

ПРОБЛЕМЫ

ПРОВ 2010

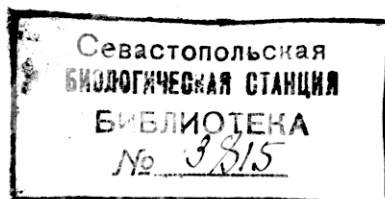
АКАДЕМИЯ НАУК
СОЮЗА СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ТРУДЫ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

ИМЕНИ А. О. КОВАЛЕВСКОГО

Том VI

1872 — 1947



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1948 ЛЕНИНГРАД

М. А. ДОБРЖАНСКАЯ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНОСТИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
ЧЕРНОГО МОРЯ

Характер распределения и величины щелочности (A) в северо-западной части Черного моря значительно отличаются от типичных для Черного моря, что позволяет выделить этот район в самостоятельный участок.

Под северо-западной частью Черного моря подразумевается участок моря, расположенный к северу от линии м. Тарханкут — южное устье Дуная с глубинами менее 50 м. Участок этот представляется наиболее опресненным районом Черного моря. Сюда впадают такие значительные реки, как Днепр, Буг, Ингул, Днестр, Дунай, воды которых нарушают постоянство соотношения солей, характерное для океана.

Пресные воды, как известно, отличаются от морских тем, что основными компонентами солевого состава речных вод являются углекислые и сернокислые соединения кальция и магния, а морских — хлористые соли натрия. Поэтому, вливаясь в океан, пресные воды, помимо разбавления, вызывают смещение характерных для воды океана соотношений между солями. Одной из наиболее показательных в этом отношении величин является удельная щелочность ($A/S^0_{\text{оо}}$). Последняя величина более характерна, чем щелочной резерв (A), так как в морских водах, при их разбавлении пресными водами, величина $A/S^0_{\text{оо}}$ возрастает значительно больше, чем величина A .

Следует иметь в виду, что влияние пресных вод на величину щелочности определяется не только общей массой вливающихся вод, но и количеством углекислых солей, вносимых ими. Речные воды по содержанию карбонатов значительно разнятся между собой. Состав и количество растворенных в речной воде веществ зависят от характера пород, по которым она протекает, а также от ряда других местных условий. Вследствие этого состав воды в реке в разных местах вдоль по течению может быть не одинаков. Реки, текущие по изверженным породам, как реки Скандинавии, весьма бедны карбонатами и при смешении с морской водой почти не вызывают изменения величины удельной щелочности последней. Реки же, протекающие по осадочным породам, несут иногда огромные количества углекислого кальция, как, например, р. Драгона в Истрии, щелочность которой, по данным Г. Ледера (Leder, 1915), достигает 5.5 мг-экв. Впадая в море, такие реки сильно смещают величину щелочного резерва в сторону его повышения.

Процессы образования и таяния морского льда также могут значительно изменять величину щелочности морской воды, что для замерзающих бассейнов приобретает особое значение. При замерзании вода обладает избирательной способностью в отношении отдельных солей, и химический

состав льда в значительной мере зависит от условий его образования. Соотношения между солями, обычные для морской воды, в воде растаявшего льда нарушены. В последней углекислых и сернокислых солей содержится больше, чем хлористых, причем в молодом, только что образовавшемся льду эти отклонения в соотношении между солями не так значительны, как в старом.

Для вод открытого океана, где присущие им физико-химические процессы заметно не нарушаются местными условиями, колебания в величинах щелочного резерва незначительны, и нарастание последнего сопутствует увеличению солёности. Отношение же щелочности к солёности, т. е. удельная щелочность $A/S^0_{\text{оо}}$, имеет довольно постоянную величину, в среднем равную 0.0678.

В тех областях океана, где происходит интенсивное льдообразование, как в Полярном бассейне, или опреснение, как в Балтийском и Черном морях, правильная зависимость между солёностью ($S^0_{\text{оо}}$) и щелочностью (A) в той или иной степени нарушается. По данным высокоширотной экспедиции «Садко» (1935), удельная щелочность в Карском море вследствие льдообразования достигает 0.0688—0.0755, в Гренландском море — 0.0675—0.0684.

Для Черного моря, как моря опресненного, наблюдается весьма повышенная щелочность.¹ Также значительно шире и пределы колебания величины удельной щелочности как в горизонтальном, так и вертикальном направлении. Для поверхностных вод, за исключением северо-западного района, величина удельной щелочности составляет от 0.170 до 0.180. С глубиной $A/S^0_{\text{оо}}$ постепенно уменьшается, достигая на 150—200 м минимальных значений, в среднем 0.147—0.150. Но глубже этого уровня величина удельной щелочности постепенно нарастает и на глубине 1500—2000 м достигает 0.222 (Добрянская, 1930). Такое распределение удельной щелочности в Черном море обусловлено рядом специфических для него процессов, в первую очередь опреснением и восстановлением сульфатов на глубинах. Доминирующее значение для вод верхних слоев приобретает опреснение, в особенности для отдельных участков моря, подверженных сильному стоку речных вод (северо-западный район). Колебания величин щелочности и солёности в северо-западной части весьма значительны, и постоянная численная зависимость в соотношении этих величин для указанного района отсутствует. Для ряда пунктов имеется своя особая величина удельной щелочности, меняющаяся не только по сезонам, но и в более краткие промежутки времени. Такое непостоянство абсолютных величин и пространственного их распределения в северо-западной части Черного моря главным образом обусловлено физико-географическим положением этого района.

Как упоминалось выше, северо-западный район Черного моря представляет собой относительно небольшой заливоводобный участок с глубинами, не превышающими 40—50 м, и в то же время является средоточием необычайно мощного стока рек. Общая масса воды этого района

¹ Определение щелочности в основном велось по методу Ваттенберга. В хорошо выщелоченную колбу, ёмкостью в 300 мл, отмеривалось пипеткой Мора 100 мл пробы. К ней прибавлялся избыток соляной кислоты — 10 мл HCl 1/15 N . Кислота отмеривалась пипеткой Кнудсена. Затем проба кипяtilась до полного удаления H_2CO_3 — около 15 минут. После этого колба с пробой туго закрывалась хорошо прокипяченной пробкой и охлаждалась до комнатной температуры. Тотчас после охлаждения избыток HCl оттитровывался без доступа воздуха 1/15 N $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Титрование велось в присутствии индикатора бром — крезолгрюн.

вследствие незначительных глубин составляет по приблизительному подсчету всего около 800 км^3 , т. е. $1/600$ часть всей массы воды Черного моря. Количество же пресных вод, вливаемых сюда ежегодно реками, достигает 230 км^3 ,² что составляет несколько менее трети всей массы воды этого района. При таких условиях влияние пресных вод является здесь основной причиной нарушения физико-химических процессов, нормальных для океана. Горизонтальное, а также вертикальное распределение щелочности и солености в этой части моря следует распределению речных вод. Изменения величин щелочности и солености по сезонам также соответствуют колебаниям как общей массы поступающей в море воды, так и концентрации в ней солей. В результате этого, несмотря на отсутствие постоянной зависимости между щелочностью и соленостью, в распределении этих величин наблюдается определенная закономерность, позволяющая установить общий характер их расположения, тесно связанного с режимом рек и общими гидрологическими условиями этого района.

К северу от линии Одесса — Тарханкут, у выхода вод Днепровского лимана, за все время наблюдений (май 1931 г., август 1943 г. и конец марта — начало апреля 1935 г.) найдены наиболее смещенные и наиболее разнохарактерные, в сравнении с открытой частью Черного моря, величины удельной щелочности. Опресненные (речные) воды по выходе из Днепровского лимана располагаются по преимуществу вдоль берегов. При этом главная масса их в своем движении сохраняет свое первоначальное направление на ЗЮЗ, где постепенно смешивается с водой открытого моря.

Речные воды, как указывалось выше, несут ничтожное количество хлористых солей по сравнению с углекислыми. По данным Г. А. Шептицкого (1928), для вод предустья р. Днепра у г. Херсона, т. е. для вод, почти непосредственно впадающих в Черное море (химический состав воды по течению реки может быть различен), величина щелочного резерва незначительно отличается от черноморской, в то время как соленость этих вод несравненно ниже. Величина же отношения щелочности к солености ($A/S^0_{/00}$) в этих водах равна 331.2 ,³ при средней черноморской 0.170 — 0.180 (для поверхности). При смешении таких вод с морскими происходит резкое понижение солености при мало измененной величине щелочности, что влечет за собой скачок в величине удельной щелочности. По мере ослабления притока пресных вод наблюдается интенсивное выравнивание удельной щелочности ($A/S^0_{/00}$) за счет увеличения солености. В результате этого районы у устья рек наиболее неустойчивы в величинах удельной щелочности и локальном распределении последних. Не редки случаи, когда изменение $A^0_{/00}S$ происходит весьма резко на небольшом расстоянии, и изолинии различных величин удельной щелочности в таких участках проходят на карте очень близко одна от другой. Такое распределение величин удельной щелочности отмечено у северного берега Одесского залива, где на небольшом отрезке расположены величины удельной щелочности от 0.199 до 21.086 .

Примерно от Одессы область пониженных величин удельной щелочности

² Л. Мёллер (Möller, 1928), приводя данные Фрише, сообщает величину стока для четырех главных рек черноморского побережья — Днепр, Дон, Днестр и Дунай, — равную 307.6 км^3 в год. Считая, что Дон дает около четверти всей массы (в действительности меньше), получаем указанную величину.

³ Взята средняя за два года величина общей жесткости из средних данных для одного года наблюдений. Допуская, что общая жесткость, определенная алкалиметрическим путем, будет незначительно отличаться от карбонатной, и сделав соответствующий пересчет, получаем мг-экв., или величину, весьма близкую к щелочности.

идет сравнительно неширокой полосой вдоль западного берега до Днестровского лимана, воды которого снова дают сильное увеличение удельной щелочности. Влияние днестровских вод, как видно из прилагаемых карт,⁴ простирается в море довольно далеко на восток. Воды Дуная дают наиболее значительно смещенные величины удельной щелочности. Достаточными данными по щелочности для последнего участка моря мы не располагаем.

У восточного берега, начиная от Тендровского маяка, влияние пресных вод значительно слабее. Величина удельной щелочности здесь ниже, чем у северного и западного берегов. Наиболее значительно смещенные величины удельной щелочности наблюдаются в районе Тендровского маяка, отчасти захватывая Каркинитский залив (северную часть его).

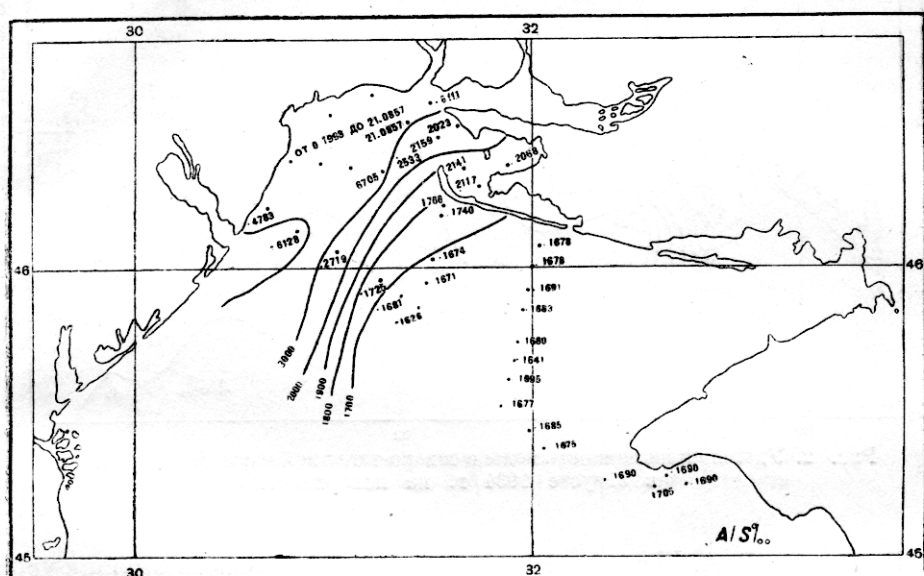


Рис. 1. Удельная щелочность воды в северо-западной части Черного моря в мае 1931 г. на поверхности

Центральная часть северо-западного района характеризуется наиболее близкими к черноморским величинами и наиболее равномерным их распределением.

Рассматривая распределение щелочности в северо-западной части Черного моря в горизонтальном направлении, можно отметить, что направление изолиний удельной щелочности в этом районе также совпадает с направлением изобат, но по величине находится в обратном отношении. Чем меньше глубина, тем больше удельная щелочность. Соответственно этому изолинии наибольшей удельной щелочности ($A/S^0_{\text{‰}}$) расположены у берегов, и по мере удаления от них идет выравнивание этих величин (рис. 1, 2, 3).

Вертикальное распределение щелочности полностью соответствует распределению ее на поверхности, с той лишь разницей, что с глубиной

⁴ Приведенные на картах величины удельной щелочности увеличены в 10 тыс. раз, т. е. вместо 0.1681 дано 1681.

Зимний период — период наименьшего стока рек, а также постепенного накопления солей в реках — достигает к концу ледостава (конец марта — начало апреля) первого в году максимума концентрации солей.⁵ Питание рек зимой главным образом происходит за счет грунтовых, богатых солями вод. Кроме того, отсутствие разбавляющего действия атмосферных осадков (защита ледяным покровом), процессы льдообразования способствуют накоплению солей в растворе. Концентрация солей

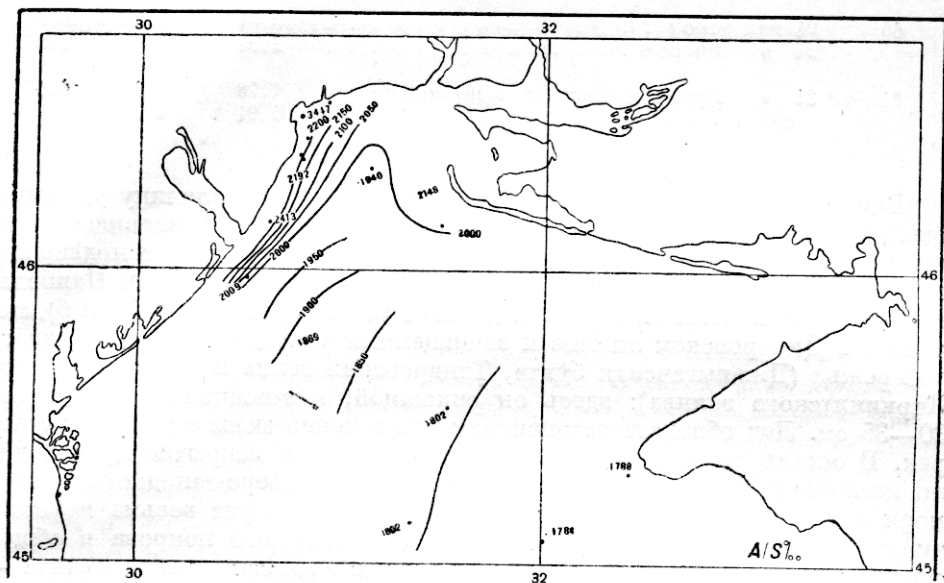


Рис. 3. Удельная щелочность воды в северо-западной части Черного моря в конце марта — начале апреля 1935 г. на поверхности

в Днепре для конца марта — начала апреля несколько выше летнего максимума. В северо-западном районе этот период характеризуется самой высокой в году величиной солености, незначительным повышением щелочности и удельной щелочности, близкой к нормальным для Черного моря величинам.

Данными по щелочности этого района для осеннего периода мы не располагаем. По всей видимости, распределение удельной щелочности в это время будет соответствовать осеннему гидрологическому режиму рек. Следует ожидать, что характерные для этого периода величины будут близки к величинам летнего периода.

Влияние условий местного характера, главным образом сгонных и нагонных ветров, течений и отчасти атмосферных осадков, способствует неустойчивости этих величин. Отмечались случаи изменения всех трех величин в течение нескольких часов (повидимому, результат имевшегося здесь сильного течения. Табл. 1).

⁵ Рассуждения о химическом составе речных вод, впадающих в северо-западную часть Черного моря, в большей своей части обоснованы данными Г. А. Шептицкого (1928) для вод предустья р. Днепра.

Воды в верхних частях Днепра, по данным В. А. Волжина (1912) и С. А. Гусинской (1937), по своему составу значительно отличаются. По мере удаления от устья наблюдается понижение концентрации в них солей.

Таблица 1

Колебания A , $S^0/_{00}$ и $A/S^0/_{00}$ на протяжении нескольких часов

№ станции	Д а т а	Щелочность (A)	Соленость ($S^0/_{00}$)	Удельная щелочность ($A/S^0/_{00}$)
65	24 мая утром	2.84	12.52	0.221
	24 » вечером	2.94	14.51	0.202
84	31 » через промежутки в несколько часов	1.78	2.65	0.671
		1.94	4.09	0.475

Влияние процессов таяния и образования льда на величину удельной щелочности в северо-западном районе Черного моря, по сравнению с влиянием речных вод, незначительно. Хотя этот район наиболее подвержен замерзанию, в общем значимость этого процесса здесь невелика. Наибольшее развитие ледовый покров, по данным Б. С. Шустова (1934 а и б), получает в Днепровском лимане и защищенных участках северо-западного побережья (Джарыгачская бухта, Тендровский залив и северные берега Каркинитского залива): здесь он сплошной, и толщина его достигает 30—35 см. Лед обладает устойчивостью в течение зимы только у устьев рек. В остальных частях побережья замерзание и вскрытие происходят по нескольку раз в зиму. В открытых частях северо-западного района моря ледяной покров в большей своей части образует весьма неустойчивые участки пловучего льда. Число дней ледового покрова в общей сложности не велико и чрезвычайно различно в зависимости от пункта — от нескольких дней до 100. Случаи длительного ледостава редки и составляют небольшой процент. Влияние же льда, как уже отмечалось, связано, помимо мощности покрова, с возрастом его. Отношение удельной щелочности в воде с молодым льдом почти не нарушается, и воды от таянья такого льда не имеют значительного влияния на смещение удельной щелочности вод моря.

Другое значение приобретают эти процессы для речных вод, повышение концентрации солей которых в значительной степени связано с периодом ледостава (зимние и весенние колебания).

Следует отметить, что для вод р. Днепра имеются те же, примерно, закономерности в соотношении карбонатных и хлористых солей, что и для морских вод. Как следует из табл. 2, с увеличением хлора резко уменьшается щелочность и, наоборот, с увеличением щелочности уменьшается хлор, что отчасти обуславливает неравномерное смешение речными водами обеих величин в море. В противном случае, если бы речные воды имели постоянные величины хлора и щелочности, то при смешении таких вод с морскими происходило бы лишь соответствующее уменьшение обеих величин — щелочности и солености (или одной из них); соленость и отношение изменялись бы на постоянную, строго пропорциональную величину.

Подводя итоги распределению щелочности в северо-западной части Черного моря, можно сказать, что этот район по сравнению с остальной частью моря характеризуется незначительно пониженными величинами щелочного резерва (A), высокой удельной щелочностью ($A/S^0/_{00}$) и пониженной соленостью ($S^0/_{00}$). С глубиной (по вертикали) и по мере удаления

Таблица 2

Отношения щелочности к хлору для вод
р. Днепра у г. Херсона по данным
Шептицкого (1928) *

Г о д ы	A, мг-экв.	Cl, г/л	A/Cl
1926			
Максимум	3.35	0.0146	229.4
Минимум	1.50	0.002	750.0
1927			
Максимум	3.42	0.0166	213.5
Минимум	1.61	0.0017	947.0

от берегов эти величины более или менее приближаются к нормальным для Черного моря. Горизонтальное распределение «смещенных» величин удельной щелочности всецело следует распределению вод, вливаемых реками. Колебания величин солености и удельной щелочности имеют четко выраженный сезонный характер и прежде всего зависят от количества вливаемых речных вод, а также их состава. Как щелочность, так и соленость не являются величинами стабильными и легко подвержены местным изменениям под влиянием причин как случайного, так и более длительного порядка. Щелочность по сравнению с соленостью более устойчива и при сезонных изменениях, и в пространственном распределении.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Волжин В. А. Анализ воды. Изд. 2-е. Екатеринослав, 1912.
- Гусинская С. А. Химический состав воды порожистой части р. Днепра... і зміни в хемізмі (викликані побудуванням греблі Дніпрельстану): Вісник Дніпропетровської гідробіологічної станції, 1937, т. II. Днепропетровск.
- Добрянская М. А. Щелочность воды Черного моря. Изв. АН СССР, 1930.
- Шептицкий Г. А. Материалы по гидрологии и гидрохимии р. Днепра у г. Херсона (по наблюдениям 1925—1927 гг.). Тр. Гос. ихтиол. опытн. ст., 1928, т. III, вып. 2. Херсон.
- Шиндлер И. Б. и Врангель Ф. Ф. Материалы по гидрологии Черного и Азовского морей. СПб., 1899.
- Шустов Б. С. Ледяной покров Черного моря. Землеведение, 1934а, т. XXXVI, вып. 4.
- Шустов Б. С. Вероятность встречи со льдами в Днепровско-Бугском лимане и в северо-западной части Черного моря. Землеведение, 1934б, т. XXXVI, вып. 4.
- Чигирин Н. И. Система угольной кислоты в водах Северного полярного бассейна и Гренландского моря. Тр. I высокошир. экспед. на с. «Садко» в 1935 г.
- L e d e r H. Internationale Revue d. ges. Hydrob. u. Hydrogr. Suppl. (H. 1). März. 1915, Bd. VI.
- M ö l l e r Lotte. Alfred Merz. Hydrographische Untersuchungen in Bosphorus u. Dardanellen. Veröffentlich. d. Instituts f. Meereskunde, 1928, H. 18. Berlin.

* Величина щелочности получена путем перечисления нами данных Шептицкого по общей жесткости в мг-экв. Жесткость определялась Шептицким алкалиметрическим путем.