



25. Elkin B.N. About the daily rhythm power vobla and carp in the fish farm of "Gorely" in the delta of the Volga // Reports of the Russian scientific-research Institute of fisheries and oceanography. Vol. 1. 1952. - p. 84-99.
26. Urovinckii U.G. About the food of zope (*Abramis ballerus* L.) Rybinsk Reservoir // Journal of Ichthyology. V.2 Issue 2 (23). - p.350-359.
27. Yablonskaya E.A. Fodder base sturgeon of the southern seas. // Proc. of the Russian scientific-research Institute of fisheries and oceanography. 1964, V. 54 - p.81-112
28. Yablonskaya E.A. Some data on growth and metabolism of Belica (*Leucaspis delineatus*) in the period of spawning. // Proc. of the «VGBO» 1951, V. 3.

УДК 574.5.04 (262.81):004.942

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ КАК СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ГРЕБНЕВИКА *MNEMIOPSIS LEIDY*

© 2012 Камакин А.М., Шипулин С.В., Катунин Д.Н.

Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (ФГУП «КаспНИРХ»)

Анализ экологической ситуации в Каспийском и других бассейнах (Азово-Черноморском) показал, что без современной специализированной базы данных невозможно создание адекватной имитационной модели гидрологических факторов Северного Каспия – как среды обитания *Mnemiopsis leidy*. Приведены основные факторы среды, предопределяющие ежегодное заселение и развитие субпопуляции *Mnemiopsis leidy* в Северном Каспии. На современном этапе мониторинговых исследований Каспийского бассейна без такой имитационной модели нельзя создавать сколько-нибудь эффективные прогнозы и соответственно правильно подбирать комплекс мер по снижению отрицательного влияния, такого нежелательного вселенца на экосистемы Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов, как *Mnemiopsis leidy*.

Analysis of environmental situation in the Caspian and other basins (the Azov and Black Sea ones) showed that the development of an adequate simulation model of hydrological factors in the Northern Caspian as *Mnemiopsis leidy* habitat was impossible without an up-to-date special data base. The main environmental factors that predetermine the annual invasion of the Northern Caspian by *Mnemiopsis leidy* subpopulation and its development are considered. At the present stage of monitoring investigations in the Caspian basin it is impossible to develop successful forecasts and a package of correct measures to reduce the negative impact of such an undesirable invader as *Mnemiopsis leidy* on the Azov-Black Sea and Caspian basins without such a simulation model.

Ключевые слова: Акватория, алгоритм, гидрологические факторы, гребневик, имитационная модель, математическая модель, мнемипсис, моделирование, популяция, среда обитания, факторы среды, экосистема, элемент модели.

Keywords: Water area, algorithm, hydrological factors, ctenophore, simulation model, mathematical model, *Mnemiopsis leidy*, simulation, population, environmental habitat, environmental factors, ecosystem, model element.

Введение. Анализ аналогичных ситуаций в других бассейнах (например Азово-Черноморском) показал, что без современной специализированной базы данных и построенной на ее основе адекватной имитационной модели нельзя создать сколько-нибудь эффективных прогнозов и соответственно подобрать комплекс мер по снижению его отрицательного влияния, такого нежелательного вселенца на экосистемы Азово-Черноморского и Каспийского бассейна, как *Mnemiopsis leidy* [1; 2; 3]. Северному Каспию уделяется особое внимание, т.к. он является одним из наиболее продуктивных районов моря, где расположены нагульные ареалы ценных видов морских, проходных и полупроходных рыб, а с инвазией гребневика *Mnemiopsis leidy* наблюдается тенденция снижения его значимости [8].

Необходимо отметить, что Северный Каспий является мелководной частью (средняя глубина 5,5 м) моря [5; 9], поэтому система течений почти полностью предопределена направлением и скоростью ветра над его акваторией. Неустойчивость ветрового режима и мелководность данного района обуславливают высокую динамичность гидрологического режима Северного Каспия. По этому модель сезонной и межгодовой динамики абиотических факторов среды обитания гребневика *Mnemiopsis leidy* в Северном Каспии, складывается из следующих основных синоптического и гидролого-гидрохимического параметров:

- 1) ветрового режима над Северным Каспием;
- 2) ледовой обстановки в Северном Каспии;
- 3) стока рек Волги и Урала;
- 4) выпадения атмосферных осадков на акваторию Северного Каспия;
- 5) испарения с поверхности Северного Каспия;



- 6) температурного режима вод Северного Каспия;
- 7) динамики вод в Северном Каспии;
- 8) водообмена между Северным и Средним Каспием;
- 9) режима солености вод Северного Каспия.

Ветровой режим над Северным Каспием. В основе имитационной модели ветровой обстановки лежит аксиома – смена основных типовых синоптических процессов, определяющих ветровой режим может быть описана простой марковской цепью [10]. Исходной информацией для построения этой модели являлись следующие характеристики:

- тип синоптического процесса (карты, таблицы параметров ветрового поля);
- таблицы преобладания с учетом преимущества (очередности) и продолжительности основных типов ветровых полей;
- матрицы частоты перехода от одного ветрового поля к другому году;
- максимальная продолжительность и частота повторяемости каждого типа ветрового поля.

Анализ набора сценариев возможных типов карт-схем ветровых полей определяет среднюю скорость и направление ветра над акваторией каждого из 8-ми основных районов Северного Каспия: Западный (VIII), западно-волжский (I), восточно-волжский (II), уральский (III), восточный (IV), юго-восточный (V), центральный или свала глубин (VI), южный или приглубый (VII) (рис. 1), которые в итоге задавались составляющей скорости ветра в двух направлениях – север-юг (V_{NS}). После статистической обработки данных с учетом сезонных особенностей, на их основе строятся функции распределения вероятностей перехода от одного типа ветрового поля к другому (теоретическая роза ветров), а так же функция распределения вероятностей появления и развития каждого из выявленных типов ветровых полей (рис. 1).

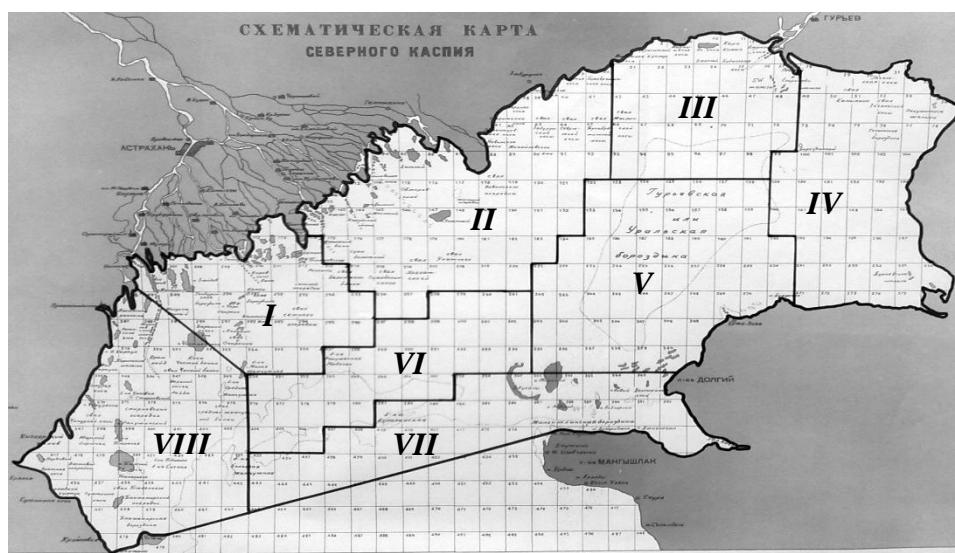


Рис. 1. Разделение акватории Северного Каспия по районам

Алгоритм работы модели представляется поэтапно, годовой цикл начинается с 1-й пятидневки. На первом этапе (январь), основываясь на функции распределения вероятности реализации ветровых полей, определяется начальное состояние марковской цепи. Это состояние характеризуется средней скоростью ветра и его продолжительностью воздействия, т.е., каждое состояние марковской цепи привязывается к тому или иному типу ветрового поля. Принимается аксиома (эмпирически доказанная), что максимальная продолжительность (вероятность 0,95) ветрового воздействия составляет не более 120 часов (5 суток), т.е. являющейся минимальным синоптическим периодом.

С помощью метода «статистических испытаний» функция распределения вероятностей перехода (от одного ветрового поля к другому) определяет следующее (по хронологии) состояние марковской цепи. А на 2-м шаге усредняются скорость расчетных ветровых полей за пятидневку.

Соответственно имитационная модель определяет следующую величину:

- составляющие скорости ветра над Северным Каспием (средняя за 5-дневку);
- составляющие скорости ветра (средняя за 5-дневку) над тремя основными приграничными районами Среднего Каспия (северо-западного, северо-центрального, северо-восточный);
- число реализаций над акваторией Северного Каспия типов ветровых полей со средней



скоростью > 8 м/с;

– число смен направлений каждой из компонент скорости ветра за пятидневку.

Ледовая обстановка в Северном Каспии. Для построения модели используются статистические данные начала появления, состояния и таяния льда по 8-ми районам (рис. 2) Северного Каспия в течение зимы. При моделировании принимаются следующие допущения:

Период моделирования → Начало ← Данные для генератора случайных чисел

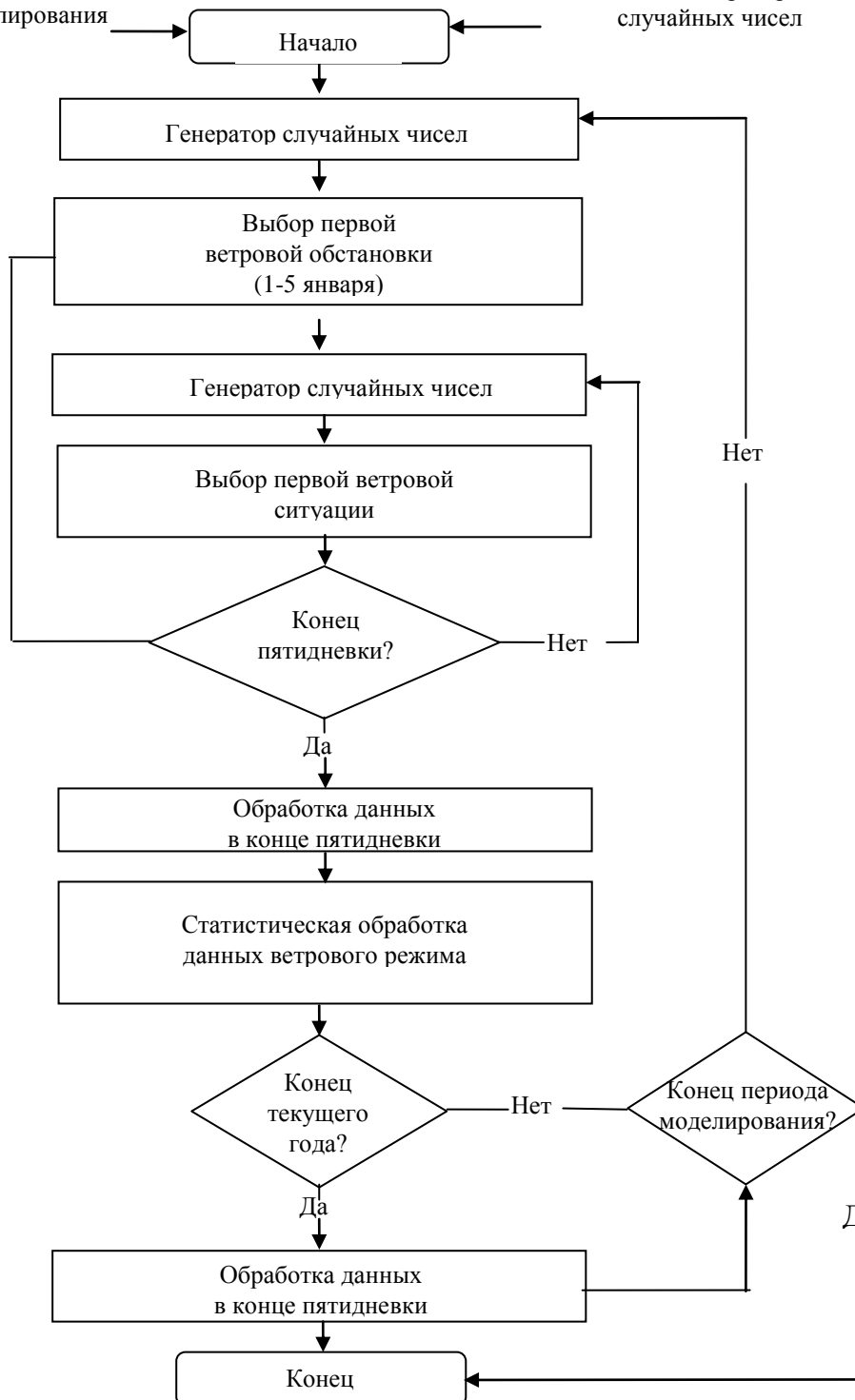


Рис. 2. Алгоритм модели ветровой ситуации над акваторией Северного Каспия

– зиму подразделяют только на один из 9 типов по степени суровости (*С* – суровая, *У* – умеренная, *М* – мягкая) [4; 9; 10]. Последовательность чередования зим разного типа описывается с помощью двухсвязной цепи Маркова;



– ледовая обстановка в отдельных районах моря на протяжении всего зимнего периода описывается с помощью поглощающей марковской цепи.

Модель описывает ледовую обстановку с декабря по апрель с шагом в одну 5-дневку.

Для работы составляется схема разбиения акватории Северного Каспия на отдельные районы, используемые в структуре модели (рис. 3).

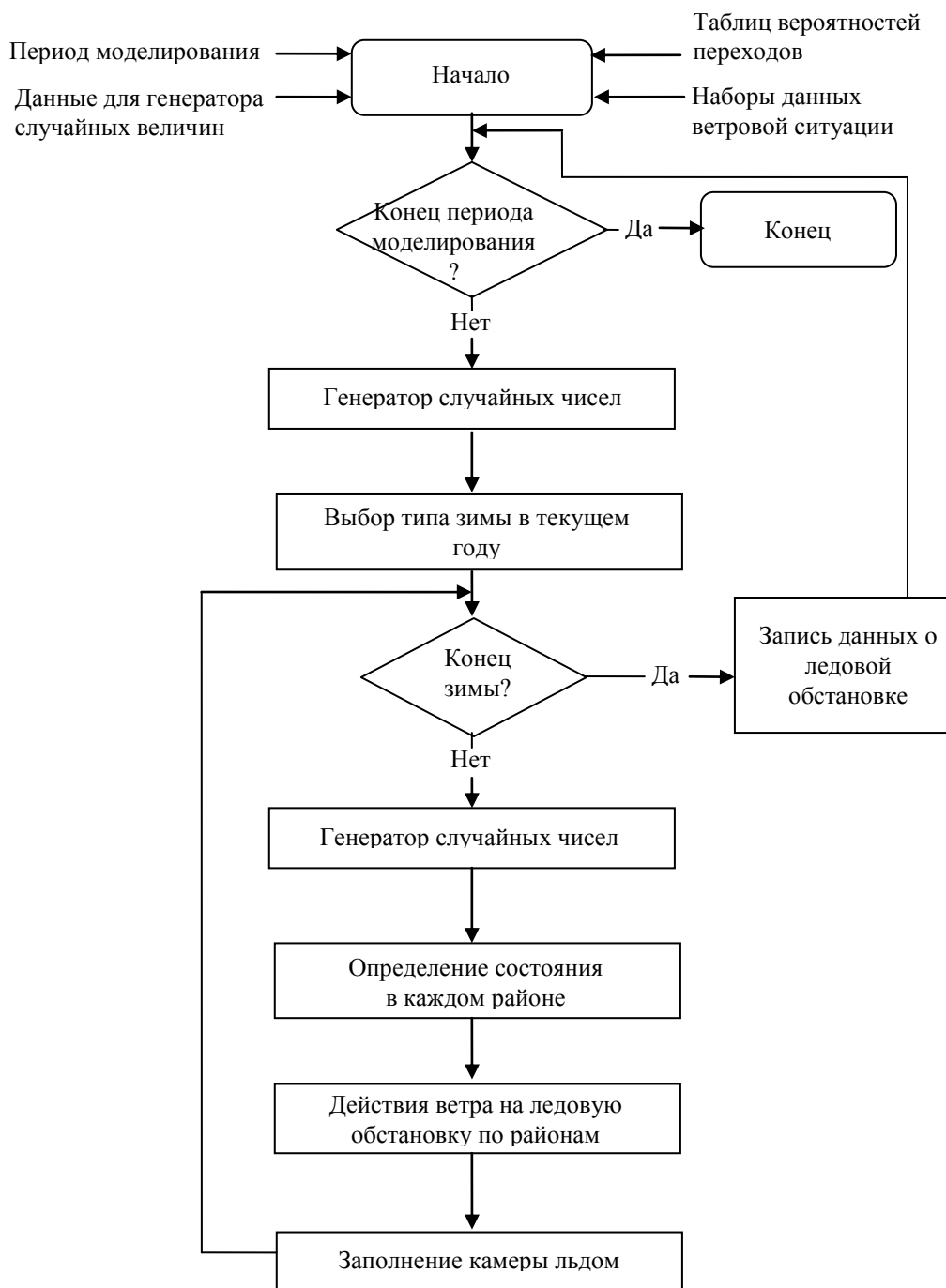


Рис. 3. Структура модели ледовой обстановки в Северном Каспии

Двухсвязная марковская цепь для моделирования типа зимы имеет девять градаций состояния, определяемых типом зим за два предшествующих года:

- | | | |
|----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1. суровая-суровая (СС); | 4. умеренная-умеренная (УУ); | 7. мягкая-мягкая (ММ); |
| 2. суровая-умеренная (СУ); | 5. умеренная-суровая (УС); | 8. мягкая-суровая (МС); |
| 3. суровая-мягкая (СМ); | 6. умеренная-мягкая (УМ); | 9. мягкая-умеренная (МУ). |

Для определения вероятности перехода из одного состояния в другое использовались многолетний ряд наблюдений (от 10 до 50 лет). Поглощающая марковская цепь для моделирования текущих состояний районов моря по пятидневым, имеет четыре состояния [10]:

- 1 – незамерзший район;
2 – замерзший район;
3 – район, вскрытый ветром со скоростью ≥ 8 м/с;
4 – район после окончательного таяния льда.

В начале зимнего сезона все районы находятся в первом состоянии, а весной соответственно – в четвертом. Выдаваемая моделью информация ледовой обстановки по районам заносится в бланки электронной базы данных и имеет для каждого из районов следующую структуру:

- сроки первого замерзания по пятидневкам;
- степень заполнения льдом по пятидневкам;
- сроки окончательного освобождения ото льда.

Сток рек Волги и Урала. Характеристики стока являются одними из основных факторов, определяющих солевой режим и вынос биогенных элементов в Северный Каспий. Объем речного стока колеблется в широких пределах, как по величине, так и по срокам выноса, поэтому для упрощения модели речного стока рек Волги и Урала принимаются следующие допущения:

- речной сток в Северный Каспий полностью предопределен реками Волга и Урал;
- распределение годового стока рек по месяцам соответствует среднемуголетному.

Сроки и объем поступающей пресной воды Волги и Урала, составляют многолетнюю базу данных водного режима Северного Каспия, которую характеризует среднелетней сезонной динамикой речного стока этих рек, выраженной в процентном отношении (рис. 4) (по данным Гидрометеослужбы СССР; Росгидромета, 1956-2011 гг.).

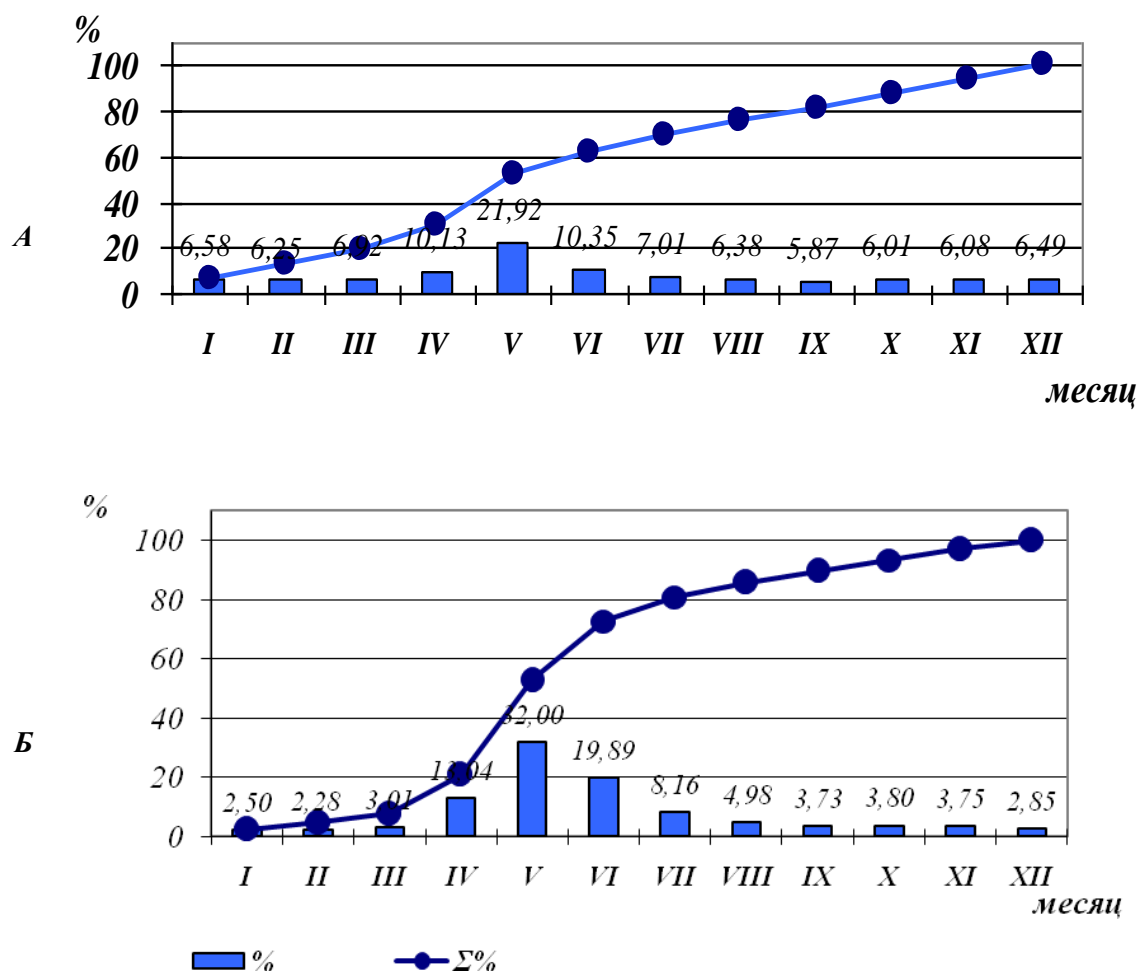


Рис. 4. Среднегодовья внутригодовая динамика речного стока:

A – р. Волга (1959-2011 гг.); *B* – р. Урал (1956-2006 гг.)

(по данным Гидрометеослужбы СССР; Росгидромета, 1956-2011 гг.)



Выпадение атмосферных осадков на акваторию Северного Каспия. При моделировании этого элемента модели, принимая во внимание, что над акваторией моря количество осадков не измеряется, соответственно добавляется следующие упрощение – общее количество и распределение осадков над морем (рис. 5) засчитывают теоретически [9] или определяют эмпирическим путем (по данным Госметеослужбы). По расчетам, в среднем за год на всю поверхность Северного Каспия выпадает $9,4 \text{ км}^3$ осадков, что составляет слой воды толщиной 220 мм. Из них 27 % приходится на зиму; 26 % – на весну, 16 % – на лето, и около 32% – на осень [9].

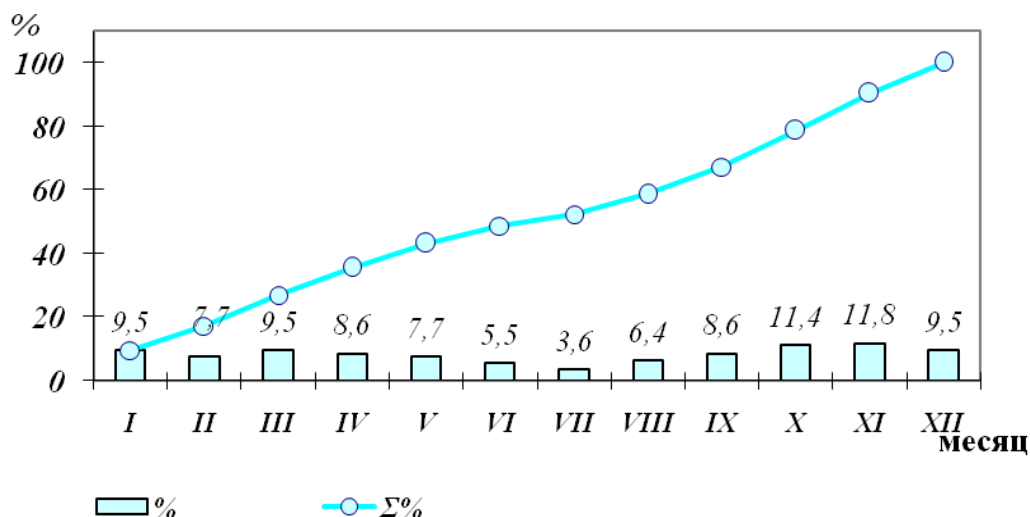


Рис. 5. Среднемноголетняя (1878-1982 гг.) внутригодовая динамика выпадения атмосферных осадков, выпавших на акваторию Каспийского моря [9]

Таким образом, при моделировании выпадения осадков принимаются следующие допущения:

- в течение всего года количество осадков, выпадающих на побережье, больше такового над морем;
- существует тенденция к увеличению осадков в направлении с юга, юго-востока на север и северо-запад;
- наименьшее количество осадков выпадает в восточном и юго-восточном районе Северного Каспия.

Для зимы в Северном Каспии характерны обложные осадки, охватывающие большую часть акватории, что связано с более частым прохождением циклонов, поэтому зимой распределение осадков здесь более равномерное. Летом, в отличие от зимы, циклоны наблюдаются реже, соответственно преобладают осадки уже ливневого характера, выпадающие локально, т.е. на ограниченной акватории моря.

Если учитывать вышеописанные особенности модели, а так же расчет «текущей интенсивности выпадения осадков» в процессе моделирования гидродинамических процессов осадков Северного Каспия, то уровень по районам моря задается постоянным в зависимости от сезона [4].

Испарения с поверхности Северного Каспия. Испарение является одной из основных составляющих расхода водного баланса моря. Испарение определяется, как остаточный член уравнения водного, теплового баланса, либо по данным наблюдений за скоростью ветра, температурой и влажностью воздуха, а так же температурой поверхностного слоя Северного Каспия [5; 9].

Интенсивность испарения с поверхности моря имеет ярко выраженную сезонную динамику с максимумом в августе-сентябре (рис. 6). Так, по расчетам, в среднем за год со всей поверхности Северного Каспия испаряется $93,7 \text{ км}^3$ воды, что составляет слой воды толщиной 993 мм. Из них 18,8 % приходится на зиму; 13,5 % – на весну, 30,8 % – на лето, и 36,9% – на осень.

Вследствие мелководности северной части Каспийского моря (средняя глубина Северного Каспия 5,5 м) наблюдается сравнительно небольшой горизонтальный градиент, поэтому в модели принимается очередное допущение – испарение равномерно для всех районов Северного Каспия, но с учетом сезонной динамики (рис. 6).

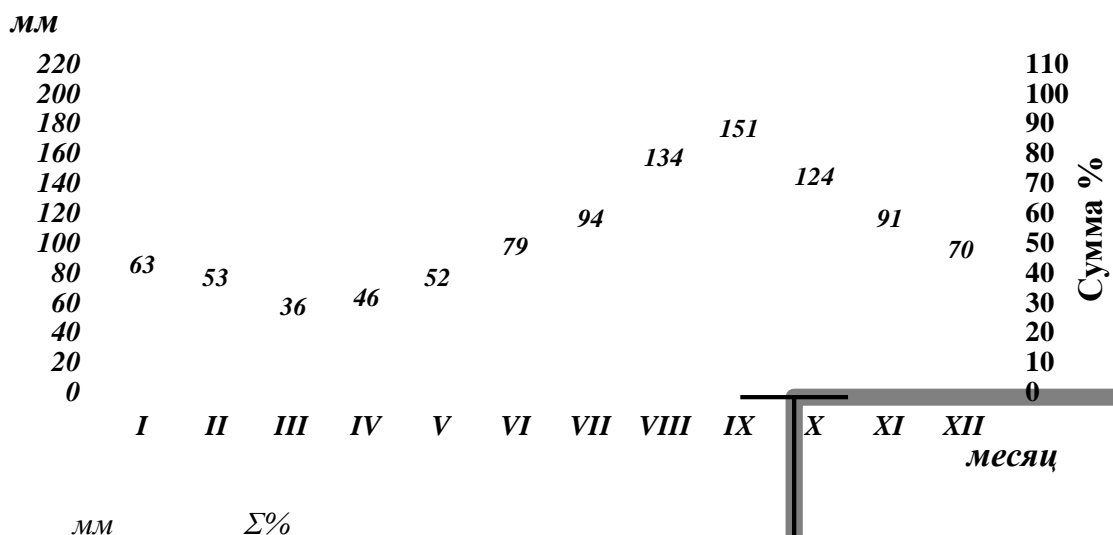


Рис. 6. Внутригодовая динамика испарения с поверхности акватории Каспийского моря [9]

Температурный режим вод Северного Каспия. Относительно всего моря у Северного Каспия мизерный объем воды (0,5%) при значительной площади поверхности (24,3%), вследствие чего температурный режим носит достаточно не устойчивый характер [5; 9]. Внутригодовая динамика температур отдельных районов Северного Каспия аппроксимирована зависимостями с очень высоким коэффициентом корреляции от 0,97 до 0,99.

Динамика вод в Северном Каспии. Продолжительное преобладание ветров одного направления приводит к образованию в Северном Каспии относительно стабильного профиля водной поверхности с определенным для данного ветрового напора уклоном. После прекращения воздействия ветра, соответственно – сгонно-нагонных явлений водная поверхность моря начинает совершать свободные затухающие колебания с итоговым переходом в исходное равновесное состояние.

Процесс моделирования состоит в пошаговом (с длиной 5 суток), дискретном вычислении значений водообмена между основными районами Северного Каспия (рис. 1). Из-за относительной мелководности Северного Каспия основной причиной возникновения водообмена между районами, является приповерхностный ветер. В западной половине Северного Каспия наибольшую повторяемость имеют ветра северо-западного и западного направлений (45-50%), в северо-восточной части Северного Каспия – восточного и западного направлений (до 45%), а в приглубом, приграничном со Средним Каспием районе – преобладают западные и южные ветра [4; 5; 9].

В мелководной части Северного Каспия продолжительные ветра одного направления вызывают сгонно-нагонные явления. Ветра восточных направлений приводят к повышению горизонта (нагон) у западных и понижению (сгон) у восточных берегов моря. Для продолжительных западных и южных ветров, соответственно наблюдается аналогичный эффект, но в противоположном направлении. Между противоположными в широтном направлении районами Северного Каспия максимально перепады уровня могут достигать 2-3 м, среднее значение этой величины соответственно будет составлять 0,5-1,0 м [5; 9].

Независимо от причин, колебания уровня моря могут быть подразделяться на:

- длиннокциклические (эвстатические), связанные с глобальными изменением водного баланса (сток рек, атмосферные осадки, интенсивность испарения связанное с климатом, водообмен со Средним Каспием);
- короткоциклические (непериодические), вызываемые ветрами.

Отметки горизонта водного баланса можно рассматриваться как характеристику уровня при покое поверхности моря, что являются нулевой точкой, на фоне которой происходит развитие непериодических колебаний.

Итогом моделирования ветрового воздействия на уровень водной поверхности Северного Каспия является расчет объемов перемещения водных масс из одного района в другой.

Исходя из особенностей ветрового режима, изменения уровня в фиксированной точке моря под воздействием ветра определенной скорости должно удовлетворять следующим условиям [6; 7]:

- при отсутствии ветра фоновый уровень не изменяется;



– ветер аналогичной силы, но противоположного направления вызывает такое же изменение уровня, но в обратную сторону;

– не зависимо от продолжительности воздействия ветра, отклонение уровня не может превышать определенной, допустимой для этой скорости ветра величины;

– изменение отметки уровня моря под воздействием ветра, происходит равномерно, без скачков, а при большей скорости ветра – соответственно большее изменение уровня.

С учетом приведенных выше допущений описания динамики уровня поверхности Северного Каспия применяется формула зависимости отклонения уровня поверхности моря в данной точке от скорости ветра на оси север-юг и восток-запад.

Процесс перемещения водных масс между основными (8-ю) районами (рис. 1) основан на следующих исходных данных: ветровой и ледовой ситуации по Северному Каспию, а также объемы его основных районов на предыдущем шаге. Поэтому построение гидродинамической модели Северного Каспия можно представить как совокупность следующих шагов:

1. Определение объема районов моря на настоящем шаге, где среди составляющих водного баланса должны быть учтены следующие характеристики:

а) сток рек Волги и Урал за пятидневку;

б) объем адвекции среднекаспийских более соленых вод в Северный Каспий;

в) водообмен с мелководными заливами (Кизлярский; Мангышлакский);

г) атмосферные осадки и испарения.

2. Определение фонового уровня Северного Каспия.

3. Определение отклонения от фонового уровня в каждом из основных районов Северного Каспия (рис. 1) по уравнению в зависимости от ветровой и ледовой ситуаций над акваторией района.

4. Определение основного водообмена между районами Северного Каспия (турбулентный водообмен). Он выявляется на основе базовой циркуляции водных масс в Северном Каспии, вызываемой геофизическими причинами, с использованием датчика псевдослучайных чисел.

5. Коррекция значений (объема) переноса водных масс (ветровые течения) в зависимости от скорости и продолжительности ветра.

6. Коррекция объемов основных районов Северного Каспия при водообмене между ними.

Таким образом, каждый шаг модели определяет величины, характеризующие динамику водных масс: объем пресноводный стока Волги и Урала; в целом объем Северного Каспия и по отдельности районов; водообмен между районами, а также между Средним и Северным Каспием, и между Северным Каспием и заливами Кизлярский; Мангышлакский.

Полученные значения являются в свою очередь исходными для других моделей Северного Каспия: солёности; фито- и зоопланктона; популяций гидробионтов (*Mnemiopsis leidyi*) и т.п.

Водообмен между Северным и Средним Каспием. Водообмен между Северным и Средним Каспием – один из основных факторов определяющий гидрологический и гидрохимический режим Северного Каспия. В литературе описана зависимость водообмена от основных предопределяющих факторов, главным образом от антициклонического характера глубинных и приповерхностных (ветровых) течений [5; 9].

Исходя из геоморфологических и синоптических особенностей Северного Каспия (мелководность (средняя глубина 5,5 м), интенсивность ветрового перемешивания водных масс) принимаем допущения: слабая вертикальная стратификация приравнивается к практическому отсутствию вертикального градиента: солёности, температуры, плотности воды соответственно, давления, что позволяет считать вертикальное распределение однородным (кроме приглубого района VII). Поэтому ставится следующая задача – оценить водообмен между Средним и Северным Каспием под воздействием (южных, юго-восточных северных, северо-западных) ветров и установившихся течений антициклонического характера и основных ветров с преобладающими сезонными направлениями над всей системой «Средний – Северный Каспий», а так же «Северный Каспий – предустьевое взморье рек Волги и Урала» [5; 9].

Солевой режим вод Северного Каспия. Солёность вод Северного Каспия является составляющей следующих доминирующих факторов:

– годовой поверхностный пресноводный сток рек Волги и Урала;

– наличие глобальных течений;

– преобладающие ветра, вызывающие ветровые течения.

В модели речного стока принимались следующие допущения:

– материковый сток полностью определяется водностью рек Волга и Урал;

– внутригодовое распределение годового речного стока соответствует среднемугодовому [5; 9].



Данные пресноводного стока, распресняющего морскую систему Северного Каспия, базируются на многолетних наблюдениях режима рек Волги и Урала [5; 9]. Как отмечалось выше, на рис. 4А и 4Б представлена внутригодовая динамика речного стока рек, соответствующая в процентном отношении среднемноголетнему гидрографу.

Соответственно имитационная модель динамики солености вод Северного Каспия основывается на результатах функционирования модели динамики вод Северного Каспия:

- водообменом между соседними участками Северного Каспия;
- водообменом между Северным и Средним Каспием;
- водообменом между Северным Каспием и мелководными заливами (Кизлярский, Мангышлакский);
- объемами стока рек Волги и Урала;
- объемами осадков и испарения над акваторией Северного Каспия.

Таким образом, солевой обмен, как и водообмен между районами моря является результирующей водного баланса. С учетом того, что поступающие в систему воды имеют разную, но известную соленость и объемы, то составляющие водного баланса (выше перечисленные) имеют также известные величины, поэтому можно рассчитать изменения солености каждого участка Северного Каспия.

Заключение. Разработка и использование имитационной модели ежегодного проникновения и развития популяции *Mnemiopsis leidyi* в Северном Каспии, не возможна без имитационной модели гидрологических факторов этого района моря с учетом сезонной и межгодовой пространственно-временной динамики его популяции, т.е. без модели среды обитания гребневика. В свою очередь и первая и вторая модели является элементами моделей экосистем Каспийского моря, что является современным инструментом прогнозирования состояния популяций гидробионтов и дальнейшего развития морских экосистем.

Библиографический список

1. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Николаева Г.Г. Массовое развитие гребневика мнемииопсиса как проявление антропогенного воздействия на экосистему моря. Практическая экология морских регионов. Черное море. Киев: Наук. думка, 1990. С. 94-102.
2. Воловик С.П., Луц Г.И., Мирзоян З.А., Пряхин Ю.В. и др. Вселение гребневика мнемииопсиса в Азовское море: предварительная оценка последствий // Рыбное хоз-во, №1, 1991. С. 47-49.
3. Гребневик *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) в Азовском и Черноморском морях: биология и последствия вселения / Под научн. ред. д.б.н., проф. С.П. Воловика. Ростов-на-Дону: БКИ, 2000. 500 с.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 360 с.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI. Каспийское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанографические основы формирования биологической продуктивности. СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 324 с.
6. Жилев А.П. Расчет колебаний уровня Азовского моря // Океанология, 1972. Т. 12, вып. 1. С. 49-56.
7. Жилев А.П., Есин Н.В. О периодах колебаний уровня Азовского моря // Вопросы изучения и освоения Азовского моря и его побережий. Краснодар: Краснодарское кн. изд-во, 1974. С. 14-16.
8. Камакин А.М., Студеникина Ю.Б., Степанова Л.В., Рубцова Е.Г. Сезонное распределение *Mnemiopsis leidyi* в Каспийском море в 2001 г. // Науч. бюл. Каспийского Плавучего Ун-та. Астрахань: КПУ, 2002, №3. С. 42-46.
9. Каспийское море: Гидрология и гидрохимия. Отв. ред. С.С. Байдин; А.Н. Косарев. М.: Наука, 1986. 261 с.
10. Хлебников С.Д. Математическое моделирование, численные методы и комплексы при несимметричной и нелинейной нагрузке. М: Энергоатомиздат, 1985. 112 с.

Bibliography

1. Vinogradov, M.E., Shushkina, E.A., Nikolayeva, G.G. 1990. The mass development of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* as demonstration of anthropogenic impact on sea ecosystem. Pp. 94-102. In: Practical ecology of sea regions. The Black Sea. Nauk. Dumka. Kiev.
2. Volovik, S.P., Luts, G.I., Mirzoyan, Z.A., Pryakhin, Yu.V. et al. 1991. Invasion of the Sea of Azov by the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*: preliminary assessment of consequences. J. Rybnoe Khozyaistvo, 1: 47-49.
3. The ctenophore *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) in the Sea of Azov and the Black Sea: invasion biology and consequences. 2000. Ed. Doctor of Biology, Prof. S.P. Volovik. BKI. Rostov-on-Don. 500 p.
4. Hydrometeorology and hydrochemistry of seas. Vol. VI. The Caspian Sea. Issue 1. Hydrometeorological conditions. 1992. Hidrometeoizdat. St. Petersburg. 360 p.



5. Hydrometeorology and hydrochemistry of seas. Vol. VI. The Caspian Sea. Issue 2. Hydrochemical conditions and oceanographic principles of biological productivity development. 1996. Gidrometeoizdat. St. Petersburg. 324 p.
6. Zhilyaev, A.P. 1972. Calculation of fluctuations of the Sea of Azov level. J. Oceanology. Vol. 12, 1: 49-56.
7. Zhilyaev, A.P., Yesin, N.V. 1974. On periods of fluctuations of the Sea of Azov level. Pp. 14-16. In: Problems of studies and development of the Sea of Azov and its coasts. Krasnodar Publishing House. Krasnodar.
8. Kamakin, A.M., Studenikina, Yu.B., Stepanova, L.V., Rubtsova, E.G. 2002. Seasonal distribution of *Mnemiopsis leidyi* in the Caspian Sea in 2001. Pp. 42-46. In: Scientific Newsletter of the Caspian Floating University, No.3. CFU. Astrakhan.
9. The Caspian Sea: hydrology and hydrochemistry. 1986. Ed. S.S. Baidin, A.N. Kosarev. Nauka. Moscow. 261 p.
10. Khlebnikov, S.D. 1985. Mathematical simulation, numerical methods and complexes in asymmetric and non-linear load. Energoatomizdat. Moscow. 112 p.

УДК 574. 593.8 (262.81)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ И МЕЖСЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИИ ГРЕБНЕВИКА *MNEMIOPSIS LEIDYI* В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

© 2012 ¹А.М.Камакин, ²В.Ф.Зайцев.

¹Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства,
ФГУП «КаспНИРХ»

²Астраханский государственный технический университет, АГТУ

Представлены результаты многолетних (2001-2011 гг.) мониторинговых исследований по распределению популяции вида-вселенца *Mnemiopsis leidyi*, в течение всего года (январь-ноябрь) по всем основным районам моря. Определен сценарий развития вида-вселенца *Mnemiopsis leidyi* и дан прогноз дальнейшего развития его популяции в Северном, Среднем и Южном Каспии. Приведенные материалы позволяют определить и прогнозировать влияние этого желтого хищника на основные трофические уровни экосистем Каспийского моря.

Results of long-term (2001-2011) monitoring investigations into the distribution of invader *Mnemiopsis leidyi* population in all major sea areas through the whole year (January-November) are presented. The scenario of invader *Mnemiopsis leidyi* development is considered and the further development of its population in the Northern, Middle and Southern Caspian is predicted. Materials presented make it possible to forecast the impact of that gelatinous predator on the main trophic levels of the Caspian Sea ecosystem.

Ключевые слова: Вселенец, гребневик, динамика многолетняя, динамика сезонная, мнemiопсис, популяция, экосистема.

Keywords: Invader, ctenophore, long-term dynamics, seasonal dynamics, *Mnemiopsis leidyi*, population, ecosystem

Введение

Лавинообразное развитие короткоциклического эврибионтного вида *Mnemiopsis leidyi* создало угрозу существованию аборигенным видам гидробионтов Каспийского моря, прежде всего в результате пищевой конкуренции, а так же прямого выедания пелагической икры и личинок видов имеющих планктонную стадию развития. Представлены данные ежегодных мониторинговых исследований, собранные сотрудниками КаспНИРХа с 2001 по 2011 гг., В сопоставлении с пространственно-временными и качественно-количественными параметрами других звеньев трофической цепи (рыб-зоопланктофагов, моллюсков), результаты исследований позволяют прогнозировать развитие популяции *Mnemiopsis leidyi*, без чего нельзя объективно оценить уровень развития экосистемы Каспийского моря. При проведении исследований особое внимание уделялось основным местам миграций и нагула морских, проходных промысловых видов рыб, т.е. западной и центральной части Северного и Среднего Каспия, как основных мест нагула и миграций ценных и промысловых видов рыб в российских территориальных водах.

Материал и методика

Гидробиологический материал собирался в районах с диапазоном глубин от 8 м (Северный Каспий) до 900 м (Средний и Южный Каспий). Изучение гребневика производили ком-