

УДК 551.464:551.467 (262.81)

**НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ ПО ХИМИИ ЛЬДОВ  
И ПРИЛЕДНЫХ ВОД СЕВЕРНОГО КАСПИЯ****С. Г. Орадовский, А. Е. Филонов**

Несмотря на то что Каспийское море расположено в южных широтах северного полушария, мелководная часть его зимой покрывается льдом. В это время года море находится под воздействием юго-западной окраины Сибирского антициклона, что обуславливает преобладание над ним юго-восточных ветров силой 4—5 баллов. Сроки льдообразования и положение границы кромки льдов зависят главным образом от синоптических процессов и притока тепла из Среднего Каспия. Замерзание Северного Каспия начинается у берегов с середины ноября и уже к январю граница льдов в виде выгнутой к северу линии проходит от о. Чечень к п-ову Мангышлак. В конце зимы неподвижный лед наблюдается во всем Северном Каспии и прибрежном районе западной части Среднего Каспия. Припай образуется до Избербаша на юге, но в отдельные годы распространяется до Апшеронского полуострова. В суровые зимы при сильных северных ветрах ледяные поля выносятся далеко на юг, в Средний Каспий.

При изучении процесса формирования химической основы биопродуктивности вод Северного Каспия следует уделить особое внимание роли морских льдов. При этом следует иметь в виду, что она может быть двоякой. Во-первых, льдообразование вызывает интенсивное конвективное перемешивание подледных вод, которое в Северном Каспии благодаря вертикальной зимней циркуляции затрагивает все слои от поверхности до дна; во-вторых, сам лед может содержать биогенные питательные вещества, переходящие при таянии в воду.

К сожалению, этому вопросу фактически не уделялось внимания. Даже в такой крупной монографии, как «Гидрохимия Каспийского моря» (Пахомова, Затучная, 1966), а также в работах Н. И. Винецкой (1950, 1957, 1962), М. В. Федосова и Л. А. Барсуковой (1959 а, б) и др. данные по химии льдов отсутствуют. Лишь в статье М. В. Федосова (1952) приводятся некоторые сведения по химии подледных вод. В единственной работе, посвященной исследованию химического состава льда Каспийского моря (Краснова, 1937), речь идет лишь о главных компонентах солевого состава.

Зимой 1969 г. нами были проведены работы по изучению биогенного химического состава плавучих льдов и приледных вод Северного Каспия с целью выявления их роли в процессе формирования биогенной химической основы биопродуктивности этого водоема.

Работы выполнялись на судне Гидрографической службы Каспийской Краснознаменной флотилии. Основной задачей экспедиции было изучение вертикального перемешивания морских вод в период его максимального развития у кромки льдов. Кроме того, непосредственно на судне проводились гидрохимические определения содержания растворенного кислорода, фосфатов и нитритов в морской воде, ее соле-

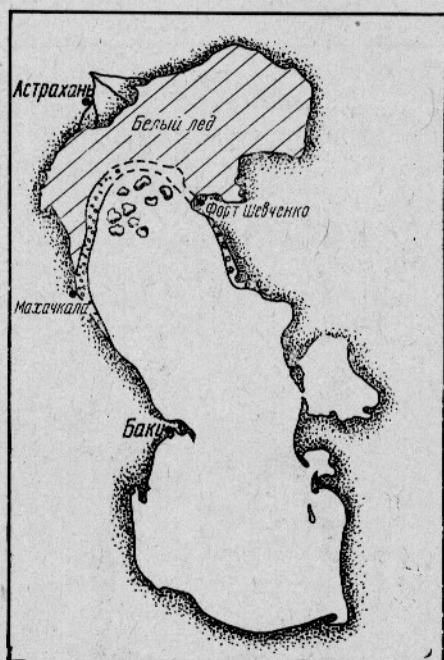
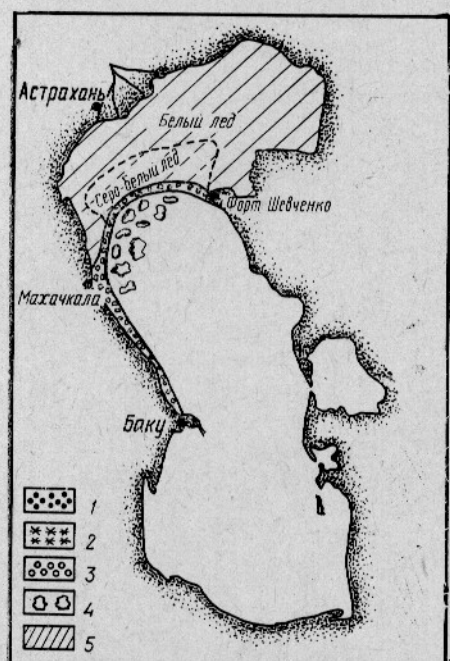


Рис. 1. Карта ледовой обстановки на Каспийском море 30 января 1969 г. (по данным авиаразведки):

1 — иглы, сало, шуга, снежура; 2 — блинчатый лёд, нилас (толщина 3—10 см); 3 — мелкобитый и крупнобитый лёд; 4 — ледяные поля; 5 — припай молодого льда.

Рис. 2. Карта ледовой обстановки на Каспийском море 3 февраля 1969 г. (по данным авиаразведки). Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

ности и величины рН. Определялось также содержание фосфатов и нитритов во льдах, их соленость и рН. В лабораторных условиях в отобранных пробах льда и приледных вод было определено содержание нитратов.

Зима 1968/69 г. на Каспийском море была аномально холодной. В конце января — начале февраля ледяные поля вдоль западного побережья проникли далеко на юг. Кромка льдов 30 января (рис. 1) проходила по 20-метровой изобате. Наличие полосы плавучих льдов вдоль западного и отсутствие их вдоль восточного берегов Каспийского моря объясняется антициклональной циркуляцией вод в средней части моря. В начале февраля установились относительно постоянные южные ветры и на картах (рис. 2, 3) прослеживается дрейф льдов к северу. С 30 января по 3 февраля граница припая переместилась на 12—15 км к северу, до более старых белых льдов (с 20-метровой до 10-метровой изобаты). С 3 по 7 февраля положение кромки льдов изменилось незначительно (см. рис. 2, 3).

Именно в это время проводилось изучение химического состава льдов и приледных вод. Непосредственно во льдах 4—5 февраля было сделано 5 станций (рис. 4). Температура воздуха на всех станциях

во время выполнения разреза вдоль кромки льдов была положительной, поэтому снежный покров на поверхности льда был незначительным. Толщина льда вдоль кромки была почти одинаковой — 10—15 см, причем лед был рыхлый, сильно пропитанный морской водой.

Ширина полосы плавучих льдов у кромки припая очень подвижна и зависит от направления и силы ветра. Так, карта ледовой авиараз-

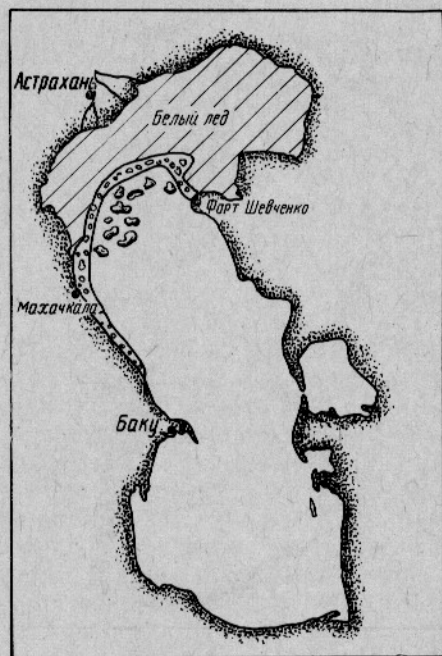


Рис. 3. Карта ледовой обстановки на Каспийском море 7 февраля 1969 г. (по данным авиаразведки). Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

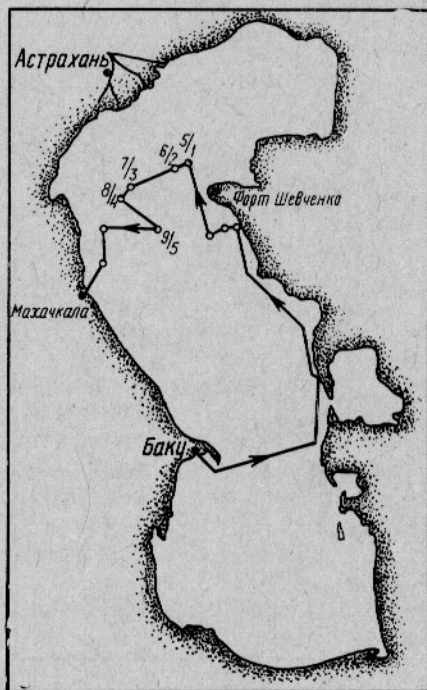


Рис. 4. Карта-схема станций, выполненных в Каспийском море в феврале 1969 г.

ведки от 3 февраля 1969 г. показывает (см. рис. 2), что ширина этой полосы изменялась от 1—3 км в районе о. Чечень до 8—10 км в точке с координатами  $44^{\circ}50'$  с. ш.,  $48^{\circ}30'$  в. д. Отдельные ледяные поля наблюдались значительно южнее полосы плавучих льдов. На всех станциях отмечалась сравнительно большая сплоченность плавучих льдов — 5—9 баллов. В основном это был крупно- и мелкобитый серо-белый блинчатый лед и нилас.

На химический анализ отбирали главным образом крупнобитый серо-белый лед. Пробы льда для химического анализа брали во время захода судна в полосу плавучих льдов, на расстоянии 200—300 м от кромки. Намеченную для отбора льдину по краям обкалывали багром и вытаскивали на борт судна, после чего с соблюдением правил предосторожности от загрязнения вырезали колонку льда диаметром 10—15 см и помещали в чистую стеклянную банку с широким горлом. Нитриты, фосфаты, а также соленость и pH определяли после полного оттаивания льда. Пробы на нитраты фиксировались желтой окисью ртути.

Пробы воды со стандартных горизонтов для гидрохимических определений брали по стандартной методике на каждой станции одно-

временно с пробами льда. Лишь на станции № 5/1 из-за быстрого дрейфа льдов в северном направлении пробы воды были взяты на расстоянии 1 мили от кромки плавучих льдов.

Химический анализ проб производили по общепринятой методике («Руководство по морским гидрохимическим исследованиям», 1959). Определение нитратов в лаборатории ВНИРО выполнялось по прописи А. Б. Исаевой и А. Н. Богоявленского (1968), основанной на восстановлении нитратов до нитритов при помощи амальгамированного кадмия.

Данные анализов приводятся в таблице.

Результаты химического анализа льдов и приледных вод Северного Каспия в феврале 1969 г.

№ станции	Дата, координаты и глубина	Горизонт, м	Температура, °С	Соленость, ‰	Кислород		рН	Р	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>
					мл/л	%				
5/1	4/II 1969 φ=44°55'5 γ=49°47'6 7 м	0	-0,48	13,43	9,70	101	8,23	3,0	0,6	108
		5	-0,47	13,55	10,07	105	8,27	2,6	0,6	88
		Лед	—	5,03	—	—	7,05	8,6	1,4	99
6/2	4/II 1969 φ=44°51'7 λ=49°30'9 10 м	0	-0,41	12,46	9,38	98	8,40	3,0	0,0	109
		5	-0,45	13,30	—	—	8,41	—	—	—
		8	-0,50	13,53	9,78	102	8,41	3,9	0,0	130
		Лед	—	6,06	—	—	8,08	11,0	0,8	146
7/3	5/II 1969 φ=44°31'5 λ=48°32'3 7 м	0	-0,47	13,70	10,27	108	8,44	2,5	0,0	125
		5	-0,45	13,58	9,58	100	8,38	2,4	0,0	130
		Лед	—	4,17	—	—	7,79	5,3	0,0	119
8/4	5/II 1969 φ=44°21'5 λ=48°18'4 15 м	0	-0,54	13,46	9,72	101	8,40	2,5	0,0	163
		5	-0,56	13,50	—	—	8,41	—	—	—
		10	-0,50	13,50	—	—	8,41	—	—	—
		13	-0,45	13,55	9,09	95	8,41	2,6	0,0	123
		Лед	—	3,87	—	—	7,79	10,6	0,0	139
9/5	5/II 1969 φ=43°57'2 λ=49°07'2 15 м	0	-0,45	13,46	9,97	104	8,40	3,5	0,0	—
		5	-0,51	13,48	10,37	108	8,41	3,3	0,0	—
		10	-0,52	13,53	—	—	8,41	—	—	—
		13	-0,51	13,55	9,51	100	8,41	3,8	0,0	—
		Лед	—	4,29	—	—	8,24	16,7	0,4	—

Анализируя данные химических анализов и гидрологических наблюдений, можно заключить, что приледные воды Северного Каспия в феврале 1969 г. вследствие процесса вертикальной зимней циркуляции были почти полностью перемешаны. Об этом свидетельствуют величины температуры, солености и рН морской воды, а также концентрации фосфатов и нитритов.

Температура менялась в узких пределах от  $-0,56$  до  $-0,41^{\circ}\text{C}$ , соленость — от 13,43 до 13,70‰, рН — от 8,23 до 8,41. Величины солености приледных вод были довольно высокие. Это в первую очередь должно быть связано с поступлением в Северный Каспий вод из Среднего Каспия. Определенную роль в этом отношении могло сыграть также осолонение при льдообразовании и конвективное перемешивание. Температура приледных вод была близка к температуре замерзания, что почти исключало таяние льдов.

Для выявления роли льдов в формировании химической основы биопродуктивности морских вод особый интерес представляют сведе-

ния о их химическом биогенном составе. Из таблицы видно, что во льдах содержание фосфатов было значительно выше, чем в приледных водах: на станции № 7/3 оно было вдвое больше, на остальных станциях концентрации фосфатного фосфора во льдах в 3—5 раз превышали его концентрации в морской воде, составляя соответственно 8,6—16,7 мкг/л и 2,5—3,9 мкг/л.

На всех станциях во льдах и в воде обнаружены весьма высокие концентрации нитратов (88—163 мкг/л), причем содержание  $\text{NO}_3$  во льдах на станции № 6/2 превышало содержание их в воде, а на остальных станциях было близко к нему. В приледных водах, за исключением станции № 5/1, нитриты отсутствовали, во льдах на трех станциях из пяти они были обнаружены в концентрациях от 0,4 до 1,4 мкг/л.

По солености (от 3,87 до 6,06‰) и величинам рН (от 7,05 до 8,24) льды существенно различались, что свидетельствовало о их различном возрасте. Характерно, однако, что возрастные различия не влекли за собой закономерных изменений в содержании биогенных элементов. Следовательно, есть основание полагать, что формирование химического биогенного состава льдов Каспийского моря мало зависит от их возраста и происходит под влиянием некоторых гидрологических и гидрометеорологических процессов. Так, из наличия более высоких концентраций фосфатов во льдах, чем в воде, можно сделать вывод, что лед Каспия образовался в результате замерзания обогащенных фосфатами вод. По всей вероятности, это были сильно трансформированные волжские воды, растекающиеся тонким поверхностным слоем благодаря меньшей плотности над собственно морскими водами Каспия. Эти воды отличаются более высоким содержанием биогенных элементов, в частности фосфатов, чем собственно морские, и более высокой температурой замерзания.

Высокие концентрации нитратов можно объяснить слабым потреблением этих минеральных питательных веществ зимой фитопланктоном (судя по величинам рН и насыщенности морских вод растворенным кислородом, фотосинтез уже протекал) и вместе с тем значительным поступлением  $\text{NO}_3$  в море с атмосферными осадками в виде снега. Вполне естественно, что лед, являющийся своеобразным аккумулятором атмосферных осадков в зимнее время года, содержит большие количества нитратов, а также, по-видимому, аммонийных солей, определение которых в данной экспедиции не проводилось.

Таким образом, можно заключить, что лед играет существенную роль в формировании химической основы биопродуктивности вод Северного Каспия. Весной при таянии льдов поверхностные воды наряду с опреснением обогащаются фосфатами и нитратами, причем поступление этих важнейших биогенных солей в воды Северного Каспия происходит в самый ответственный в развитии фитопланктона период — вегетационный. Этим, на наш взгляд, и объясняется бурное развитие фитопланктона весной у кромки тающих льдов.

### Вывод

Гидрохимические и льдохимические исследования, проведенные в Северном Каспии в феврале 1969 г., позволили уяснить роль льда в процессе формирования химической основы биопродуктивности вод. Было установлено, что лед содержит повышенные (в 2—5 раз) по сравнению с приледными водами количества фосфатов и высокие концентрации нитратов. Следовательно, при таянии льдов воды Се-

верного Каспия существенно обогащаются этими важнейшими минеральными питательными солями, что способствует интенсивному развитию весной у кромки льда фито- и зоопланктона.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Винецкая Н. И. О годовых и сезонных колебаниях фосфора и кремния в Северном Каспии. Труды КаспНИРО. Т. XI. Астрахань, 1950.
- Винецкая Н. И. Гидрохимический режим и продукция органического вещества Северного Каспия до зарегулирования стока Волги. Труды КаспНИРО. Т. 13, 1957.
- Винецкая Н. И. Многолетние и сезонные изменения гидрохимического режима Северного Каспия до зарегулирования стока Волги. Труды КаспНИРО. Т. 18, 1962.
- Исаева А. Б., Богоявленский А. Н. Определение нитратов в морской воде восстановлением их до нитритов при помощи амальгамированного кадмия. «Океанология». Т. 8. Вып. 3, 1968.
- Краснова В. С. Химический состав льда Каспийского моря. «Журнал общей химии». Т. 7. Вып. 12, 1937.
- Пахомова А. С., Затучная Б. М. Гидрохимия Каспийского моря. Гидрометеоздат, 1966.
- Руководство по морским гидрохимическим исследованиям, под ред. Л. К. Блинова. Гидрометеоздат, 1959.
- Федосов М. В. Особенности гидрохимии Северного Каспия подо льдом. Доклады по биологии, систематике и питанию рыб, по химии моря и сетеконсервированию. Вып. 1. ВНИРО. Пищепромиздат, 1952.
- Федосов М. В. Изменение гидрохимического и гидрологического режима Каспийского моря. Труды ВНИРО. Т. 38, 1959.
- Федосов М. В. и Барсукова Л. А. Формирование режима биогенных элементов в Северном Каспии и интенсивность образования органического вещества фито-планктона. Труды ВНИРО. Т. 38, 1959.

#### SUMMARY

The results are presented of investigations conducted in the Caspian Sea at the edge of ice in February 1969. The ice condition is characterized and data are presented on the chemical composition of ice and near-ice waters. The ice was found to contain from two to five times as great an amount of phosphates as near-ice waters, and high nitrate concentrations. During the period of melting, the waters of the North Caspian Sea are substantially enriched with these important mineral nutrients, which contributes to the photosynthesis of plants in the area near the edge of ice.