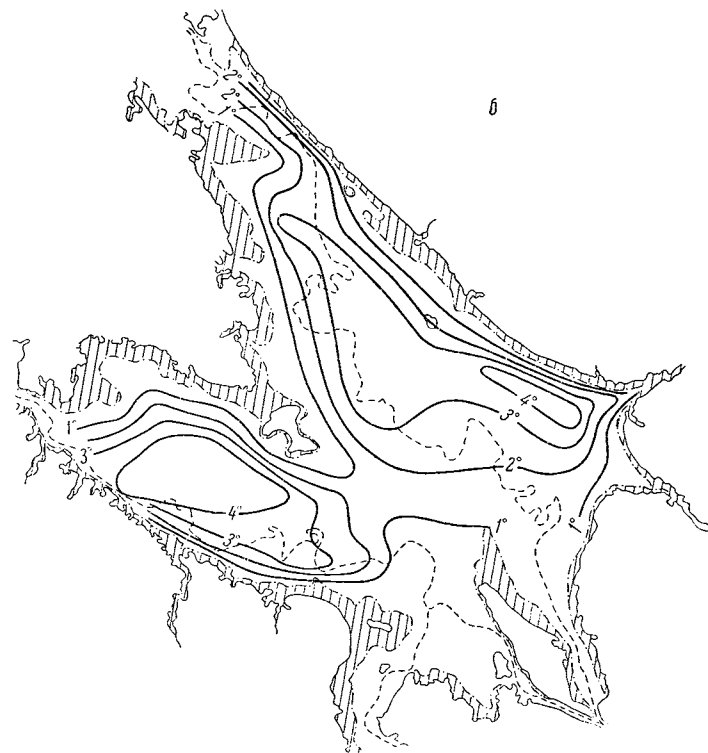
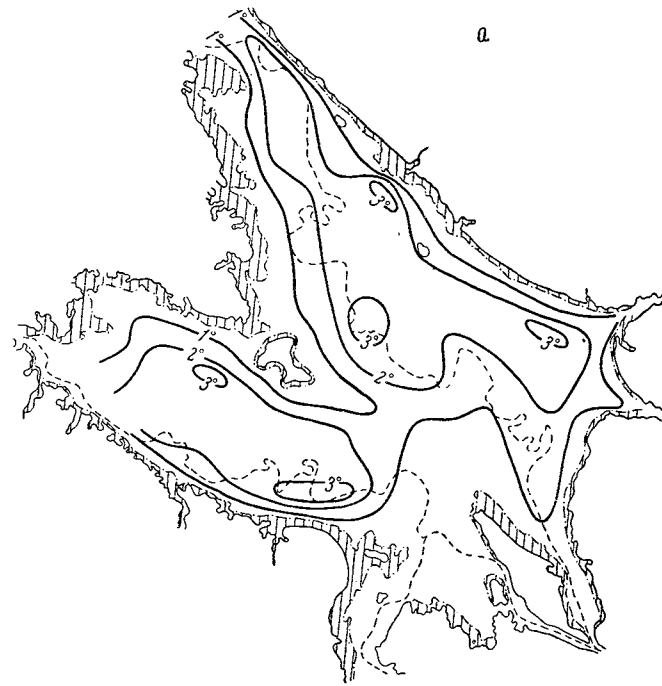


Рис. 1. Изотермы дна в 1961 г.  
а — февраль; б — март.

скому, ограничивая обширную зону, в которую входят не только мелководные участки, но и старые русла Мологи и Волги с глубинами до 16—18 м.

Весь Волижский плес водохранилища имеет температуру дна ниже  $1^{\circ}$ . Так, у Коприна, Шуморовского острова и в районе затопленного города Мологи она равняется  $0.1-0.2^{\circ}$ . Такие низкие температуры дна в этом районе обусловлены его большей проточностью во время сбросов Угличской ГЭС. Проточность способствует выхолаживанию водной массы до температур, близких к  $0^{\circ}$ , и снижению температуры дна. Волижский поток, вклиниваясь в водохранилище, вызывает снижение температуры дна всей его южной части (за исключением застойного Переборского залива), вызывая отклонение изотермы  $1^{\circ}$  к северу. У Всехсвятского изотерма  $1^{\circ}$  поворачивает к югу, образуя глубоко вдающийся в Сбросной плес изгиб с вершиной в 5 км южнее линии Рожновский мыс—Милушино, затем поворачивает на север и следует снова вдоль берега водохранилища, ограничивая мелководную прибрежную зону.

В февральскую съемку площадь водохранилища с температурой дна от  $0$  до  $1^{\circ}$  составляла  $1560 \text{ км}^2$ , или 44% от всей площади водохранилища, при уровне его на 2.4 м ниже НПГ. Кроме отмеченных районов водохранилища, сюда вошли верховья Моложского и Шекснинского плесов.

В центральной части водохранилища выделяются два обособленных района с дном, прогретым до  $2^{\circ}$  и более. Один из них расположен по старому руслу и долине р. Мологи от Первомайских островов до Горькой Соли, а другой — по руслу и долине Шексны, от Рои до линии Наволок—устье р. Ухры. Районы эти разграничивают Центральный мыс и затопленный водораздел между Мологой и Шексой. По Мологе район с температурой дна выше  $2^{\circ}$  во время этой съемки составил  $390 \text{ км}^2$ , а по Шексне  $677 \text{ км}^2$ , что в общей сложности составляет  $1067 \text{ км}^2$ , или 30% от всей площади водохранилища. Внутри этих районов выделяются участки с температурой дна более  $3^{\circ}$ : по Мологе в районе Горькой Соли, Леонтьевского и в районе оз. Харламовского, а по Шексне у Гаютина, к востоку от Центрального мыса и у Мормужина. Эти небольшие по площади очаги с повышенной температурой дна в февральской съемке составили всего  $71 \text{ км}^2$ , или 2% от площади водохранилища.

Мартовская температурная съемка была сделана примерно через месяц после февральской, при уровне водохранилища на 0.3 м ниже, чем во время предыдущей съемки. Расположение районов с более или менее прогретым дном осталось тем же, что и в феврале (рис. 1, б), но границы районов с более прогретым дном расширились. Изотерма  $1^{\circ}$  в марте проходила также вдоль берега, ограничивая прибрежную мелководную полосу, но несколько ближе к берегу. В южной части водохранилища площади дна с пониженной температурой уменьшились и изотермы  $1$  и  $2^{\circ}$  переместились на 10—15 км к югу.

В участках с повышенной температурой дна по Мологе и Шексне наблюдалось еще большее повышение его температуры. Если в феврале здесь наблюдались только небольшие очаги с температурой дна выше  $3^{\circ}$ , то в марте они увеличились и соединились, заняв обширные районы. Всего площадь дна с температурой выше  $3^{\circ}$  по Мологе и Шексне составила уже  $330 \text{ км}^2$ , или 24% от всей площади дна. Таким образом, площадь дна, прогретая свыше  $3^{\circ}$ , увеличилась за месяц примерно в 10 раз. В феврале на водохранилище не было ни одного участка с температурой дна выше  $4^{\circ}$ , а в марте они уже занимали значительные площади, как по Мологе ( $164 \text{ км}^2$ ), так и по Шексне ( $36 \text{ км}^2$ ). Всего площадь дна с температурой выше  $4^{\circ}$  составила уже  $200 \text{ км}^2$ , или 6% от всей площади дна водохранилища.

Максимальные температуры дна отмечены по Мологе в районе Борисоглеба (4.8°) и по Шексне в районе Мормужина (4.6°). Как видно из материалов, во второй половине зимы 1961 г. происходило быстрое повышение температуры дна по всему водохранилищу. Интенсивность прогрева была различной. В районах с высокой температурой дна она достигала 0.04—0.08° в сутки, а в более проточных районах, с низкой температурой, составляла 0.006—0.01° в сутки.

Чтобы представить, как происходит прогрев толщи донных отложений в проточных и малопроточных районах водохранилища, рассмотрим изменение температуры в донных отложениях на двух станциях — 3 и 42

Распределение температуры в донных отложениях Рыбинского водохранилища

Горизонт, см	Станция 3			Станция 42		
	февраль	март	прираще- ние	февраль	март	прираще- ние
0	0.2°	0.4°	+0.2°	1.8°	2.9°	+1.1°
5	0.3	0.5	+0.2	2.0	3.4	+1.4
10	0.5	0.8	+0.3	2.3	3.8	+1.5
20	0.7	1.3	+0.6	2.8	4.2	+1.4
40	1.2	1.6	+0.4	3.3	4.8	+1.5
60	2.1	1.8	—0.3	3.8	5.8	+2.0
80	3.2	2.2	—1.0	5.3	6.3	+1.0

(см. таблицу). Станция 3 расположена на старом русле Волги в Волжском плесе. Она характерна для районов водохранилища со значительной проточностью и небольшими температурами дна. Станция 42 расположена на старом русле Мологи и характерна для непроточных и малопроточных участков водохранилища с повышенной температурой дна. Из таблицы видно, что на станции 3 произошел незначительный прогрев поверхности грунта, который составлял 0.2°. Произошел прогрев и верхнего слоя грунта на глубину

0.5 м, а ниже уже происходило его охлаждение. На глубине 0.8 м грунт охладился на 1°.

На станции 42 прогрев грунта происходил на всей исследованной глубине. Поверхность грунта прогрелась на 1.1°. Глубже прогрев увеличился и достиг наибольшего значения в 2° на глубине 60 см от поверхности, после чего он снова уменьшился и на глубине 80 см составил 1°. Интересно, что максимальное увеличение температуры совпало с нижней границей вязкого серого ила, а горизонт 80 см находился уже в подстилающем слое глины.

Таким образом, в малопроточных районах водохранилища к концу зимы происходит прогрев грунта на всю исследованную глубину (около 1 м), а в проточных районах прогревается только верхний слой грунта, тогда как нижележащие слои охлаждаются. Граница перемены знака приращения температуры, по данным февральской и мартовской съемок, расположена в разных участках водохранилища на различной глубине (от 5 до 80 см). Различный характер прогрева в толще донных отложений вызван тем, что в малопроточных районах слой температурного скачка, расположенный внутри придонного слоя воды, препятствует теплоотдаче грунта. В районах же с большой проточностью температурный перепад у дна отсутствует. Это способствует возникновению большего теплового потока из грунта в воду, и в нижних слоях грунта запасы тепла иссякают, за счет чего температура верхних слоев грунта несколько повышается.

В январе 1962 г. (рис. 2, а), так же как и при съемках 1961 г., изотерма 1° ограничивала мелководную прибрежную зону и отделяла район с менее прогретым дном в южной части водохранилища. Участки водоема, прилегающие к Шексне, оказались менее прогретыми, чем по Мологе. Если по Мологе изотерма 2° ограничивала значительную площадь и в пределах ее наблюдались очаги с температурой дна 3° и выше, при максимальных ее

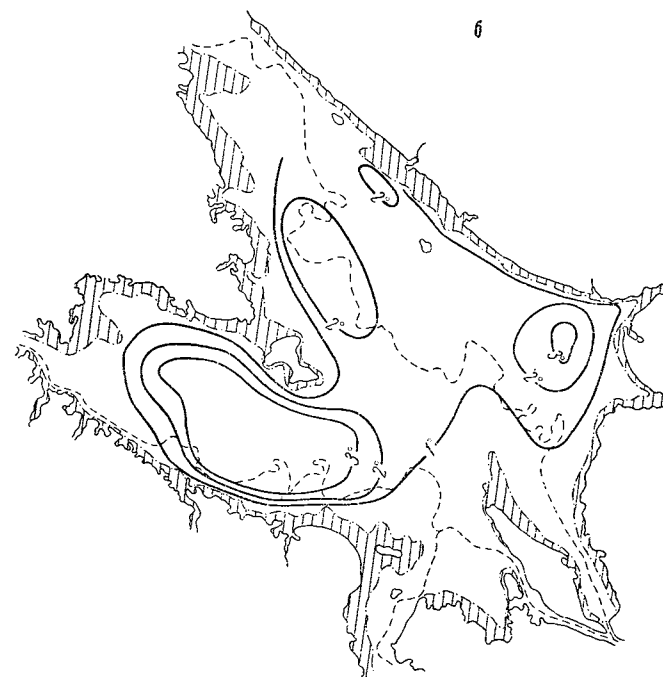
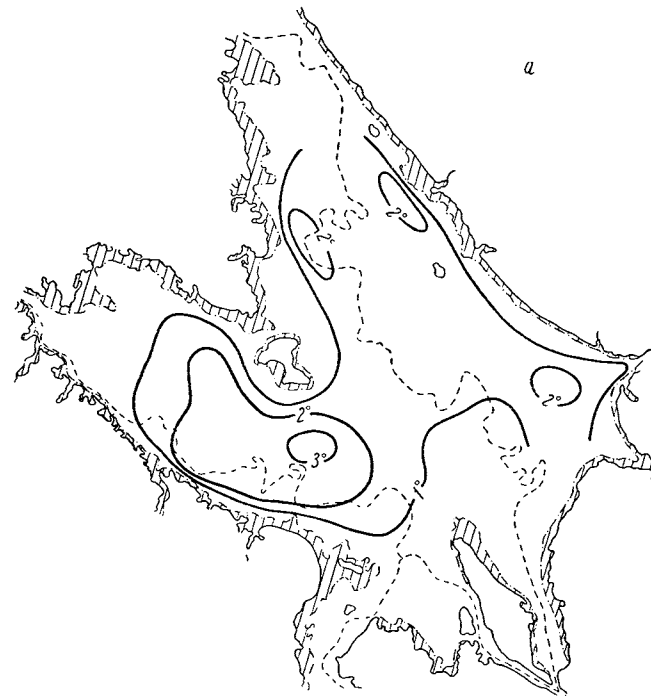


Рис. 2. Изотермы дна 1962 г.  
а — январь; б — февраль.

значениях  $3.2-3.6^{\circ}$ , то по Шексне лишь начали появляться отдельные небольшие участки дна с температурой выше  $2^{\circ}$  и максимальные температуры были  $2.5-2.8^{\circ}$ .

Февральская съемка 1962 г. была сделана через месяц после январской при уровне водохранилища на 0.5 м ниже, чем в январской съемке, и на 2.5 м ниже НПГ. За период между съемками произошел общий прогрев дна водохранилища (рис. 2, б). Изотерма  $1^{\circ}$  в нижней части водохранилища переместилась несколько к югу. По Мологе отдельные участки



Рис. 3.  
Изотермы дна в марте 1962 г.

дна с температурой выше  $3^{\circ}$  слились, заняв значительную площадь. По Шексне границы районов с температурой выше  $2^{\circ}$  расширились и появился очаг с температурой выше  $3^{\circ}$ .

Мартовская съемка была сделана при уровне водохранилища на 1.2 м ниже, чем он был во время февральской. Мартовской съемкой не была охвачена северная часть Шекснинского района водохранилища, но все же расположение изотерм ясно указывает на некоторое выхолаживание дна (рис. 3). Изотерма  $1^{\circ}$  в нижней части водохранилища переместилась к северу, а по Мологе площадь дна, прогретого более чем на  $3^{\circ}$ , уменьшилась и разделилась на два обособленных участка.

Так как температурные съемки водохранилища в зимы 1960/61 и 1961/62 гг. были выполнены при различном уровне, то для выяснения причин описанного распределения температур дна представляет интерес сопоставить результаты наблюдений двух зим. Это сопоставление показывает, что к февралю в обоих случаях произошел прогрев дна и изотермы приобрели очертания, характерные для середины зимы (рис. 1, а и 2, б). Как в Шекснинской, так и в Моложской части водохранилища появились



участки с температурой дна выше  $3^{\circ}$ . В обоих случаях в февральскую съемку не было ни одной станции с температурой дна выше  $4^{\circ}$ . Максимальная температура дна в 1961 г. была  $3.2^{\circ}$ , а в 1962 г. достигала  $3.4^{\circ}$ .

Таким образом, в обоих случаях дно водохранилища в первой половине зимы прогрелось примерно одинаково. Это можно объяснить сходством преобладающих летних периодов обоих годов. Сумма положительных температур воздуха за 1960 и 1961 гг. была одного порядка, соответственно 2496 и 2465 $^{\circ}$ , что обусловило одинаковое накопление тепла дном водохранилища за летний период.

Во вторую половину сравниваемых зим изменение и распределение температур дна водоема было различным. Если в 1961 г. к концу зимы произошел значительный общий прогрев дна всего водохранилища (рис. 1, а, б), продолжавшийся до весеннего наполнения водохранилища, то в 1962 г. имело место некоторое его выхолаживание (рис. 2, б; 3).

Такое различие температурного режима, по нашему мнению, было вызвано различным характером зимней сработки водохранилища. На рис. 4 представлен уровень воды водохранилища во второй половине зимы 1961 и 1962 гг. по данным гидрометстанции «Мыс Рожновский». К началу обоих лет водохранилище имело примерно одинаковую отметку уровня (рис. 4). Как

в 1961, так и в 1962 г. происходила постепенная сработка водохранилища и понижение уровня, но интенсивность понижения была различной. В 1961 г. уровень с 1 января по 1 апреля понизился на 0.62 м, а в 1962 г. за тот же период — на 1.76 м. Объем водохранилища уменьшился за это время в 1961 г. на 2.2 км<sup>3</sup>, а в 1962 г. на 5.7 км<sup>3</sup>, т. е. за один и тот же период в 1962 г. был сработан объем воды в 2.5 раза больше, чем в 1961 г. Это, совместно с уменьшением глубин водохранилища, создало во второй половине зимы 1962 г. большую по сравнению с 1961 г. проточность, что в свою очередь вызвало понижение температуры дна водохранилища. Следовательно, в зависимости от характера сработки водохранилища и связанного с ней скоростного режима, температура его дна может в отдельные годы существенно изменяться.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Температура дна Рыбинского водохранилища зимой на отдельных участках колеблется в пределах от 0 до  $5^{\circ}$ .

2. Участки с низкой температурой дна расположены на мелководьях вдоль берегов водохранилища, в верхних частях речных плесов и в южной части водоема в районе волжского потока. Образование их вызвано в первом случае большой теплоотдачей через незначительный слой воды и лед в атмосферу, во втором — влиянием проточности.

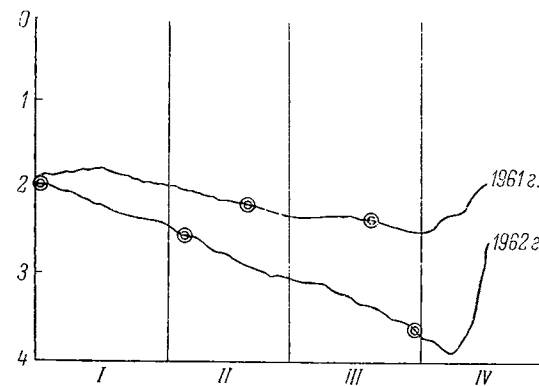


Рис. 4. Уровень воды по данным гидрометстанции «Мыс Рожновский» за январь–апрель 1961 и 1962 гг.

По вертикали — уровни воды от НПГ, м.

3. На общую термическую картину дна водохранилища существенное влияние оказывает изменение уровня и скоростного режима водохранилища. При мало меняющемся в течение зимы режиме происходит постепенное повышение температуры дна, продолжающееся до вскрытия водоема; при значительной сработке водохранилища уменьшается его объем, увеличивается проточность и температуры дна во второй половине зимы понижаются.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Б а к а с т о в С. С. 1963. Донный термомуп. Матер. первого научно-техн. совещ. по изуч. Куйб. водохр., вып. 1, Куйбышев.
- Р о с с о л н о в И. Л. 1932. Термика отложений Белого озера в Косине. Тр. Лимнол. ст. в Косине, вып. 15.
- B i r g e E., C. J u d a y a. N. M a r c h. 1928. The temperature of bottom deposits of lake Mendota. Trans. Wisconsin Acad. Sci., Arts and Letters, v. 23.
-

## РАСЧЕТ ТЕПЛОЗАПАСА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Термическое состояние водоема определяется общим количеством тепла, содержащегося в его водной массе, которое принято называть теплозапасом. Данные о теплозапасе водоема и его изменениях необходимы не только для характеристики термического режима данного водоема, но также и для исследования процессов теплообмена и влагообмена водоема с атмосферой. Теплозапас водоема является составляющей его теплового баланса.

Существует несколько методов расчета теплозапаса водоемов. Ф. Форель (1912) определял условный теплозапас озера путем расчета содержания тепла в столбе воды сечением в  $1 \text{ см}^2$  и высотой, равной максимальной глубине озера. Такой метод не учитывает формы озерной котловины и, естественно, дает неверное представление о теплозапасе. Особенно он неприменим для водохранилищ типа Рыбинского, где районы с большими глубинами составляют ничтожно малый процент от всей площади дна водохранилища.

Значительно позже Бердж и Джеди (Birge and Juday, 1932) в этот метод расчета теплозапаса внесли некоторые уточнения. Они предложили рассчитывать условный теплозапас на столбик воды сечением в  $1 \text{ см}^2$  и высотой, равной средней глубине водоема. Такой способ в большей степени учитывает форму котловины водоема и более достоверно отражает действительный его теплозапас.

Наиболее удобным и точным методом расчета теплозапаса является графический метод, предложенный С. Д. Муравейским (Богословский и Муравейский, 1955). Его метод позволяет вычислять теплозапас и среднюю температуру как всего водоема, так и отдельных его слоев. Он подробно описан Б. Б. Богословским (1961). Сущность этого метода заключается в следующем. Строится координатная сетка, по вертикальной оси которой откладывается объемная шкала водоема, учитывающая его морфометрию, а по горизонтальной — количество тепла, заключающееся в единице объема воды на различных глубинах. Поскольку для пресной воды в пределах точности расчета теплоемкость и плотность можно принять равной единице, количество тепла, заключающееся в единице объема воды на различных глубинах, будет численно равно температуре воды. Следовательно, на координатную сетку наносятся данные измерения температур, соответствующие количеству тепла в единице объема. Для вычисления общего теплозапаса водоема объем водной массы его графически умножается на количество тепла в единице объема.

Используя данные синхронных гидрологических съемок Рыбинского водохранилища, мы рассчитали для одной из них теплозапас водохранилища по методу С. Д. Муравейского. Надежность этого метода в данном случае обеспечивалась тем, что в нашем распоряжении имелось большое

количество вертикалей, относящихся практически к одному моменту времени (световой день), поэтому на графике для каждой глубины откладывалась средняя температура, полученная по измерениям на всех вертикалях.

Таблица 1

Площадь и объем водной массы Рыбинского водохранилища по горизонтам

Горизонт, м	Водохранилище		Без учета речных участков			
	площадь, км <sup>2</sup>	объем, км <sup>3</sup>	площадь, км <sup>2</sup>	% %	объем, км <sup>3</sup>	% %
0	4550	25.42	3384	74.4	23.01	90.5
2.0	3600	17.30	3225	89.6	16.40	94.8
3.0	3150	13.92	2758	87.6	13.41	96.3
4.0	2710	11.00	2563	94.6	10.75	97.7
6.0	2030	6.27	1950	96.1	6.24	99.5
10.0	624	1.13	604	96.8	(1.13)	(100)
15.0	41	0.04	(41)	(100)	(0.04)	(100)

Примечание. Величины, определенные приближенно, приведены в скобках.

Для расчета теплозапаса Рыбинского водохранилища нами использованы материалы синхронной съемки, выполненной 28 июля 1960 г. В период съемки наблюдениями была охвачена большая часть водохранилища. Вне учета остались речные участки по Шексне к северу от Ольхова, по Мологе к северу от Миничина и по Волге от Сменцева до Угличской ГЭС. В общей сложности съемкой было охвачено 74.4% площади водохранилища и 90.5% его объема при НПГ. Чтобы представить, какая часть водоема по площади и объему водной массы в целом и на

отдельных горизонтах попала в зону, для которой рассчитывался теплозапас, приводится табл. 1.

Площадь акватории и объем воды для всего водохранилища в табл. 1 определены по гипсометрическим кривым, а площадь района съемки для всех горизонтов, за исключением 15-метрового, — планиметрированием. Поскольку 15-метровая изобата всюду оконтуривает только бывшие русла рек, то площадь, ограниченная ею, была принята такой же, как и для водохранилища в целом. Объем массы воды в пределах водоема без учета речных участков вычислялся иным путем. Так как на карте достоверно можно было провести только 10-метровую изобату, то принималось, что объем воды ниже этой изобаты в районе, охваченном съемкой, практически соответствует таковому всего водохранилища, ибо 96.8% всей площади водоема с глубинами свыше 10 м входит в зону наблюдений. Сделав такое допущение, мы в дальнейшем по площади двух соседних горизонтов и глубине определяли объем водной массы слоя между ними. Сумма объемов всех слоев дала общий объем водной массы района водохранилища, охваченного наблюдениями. В данном случае он составлял 94.8% объема всего водохранилища.

Что объем водной массы исследуемого района незначительно отличается от объема всего водохранилища, видно и из рис. 1, где представлены кривые объемов всего водохранилища и района съемки. Мы видим, что расхождение этих кривых наблюдается только в поверхностном слое, а начиная с глубины 6 м они совпадают. Поэтому первоначальный расчет теплозапаса водохранилища нами сделан по объемной кривой для всего водоема.

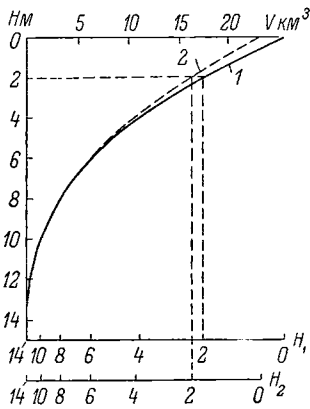


Рис. 1. Объемные кривая и шкала Рыбинского водохранилища.

1 — кривая всего водохранилища; 2 — кривая района съемки. H<sub>1</sub> — шкала всего водохранилища; H<sub>2</sub> — шкала района съемки. По вертикали — глубина, м; по горизонтали — объем, км<sup>3</sup>.

Согласно принятому методу, по вертикальной оси координатной сетки откладывалась объемная шкала водохранилища, а по горизонтальной — данные измерения температур воды на различных глубинах, соответствующие количеству тепла в единице объема. На графике (рис. 2) откладывалась средняя температура из всех измерений на данной глубине, а затем объем воды водохранилища графически умножался на количество тепла в единице объема и определялся общий теплозапас водоема.

Из табл. 2 видно, что максимальный теплозапас в летнее время наблюдается на поверхности, а с глубиной он заметно уменьшается. Общий теплозапас водоема в день съемки составлял  $404\,590 \cdot 10^{12}$  кал. Как мы уже отмечали, теплозапас по горизонтам и суммарный, представленный в табл. 2, вычислялся по шкале объемной кривой для всего водохранилища. Для контроля мы подсчитали его при тех же значениях температур, но по шкале объемной кривой для района съемки. Выяснилось, что теплозапас водной массы района, охваченного съемкой, как и следовало ожидать, был меньше теплозапаса всего водохранилища и составлял  $384\,350 \cdot 10^{12}$  кал.

Для контроля расчетов теплозапаса мы уточнили средние температуры как на горизонтах, так и для отдельных слоев. Располагая картами изотерм для соответствующих горизонтов наблюдений, мы планиметрированием находили средневзвешенную температуру горизонта и наносили ее

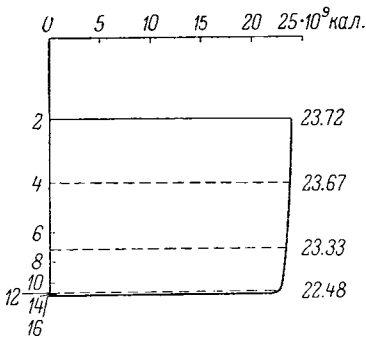


Рис. 2. График к расчету теплозапаса в водохранилище.

По вертикали — объемная шкала; по горизонтали — температурная.

Таблица 2

Теплозапас водохранилища на отдельных горизонтах

Горизонт, м	Средняя температура на горизонте	Теплозапас на горизонте, кал.	Теплозапас слоя между горизонтами, кал.
0	23.72	$85392 \cdot 10^9$	$41510 \cdot 10^{12}$
0.5	23.72	74718	107835
2.0	23.67	64146	154395
5.0	23.33	47360	93150
10.0	22.48	14028	7700
15.0	21.26	872	

на координатную сетку со шкалой объемной кривой для водохранилища (без учета речных участков). Определенный таким методом общий теплозапас оказался равным  $384\,874 \cdot 10^{12}$  кал.

Последняя попытка расчета теплозапаса была сделана без применения графического метода. Имея средневзвешенные температуры по горизонтам, легко было определить их по слоям, а зная объем воды слоя — вычислить его теплозапас перемножением средней температуры на объем. Суммирование теплозапаса по слоям дало общий теплозапас водохранилища (без учета речных участков), который равнялся  $383\,844 \times 10^{12}$  кал.

Приведенные ниже данные показывают, что различные приемы расчета теплозапаса водохранилища дают практически одинаковые величины. Это свидетельствует прежде всего о достоверности расчетов, а также дает основание считать графический метод расчета теплозапаса, предложенный С. Д. Муравейским для озер, вполне пригодным и для водохранилищ.

Метод расчета теплозапаса	Теплозапас
По среднеарифметическим значениям температуры и шкале объемной кривой (для всего водохранилища) . . . . .	404590 · 10 <sup>12</sup> кал.
По среднеарифметическим значениям температуры и шкале объемной кривой (без учета речных участков) . . . . .	384350
По средневзвешенным температурам и шкале объемной кривой . . . . .	384874
По средневзвешенным температурам и объему водной массы . . . . .	383844

ЛИТЕРАТУРА

Б о г о с л о в с к и й Б. Б. 1961. Озероведение. Изд. МГУ.  
Б о г о с л о в с к и й Б. Б. и С. Д. М у р а в е й с к и й. 1955. Очерки по озероведению. Изд. МГУ.  
Ф о р е л ь Ф. 1912. Руководство по озероведению. СПб.  
B i r g e E. A., C. J u d a y. 1932. Solar radiation and inland lakes. Fourth report. Observations of 1931. Trans. Wisconsin Acad. Sci., v. 27.

\_\_\_\_\_

# ТЕПЛОЗАПАС РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ЕГО СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Одна из первых попыток рассчитать теплозапас водных масс Рыбинского водохранилища была предпринята Н. В. Буториным и С. С. Бакастовым (наст. сб.). Их расчеты показали, что для этой цели вполне пригоден графический метод, предложенный С. Д. Муравейским (Богословский и Муравейский, 1955).

Указанный метод используется и в настоящей работе, выполненной с целью определить теплосодержание водохранилища при различных гидрологических и гидрометеорологических условиях, а также проследить за его сезонной изменчивостью. В связи с тем, что работ, посвященных расчету теплозапаса водохранилищ, в литературе очень мало, первые попытки в этом направлении должны представлять значительный интерес как с методической точки зрения, так и для последующих расчетов теплового баланса данного водоема.

Материал, использованный в настоящей работе, был собран в 1960—1962 гг. и представляет собою данные температурных наблюдений двенадцати синхронных гидрологических съемок. Все съемки велись по одной и той же сетке станций, расположенных более или менее равномерно по акватории водохранилища (Буторин, наст. сб.). Количество станций во всех рейсах было примерно одинаково — 59. Исключение составляют три съемки 1960 г.: две зимние (февраль и март), произведенные со льда, и одна из октябрьских. В февральской съемке количество станций сокращено до 40, в мартовской — до 31, а в октябрьской — до 34. Определение температуры воды производилось на поверхностном горизонте и в 0.5, 2, 5, 10, 15 и в 0.5 м от дна. Таким образом, во время каждой синхронной съемки было выполнено, в зависимости от количества горизонтов и станций, от 103 до 313 измерений температуры воды. Такой массовый синхронный материал температурных наблюдений позволяет надежно рассчитать среднюю температуру водоема как на отдельных горизонтах, так и по вертикали, что необходимо при определениях теплозапаса водохранилища.

Метод расчета средней температуры воды по водохранилищу заимствован у Н. В. Буторина и С. С. Бакастова (наст. сб.), приведших к выводу, что наиболее удобным для данного водоема является метод средних арифметических, дающий вполне удовлетворительные результаты. Учитывая гидрологические особенности водоема, а именно — влияние на его температурный режим стока трех больших рек, а также сбросов через Рыбинскую ГЭС, все водохранилище для удобства и правильности обработки температуры было разбито на четыре района, каждый из которых отнесен к одному из плесов: Волжскому, Шекснинскому, Моложскому и Сбросному. Для каждого плеса были вычислены средние арифметические температуры воды для тех горизонтов, на которых произведено их измерение.

Вертикальное распределение температуры воды, средней для всего водохранилища, получено как среднее арифметическое из четырех средних плесовых. Объем водохранилища при разных уровнях определялся по таблице объемов, составленной Рыбинской гидрометобсерваторией.

Весной, в период интенсивного прогрева водных масс, Рыбинское водохранилище, как правило, стратифицируется по вертикали на три типичных для озер слоя: эпилимнион, металимнион и гипolimнион. Первый из них в июне 1960—1962 гг. занимал поверхностный двухметровый слой, второй располагался примерно между 2 и 5 м, а на третий приходилась остальная толща воды. Состояние расслоенности этого водоема довольно

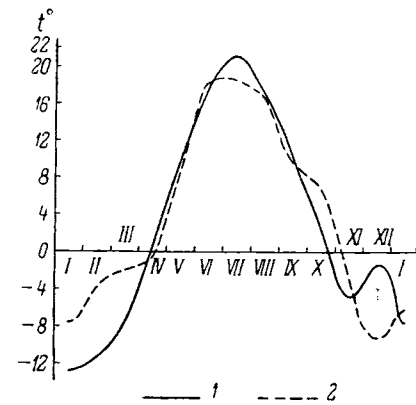


Рис. 1. Годовой ход температуры воздуха по данным метеостанции «Мыс Рожновский».  
1 — 1960 г.; 2 — 1961 г.

Температурные условия 1960 и 1961 гг. в некоторой степени могут быть охарактеризованы графиком годового хода температуры воздуха, построенным по среднемесячным данным метеостанции «Мыс Рожновский» (рис. 1). Сопоставляя приведенные кривые между собой, нетрудно заметить, что холодный в своем начале 1960 г. весной и летом имел температуру воздуха более высокую, чем 1961 г. Исключение составляет июнь, среднемесячная температура которого в 1961 г. была на  $0.5^{\circ}$  выше, чем в 1960 г. Однако осенью, в результате замедленного темпа осеннего охлаждения, которым характеризовался 1961 г., произошло не только выравнивание среднемесячных температур за указанные годы, но в октябре температура воздуха 1961 г. превысила таковую 1960 г. на  $4.8^{\circ}$ .

Примерно такое же, как и для воздуха, было соотношение температурных кривых годового хода для водной толщи. В 1961 г. температура водных масс была в общем ниже, чем в 1960 г., особенно в весенне-летний период. Незначительное повышение температуры воздуха в июне 1961 г. отразилось только на поверхностных слоях. Слои глубже 5 м особого потепления не испытали, их температура оставалась ниже температуры воды 1960 г. до самой осени. Осеннее охлаждение водных масс в 1961 г. происходило по сравнению с предшествующим годом замедленно. Это обусловило более высокую температуру в октябре 1961 г. во всей толще воды.

Полученные при расчетах величины теплозапаса позволили построить график его годового хода (рис. 2). Этот график свидетельствует о том, что изменение теплосодержания в течение года носит ярко выраженный сезонный характер. Наибольшими величинами накопленного тепла характери-

зуются кратковременно, оно прослеживается только весной. В конце весны, в результате ветровой деятельности при малых глубинах водоема, стратификация сменяется гомотермией. Однако летом при тихой погоде можно неоднократно наблюдать кратковременные восстановления в поверхностных слоях вертикальной гетеротермии, отмечаемой до глубины 5 м. Так как колебания теплозапаса в поверхностном деятельном слое, очевидно, сильнее, чем в глубинных, определение его по всем съемкам было произведено отдельно для эпилимниона (слоя 0—2 м), металимниона (слоя 2—5 м) и гипolimниона (глубже 5 м). Общее теплосодержание водохранилища получено послойным суммированием и проверено расчетами без разделения на слои.



зуются летние месяцы с максимумом в конце июля—начале августа, наименьшими — осенне-зимний период, с ноября по март. Самый большой из зафиксированных нами суммарных теплозапасов отмечен в августе 1961 г. и равен  $534\,028 \cdot 10^{12}$  кал., наименьший — в феврале того же года, равен  $10\,535 \cdot 10^{12}$  кал. Весеннее накопление тепла в водохранилище

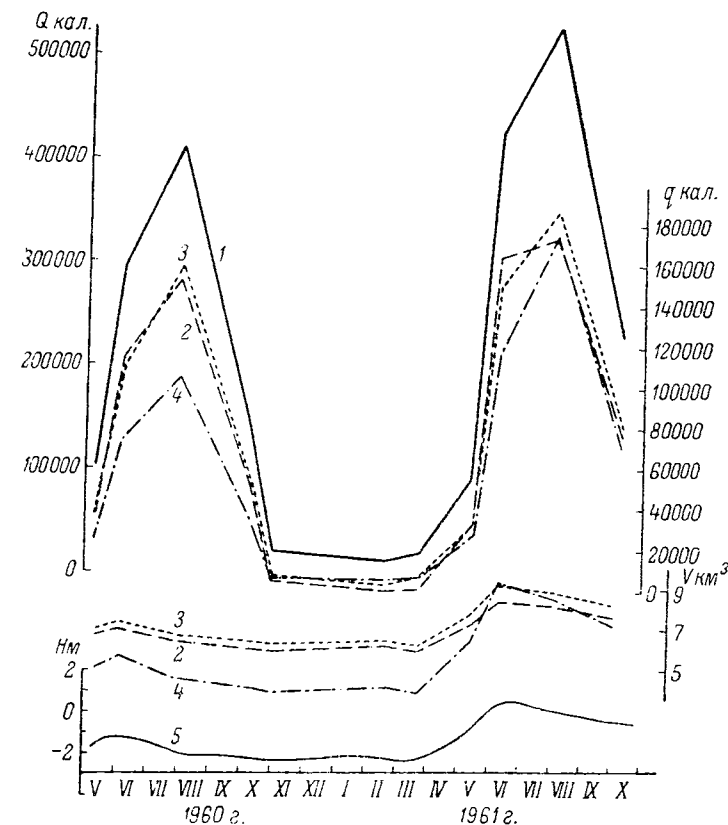


Рис. 2. Изменения теплозапаса ( $Q$  и  $q$ ), объемов ( $V$ ) и уровня ( $H$ ) Рыбинского водохранилища 1960—1961 гг.

1 — суммарный теплозапас, шкала слева, и теплозапасы слоев, шкала справа; 2 — 0—2 м; 3 — 2—5 м; 4 — глубже 5 м; 5 — уровень. Обозначения для объемов те же, что и для теплозапаса.

начинается в конце марта, когда первые порции тепла проникают в воду еще через лед.

Анализ кривых годового хода теплозапаса приводит к следующим выводам: а) весеннее накопление тепла, как и его отдача осенью, происходит одновременно по всей глубине: весьма незначительное увеличение теплозапаса от февраля к марту в 1961 г. отмечено во всех слоях от эпи- до гипolimниона; б) количество аккумулированного тепла летом с глубиной уменьшается, зимой, наоборот, возрастает; особенно сильно стратифицирована водная толща в начале июня: несмотря на то что объем эпилимниона (0—2 м) в течение всего года меньше объема металимниона (2—5 м), его июньский теплозапас превысил последний на  $6624 \cdot 10^{12}$  в 1960 г. и на  $13\,777 \cdot 10^{12}$  кал. в 1961 г.; в) в соответствии с температурой воздуха в мае 1961 г. вода была теплее, чем в том же месяце 1960 г.; г) увеличение теплозапаса от весны к лету в относительно холодном 1961 г. происходило

интенсивнее, чем в 1960 г., и к концу июля достигло значительно большей величины, чем это наблюдалось в предшествующем году.

Особенно сильно различались годы по теплозапасу гипolimниона: здесь различие между ними составило  $71\,970 \cdot 10^{12}$  кал., в эпилимнионе же оно равнялось  $21\,397 \cdot 10^{12}$ , а в металимнионе —  $28\,386 \cdot 10^{12}$  кал. Более высоким теплосодержанием характеризуется и осень 1961 г.

Межгодовые различия в теплосодержании водных масс могут быть объяснены двумя факторами: во-первых, разницей интенсивностью посту-

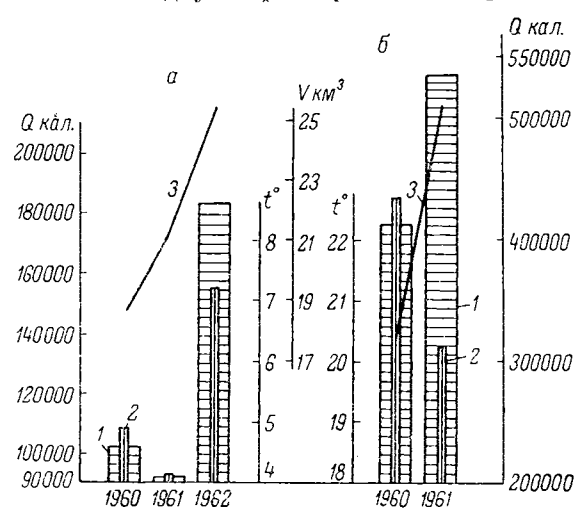


Рис. 3. Теплосодержание (Q), температура (t) и объем (V) Рыбинского водохранилища в период весенних (а) и летних (б) съемок.

1 — теплосодержание; 2 — температура; 3 — объем.

пающего тепла извне; во-вторых, мощностью самих водных масс. Индикатором первого фактора может служить температура воздуха, индикатором второго служит уровень водохранилища, так как запас тепла будет тем больше, чем больше объем его водных масс. Изменения уровня водохранилища, накладываясь на сезонную изменчивость теплозапаса, обусловленную сезонными изменениями температуры воздуха, вызывают летом довольно сильные его колебания, так как увеличение уровня на 1 м, при его отметках выше —2 (от НПГ), влечет за собой увеличение объема на 4 км³ и более, а это составляет почти 15% от общего объема водохранилища. Зависимость теплозапаса от температуры и объема хорошо видна на рис. 3, иллюстрирующем величины суммарного теплозапаса, температуры и объема в период весенних (май 1960—1962 гг.) и летних (конец июля 1960 г. и начало августа 1961 г.) съемок. Как весной, так и летом наблюдалось возрастание объема водных масс водохранилища от предыдущего года к последующим.

Температура воды от 1960 к 1961 г. снизилась на 0.8° весной и на 2.5° летом. Теплозапас же 1961 г. по сравнению с другими годами был в мае самым малым, а в августе самым большим. Очевидно, весной, когда водохранилище только еще начинает прогреваться, доминирующую роль в общем теплозапасе играет его температура: холодному маю 1961 г. соответствует малый теплозапас. Летом, в пору наибольшего прогрева водных масс, наоборот, ведущее значение принадлежит объему воды: хотя 1960 г. и имел более высокую летнюю температуру воды, чем 1961 г., его максимальное теплосодержание оказалось значительно ниже такового 1961 г., имевшего в это время объем водной массы равный 25.42 км³, т. е. на 7.82 км³ больше, чем в предыдущем году.

Исключить, в известной степени, влияние на теплозапас колебаний объема водной массы можно, пересчитав его на единицу объема. В таблице приведены величины теплозапаса, пересчитанные на 1 см³, а также данные по температуре воды, объему и уровню водохранилища, рассчитанному от НПГ. Годовой ход теплозапаса, построенный по приведенным дан-

пающего тепла извне; во-вторых, мощностью самих водных масс. Индикатором первого фактора может служить температура воздуха, индикатором второго служит уровень водохранилища, так как запас тепла будет тем больше, чем больше объем его водных масс. Изменения уровня водохранилища, накладываясь на сезонную изменчивость теплозапаса, обусловленную сезонными изменениями температуры воздуха, вызывают летом довольно сильные его колебания, так как увеличение уровня на 1 м, при его отметках выше —2 (от НПГ), влечет за собой увеличение объема на 4 км³ и более, а это составляет почти 15% от общего объема водохранилища. Зависимость теплозапаса от температуры и объема хорошо видна на рис. 3, иллюстрирующем величины суммарного теплозапаса, температуры и объема в период весенних (май 1960—1962 гг.) и летних (конец июля 1960 г. и начало августа 1961 г.) съемок. Как весной, так и летом наблюдалось возрастание объема водных масс водохранилища от предыдущего года к последующим.

Дата	Энормизмюн			Метализмюн			Гипоизмюн			Среднее по водохранилищу			H
	Q	t	V	Q	t	V	Q	t	V	Q	t	V	
9 VI 1960	5,620	5,6	6,64	5,517	5,6	6,94	5,132	4,6	5,10	5,448	4,9	48,08	—1,63
3 VI 1960	16,342	16,4	6,93	14,626	14,6	7,29	12,827	11,6	5,68	14,710	12,6	19,90	—1,31
28 VII 1960	23,754	23,7	6,38	23,722	23,6	6,64	22,537	22,3	4,58	23,425	22,7	17,60	—1,92
4 X 1960	8,994	9,0	6,10	9,024	9,0	6,40	9,012	8,9	4,15	9,003	8,9	16,65	—2,18
26—29 X 1960	0,999	1,0	5,98	1,277	1,4	6,26	1,713	1,7	3,96	1,281	1,6	16,20	—2,31
14—20 II 1961	0,132	0,1	6,12	0,619	0,7	6,42	1,377	1,5	4,18	0,630	1,2	16,72	—2,16
17—24 III 1961	0,264	0,4	5,90	1,281	1,3	6,20	1,963	2,0	3,88	1,070	1,7	15,98	—2,37
12 V 1961	4,326	4,2	7,25	4,214	4,1	7,73	4,264	4,1	6,39	4,266	4,1	21,37	—0,94
8 VI 1961	19,439	19,2	8,40	16,304	16,2	9,17	12,633	11,0	9,25	16,020	12,8	26,82	0,30
3 VII 1961	21,297	21,2	8,12	21,125	21,1	8,80	20,612	19,9	8,50	21,008	20,2	25,42	0,00
10 X 1961	9,845	9,8	7,63	9,791	9,8	8,24	9,774	9,7	7,24	9,803	9,7	23,08	—0,53
12 V 1962	7,462	7,2	8,12	7,098	7,1	8,82	7,177	7,2	8,52	7,145	7,2	25,46	0,01

ным, полностью повторяет кривые годового хода температуры воды: теплоту 1960 г. соответствует большее количество тепла, приходящееся на  $1 \text{ см}^3$ . В июне 1961 г., когда температура в верхнем 5-метровом слое поднялась, вслед за температурой воздуха, выше июньской 1960 г., теплозапас поверхностных слоев точно повторил это повышение. Количество тепла, приходящееся на  $1 \text{ см}^3$ , как и суммарное, летом с глубиной убывает, зимой, наоборот, увеличивается.

Это наглядно показывает график (рис. 4), построенный по отклонениям теплосодержания, приходящегося на  $1 \text{ см}^3$  различных слоев (0—2 м, 2—5 м, 5 м—дно), от теплосодержания  $1 \text{ см}^3$ , осредненного по всему водохранилищу. Такое распределение накопленного тепла по глубине обеспе-

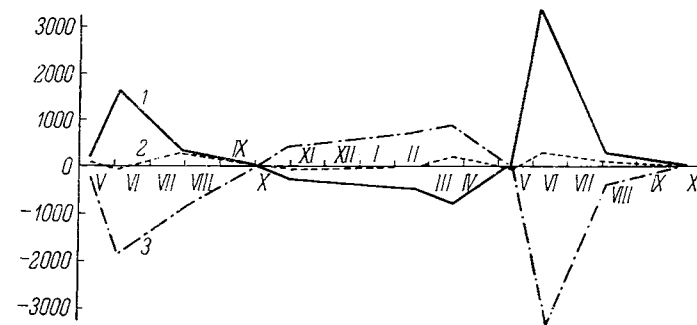


Рис. 4. Отклонения теплозапаса  $1 \text{ см}^3$  отдельных слоев от теплозапаса  $1 \text{ см}^3$ , осредненного по водохранилищу.  
1 — 0—2 м; 2 — 2—5 м; 3 — глубже 5 м. По вертикали — отклонения, кал./см³.

чило в период наших наблюдений устойчивую тепловую стратификацию слоев, особенно ярко выраженную в июне, когда различие между теплозапасами эпи- и гипolimниона достигло  $6.8 \text{ кал./см}^3$  (1961 г.). Как указывают узловые точки на графике, смена зимнего распределения тепла на летнее происходит в мае, а летнего на зимнее — в октябре. Эти переходные моменты характеризуют периоды гомогенности водной массы, возникающей при температуре воды  $4^\circ$ . Общее теплосодержание в этот период (в данном случае) колеблется в пределах от  $100\,000$  до  $200\,000 \cdot 10^{12}$  кал., что в пересчете на  $1 \text{ см}^3$  составляет 5—10 кал.

Интересно отметить, что теплосодержание  $1 \text{ см}^3$  металимниона, точнее слоя 2—5 м, и  $1 \text{ см}^3$ , среднего для всего водохранилища, в своем годовом ходе численно почти совпадают (рис. 4). Следовательно, теплозапас, приходящийся на единицу объема в металимнионе, видимо, может служить показателем общего запаса тепла, которое содержит исследуемый водоем.

## ВЫВОДЫ

Расчет теплозапаса Рыбинского водохранилища и анализ его сезонных изменений показал следующее.

1. Годовые изменения теплозапаса, носящие ярко выраженный сезонный характер, по данным наших наблюдений, колебались от  $10\,535 \cdot 10^{12}$  кал. в феврале 1961 г. до  $534\,028 \cdot 10^{12}$  кал. в августе того же года.

2. Зимой при низких стояниях уровня, а также весной, когда прогрев еще только начинается, доминирующую роль в изменениях суммарного

теплозапаса играет температура воды; летом эта роль передается объему водных масс.

3. Годовые изменения теплозапаса происходят практически одновременно во всех трех слоях водной толщи.

4. Количество тепла, приходящееся на единицу объема, летом с глубиной уменьшается, зимой, наоборот, увеличивается.

5. Судить о теплозапасе водохранилища можно в первом приближении по количеству тепла, приходящегося на единицу объема в металимнионе (в слое 2—5 м).

В изучении теплозапаса Рыбинского водохранилища большой интерес представляет влияние на него различных факторов — и в первую очередь влияние рек, имеющих большие бассейны водосборов и значительные расходы. Следует определить, какие доли участия в теплозапасе водохранилища принимают главные реки, впадающие в него: Волга, Молога и Шексна. Это и является предметом следующего этапа исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Б о г о с л о в с к и й Б. В. и С. Д. М у р а в е й с к и й. 1955. Очерки по озераведению. Изд. МГУ.
- Б у т о р и н Н. В. 1965. Синхронные гидрологические съемки на Рыбинском водохранилище. Наст. сб.
- Б у т о р и н Н. В., С. С. Б а к а с т о в. 1965. Расчет теплозапаса Рыбинского водохранилища. Наст. сб.
-

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ И РАССЕЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ОСЕНЬЮ 1961 г.

Содержание и распределение большинства редких и рассеянных элементов в воде Рыбинского водохранилища до настоящего времени не изучалось. Исключение составляют железо и марганец, которые изучались рядом авторов.

Д. Д. Кудрявцевым (1950а, 1950б) и И. П. Воронковым (1953) было показано распределение железа в Волжском районе<sup>1</sup> и Главном плесе водохранилища в 1943—1947 гг. Распределение железа по акватории всего водохранилища изучалось в 1952—1953 гг. А. С. Киреевой (1955), а в Моложском и Шекснинском районах — в те же годы Н. И. Анчиковой (1959, 1960). В результате этих исследований было установлено, что основным источником поступления железа в водохранилище являются Молога, Шексна и их притоки, вытекающие из болотного массива междуречья.

Марганец в воде Волжского района водохранилища определял Д. Д. Кудрявцев в 1946—1947 гг. Однако обнаружен он был только в единичных случаях в воде некоторых притоков и на залитых мелководьях в количестве 0.05—0.3 мг/л. В 1952—1953 гг. А. С. Киреева определяла марганец на всей площади водохранилища, причем концентрации его до 0.10 мг/л наблюдались во многих районах водохранилища, а в отдельных пунктах достигали 0.3—0.75 мг/л. Необходимо отметить, что в некоторых пробах марганец не был обнаружен. Причина этого, а также отсутствие закономерности в распределении марганца по водохранилищу заключается в недостаточной чувствительности применявшегося персульфатного метода (Францев, 1959).

Изучение редких и рассеянных элементов в воде Рыбинского водохранилища представляет значительный интерес, поскольку эти элементы входят в состав пищи планктонных водорослей и высших водных растений. С другой стороны, большое практическое значение имеет выяснение распределения по водохранилищу меди, хрома, свинца, цинка и некоторых других элементов, как показателей постепенного загрязнения водоема промышленными сточными водами.

Основной задачей настоящей работы являлось изучение фоновых содержаний редких и рассеянных элементов в воде, их распределение по площади Рыбинского водохранилища, а также выявление источников их поступления. Пробы воды были собраны батометром из органического стекла

<sup>1</sup> Нами принято районирование Рыбинского водохранилища по схеме, предложенной М. А. Фортунатовым (1959), как наиболее полно отражающей генезис водных масс и связанное с ним распределение значительного числа определяемых элементов.

во второй половине сентября 1961 г. в 36 различных пунктах водохранилища с глубины 1 м от поверхности. Сразу же после взятия вода фильтровалась в воронке из органического стекла через мембранные фильтры № 6, прокипяченные в 1%-м растворе соляной кислоты и тщательно отмытые горячей бидистиллированной водой. Первые порции фильтрата отбрасывались, последующие собирались в литровые склянки белого стекла с притертыми пробками.

Определение элементов производилось методом спектрального анализа. Анализировались сульфатные сухие остатки. Количественно определялись железо, марганец, медь, хром, алюминий, титан, стронций, барий; полуколичественно определялись цирконий, никель, галлий, серебро, свинец, олово, цинк, молибден и ванадий. Распределение железа, марганца, меди, хрома, титана и алюминия изображено на рисунках, а средние величины их содержания приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средние величины содержания некоторых элементов в разных районах Рыбинского водохранилища, мкг/л

Район	Количество станций	Fe	Mn	Cu	Cr	Al	Ti	Sr	Ba
Волжский район:									
Русловой участок .	2	375	14	7.5	6.2	150	19	135	47
Верхняя часть плеса	2	275	8	4.6	3.8	250	14	140	38
Нижняя часть плеса	3	280	6	3.2	4.0	170	14	110	32
Главный плес, центральная часть . . .	6	225	8	2.5	3.0	200	10	110	34
Шекснинский район:									
Русловой участок .	2	950	13	2.7	2.1	1300	86	110	22
Плес . . . . .	3	1000	28	1.3	1.9	270	11	120	23
Моложский район:									
Русловой участок .	2	1325	57	1.3	1.9	150	5	70	37
Плес . . . . .	1	1300	80	1.3	1.9	100	8	80	40

Как видно из рис. 1 и табл. 1, высокое содержание железа, до 1.0—1.35 мг/л, было обнаружено в водах болотного происхождения Моложского и Шекснинского районов, что хорошо согласуется с результатами, полученными ранее А. С. Киреевой и Н. И. Аничковой. Особенно высокое содержание его было в эстуариях Суды и Кондоши, где оно достигало 3.15 мг/л. В открытой части Главного плеса водохранилища содержание железа колебалось от 0.15 до 0.4 мг/л.

Марганец также тесно связан с болотными водами (рис. 2). Повышенное содержание его, до 40—80 мкг/л, наблюдалось в тех районах водохранилища, где было больше и железа. В открытой части Главного плеса водохранилища концентрация марганца была в пределах 5—15 мкг/л. Несколько увеличено количество марганца в реках Волге, Шексне, Согоже, Сити и Сёбле.

Распределение меди прямо противоположно распределению железа и марганца. Ее содержание в болотных водах не превышало 1.5—1.6 мкг/л. Такая незначительная концентрация меди, возможно, объясняется малым содержанием ее растворимых соединений в торфяно-болотных почвах района водосбора. В то время как минимальная концентрация меди в речной воде Полесской низменности, по П. В. Остапеня и др. (1959), состав-

влялет 1.0 мкг/л, в воде эстуария р. Суды, питание которой в момент взятия пробы происходило преимущественно за счет болотных вод,<sup>2</sup> меди содержится всего 0.3 мкг/л.

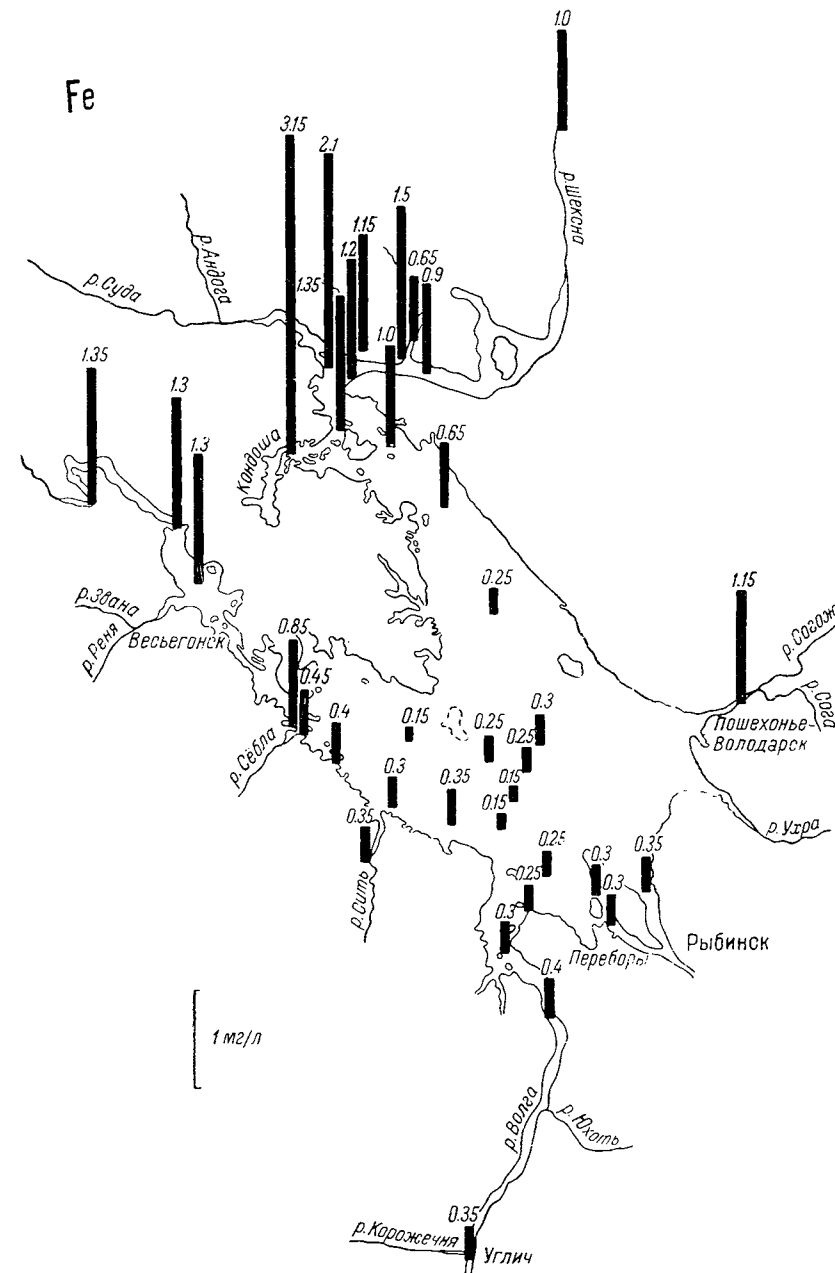


Рис. 1. Содержание железа в воде Рыбинского водохранилища, в мг/л.

<sup>2</sup> Состав воды Суды непостоянен в силу различия химизма и изменчивости режима ее притоков.



На рис. 3 видно, что медь поступает в водохранилище из Волги, очевидно, с промышленными загрязнениями.

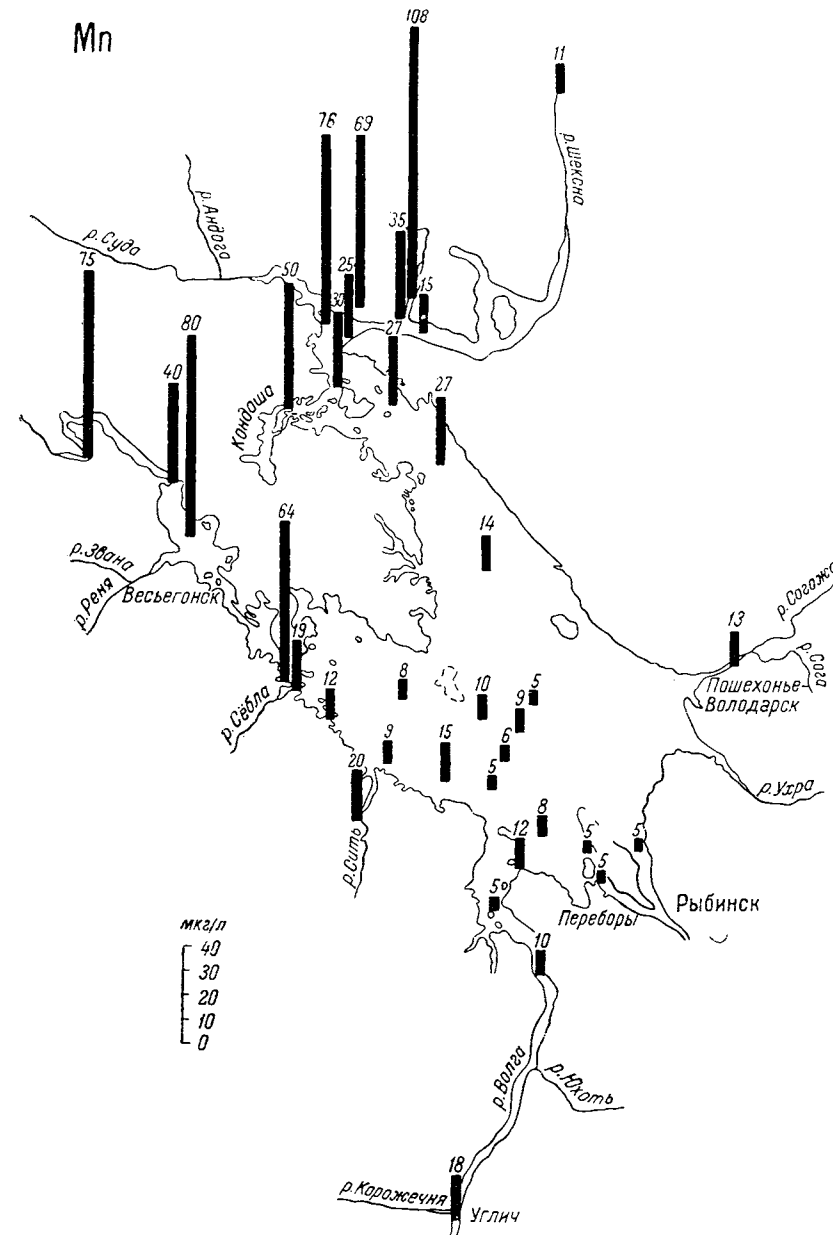


Рис. 2. Содержание марганца в воде Рыбинского водохранилища, в мкг/л.

Высокое содержание меди, до 15 мкг/л, в заводских стоках г. Череповца не влияет заметно на увеличение концентрации меди в воде нижележащего участка Шексинского плеса.



прослеживаются в воде прилегающих районов Шекснинского плеса. В Шексне выше г. Череповца и в ее плесе, в значительном удалении от города, равно как в Моложском плесе и русловом участке Мологи, содер-

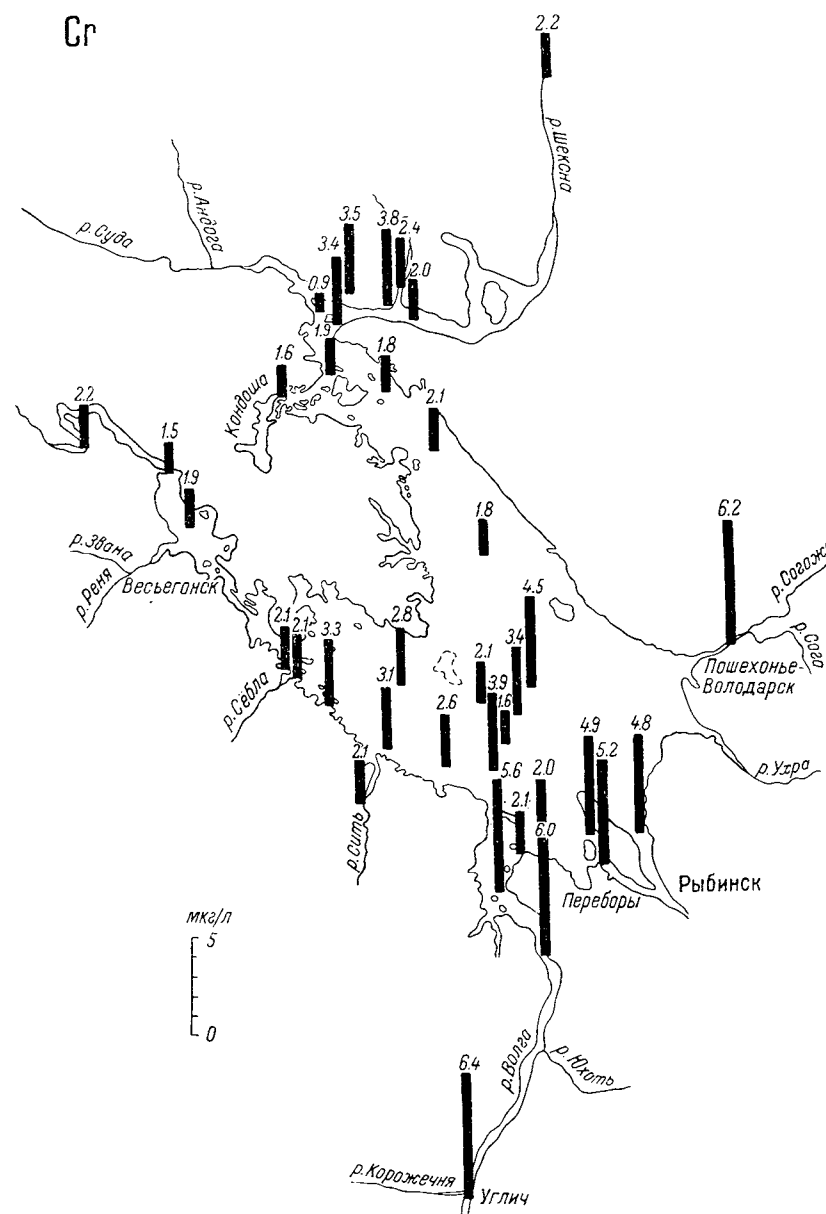


Рис. 4. Содержание хрома в воде Рыбинского водохранилища, в мкг/л.

жание хрома невелико — около 2 мкг/л. Минимальная концентрация хрома, 0,9 мкг/л, отмечена в воде р. Суды.

Наибольшие величины титана, 92 мкг/л, и алюминия, 1,35 мг/л (рис. 5 и рис. 6), были обнаружены в воде руслового участка Шексны. Так как

вода Шексны, особенно в районе, лежащем выше Череповца, отличается значительной мутностью, то, очевидно, повышенное количество алюми-

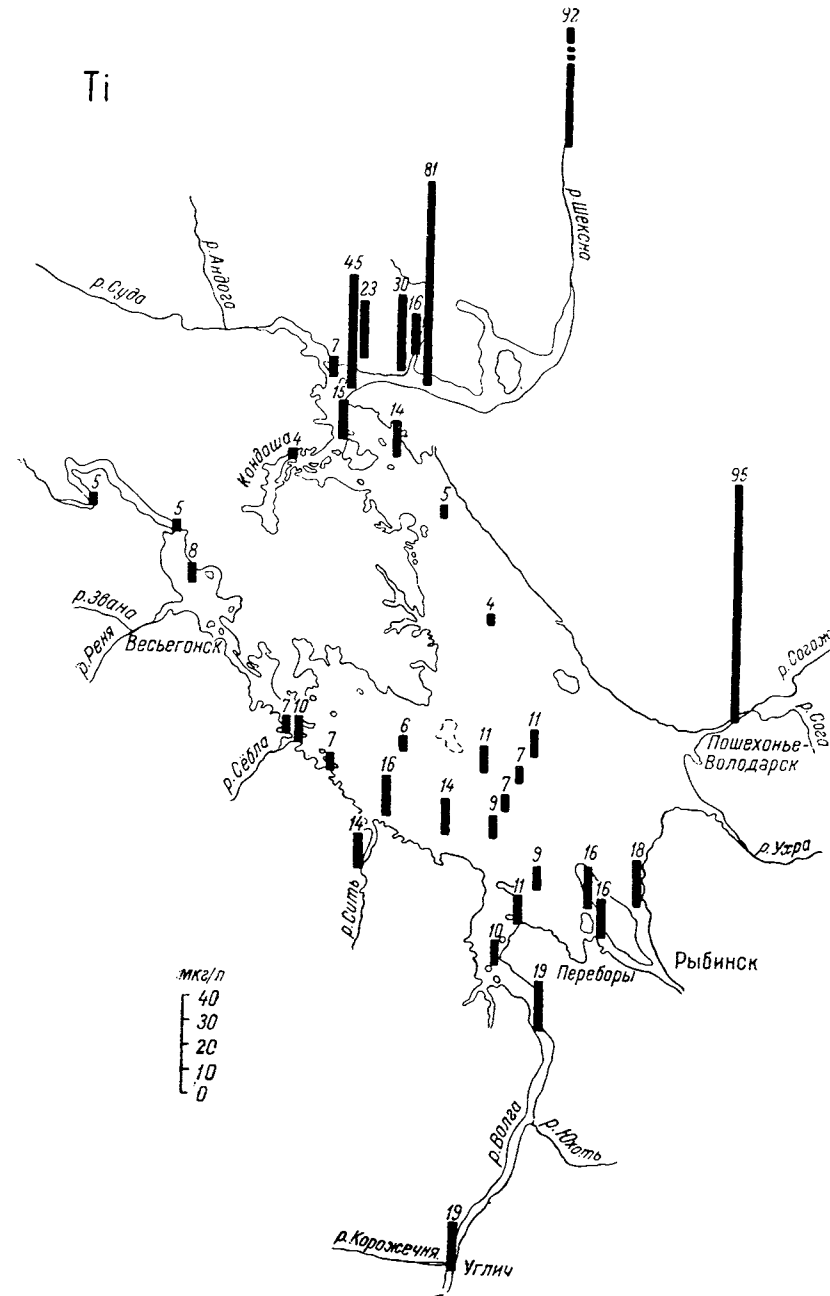


Рис. 5. Содержание титана в воде Рыбинского водохранилища, в мкг/л.

ния и титана в этом случае в значительной степени связано с терригенными взвесями, прошедшими через мембранный фильтр № 6. Подобным же образом можно объяснить наличие в воде этого района высоких концентраций

железа, а в р. Согоже — железа, алюминия и титана. Вода Моложского района, напротив, содержит минимальное количество алюминия и титана.

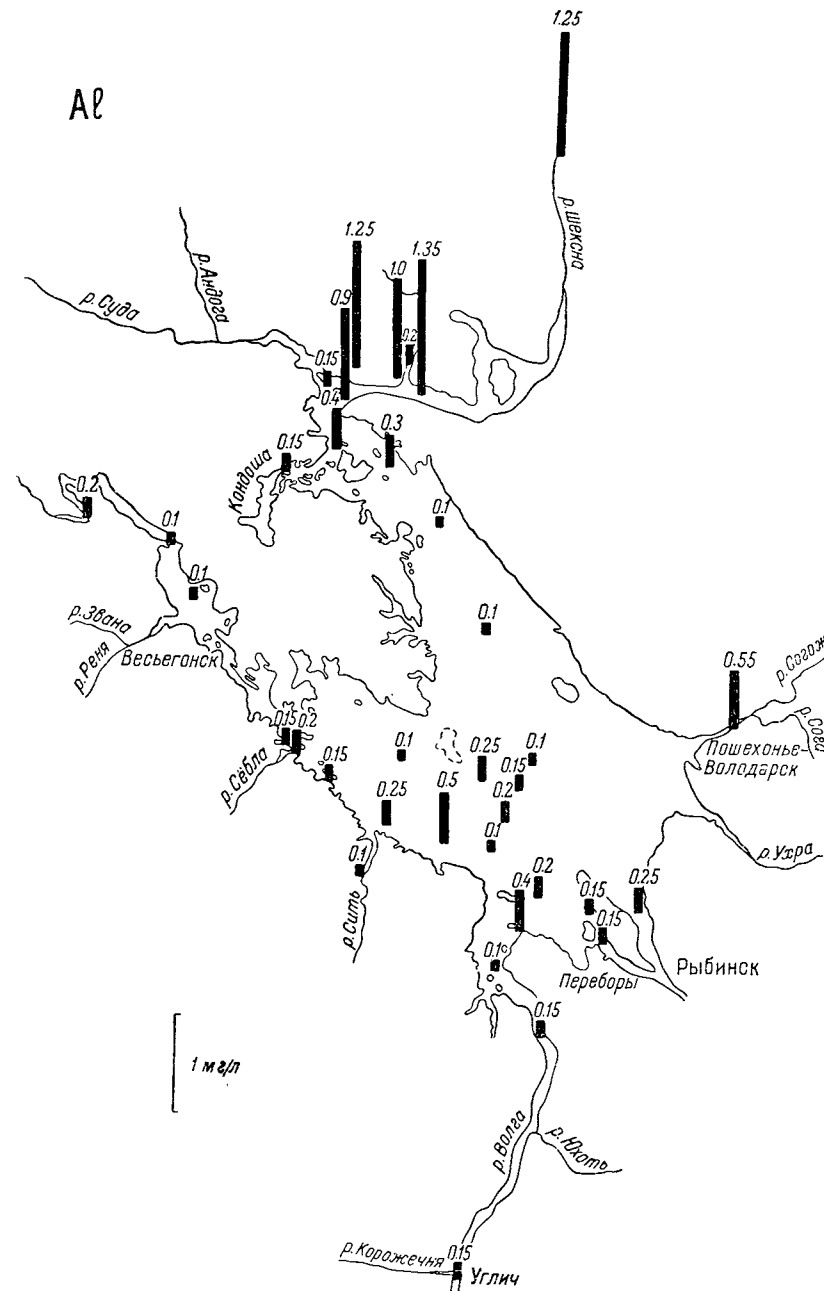


Рис. 6. Содержание алюминия в воде Рыбинского водохранилища, в мг/л.

Кроме перечисленных элементов, в воде водохранилища в значительном количестве содержатся стронций и барий (табл. 1, 2 и 3). Самые большие количества стронция, до 480 мкг/л, были обнаружены в районе стоков

Череповецкого комбината, наименьшие, около 70—80 мкг/л, — в Моложском районе. Наиболее высокие концентрации бария, 50 мкг/л, были отмечены в русловой части Волги, а самые низкие — в Шекснинском плесе. В противоположность стронцию повышенных концентраций бария в районе поступления стоков Череповца не найдено. В р. Сить содержание бария максимальное, 70 мкг/л. Это, так же как и высокое содержание стронция здесь — до 150 мкг/л, — можно объяснить повышенным общим содержанием солей в воде (306 мг/л) и резко выраженным ее гидрокарбонатно-кальциевым типом. Увеличена концентрация бария до 55 мкг/л и в р. Согоже.

Таблица 2

Пределы содержания некоторых элементов в Рыбинском водохранилище, мкг/л

Предел	Sr	Ba	Zr	Ga	Ni	Pb	Sn	Zn	Mo	V	Ag
Верхний . . . .	160	55	4.0	0	2.5	2.5	0	0	0.3	1.5	0.06
Нижний . . . .	70	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. Нули — аналитические.

Таблица 3

Повышение концентрации некоторых элементов в отдельных участках Рыбинского водохранилища, мкг/л

Район	Пределы концентрации	Sr	Ba	Zr	Ga	Ni	Pb	Sn	Zn	Mo	Ag
Сточные воды г. Череповца {	Максимум	480	35	2.5	0.4	13.0	16.0	7.0	160	0.5	0.07
	Минимум	190	20	0	0	3.0	1.5	0	0	0	0
Р. Согожа у г. Пошехонья . . . . .	—	160	55	3.0	0.6	5.0	1.5	0	0	0	0
Русловой участок Шекснинского района {	Максимум	130	25	3.5	0.4	2.5	1.5	0	0	0	0.10
	Минимум	90	20	0	0.3	2.0	1.0	0	0	0	0
Весьегонское расширение . . . . .	—	80	40	7.0	0	2.0	1.5	0	0	0	0
Район затопленного г. Мологи . . . . .	—	110	25	2.5	0	1.5	1.5	0	0	0.2	0.50
Р. Сить, устье . . . . .	—	150	70	1.5	0	0	2.5	0	0	0.3	0

Примечание. Нули — аналитические.

Содержание циркония, галлия, никеля, свинца, олова, цинка, молибдена, ванадия и серебра в воде водохранилища определялось также во всех пробах. Однако концентрация этих элементов в значительном числе проб была за пределом чувствительности методики. Поэтому распределения их в табл. 1 и на картах не приводится. Пределы колебания концентрации указанных элементов по всей площади водохранилища, за исключением отдельных пунктов, где содержание их было резко повышено, даны в табл. 2.

Как видно из табл. 3, в некоторых пунктах водохранилища отдельные из определявшихся элементов находились в сравнительно высокой концентрации. Так, в районе стоков г. Череповца вода содержит значитель-

ное количество никеля, свинца, олова, цинка и несколько повышенное количество молибдена, галлия и серебра. Это, однако, не сопровождается увеличением концентрации этих элементов в воде нижележащих участков Шексны.

В р. Согоже повышена концентрация никеля и галлия. Несколько повышенным содержанием галлия характеризуется русловой участок Шексинского района водохранилища. Максимальное содержание циркония наблюдалось в районе Весьегонского расширения.

Несколько увеличено содержание серебра в отдельных пунктах руслового участка Шексны. Значительно повышена концентрация серебра в районе затопленного города Мологи.

Содержание такого биологически значимого элемента, как кобальт, не могло быть определено вследствие его малой концентрации, находящейся ниже границы чувствительности методики, которая составляет 1.5 мкг/л. Это вполне согласуется с результатами, полученными В. В. Ковальским и С. В. Летуновой (1961), которые в воде Рыбинского водохранилища обнаружили кобальт в концентрации 1.2 мкг/л.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аничкова Н. И. 1959. Некоторые черты гидрохимического режима северной части Рыбинского водохранилища. Тр. Дарвинск. гос. запов., вып. V.
- Аничкова Н. И. 1960. Некоторые черты гидрологического и гидрохимического режима северной части Рыбинского водохранилища, имеющие значение в жизни рыб. Тр. Дарвинск. гос. запов., вып. VI.
- Воронков П. П. 1953. Основные черты режима биогенных соединений водохранилищ Волжской системы в связи с их первичной продукцией. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 37 (91).
- Киреева А. С. 1955. Некоторые данные по гидрохимии Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 2.
- Ковальский В. В. и С. В. Летунова. 1961. Роль фито- и зоопланктона водоемов в миграции кобальта. Зоол. журн., т. XL, вып. 6.
- Кудрявцев Д. Д. 1950а. Материалы к гидрохимической характеристике Волжского отрога Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 1.
- Кудрявцев Д. Д. 1950б. Сравнительная характеристика гидрохимического режима водохранилищ верхней Волги: Ивановского, Угличского и Рыбинского. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 1.
- Остапеня П. В., Ц. А. Каган и Е. А. Гельфер. 1959. К вопросу о содержании фтора, брома, йода и меди в природных водах Полесской низменности. Гидрохим. материалы, Изд. АН СССР, т. 28.
- Фортунатов М. А. 1959. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатели его режима. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 2 (5).
- Францев А. В. 1959. Марганец в Учинском водохранилище. Тр. Всес. гидро-биол. общ., т. IX.

## СОСТАВ ВЗВЕСЕЙ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Целый ряд характерных особенностей вод озер и водохранилищ определяется не только количеством, но и качеством взвешенных частиц. Так, наличие большого количества органических взвесей может сильно влиять на химический состав воды, увеличивая окисляемость и ухудшая кислородный режим водоема. От характера взвесей во многом зависят свойства грунтов водохранилищ и темпы осадконакопления. Поэтому изучение состава взвесей не менее важно, чем изучение их количественных изменений.

Исследование состава взвесей мы проводили по трем направлениям: 1) определение соотношения органического и минерального вещества во взвесях; 2) определение содержания общего азота; 3) микроскопическое исследование для выявления основных ингредиентов, входящих в состав взвесей. Исследования проводились с целью выяснения генезиса взвесей, а также получения характеристик, которые позволили бы подойти к оценке взвесей как кормового ресурса для водных организмов.

### МЕТОДИКА

Для анализов использовались взвеси, собранные на мембранных фильтрах при количественных исследованиях на опорных станциях. В зимних условиях для сбора взвесей использовался, кроме фильтрования через мембранный фильтр, метод ловчих стаканов. Наблюдения над накоплением взвесей в ловчих стаканах производились в Главном и Воляжском плесах водохранилища зимой и весной 1961 г. За время экспозиции в ловчих стаканах накапливались взвеси в количестве от 22 до 260 мг в пересчете на сухое вещество. Такого количества было достаточно для определения общего азота и органического вещества. За содержание органического вещества во взвесях условно принималась потеря при прокаливании. Сжигание и прокаливание фильтров производилось в платиновых тиглях при температуре 450°. Общий азот взвесей определялся методом Конвея (по Аринушкиной, 1961).

Препараты для микроскопирования взвесей готовились следующим образом. Отбиралось 50 мл воды из пробы, взятой для количественного анализа, и фильтровалось через мембранный фильтр № 4. Фильтр окрашивался 3%-м раствором эритрозина на 5%-й карболовой воде. После отмывки фильтр обрабатывался 4%-м раствором желтой кровяной соли и сапониновым раствором соляной кислоты. В результате такой окраски все органические частицы приобретали красный цвет, железистые — синий, а прочие минеральные частицы не окрашивались. Окрашенный фильтр помещался на предметное стекло и просветлялся иммерсионным маслом. Микроскопирование производилось при окуляре  $\times 10$  и объективах  $\times 20$  и  $\times 60$ . В 10 полях зрения производился подсчет частиц различного характера и глазомерно учитывалось процентное соотношение занимаемых ими площадей. Затем производился подсчет количества различных частиц в 1 мл воды и процентного соотношения их масс.

### СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

Результаты определений содержания органического вещества во взвесях, собранных на мембранных фильтрах, приведены в табл. 1, а данные исследований взвесей в ловчих стаканах — в табл. 2. Из приводимых



в табл. 1 и 2 данных видно, что содержание органического вещества во взвесях сильно изменяется по сезонам. Ранней весной в речных плесах при поступлении в них вод половодья, несущих большое количество терригенных частиц, органическое вещество во взвесях составляет 20—23% от общего веса взвесей. С нарастанием половодья содержание органического вещества во взвесях уменьшается (табл. 2) и в самый пик половодья достигает минимума.

Таблица 1

Содержание органического вещества во взвесях (в % от общего веса взвесей)

Плес	1960 г.							1961 г.												
	28 VII		23 VIII		6 IX		27 X	16—21 II			19—22 III	19—25 IV	12 V		8 VI		3 VIII		10 X	
	поверхностный горизонт	придонный горизонт	поверхностный горизонт	придонный горизонт	поверхностный горизонт	придонный горизонт		Среднее по вертикали	поверхностный горизонт	придонный горизонт			поверхностный горизонт	придонный горизонт	поверхностный горизонт	придонный горизонт	поверхностный горизонт	придонный горизонт		
Воляжский	60	47	56	52	31	22	30	45	—	20	29	29	63	50	48	44	38	33		
Моложский	71	61	52	42	37	40	30	57	67	23	40	38	60	33	48	40	47	35		
Шекснинский	63	38	50	24	18	21	41	64	59	20	45	23	41	39	47	35	40	36		
Главный	80	62	52	50	46	35	41	60	—	39	40	50	64	52	64	64	51	51		

Примечание. Приводимые в таблице цифры являются средними для плесов величинами, полученными при суммарном анализе взвесей со станций синхронных съемок.

В центральной части Главного плеса, куда попадет лишь очень незначительная часть взвесей, приносимых половодьем, органическое вещество во взвесях составляет около 40%. На спаде половодья, когда в речных плесах общее количество взвесей уменьшается, относительное содержание органического вещества в них возрастает до 29—39%. Однако указанное изменение процентного содержания органического вещества во взвесях обуславливается главным образом изменением общего количества взвесей. Абсолютное количество органического вещества в пик половодья составляет в Воляжском плесе 10 мг/л, в Моложском — 4 мг/л, в Шекснинском — 2 мг/л; к концу весны оно уменьшается в Воляжском плесе в 5 раз, а в Моложском в два раза. В Главном плесе водохранилища содержание органического вещества в течение весны не испытывает больших изменений (1.2—1.5 мг/л).

В начале июня 1961 г. было произведено определение органического вещества во взвесях Мологи и Шексны выше зоны подпора водохранилища. Оказалось, что абсолютное содержание органического вещества в речных взвесях очень близко к таковому в плесах водохранилища и равно 2.0 мг/л в Мологе и 2.5 мг/л в Шекспе.

Летом с уменьшением речного стока уменьшается и абсолютное количество органических веществ, приносимых им в плесы, а содержание автохтонных органических взвесей возрастает за счет увеличения продукции фитопланктона. Максимальные значения содержания органического вещества в летние месяцы наблюдаются в Главном плесе, в поверхностном

Т а б л и ц а 2

Количество и состав взвесей в ловчих стаканах											
Станция	Глубина, м	Время экспозиции	Горизонт, м	Количество взвесей в ловчих стаканах, мг сухого веса	Количество взвесей на 1 м <sup>2</sup> в сутки, г сухого веса	Общее органическое вещество, % от сухого веса	Углерод, % от сухого веса	Азот, % от сухого веса	Количество азота на 1 м <sup>2</sup> в сутки, мг	N/C	
Главный плес, Борисоглебск . . .	11.2	2—19 III 1961	5	36.0	0.5	53	31	0.71	3.4	44	
			10	41.0	0.6	49	28	0.79	4.7	35	
Главный плес, Павлово . . . . .	7	24 II—20 III 1961	2	27.5	0.3	92	53	—	—	—	
			6	{ 23.0 22.5	{ 0.2 0.2	{ 70 40	{ 0.93		2.2	43	
Главный плес, затопленный шлюз Ягорба . . . . .	14	4—23 III 1961	13	40.8	0.5	47	27	1.10	5.9	25	
			{ 2 5 10	{ 23.2 24.6 68.0	{ 0.2 0.7 1.8	{ 54 37 25	{ 31 21 20	{ 0.92 0.88 0.81	{ 2.5 6.4 14.7	{ 34 24 25	
Волжский плес, Коурино . . . . .	11	1—8 IV 1961	2	85.5	3.0	39	23	0.65	19.7	35	
			5	{ 70.5 77.4	{ 2.6	{ 34	{ 20	{ 0.69	{ 17.2	{ 29	
			10	{ 79.8 59.3	{ 2.4	{ 30	{ 17	{ 0.72	{ 17.2	{ 24	
			5	266.2	13.0	15	9	0.5	66.4	18	

горизонте которого органическое вещество достигает 80%, а в среднем составляет около 60% общего веса взвесей. На втором месте по содержанию органического вещества стоят Волжский и Моложский плесы — в среднем 50%. В Шекснинском плесе органическое вещество составляет около 40%. Пониженное по сравнению с другими речными плесами содержание взвешенного органического вещества здесь объясняется преобладанием минеральной составляющей во взвесах, приносимых Шексой.

Абсолютные количества взвешенного органического вещества летом равны в среднем 2.5 мг/л в Моложском, 3 мг/л в Шекснинском и 3.5 мг/л в Волжском плесе. В Главном плесе абсолютное содержание органического вещества меньше, чем в речных, и равно в среднем за лето 2 мг/л, из которых по меньшей мере 60% составляет автохтонное органическое вещество (планктон, бактерии). Аллохтонное органическое вещество, приносимое стоком, состоит в основном из трудно минерализуемых органических соединений, одна часть которых осаждается и частично разлагается в водохранилище, другая проходит через него в неизменном виде. Если принять, с явным завышением, что количество аллохтонного органического вещества, поступающего в водохранилище со стоком в летний период, равно наблюдавшемуся в начале лета (2.0—2.5 мг/л), и сопоставить это количество с содержанием аллохтонного органического вещества

в Главном плесе, то получается, что 60—70% аллохтонных органических взвесей не достигают центральной части водохранилища.

Осенью содержание органического вещества в речных плесах снижается в среднем до 31—33%. В начале осени это снижение происходит за счет увеличения минеральной составляющей взвесей при прохождении осенних паводков на притоках. В октябре уменьшению содержания органического вещества способствует резкое сокращение развития фитопланктона, а в Главном плесе оно связано также с процессами взмучивания частиц со дна при ветровом волнении. Органическое вещество составляет осенью в Главном плесе водохранилища в среднем 45% от общего веса взвесей. Абсолютное количество взвешенного органического вещества в плесах водохранилища в среднем за осенний период равно 3 мг/л.

Зимой с прекращением поверхностного стока сокращается количество минеральных частиц, поступающих в водохранилище. Основную роль в питании рек приобретают грунтовые и болотные воды, являющиеся источником аллохтонных гумусовых веществ. Относительное содержание органического вещества во всех плесах водохранилища возрастает. Это особенно характерно для Моложского и Шекснинского плесов, в бассейнах которых расположены большие болотные массивы. В этих плесах органическое вещество составляет около 60% общего веса взвесей. В Волжском плесе доля органического вещества во взвесах несколько меньше — 45%. Исследования состава взвесей в ловчих стаканах в Главном плесе показали, что в центральной его части органическое вещество в конце зимы может достигать 90% веса, а в среднем — около 60%. Абсолютные количества органического вещества равны в речных плесах 1—1.5 мг/л, в Главном плесе — 0.6 мг/л.

Сравнение содержания органического вещества в поверхностном и придонном горизонтах показывает, что в большинстве случаев в поверхностном горизонте относительное содержание органического вещества больше. Это связано с большей скоростью оседания минеральных частиц и постепенной минерализацией органических частиц по мере их оседания. Последнее особенно касается планктонных организмов, которые, по данным М. А. Кастальской-Карзинкиной (1937), разлагаются при летних температурах воды в течение шести-семи дней.

Используя данные по стоку Волги, Мологи, Шексны за 1960 г. и содержанию органического вещества во взвесах, мы произвели подсчет общего количества взвешенного органического вещества, поступающего в речные плесы и продуцируемого в них. Расчет дал величину около 40 тыс. тонн сухого вещества, из которых 20 тыс. тонн приходятся на весенний и зимний периоды, когда основным источником поступления является приток с водосборной площади.

По данным Ю. И. Сорокина (1958), в Главном плесе водохранилища за счет процесса фотосинтеза фитопланктона за год продуцируется около 110 г сухого органического вещества под 1 м<sup>2</sup> поверхности водоема, что в пересчете на площадь плеса дает 297 тыс. тонн сухого вещества. По данным Б. А. Скопинцева (1947), Б. А. Скопинцева и Л. П. Крыловой (1955), С. И. Кузнецова (1955), 80—90% продукции планктона относится к нестойкому, быстро минерализующемуся органическому веществу. Исходя из этого положения, от исходной величины продукции органического вещества Главного плеса остается во взвешенном состоянии в среднем 15%, т. е. около 45 тыс. тонн. Таким образом, общее количество взвешенного органического вещества, поступившего с речным стоком и образовавшегося в водохранилище, составило около 85 тыс. тонн. Следует учесть, что расчет произведен для маловодного года, в котором объем

годового стока составлял 80% от средней многолетней величины. В многоводные годы количество поступающего со стоком органического вещества будет, несомненно, больше.

СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО АЗОТА

Результаты определений общего азота во взвесях представлены в табл. 2 и 3. Количество определений невелико, однако оно дает представление о сезонных изменениях в содержании азота, которые аналогичны сезонным изменениям содержания органического вещества. Взвеси наиболее богаты азотом летом, когда содержание общего азота достигает 1.7—3.4%. Максимум азота наблюдается во взвесях Главного плеса (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Содержание общего азота и углерода во взвесях Рыбинского водохранилища				
Дата	Плес	Азот, ‰ от сухого веса	Углерод, ‰ от сухого веса	$\frac{C}{N}$
27 IV 1961	Моложский . . . . .	1.60	13	8
25 IV 1961	Шекснинский . . . . .	1.06	12	11
8 VI 1961	Главный . . . . .	2.96	34	11
	Шекснинский . . . . .	2.43	23	10
	Воляжский . . . . .	1.71	32	19
23 VIII 1961	} Главный . . . . . {	3.45	31	9
10 X 1961		1.66	30	18

Осенью содержание азота во взвесях Главного плеса по сравнению с летним уменьшается вдвое. Зимой происходит дальнейшее уменьшение азота. В Главном плесе он составляет 0.7—1.1% от сухого веса взвесей (табл. 2). Данных по азоту зимой в речных плесах нет, за исключением Воляжского, где его содержание близко к таковому в Главном плесе. В Моложском и Шекснинском плесах следует ожидать несколько большего содержания азота в соответствии с повышенным содержанием органического вещества. Весной наиболее бедны азотом взвеси Воляжского плеса — 0.5%.

Показателем изменения состава органического вещества взвесей водохранилища по сезонам может служить отношение  $\frac{C}{N}$ . По исследованиям С. И. Кузнецова и др. (1939), В. Д. Коншина (1939), отношение  $\frac{C}{N}$  в озерных илах характеризует органическое вещество илов по его способности разлагаться до более простых форм, с накоплением минерального азота в виде аммиака. Можно полагать, что это относится и к взвесям водоемов. Летом величина отношения  $\frac{C}{N}$  во взвесях водохранилища, по нашим данным, колеблется в пределах 9—19. Зимой она увеличивается до 24—44, при близком к летнему относительном содержании органического вещества. Следует заметить, что в планктонном детрите отношение  $\frac{C}{N}$ , по данным Т. А. Сперанской (1935), равно 5.6. Высокие значения отношения

в зимних взвесах свидетельствуют о том, что органическое вещество взвесей состоит из трудно минерализуемых веществ, роль планктонного детрита в образовании взвесей ничтожна и трофическая их ценность невелика.

#### ОСНОВНЫЕ ИНГРЕДИЕНТЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ И МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТЕЙ ВЗВЕСЕЙ

Микроскопическое исследование позволило установить характер взвешенных частиц и соотношение их в различные сезоны года. Органическая часть взвесей состоит из бактерий, живого и находящегося на различных стадиях разложения фито- и зоопланктона и бесформенного детрита в виде обрывков органического вещества. Среди планктонных частиц подавляющее большинство составляют организмы фитопланктона и продукты их распада. Минеральная часть взвесей в большинстве случаев состоит из гидратов окиси железа в виде аморфных скоплений. Кроме железистых частиц, минеральная часть взвесей содержит агрегаты глинистых минералов, имеющие бурый цвет, и прозрачные бесцветные минеральные зерна, относящиеся в большинстве своем, как показало исследование их в поляризованном свете, к минералам группы кварца.

Рассмотрим изменения в составе взвесей по сезонам на примере 1960—1961 гг. Микроскопировались взвеси поверхностного и придонного горизонтов с четырех опорных станций, расположенных в речных и Главном плесе водохранилища. Результаты исследований представлены в табл. 4 и 5. Ранней весной в речных плесах водохранилища преобладают минеральные частицы. На первом месте среди них в Волжском плесе водохранилища — кварцевые частицы, составляющие около 50% общего веса взвесей. В Моложском и Шекснинском плесах около 50% веса составляют гидраты железа, а на долю кварцевых частиц приходится около 20—30%. Органическое вещество взвесей состоит в этот период из детрита, бактерий и в очень незначительной степени из представителей диатомового планктона.

В Главном плесе водохранилища, где влияние половодья не проявляется столь значительно, как в речных плесах, не наблюдается резкой разницы в содержании органических и минеральных частиц. Органическая часть взвесей состоит преимущественно из бактерий, минеральная — из гидратов железа. В конце весны доля кварцевых частиц в общей массе взвесей остается значительной (около 30%) лишь в Волжском плесе, в остальных плесах она резко сокращается. По-прежнему преобладают железистые частицы. В органической части взвесей увеличивается количество частиц планктонного происхождения. Роль планктона и детрита особенно резко возрастает в летние месяцы. В поверхностном горизонте планктонные частицы составляли летом от 7 до 34% (в среднем 21%) общей массы взвешенного материала. В придонном горизонте их содержание было несколько меньше — от 4 до 19% (в среднем 12%). Детрит составляет в среднем 22% в поверхностном и 18% в придонном горизонтах. Третий компонент органической части взвесей — бактерии — составляет значительную долю (около 25%) в Главном плесе водохранилища. В речных плесах бактерии составляют в среднем 10% от общего веса взвесей.

В минеральной части взвесей преобладают гидраты железа. Как относительное, так и абсолютное содержание их в речных плесах несколько выше, чем в Главном. Следовательно, имеет место частичная аккумуляция минеральных форм железа, приносимых с речным стоком. Кварцевые и глинистые частицы составляют, как правило, небольшую долю от общего веса взвесей, в среднем соответственно 11 и 6%. Для минеральных частиц

в целом характерно увеличение их массы в придонных горизонтах, что, кроме их большего по сравнению с органическими частицами удельного веса, может быть связано также с вымыванием из грунта закисных солей железа, которые, окисляясь, переходят в нерастворимую форму. Такое влияние физико-химических процессов на содержание взвесей в придонных горизонтах отмечалось в работах В. С. Ивлева (1937), Л. Л. Россолимо (1949), О. В. Митягиной (1955).

В составе осенних взвесей отмечается уменьшение планктона и детрита. За счет этого в речных плесах повышается процент кварцевых и железистых частиц, но абсолютное их содержание не увеличивается. В Главном

Состав водных взвесей Рыбинского водохранилища

Станция, горизонт	28 VII 1960							23 VIII		
	общий вес, мг/л	бактерии	планктон	детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты же- леза	общий вес, мг/л	бактерии	планктон
Волжский плес, Копринно:										
Поверхность . . . . .	7.0	41	22	30	3	2	32	8.2	5	34
Дно . . . . .	10.3	45	—	27	10	3	45	9.0	15	18
Моложский плес, Малиновка:										
Поверхность . . . . .	11.1	46	29	28	2	3	22	9.4	22	23
Дно . . . . .	4.3	10	18	25	11	6	30	10.0	7	19
Шекснинский плес, Вичелово:										
Поверхность . . . . .	4.4	7	20	26	2	4	41	10.9	7	21
Дно . . . . .	7.1	6	16	9	4	3	62	11.3	4	6
Главный плес, Паволок:										
Поверхность . . . . .	2.9	31	7	38	2	2	20	5.0	30	10
Дно . . . . .	2.2	20	5	30	9	9	27	12.2	20	14

Станция, горизонт	16—21 II 1961				19—22 III					
	детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты же- леза	общий вес, мг/л	бактерии	планктон	детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы
Волжский плес, Копринно:										
Поверхность . . . . .	32	10	—	46	2.7	25	—	15	8	2
Дно . . . . .	20	13	—	59	2.5	16	1	8	17	2
Моложский плес, Малиновка:										
Поверхность . . . . .	21	8	5	37	1.7	21	—	30	5	3
Дно . . . . .	25	9	2	39	1.7	26	—	26	3	—
Шекснинский плес, Вичелово:										
Поверхность . . . . .	25	9	—	37	1.3	21	—	30	6	—
Дно . . . . .	29	10	2	24	2.4	19	—	25	13	—
Главный плес, Паволок:										
Поверхность . . . . .	30	13	—	14	1.3	18	—	38	6	3
Дно . . . . .	22	12	3	25	1.7	37	—	15	2	2

плесе как абсолютное, так и относительное содержание кварцевых частиц увеличивается почти вдвое, что является результатом размыва донных отложений и первичных грунтов плеса во время осенних штормов.

Количество планктонных организмов во взвесах водохранилища зимой ничтожно. Бактерии составляют от 10 до 40% (в среднем 25%) всей массы взвешенного материала, с максимумом в Главном плесе. Детрит в среднем составляет около 24% веса взвесей, с колебаниями от 8 до 38%. Детритные частицы сильно диспергированы и представляют собой значительно разложившиеся соединения. В минеральной части взвесей преобладают гидраты железа.

Т а б л и ц а 4

(в % от общего веса взвесей)

1960				27 X 1960							16-21 II 1961		
детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты железа	общий вес, мг/л	бактерии	планктон	детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты железа	общий вес, мг/л	бактерии	планктон
13	11	3	34	3,6	42	1	3	29	3	22	2,9	12	—
15	20	5	27	4,2	10	4	3	36	8	41	2,9	8	—
6	10	7	32	3,0	12	8	7	5	2	66	1,4	29	—
14	11	5	44	3,2	11	2	12	15	4	56	2,8	25	—
16	2	22	32	6,0	14	12	10	18	3	43	2,6	29	—
7	35	8	40	4,8	9	15	10	16	2	48	2,3	35	—
16	22	4	18	10,6	12	8	20	42	3	15	1,0	43	—
16	20	7	23	10,4	13	6	17	38	9	17	0,9	38	—

Продолжение

1961								12 V 1961						
19-25 IV 1961														
гидраты железа	общий вес, мг/л	бактерии	планктон	детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты железа	общий вес, мг/л	бактерии	планктон	детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты железа
50	87,4	3	1	6	50	2	38	5,5	4	7	10	24	10	45
56	68,3	4	1	5	55	8	27	7,6	11	4	4	37	12	32
41	13,3	8	1	9	28	2	52	6,8	11	3	18	8	3	57
45	19,5	5	1	6	33	5	50	5,4	10	3	15	6	5	61
43	2,5	4	1	14	24	5	52	5,0	14	6	17	12	6	45
43	4,4	4	1	11	23	11	50	3,8	4	4	9	15	11	57
35	2,2	23	—	16	8	2	51	2,4	6	13	16	7	6	52
44	2,3	19	—	14	14	7	46	2,5	7	12	21	5	3	52

Мы не производили детального гранулометрического анализа взвесей. Однако микроскопическое исследование их в просветленных препаратах показало, что во все сезоны года большинство частиц, как органических, так и минеральных, относится к пелитовой фракции ( $< 10$  мк). Летом, в период интенсивного развития синезеленых водорослей, несколько увеличивается число более крупных органических частиц, однако их доля в общем количестве невелика. Представление о массе частиц различных размеров могут дать результаты параллельного фильтрования через фильтры с разными диаметрами пор. В среднем частицы размером  $> 3-5$  мк составляют 60% всей массы взвешенного материала, частицы размером от  $3-5$  мк до  $1.2$  мк — 20%, частицы размером от  $1.2$  мк до  $0.9$  мк —

Состав водных взвесей (коли

Станция, горизонт	28 VII 1960						23 VIII	
	бактерии	планктон	детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты железа	бактерии	планктон
Воляжский плес, Коприно:								
Поверхность . . . . .	1520	1	23	5	6	19	1900	53
Дно . . . . .	1820	—	9	20	9	20	2220	4
Моложский плес, Малиновка:								
Поверхность . . . . .	2520	2	9	7	4	31	1440	5
Дно . . . . .	1170	3	4	5	1	18	2170	15
Шекснинский плес, Вичелово:								
Поверхность . . . . .	2180	4	7	1	2	61	1590	8
Дно . . . . .	1950	5	12	3	5	31	1650	5
Главный плес, Наволок:								
Поверхность . . . . .	2380	1	9	1	4	9	2280	3
Дно . . . . .	1650	1	21	13	9	35	1670	4

Станция, горизонт	16—21 II 1961			19—22 III				
	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты железа	бактерии	планктон	детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы
Воляжский плес, Коприно:								
Поверхность . . . . .	25	—	55	1390	—	17	17	3
Дно . . . . .	27	—	63	1150	—	14	19	2
Моложский плес, Малиновка:								
Поверхность . . . . .	25	5	44	1150	—	8	11	1
Дно . . . . .	17	2	100	1160	—	15	11	—
Шекснинский плес, Вичелово:								
Поверхность . . . . .	23	—	56	1200	—	18	17	—
Дно . . . . .	18	1	48	1110	—	8	9	—
Главный плес, Наволок:								
Поверхность . . . . .	37	1	21	1480	—	18	18	2
Дно . . . . .	35	4	44	1550	—	12	16	1



17%, частицы размером  $< 0.9$  мк — 3%. По сезонам года эти соотношения меняются незначительно.

Материалы по изменению численности частиц различного типа представлены в табл. 5. Первое место по численности во взвесах во все сезоны года имеют бактерии. В пробах 1960—1961 гг. число их равнялось 985—3060 тыс. клеток в 1 мл. Минимум численности бактерий приходился на предполоводный период: в речных плесах водохранилища — на март, в Главном плесе — на апрель. Второе место по численности занимают железистые частицы. Количество их колебалось от 9 до 125 тыс. в 1 мл воды. Сравнение данных табл. 4 и 5 показывает, что дисперсность железистых частиц в зимние месяцы увеличивается — при малой массе количе-

Таблица 5

чество частиц, тыс. в 1 мл воды)

1960				27 X 1960						16—21 II 1961		
детрит	кварцевые частицы	глинистые частицы	гидраты железа	бактерии	планктон	детрит	кварцевые частицы	Глинистые частицы	Гидраты железа	бактерии	планктон	детрит
4	22	7	17	1580	0.4	4	30	2	24	2060	—	40
6	31	6	48	1410	2	6	59	4	27	2000	—	35
5	12	4	24	1210	4	9	4	0.4	43	2220	—	16
17	13	7	32	2000	2	16	11	3	50	3060	—	18
18	21	4	33	1950	9	7	18	0.4	62	1330	—	11
14	39	10	31	1680	9	11	25	0.4	60	2290	—	15
15	14	2	17	2040	4	9	46	3	26	2340	—	17
13	15	3	11	2030	2	20	71	7	44	2470	—	11

Продолжение

ство их остается значительным, что характерно и для детритных частиц. Увеличение численности глинистых, кварцевых частиц, как правило, соответствует увеличению их массы. Отмеченная особенность, на наш взгляд, связана, во-первых, с более однородным механическим составом кварцевых и глинистых частиц на водосборе водохранилища, а во-вторых, со способностью железистых и детритных частиц диспергироваться под влиянием биохимических факторов при длительном пребывании во взвешенном состоянии.

### ВЫВОДЫ

1. Содержание органического вещества во взвесах водохранилища в течение большей части года велико и составляет в среднем 40 и 50% соответственно для речных и Главного плесов водохранилища, с колебаниями от 15 до 90%.

2. Основным источником взвешенного органического вещества в водохранилище является первичная продукция фотосинтеза фитопланктона. Взвешенное органическое вещество, приносимое с водосбора, составляет немногим более 1/4 суммы взвешенного органического вещества, продуцируемого в водоеме и приносимого в него со стоком.

3. Основная масса приносимого со стоком взвешенного органического вещества осаждается в речных плесах, не достигая центра водохранилища.

4. Содержание азота во взвесах водохранилища колеблется по сезонам от 0.5 до 3.4%.

5. Изменение величины отношения  $\frac{C}{N}$  во взвесах свидетельствует о том, что трофическая ценность их меняется по сезонам и минимальна зимой, когда органическое вещество взвесей представлено трудно минерализуемыми соединениями.

6. Взвеси водохранилища могут быть подразделены на органические и минеральные. Среди первых в свою очередь выделяются планктонные, бактериальные, детритные, а среди вторых — кварцевые и железистые, в зависимости от преобладающего компонента. Состав взвесей меняется по сезонам в связи со сменой источников их поступления.

7. Основную массу взвесей составляют частицы  $< 10$  и  $> 1$  мк. По численности на первом месте бактерии, на втором — железистые частицы.

### ЛИТЕРАТУРА

- А р и п у ш к и н а Е. В. 1961. Руководство по химическому анализу почв. Изд. МГУ.
- И в л е в В. С. 1937. Материалы по изучению баланса веществ в озере. Баланс железа. Тр. Лимнол. ст. в Косине, вып. 21.
- К а с т а л ь с к а я - К а р з и н к и н а М. А. 1937. Опыт применения метода учета живых и отмерших организмов в изучении планктона Глубокого озера. Тр. Лимнол. ст. в Косине, вып. 21.
- К о п и л о в В. Д. 1939. Формы азота в озерных иловых отложениях. Тр. Лимнол. ст. в Косине, вып. 22.
- К у з н е ц о в С. И. 1955. Роль микроорганизмов в круговороте веществ в водоемах. Изд. АН СССР, М.
- К у з н е ц о в С. И. и др. 1939. Состав органического вещества в иловых отложениях различных озер. Тр. Лимнол. ст. в Косине, вып. 22.
- М и т я г и н а О. В. 1955. Взвешенные вещества в водохранилищах. Автореферат дисс. на соиск. уч. степени канд. биол. наук, М.
- Р о с с о л и м о Л. Л. 1949. Седиментация отложений в Глубоком озере. Тр. Всес. Гидробиол. общ., т. 1.

- С к о п и ц е в Б. А. 1947. О скорости разложения органического вещества отмершего планктона. Докл. АН СССР, т. 58, № 8.
- С к о п и ц е в Б. А. и Л. И. К р ы л о в а. 1955. Результаты изучения некоторых вопросов динамики органического вещества в природных водах. Тр. Всес. Гидробиол. общ., т. VI.
- С о р о к и н Ю. И. 1958. Первичная продукция органического вещества в водной толще Рыбинского водохранилища. Тр. Биол. ст. «Борок» АН СССР, вып. 3.
- С п е р а н с к а я Т. А. 1935. Данные по изучению органического вещества озерных иловых отложений. Тр. Лимнол. ст. в Косине, вып. 20.
-

# ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА И ГРУНТОВ БАНОК РАСШИРЕННОЙ ЧАСТИ ВОЛЖСКОГО ПЛЕСА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В водохранилищах наряду с размывами берегов, сопровождающимися их отступанием и образованием береговых отмелей и пересыпей, происходят процессы размыва участков ложа, удаленных от берега, и прежде всего подводных возвышенностей.

В 1961 г. для выяснения условий формирования рельефа и грунтов подводных возвышенностей нами закончено обследование банок Липняги и Лысая Гора, расположенных в западном районе расширенной части Волжского плеса Рыбинского водохранилища. Обследование производилось при низких уровнях воды, когда банки частично обсыхали. Для получения плана и рельефа банок была сделана топографическая съемка с применением нивелира, дополненная подробным промером подводных склонов. За исходную высотную отметку была принята отметка репера Гидрометеослужбы, установленного у гидрометеопоста Коприно. На время обследования банок на них были установлены временные свайные водомерные посты. Планы банок, полученные нами при топографических съемках, сравнивались с их увеличенными изображениями, взятыми с карт. Съемка местности для составления карт произведена в 1934—1935 гг., т. е. до затопления ложа водохранилища.

Пробы грунта отбирались по профилям, причем на обсыхших участках банок — в шурфах, а под водой — трубчатым дночерпателем. При неоднородных грунтах образцы брались послойно. Консервация проб производилась высушиванием их на воздухе. Механический состав грунта определялся отмучиванием с дальнейшим разделением частей на фракциометре и, при необходимости, на пипеточной установке Государственного гидрологического института. Для вычисления гранулометрических коэффициентов мы пользовались упрощенным методом В. П. Петелина (1958).

Материалы, полученные при обследовании банок, одинаковы по всем основным показателям, что объясняется сходством слагающих их грунтов и гидродинамических условий их образования. Учитывая это, а также то, что банка Лысая Гора была обследована более детально, в настоящем сообщении мы приводим материалы только по этой банке.

Величина размыва определенных участков ложа водохранилища зависит от глубин над ними и высоты волн, наблюдающихся над местом размыва. Наиболее сильно размываются площади дна, расположенные на меньших отметках, чем глубина размывающего действия волн. Последняя, по Н. Е. Кондратьеву (1960), характеризует глубину, на которую распространяется размывающее действие волны при формировании береговой отмели и, следовательно, при формировании участков дна ложа, находящихся выше ее значения. Скорость размыва, большая в первые годы

существования водохранилища, по мере увеличения глубин над размываемым участком дна постепенно уменьшается. Интенсивный размыв прекращается при достижении отметок устойчивого профиля дна, которые соответствуют глубине размывающего действия волны (Кусков, 1957).

Для района банки Лысая Гора наиболее высокие волны наблюдаются при северо-восточном ветре. По этому направлению разгон волны (Мыс Рожновский—банка Лысая Гора) равен 24 км. По другим направлениям волн значительной высоты, — однако меньших, чем для северо-восточного румба, — можно ожидать при юго-западном ветре, когда разгон равен 13 км. В табл. 1 для ветра различной силы по указанным направлениям и соответствующим им разгонам даны высоты волн и глубины их размывающего действия. Высоты волн получены по номограммам А. П. Браславского (1952) и пересчитаны на обеспеченность в 15%, так как последняя принята при расчете береговых переформирований. Глубины размывающегося действия волны определены с учетом показателя устойчивости частиц (Кондратьев, 1960).

Данные табл. 1 показывают, что устойчивое дно, т. е. отметка, на которой прекращается размыв банки, находится на глубине порядка 1.8—2.5 м над ее гребнем. Но поскольку уровень водохранилища, достигая максимума, обычно близкого к НПГ,<sup>1</sup> в течение навигационного периода ежегодно значительно срабатывается, отметка устойчивого профиля дна банки находится на глубине, равной сумме глубины размывающего действия волны и величины сработки уровня на момент ледостава. Средняя величина сработки уровня ко времени замерзания водохранилища, определенная с 1947 по 1958 г., равна 1.8 м (в 1947 г. уровень водохранилища впервые достиг НПГ, поэтому предыдущие годы в расчет не брались). Таким образом, расчетная отметка устойчивого профиля дна банки определяется глубиной 3.6—4.3 м.

При обследовании банки ее вершина находилась на отметке 2.5 м усл., что дает глубину, равную 3.5 м относительно НПГ. Из сравнения расчетной глубины, соответствующей отметке устойчивого профиля дна (3.6—4.3 м) и наблюдаемой над гребнем банки во время нашей съемки (3.5 м), видно, что фактическая глубина над банкой незначительно меньше расчетной глубины устойчивого профиля дна. Это позволяет считать, что процесс формирования банки почти закончен. Поэтому существенной переработки слагающих в настоящее время банку грунтов и, следовательно, значительного поступления в водохранилище из ее района грунтообразующего материала для формирования вторичных грунтов ожидать нельзя. Сопоставление двух планов банки (в горизонталях) — современного и составленного по съемке 1934—1935 гг. — дало возможность судить об изменениях рельефа банки, которые произошли за время существования водохранилища.

Т а б л и ц а 1

Высоты волн ( $h$ ) и соответствующие им глубины размывающего действия ( $H$ ) при различных скоростях ветра для района банки Лысая Гора

Скорость ветра, м/сек.	$h$ , м	$H$ , м	$h$ , м	$H$ , м
	разгон волны 24 км		разгон волны 13 км	
5.0	0.3	0.3	0.2	0.3
10.0	0.8	1.0	0.6	0.7
15.0	1.2	1.8	0.8	1.0
20.0	1.5	2.5	1.1	1.6

<sup>1</sup> В настоящем сообщении для НПГ принята условная отметка 6.0 м.

Планы банки до и после заполнения водохранилища в условных отметках, принятых для этого сообщения, представлены на рис. 1. На основе этих планов можно сделать следующие выводы.

1. В результате размывающего действия волны произошло нивелирование поверхности банки. Ее вершина, до затопления имевшая бугристый рельеф, стала плоской.

2. Горизонталы банки приняли более плавную конфигурацию. Это произошло вследствие того, что при переформировании грунтов банки

возникают потоки наносов, частицы которых, переотлагаясь, частично скапливаются на ее склонах.

3. По-видимому, направленного потока песчаных наносов на банке не существует. Этим можно объяснить увеличение горизонтальной проекции банки только по поперечной оси, чему способствовала довольно большая крутизна первоначальных ее склонов.

4. Во время обследования банки ее вершина находилась на отметке 2.5 м усл., — следовательно, в результате размыва банки ее абсолютная высота уменьшилась на 1.5 м. Наглядное представление о величинах размыва банки по ее продольной и поперечной оси даст также рис. 2, где даны совмещенный профиль по гребню банки и три совмещенных профиля по нормали к нему.

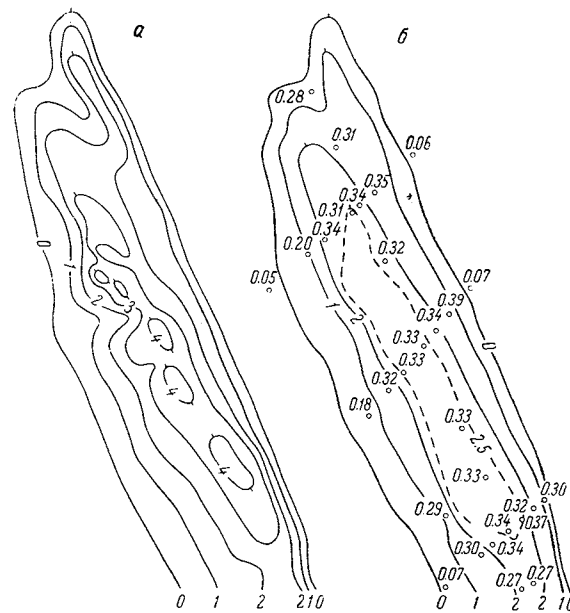


Рис. 1. Планы банки Лысая Гора (горизонталы проведены через 1.0 м).

*a* — до заполнения водохранилища по съемке 1934—1935 гг.; *б* — после его заполнения по съемке 1960 г. Цифры означают величины медианных диаметров частиц грунта в миллиметрах.

Планы банки Лысая Гора в горизонталях до и после затопления ложа водохранилища позволили определить их соответствующие объемы; они подсчитаны от нулевой плоскости, указанной на рис. 1. В результате сравнения полученных величин оказалось, что банка с момента заполнения водохранилища (1941 г.) до времени нашего обследования (1960 г.) потеряла 14.7 тыс. м<sup>3</sup> грунта, или 13.7% своего первоначального объема.

Таким образом, в результате переотложения наносов, высвобождающихся при переформировании грунтов банки, произошла не только аккумуляция их на ее склонах, но и вынос значительной части наносов за ее пределы. Последнее позволяет подчеркнуть следующее. При подсчете прогнозируемого объема заиления водохранилищ, в частности Рыбинского, следует учитывать не только поступление аллювиальных наносов и запасы высвобождающегося грунта при разрушении берегов и переформировании береговых отмелей, но и материал, который поступает в водоем за счет процессов формирования различных деталей рельефа ложа водохранилища, в том числе подводных возвышенностей.

Исходными грунтами для образования вторичных отложений, покрывающих банку, послужили серые супесчанистые почвы, в которых пре-

обладают пылеватые частицы ( $Md^2=0.07$  мм) и подпочвенный грунт, представленный средним желтым песком ( $Md=0.22-0.29$  мм). При размыве и переработке указанных первичных грунтов происходила их сортировка по крупности. В процессе сортировки наиболее крупные частицы оставались вблизи места размыва, так как с увеличением глубины размывающая и транспортирующая способность течений, вызываемых волнением, падает. Более мелкие частицы удалялись из района переработки грунта в район меньшей гидродинамической активности.

В результате переформирования первичных грунтов на банке образовались средние желтые пески ( $Md$  обычно больше  $0.30$  мм), а у ее по-

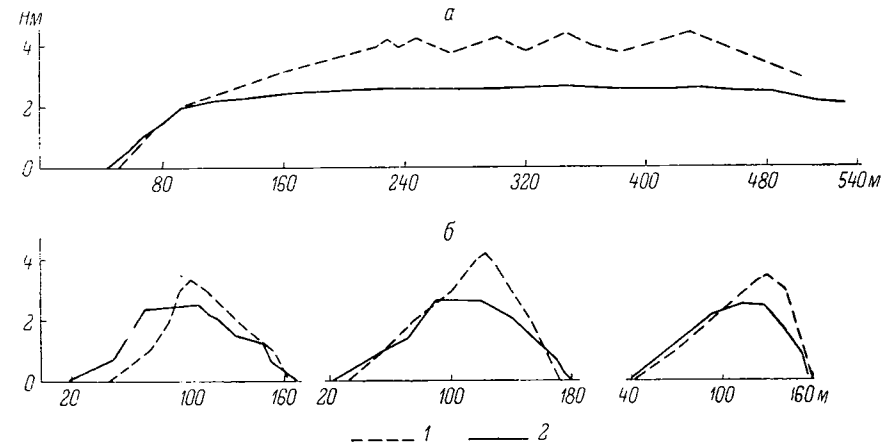


Рис. 2. Совмещенные профили.

*a* — по гребню банки Лысая Гора; *b* — по нормали к нему. 1 — по съемке 1934—1935 гг.; 2 — по съемке 1960 г. По вертикали — высотные отметки; по горизонтали — расстояния.

дошвы — серый песчанистый ил ( $Md=0.05-0.07$  мм). При этом вторичные пески занимают всю банку, а серые песчанистые илы, появляясь у ее подножия, распространяются на прилегающую к банке площадь дна. Механический состав исходных (первичных) и образовавшихся из них вторичных грунтов дан в табл. 2.

Для представления о количестве высвободившегося грунта и установления размеров составляющих его частиц сопоставим механический состав первичных и вторичных грунтов путем совмещения гистограмм (рис. 3), которые построены по средним значениям для каждого типа грунта, полученным как среднее арифметическое из данных табл. 2.

Из рис. 3 видно, что при переработке супесчаной почвы (*a*) почти полностью высвобождаются частицы меньше  $0.1$  мм и даже затрагиваются частицы меньше  $0.2$  мм, причем общее количество удаленных частиц составляет значительную часть первичного грунта (66%). При переработке подпочвенного грунта (*b*) высвобождаются те же фракции, что и в первом случае. В количественном отношении к исходному грунту они также дают довольно большую величину (22%). Вынесенные за пределы банки фракции образуют серый песчанистый ил (рис. 3, *в*). В составе этого ила нет крупнопесчанистых частиц ( $1.0-0.5$  мм), уменьшается по сравнению с исходными грунтами количество среднеспесчанистых частиц ( $0.5-0.2$  мм), но возрастает содержание частиц пылеватого песка ( $0.2-0.1$  мм). Присутствие в сером песчанистом иле среднеспесчанистых частиц дает основа-

<sup>2</sup>  $Md$  — медианный диаметр частиц грунта (в мм).

Механический состав грунтов банки Лысая Гора и прилегающих к ней участков Волжского плеса (в % от сухого веса), коэффициенты сортировки ( $S_o$ ), асимметрии ( $S_k$ ) и медиана ( $Md$ )

№ стан- ций	Грунт	Пределы фракций, мм						Сумма фракций			S <sub>0</sub>	S <sub>k</sub>	Md	
		1,0—0,5	0,5—0,25	0,2—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,005—0,001	песок 0,1—1,0	ил 0,01—0,1	ил ( $<0,01$ )				
Банка Лысая гора														
96 410 416	{ Сухесчаная почва . . . }	0,3	17,3	17,0	27,0	26,4	12,0 *	—	34,6	53,4	12,0	2,26	0,94	0,07
		1,2	14,8	8,8	45,3	12,8	9,2	1,2	24,8	58,1	17,1	1,69	0,68	0,07
		0,5	19,2	13,0	26,3	24,7	8,3	2,0	32,7	51,0	16,3	2,58	0,84	0,07
27 115	{ Подпочвенный слой (песок) }	1,5	52,3	23,0	10,7	8,0	2,5	1,0	76,8	18,7	4,5	1,84	0,80	0,22
		3,2	67,5	11,5	3,2	8,3	6,3 *	—	82,2	11,5	6,3	1,58	0,78	0,29
57 72 414	{ Средний желтый песок }	5,2	77,5	11,8	0,8	3,2	1,5 *	—	94,5	4,0	1,5	1,33	0,92	0,33
		1,0	85,2	9,5	1,0	2,8	0,5 *	—	95,7	3,8	0,5	1,32	0,92	0,33
		0,5	82,5	11,2	0,8	4,0	1,0 *	—	94,2	4,8	1,0	1,34	0,92	0,32
39 124 130	{ Песчанистый серый ил » » }	Следы	4,7	31,3	21,6	28,7	6,7	4,0	36,0	50,3	13,7	2,28	0,71	0,07
		»	7,6	18,6	26,0	23,4	9,0	3,7	26,2	49,4	24,4	3,10	0,42	0,05
		»	6,3	19,6	27,5	20,6	10,0	4,3	25,9	48,1	26,0	3,42	0,29	0,06
Болезный лес														
295 340 376	{ Песчанистый серый ил . . Серый ил . . . . . Песчанистый серый ил . . }	Следы	1,8	12,0	50,0	22,2	8,5	1,0	13,8	72,2	14,0	1,73	0,66	0,06
		»	0,2	6,0	39,8	23,2	18,8	2,5	6,2	63,0	30,8	2,90	0,41	0,01
		0,2	0,8	14,5	43,3	16,5	9,5	3,2	15,5	64,8	19,7	1,98	0,95	0,06

Примечание. Звездочкой обозначена сумма фракций меньше 0,01 мм.



ние предполагать существование потока наносов, составленного из песка, высвободившегося при переработке грунтов банки. По всей вероятности, этот поток быстро затухает, так как общее количество песчаных частиц, входящих в состав ила за пределами банки, на 16% меньше, чем в иле, образовавшемся у ее подошвы (табл. 2). Говорить о происхождении и механизме накопления частиц меньше 0.1 мм как наиболее подвижных в сером песчаном иле затруднительно, потому что для Волжского плеса Рыбинского водохранилища обычны, особенно в период осеннего паводка, довольно сильные (больше 0.24 м/сек.) стоковые течения (Буто-

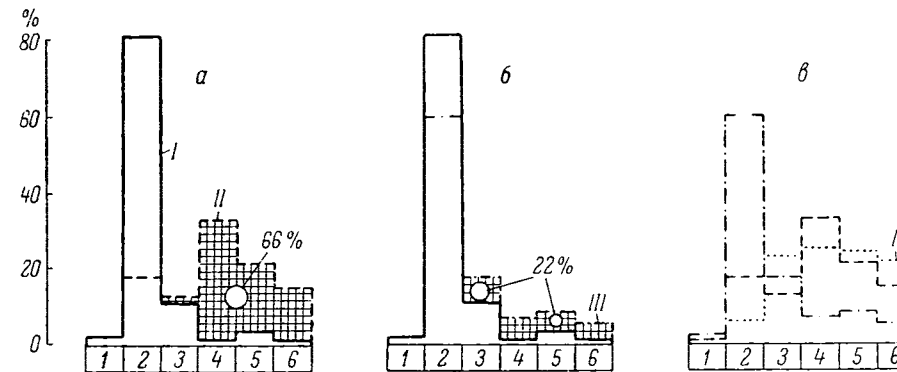


Рис. 3. Совмещенные гистограммы исходных (первичных) и вторичных грунтов банки Лысая Гора (заштрихована высвобождающаяся часть исходного грунта).

*a* — результат переработки почвы; *б* — результат переработки подпочвенного грунта; *в* — сопоставление песчанистого серого ила с исходными грунтами. I — фракции от 1.0 до 0.5 мм; 2 — от 0.5 до 0.2 мм; 3 — от 0.2 до 0.1 мм; 4 — от 0.1 до 0.05 мм; 5 — от 0.05 до 0.01 мм; 6 — сумма фракций меньше 0.01 мм. I — вторичный песок; II — почва; III — первичный песок; IV — песчанистый серый ил у подошвы банки.

рин и Литвинов, 1963), которые безусловно служат причиной переработки илов плеса.

На рис. 1 даны медианные диаметры грунтов, слагающих банку во время обследования. Их величины позволяют сделать заключение о сходстве механического состава песков, покрывающих вершину банки, и о резком увеличении дисперсности частиц грунтов у ее подошвы. Следует отметить также некоторое укрупнение медианного диаметра на северо-восточной стороне банки. Это объясняется тем, что указанная часть банки принимает на себя волну с направления наибольшего разгона.

В заключение необходимо обратить внимание специалистов, занимающихся вопросами заиления и эксплуатации водохранилищ, на следующее.

1. При составлении прогнозов объема заиления водохранилищ нужно учитывать не только аллювиальные наносы и наносы, образующиеся при разрушении берегов и переформировании береговой отмели, но и грунт, который высвобождается при процессах переформирования элементов рельефа ложа водохранилища и, в частности, при переработке грунтов подводных возвышенностей.

2. При процессах формирования подводных возвышенностей в Рыбинском водохранилище из перерабатываемого грунта удаляются частицы меньше 0.1 мм. Поэтому при определении коэффициента аккумуляции и других расчетах для случаев, связанных с формированием участков ложа, удаленных от берегов, следует принимать указанную крупность. Реко-

мендуемый Н. Е. Кондратьевым (1960) размер высвобождающихся частиц (0.05 мм) нужно принимать только для расчетов береговых переформирований, как на это указывает и сам автор.

3. Следует считать, что переработка банок Рыбинского водохранилища, особенно в районе Главного плеса, где гидродинамическая активность, связанная с волнением, более высокая, чем в Волжском плесе, в настоящее время закончена и, следовательно, вершины банок достигли отметок устойчивого профиля дна.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Б р а с л а в с к и й А. П. 1952. Расчет ветровых волн. Тр. Гос. гидрол. инст., вып. 35(89).
- Б у т о р и н Н. В. и А. С. Л и т в и н о в. 1963. О течениях Рыбинского водохранилища. Тр. Инст. биол. водохр. АН СССР, вып. 6(9).
- К л е п о в а М. В. 1948. Геология моря. Учпедгиз, М.
- К о н д р а т ь е в Н. Е. 1960. Расчеты береговых переформирований на водохранилищах. Гидрометеиздат, Л.
- К у с к о в Л. С. 1957. Гидрологические и водохозяйственные расчеты при эксплуатации водохранилищ. Изд. «Речной транспорт», М.
- П е т е л и н В. П. 1958. Упрощенный способ вычисления гранулометрических коэффициентов донных осадков. Бюлл. Океаногр. комиссии, № 1.
-

	Стр.
Н. В. Б у т о р и н. О водных массах континентальных водоемов . . . . .	3
Н. В. Б у т о р и н. К изучению водных масс Рыбинского водохранилища . . . . .	10
Н. В. Б у т о р и н. Синхронные гидрологические съемки на Рыбинском водохранилище . . . . .	24
К. К. Э д е л ь ш т е й н. Водные массы озерной части Горьковского водохранилища . . . . .	29
К. К. Э д е л ь ш т е й н. Динамика водной массы речной части Горьковского водохранилища . . . . .	39
М. Г. Е р ш о в а. Распределение вод различного происхождения в Рыбинском водохранилище в весенний период . . . . .	45
А. С. Л и т в и н о в. Гидрологическая характеристика Сбросного плеса Рыбинского водохранилища в навигационный период . . . . .	55
А. Н. Е л и с е е в. Изменения скоростного режима Волги в зоне подпора Волгоградской ГЭС . . . . .	65
С. С. Б а к а с т о в. Распределение и динамика температуры дна Рыбинского водохранилища в зимний период . . . . .	70
Н. В. Б у т о р и н, С. С. Б а к а с т о в. Расчет теплозапаса Рыбинского водохранилища . . . . .	79
О. Ф. К о н д р а ц о в а. Теплозапас Рыбинского водохранилища и его сезонные изменения . . . . .	83
Г. В. К о л ь ц о в. Распределение редких и рассеянных элементов в воде Рыбинского водохранилища осенью 1961 г . . . . .	90
Н. А. З и м и н о в а. Состав взвесей Рыбинского водохранилища . . . . .	100
В. Н. К у р д и н. Формирование рельефа и грунтов банок расширенной части Волжского плеса Рыбинского водохранилища . . . . .	112

	Page
N. V. B u t o r i n. On water masses of continental waters . . . . .	3
N. V. B u t o r i n. Studies of water masses of the Rybinsk Reservoir . . . . .	10
N. V. B u t o r i n. Synchronous hydrological surveys of the Rybinsc Reservoir	24
K. K. E d e l s t e i n. Water masses of lake part of the Gorkiy Reservoir . . . .	29
K. K. E d e l s t e i n. Dynamic of water mass of river part of the Gorkiy Reservoir	39
M. G. E r s h o v a. Distribution of waters of different origin in the Rybinsk Reser- voir during the spring period . . . . .	45
A. S. L i t v i n o v. Hydrological characteristics of outfall part of the Rybinsk Re- servoir during navigation period . . . . .	55
A. I. E l i s e e v. Change of current rates in dammed zone of the Volgograd HES	65
S. S. B a k a s t o v. Distribution of bottom temperature in the Rybinsk Reser- voir during winter . . . . .	70
N. V. B u t o r i n and S. S. B a k a s t o v. Calculation of thermic reserve of the Rybinsk Reservoir . . . . .	79
O. F. K o n d r a t s o v a. Thermic reserve of the Rybinsk Reservoir and its sea- sonal fluctuations . . . . .	83
G. V. K o l t s o v. Distribution of rare and scattered element in water of the Rybinsk Reservoir in autumnof 1961 . . . . .	90
N. A. S i m i n o v a. Composition of suspensions of the Rybinsk Reservoir . .	100
V. P. K u r d i n. Formation of relief and of grounds in the Rybinsk Reservoir	112

ДИНАМИКА ВОДНЫХ МАСС ВОДОХРАНИЛИЩ

*Утверждено к печати  
Институтом биологии внутренних вод Академии наук СССР*

Редактор издательства *Л. М. Маковская*. Технический редактор *М. Н. Кондратьева*  
Корректоры *Г. М. Гельфер* и *И. Е. Фатина*

Сдано в набор 20/II 1965 г. Подписано к печати 4/V 1965 г. РИСО АН СССР № 1—415 В.  
Формат бумаги 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Вум. л. 3<sup>3</sup>/<sub>8</sub>. Печ. л. 7<sup>1</sup>/<sub>2</sub> = 10,27 усл. печ. л. + 1 вкл. Уч.-изд. л. 9,24 +  
1 вкл. (0,43). Изд. № 2425. Тип. зак. № 95. М-29721. Тираж 1200. ТП 1965 г. № 748. Цена 67 коп.

Ленинградское отделение издательства «Наука». Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. издательства «Наука». Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12

