

М. А. ДОБРЖАНСКАЯ

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИТРИТОВ
В ЧЕРНОМ МОРЕ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В водах Мирового океана нитриты, в отличие от нитратов, встречаются в очень низких концентрациях и отличаются своеобразным распределением по вертикали. Обычно нитриты сосредоточены в сравнительно тонком слое — в верхних 100 м. На большей части водной толщи их нет. Иногда нитриты встречаются в придонном слое прибрежных вод.

По наблюдениям ряда исследователей (Бруевич, 1931; Atkins, 1930; Brandhorst, 1959; Cooper, 1933; Rakestraw, 1936), в открытых водах нитриты чаще всего отмечаются в слое воды, расположенном непосредственно под зоной фотосинтеза. Максимум нитритов по данным этих исследователей связан с распределением плотности воды и наиболее отчетливо выражен там, где имеется слой «скачка». Вследствие этого ясная стратификация в распределении нитритов в умеренных зонах наблюдается летом при усиленном фотосинтезе и термической стратификации вод. В этих условиях наличие нитритов в море ограничено очень узкой толщей — чаще всего слоем от 50 до 75—100 м. В верхних горизонтах зоны фотосинтеза нитритов обычно нет. Также и глубже слоя их максимума нитриты либо полностью отсутствуют, либо составляют меньше $1 \text{ мг/м}^3 \text{ N}$. С уничтожением температурного расслоения и прекращением фотосинтетической деятельности нитриты или полностью исчезают, или следы их обнаруживаются в верхней толще моря без концентрации в каком-либо определенном слое. На больших глубинах в морях с нормальным содержанием кислорода нитритов обычно нет.

Принято считать (Бруевич, 1931; Харвей, 1948; Sverdrup a. all., 1946, и др.), что основным источником нитритов в море является органическое вещество, в процессе минерализации которого образуются некоторые количества NO_2 . Предполагается, что этим объясняется наблюдаемая концентрация нитритов в слое ниже зоны фотосинтеза, где отмирающий фитопланктон так же, как и детрит, служит источником нитритов. Наличие слоя скачка плотности, как известно, способствует скоплению не только детрита, но и живого фитопланктона. В тех случаях, когда скачок расположен в пределах зоны фотосинтеза и скопившийся на его границе фитопланктон получает для своей жизнедеятельности достаточно света, аккумуляция нитритов происходит ниже—

под зоной фотосинтеза. В случаях расположения скачка температуры глубже компенсационного слоя, максимум нитритов по глубине совпадает со скачком (Brandhorst, 1959). По наблюдениям Брандгорста (1959), накопление нитритов в одном и другом случаях происходит за счет бактериального окисления аммиака до NO_2^1 .

Вместе с тем рядом исследований экспериментально доказано (Харвей, 1948, и многие другие), что фитопланктон во время своего роста в качестве источника азота может использовать не только нитраты, но и нитриты, а также аммиак. При этом использование указанных соединений идет одновременно.

В соответствии с изложенными процессами, в содержании нитритов в морях наблюдается хорошо выраженная сезонность. Отмечено, что нитриты появляются одновременно с началом развития фитопланктона и достигают максимума к концу лета—началу осени. К ноябрю нитриты исчезают, в зимнее время их либо совсем нет, либо встречаются в малых количествах, распределенных более или менее однородно по всей вертикали (Бруевич, 1937; Соорег, 1933; Verjbinskaya, 1932 и др.).

Для Черного моря первые сведения о содержании нитритов и распределении их по вертикали получены Н. И. Чигириным и П. Т. Данильченко (1930). По их наблюдениям в верхних слоях воды (0—200 м) содержится 0,4—2,5 мг/м³ азота нитритов, при этом количество нитритов с увеличением глубины возрастает, достигая максимума на глубинах около 300 м. В более глубоких слоях нитриты ими не были обнаружены. Повышение содержания нитритов в слое 150—300 м, по мнению Н. И. Чигирина и П. Т. Данильченко, обусловлено окислением диффундирующего из глубин аммиака.

Обширным материалом по содержанию нитритов в Черном море литература до настоящего времени не располагала, хотя рядом учреждений (Аз.-Чер.НИРО, СБС) велись и ведутся многочисленные наблюдения по нитритам. В последние годы Я. К. Гололобовым (1955) и М. А. Добржанской (1960) опубликованы отдельные сведения по содержанию нитритов в различные сезоны года в прибрежной зоне Черного моря. Эти наблюдения показали заметное увеличение нитритов по всей вертикали прибрежной зоны, начиная с октября—ноября, достигающее наибольших показателей (до 8—10 мг/м³ N) непосредственно у берегов (Добржанская, 1960) в декабре—январе. Летом содержание нитритов обычно падает до нуля по всей вертикали прибрежной полосы. Видимо, аналогичная закономерность сезонного хода нитритов имеет место и в водах открытого моря, с тем лишь различием, что осенне-зимнее содержание нитритов колеблется по преимуществу около 1 мг/м³ N. Летом в центральных районах моря нитриты обнаруживаются преимущественно в слое 50—100 м; ниже и выше нитритов обычно нет. Четких пиков содержания нитритов весной и осенью в Черном море не обнаружено.

Что касается общего характера распределения нитритов в слое 0—2000 м, то, как следует из данных среднегодового содержания их, представленных Я. К. Гололобовым (1955), в вертикальном распределении их величин сохраняется закономерность, описанная Н. И. Чиги-

¹ По данным этого же автора, в водах, обедненных кислородом, в частности с содержанием 0,1 мг/л O_2 , происходит восстановление нитратов до нитритов, что, по его мнению, приводит к образованию в таких водах второго максимума нитритов.

риным и П. Т. Данильченко (1930). Сохраняется также полная преемственность и в теоретическом обосновании причин, обуславливающих эту закономерность.

Все эти сведения получены на основании отдельных, в известной степени отрывочных наблюдений (отдельные пункты, разрезы). Материалов, охватывающих все море в целом и позволивших бы выявить общие закономерности распределения нитритов на различных глубинах Черного моря до работ синхронных съемок, не было. В период синхронных съемок 1951—1956 гг., когда наблюдения велись одновременно с шести кораблей и охватили густой сетью все море, массовое определение нитритов велось в августе 1951 и апреле 1952 г. Полученные данные позволили составить карты пространственного распределения нитритов на различных горизонтах, дающие представление о закономерностях распределения их не только по вертикали, но и в зависимости от гидрофизических характеристик того или иного района Черного моря.

Общий характер полученного распределения нитритов в апреле оказался весьма сходным с распределением их в августе. По этой причине карты пространственного распределения нитритов приводятся только для апреля, как составленные на относительно большем материале. Характеристика распределения нитритов в августе 1951 г. (во избежание загромождения текста) дана без графического изображения.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИТРИТОВ В АПРЕЛЕ 1952 г.

В апреле 1952 г. поверхностный слой характеризовался отсутствием нитритов по всему охваченному наблюдениями району моря. Глубже, начиная примерно с 10 м, по содержанию нитритов выделяется весь мелководный, ограниченный 100-метровой изобатой, район северо-западной части Черного моря. В этой части моря по всей вертикали рассматриваемого слоя нитриты встречены в количестве от 1,1 до 1,5 мг/м³ N. Максимум величин — 0,5 и выше — приурочен к участку наибольшего влияния пресных вод, в частности Дуная. При этом высокие величины нитритов отмечены по преимуществу в слое от 25 до 50—75 м. На глубине 100 м содержание нитритов несколько уменьшается и составляет величины порядка 0,1—0,3 мг/м³ N. В граничащем с этим участком моря районе, до 200-метровой изобаты, содержание нитритов на нижнем горизонте не превышает 0,1 мг/м³ N (рис. 1—6).

Открытая часть моря по содержанию нитритов и их вертикальному распределению отличается от описанного участка. На большей части моря до глубины 50 м нитритов нет (см. рис. 1, 2). Небольшие количества нитритов — от следов до 0,1 — наблюдались в восточной части моря. Наличие нитритов в этом районе, возможно, обусловлено относительно большим, по сравнению с центральной частью, материковым стоком (влияние рек Кавказского побережья). Очень характерным распределением нитритов отличается горизонт 50 м (см. рис. 3). На этой глубине, хотя и в небольших (до 0,1) количествах, нитриты содержатся на большей части рассматриваемого района.

Вместе с тем на этой же глубине в районе «халистатики» четко вырисовываются две замкнутых области, из которых одна расположена в западной, другая — в восточной половинах моря, где не было об-

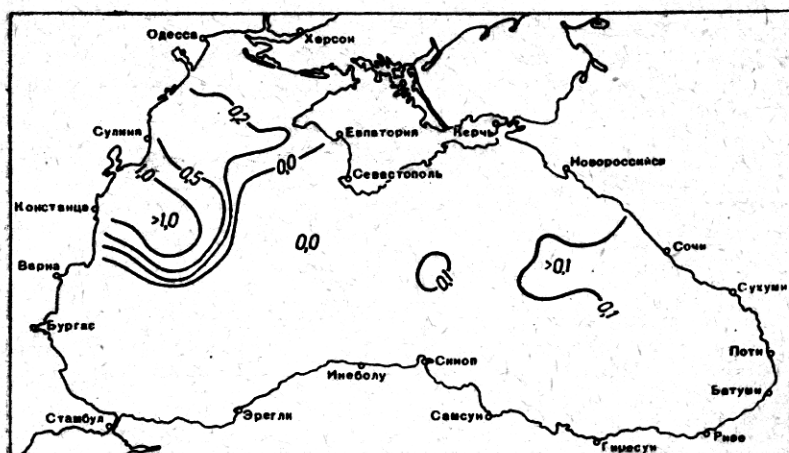


Рис. 1. Распределение нитритов (N mg/m^3) на 10 м. Апрель 1952 г.

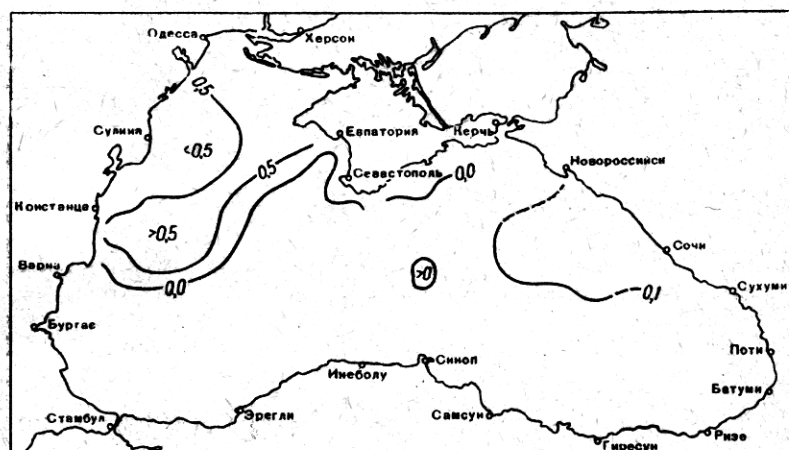


Рис. 2. Распределение нитритов (N mg/m^3) на 25 м. Апрель 1952 г.

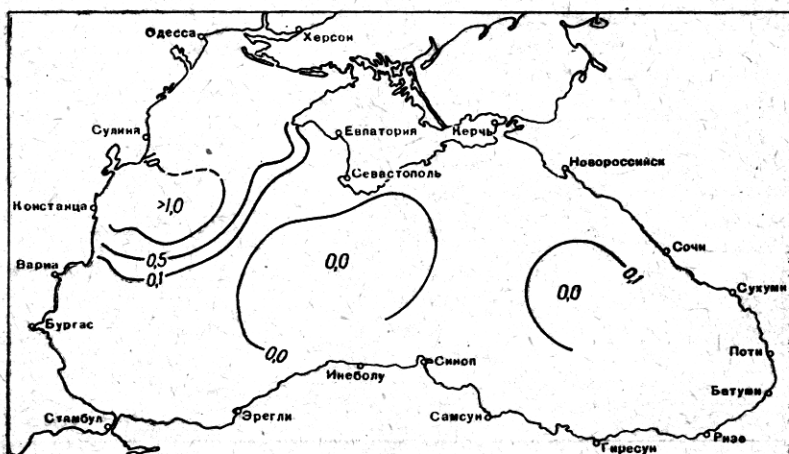


Рис. 3. Распределение нитритов (N mg/m^3) на 50 м. Апрель 1952 г.

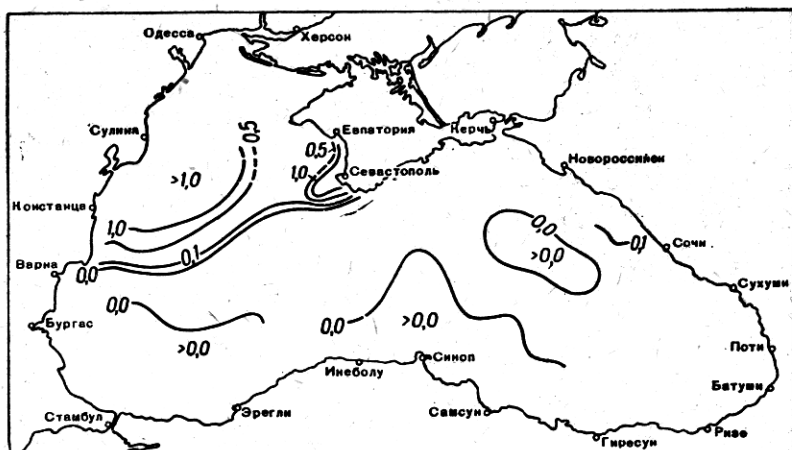


Рис. 4. Распределение нитритов ($N \text{ мг/м}^3$) на 75 м. Апрель 1952 г.

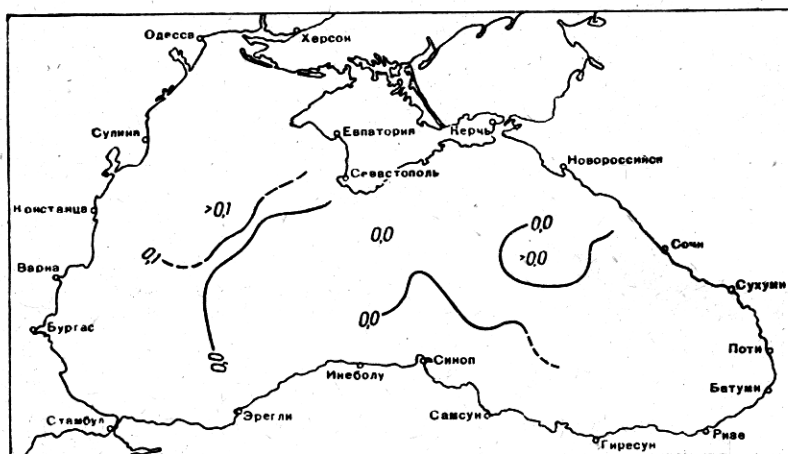


Рис. 5. Распределение нитритов ($N \text{ мг/м}^3$) на 100 м. Апрель 1952 г.

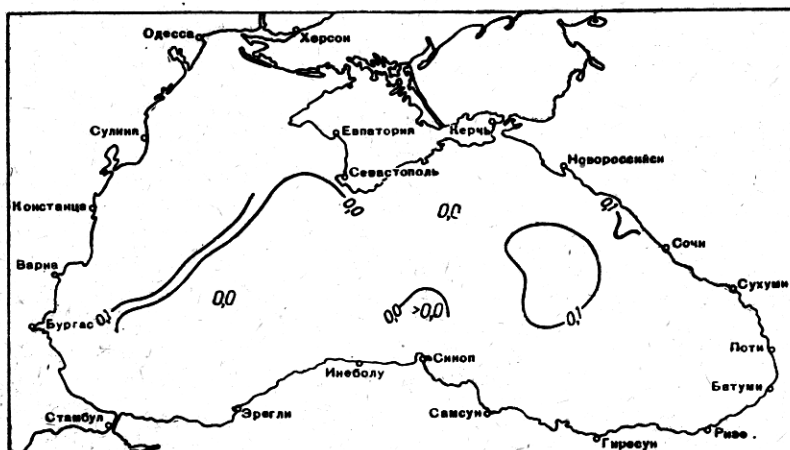


Рис. 6. Распределение нитритов ($N \text{ мг/м}^3$) на 200 м. Апрель 1952 г.

наружено даже следов нитритов. По мере углубления область «нулевого» содержания нитритов расширяется и занимает почти всю центральную часть моря (рис. 4—7). Исключение составляет восточная половина, в центральной части которой нитриты до 0,1 вновь по-

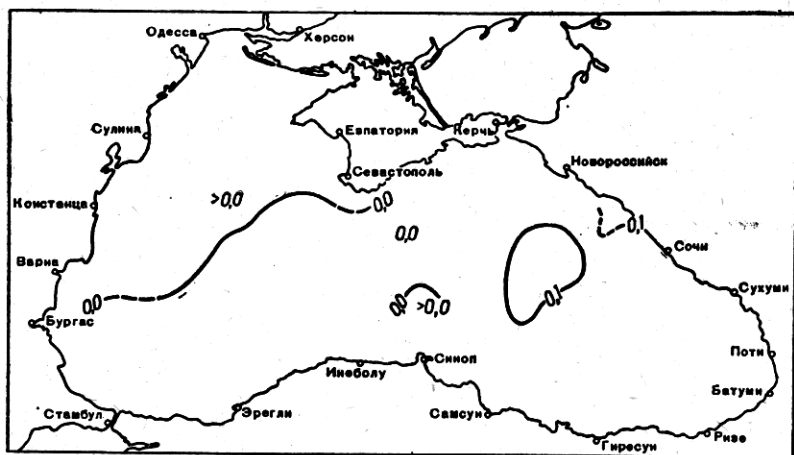


Рис. 7. Распределение нитритов ($N \text{ мг/м}^3$) на 300 м. Апрель 1952 г.

являются в подстилающих горизонтах (см. рис. 6, 7). На глубине 300 м нитриты — от следов до 0,1 — содержались на отдельных станциях (см. рис. 7).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НИТРИТОВ В АВГУСТЕ 1952 г.

В августе 1952 г., как и в апреле, нитриты содержались в небольших количествах. Преобладали величины до $2 \text{ мг/м}^3 N$. Большие — до $8 \text{ мг/м}^3 N$ — наблюдались лишь на четырех станциях.

По характеру распределения нитритов западная половина моря в августе, как и в апреле, несколько отличалась от восточной. В западной половине моря наибольшие количества нитритов ($1\text{--}2 \text{ мг/м}^3 N$) были отмечены вблизи устья Дуная и к югу от него — вдоль всего западного берега. При этом и в этих участках моря в августе нитриты содержались лишь в воде более глубоких слоев, в верхних же 0—10, 0—25 м нитритов в преобладающем числе случаев не было. В более мелководной части этого района нитриты отмечались начиная примерно с 25 м и глубже; в районах с общей глубиной более 100 м — начиная с 50 м. В примыкающей к этим районам части моря, с глубинами 300 м и несколько более, содержались лишь следы нитритов на 100-метровом горизонте; глубже, как правило, нитритов не было. В центральной части западной половины моря в большинстве случаев нитритов по всей вертикали не было. На отдельных станциях следы нитритов были обнаружены по преимуществу на глубинах 50—75 м. Каких-либо ясно выраженных закономерностей в пространственном распределении нитритов в этой части моря не обнаружено.

В восточной половине моря нитриты были почти на всем протяжении. Особенно показателен в этом отношении участок, расположенный к востоку от Кодошского меридиана, где нитриты, как правило,

наблюдались по всей вертикали от 0 до 300 м. Хотя и в этой части моря, за небольшим исключением, количество их было также невелико и в преобладающем большинстве по всей вертикали этого слоя составляло меньше $1,0 \text{ мг/м}^3 \text{ N}$. Небольшое увеличение их содержания — немногим более $1,0 \text{ мг/м}^3$ — отмечалось на глубине 50—75 м. Лишь на небольшом пространстве этого района в южной его части, количество нитритов достигало до $2 \text{ мг/м}^3 \text{ N}$. К западу от Кодошского меридиана нитриты обнаруживались значительно реже и в меньших количествах. Как уже отмечалось, в центральной части западной половины моря на глубине 50—70 м нитриты наблюдались главным образом в виде «следов». Вместе с тем на одной из станций, в центральном районе восточной половины моря, на глубине 75 м был отмечен максимум нитритов — $7,8 \text{ мг/м}^3$. На глубине 50 м содержание нитритов на этой станции составляло $2,0 \text{ мг/м}^3$, на 100 м — «следы», на остальных горизонтах — 0,0. На близлежащей станции нитриты отмечались по всей вертикали от 0 до 300 м с максимумом — $1,84$ — на 200 м, на 300 м — $1,33 \text{ мг/м}^3$. Высокое содержание нитритов найдено также на одной из станций вблизи Новороссийска: около $8 \text{ мг/м}^3 \text{ N}$ (на горизонте 50 м).

Кроме того, нитриты — в количестве до 1 мг/м^3 — были встречены почти по всему охваченному наблюдениями побережью Черного моря, преимущественно в слое от 50 до 100 м.

Изложенные материалы, как и литературные данные предшествующих лет, позволили выявить следующие основные черты распределения нитритов в Черном море:

1. По содержанию и закономерностям горизонтального и вертикального распределения нитритов Черное море заметно не выходит за пределы, установленные для других морей. Количество нитритов в нем определяется по преимуществу величинами до $2 \text{ мг/м}^3 \text{ N}$.

2. На преобладающей части удаленных от берегов районов моря четко выраженный максимум нитритов в слое 150—300 м не обнаружен. В этой части моря, начиная примерно с 150—200 м и глубже, в большинстве случаев нитритов нет. До глубины 200—300 м нитриты встречены главным образом ближе к берегам.

3. Распределение нитритов на протяжении года несколько отличается от такового в водах океана. В Черном море увеличение содержания нитритов в верхних горизонтах обычно наступает с октября — ноября и удерживается в течение всей зимы. В это время года нитриты распределены сравнительно равномерно по всей вертикали до глубины 100—200 м (в зависимости от района моря). Ясная стратификация нитритов наблюдается только в теплый период, когда нитриты накапливаются по преимуществу на глубинах 50 м—75 м. В толще, расположенной глубже слоя концентрации нитритов, так же как и в расположенной выше зоне фотосинтеза, а весенне-летний период нитритов обычно нет.

4. Уменьшение нитритов в весенне-летнее время в Черном море, видимо, следует рассматривать как показатель энергичного извлечения в вегетационный период не только нитратов, но и других форм азота.

5. Отсутствие нитритов на большей части центрального района моря в слое 150—300 м позволяет предполагать, что в Черном море, так же как и в других морях, основным источником нитритов является органическое вещество. Окисление аммиака, поднимающегося с вода-

ми более глубоких слоев, в этом отношении, видимо, занимает подчиненное положение.

6. По содержанию и характеру распределения нитритов мелководный, ограниченный 100-, 200-метровой изобатой северо-западный район, так же как и отдельные участки побережья, отличается от центральных районов моря. В этих участках нитритами относительно обогащена (до $1-2 \text{ мг/м}^3 \text{ N}$) вся толща воды, что, по-видимому, обусловлено как влиянием материкового стока, так и близостью дна.

ЛИТЕРАТУРА

- Бруевич С. В. Гидрохимические работы Государственного океанографического института в Баренцевом море 1921—1930 гг. Докл. 1-й сессии Гос. океаногр. ин-та, 1931, № 1.
- Бруевич С. В. Гидрохимия среднего и южного Каспия. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1937.
- Гололобов Я. К. О биогенных элементах в воде Черного моря и причинах изменений некоторых средних гидрохимических величин в трофическом слое водной толщи моря. Тр. Аз.-Чер. НИРО, 1955, вып. 16.
- Добржанская М. А. Основные черты гидрохимического режима Черного моря. Тр. Севаст. биол. ст., 1960, XIII.
- Харвей Х. В. Современные успехи химии и биологии моря. ИЛ, М., 1948.
- Чигирин Н. И. и Данильченко П. Т. Азот и его соединения в Черном море. Тр. Севаст. биол. ст., 1930, т. II.
- Brandhorst W. Nitrification and denitrification in the Eastern Tropical Pacific. Internat. Oceanogr. Congress. Preprints. Washington D. C., 1959.
- Cooper L. H. Chemical constituents of biological importance in the English channel, November 1930 to January 1932. P. I. Journ. Mar. Biol. Ass., 1933, v. 18, N 2.
- Rakestraw N. W. The occurrence and significance of nitrite in sea. Biol. Bull., 1936, v. 71.
- Sverdrup H., Johnston M. and Fleming R. The oceans, their physics, chemistry and general biology. New-York, 1946.
- Verbitskaya N. A. Observations on the nitrite changes in the Barents sea. Journ. Cons. Intern. Explor. Mer., 1932, v. VII, N 1.