

УДК 597.562

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ ЗАПАСА ЗАПАДНОКАМЧАТСКОЙ НАВАГИ *ELEGINUS GRACILIS* (GADIDAE)Д. А. Терентьев, О. Б. Тепнин, **А. В. Четвергов**

Рассмотрено влияние на динамику запаса западнокамчатской наваги трех групп абиотических факторов, условно объединенных по характеру происхождения: атмосферных, космических и океанологических. В результате проведенного множественного корреляционного анализа получено достоверное уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать изменения биомассы наваги Охотского моря с заблаговременностью в пять лет. Оценка биомассы наваги по результатам летней донной траловой съемки 2000 г. совпала с прогнозируемой величиной.

Численность и биомасса дальневосточной наваги (вахни) *Eleginus gracilis* зависят от урожайности поколений, которая определяется, прежде всего, условиями воспроизводства и выживания сеголеток — динамикой климато-океанологических условий, температурой, соленостью воды и обеспеченностью пищей (Дементьева, 1976; Толстяк, 1983, 1990; Борец, 1997). Кроме того, в изменениях численности и уловов наваги различных районов отмечена периодичность, совпадающая с колебаниями активности солнца (Бирман, 1973; Васильков и др., 1980; Сафронов, 1986).

Ранее была выявлена достаточно хорошая связь численности наваги с динамикой температуры и солености воды на её нерестилищах у западного побережья Камчатки (Толстяк, 1990). И.Б. Бирман (1973), отмечая наличие солнечно-обусловленных колебаний численности западнокамчатской наваги с периодом примерно 9–10 лет, считал, что изучение солнечно-гидробиологических связей может и должно стать основой для долгосрочного прогнозирования запасов промысловых рыб.

В настоящей работе предпринята попытка рассмотреть характер влияния климатических, океанологических и космофизических факторов на динамику биомассы наваги у Западной Камчатки и возможность её долгосрочного прогнозирования на основе выявленных закономерностей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Несмотря на то, что структура популяции наваги западнокамчатского шельфа в настоящее время изучена недостаточно, большинство исследователей рассматривает ее как одну крупную группировку (Шунтов, 1985; Борец, 1997). В данной работе авторы также считали западнокамчатскую вахню единой популяцией.

Для расчета общей биомассы наваги по материалам учетных донных траловых съемок, выполненных специалистами КамчатНИРО и ТИНРО-центра в 1967–1999 гг., использовалась модификация метода площадей (Волвенко, 1998).

Для расчета среднемноголетнего размерно-возрастного ключа был определен возраст у 3016 экземпляров за период 1976–2000 гг. По этим данным определен вклад отдельных возрастных групп в биомассу промыслового запаса пересчетом их представленности в уловах на величину относительного обилия (Волвенко, 1998).

Для оценки влияния абиотических факторов на формирование биомассы западнокамчатской наваги были рассмотрены три группы абиотических предикторов разного масштаба: «атмосферная», «космическая» и «океанологическая».

«А т м о с ф е р н а я» г р у п п а

1. Значения разности атмосферного давления (в Мб) между центрами действия атмосферы в северной части Тихого океана (далее по тексту — «градиент давления»). Данный параметр вычисляли как разность между максимальным и минимальным среднемесячным давлением над северной частью Тихого океана по расчетному полю, полученному обработкой первоначальных данных геостатистическим методом (Kriging), с последующим осреднением за зимние сезоны для всего ряда лет (1962–2000 гг.).

2. Интенсивность Алеутского минимума, характеризующая направленность циклонической деятельности над акваторией северной части Тихого океана. Рассчитывалась на основании среднемесячных карт приземного атмосферного давления для интервала с января по май за период с 1962 по 2000 г. По полученным результатам вычислялась аномалия интенсивности Алеутской депрессии (АД).

« К о с м и ч е с к а я » г р у п п а

1. Числа Вольфа, являющиеся численным представлением солнечной активности за период с 1748 по 2000 гг. (Витинский и др., 1976; Герман, Голберг, 1981). Данные о числах Вольфа получены из архива Бельгийской Королевской обсерватории г. Брюсселя.

2. Геомагнитные индексы — так называемые Кр-индексы, характеризующие глобальную активность магнитного поля Земли, определяемые по данным 13 обсерваторий, расположенных

между 46° ю.ш. и 63° с.ш. каждые 3 часа (Витинский и др., 1976; Герман, Голберг, 1981). Данные за период с 1962 по 1999 гг. получены из архива Национального геофизического центра данных г. Боулдер (Колорадо, США).

«Океанологическая» группа

1. Минимальная температура холодного подповерхностного слоя (ХПС) — показатель, получаемый путем осреднения натуральных данных по пяти станциям стандартного Авачинского разреза, выполняемого ежегодно в середине июня, начиная с 1957 г. Дополнительно рассчитывалось теплосодержание слоя вод 50–200 м для всех пяти и, отдельно, для второй станции Авачинского разреза.

2. Ледовитость Охотского моря — средняя и максимальная площадь (тыс. км²) покрытия льдом акватории Охотского моря в зимний период с 1972 по 1994 гг. Данные предоставлены архивом Национального центра климатологии морских льдов (Аляска, США).

Регрессионный и множественный регрессионный анализ выполняли с использованием пакета статистических программ для ПЭВМ «Statistica 5.1.».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все вышеуказанные предикторы прямо или опосредованно оказывают влияние на биологические объекты, обитающие в морях Дальнего Востока (Жукинский, 1974; Шунтов и др., 1998; Борец, 1997). Так, в нескольких работах, посвященных исследованию жизнедеятельности морских гидробионтов, указывается на существование периодической изменчивости их численности (биомассы), совпадающей с цикличностью солнечной активности (Бирман, 1973; Васильков и др., 1980; Сафронов, 1986). Алеутская депрессия, являясь сезонным центром действия атмосферы над северной частью Тихого океана, оказывает огромное влияние на формирование гидрологических полей не только вод поверхности, но и, посредством развитой осенне-зимней конвекции, всего деятельного слоя. Формируемое таким образом в пределах шельфа и материкового склона теплосодержание вод холодного подповерхностного слоя (ХПС) сохраняется, не претерпевая существенных изменений, практически до следующего зимнего сезона. Об этом, в частности, свидетельствуют данные температуры воды стандартного Авачинского разреза (Давыдов, Куцых, 1967). Направленностью атмосферных процессов в зимний период определяется и суровость ледовых условий в Охотском и Беринговом морях.

Нерест наваги у Западной Камчатки, по нашим и литературным (Борец, 1997) данным, приурочен к холодному периоду года (январь–март). Учитывая, что влияние условий среды обитания

на морских гидробионтов максимально именно на ранних этапах онтогенеза (Жукинский, 1974), можно предположить существование связи между биомассой наваги и вышеперечисленными абиотическими факторами с соответствующим «шагом» по временной шкале. Ранее В.И. Тихоновым (1984) была установлена подобная связь для камбал с «шагом» в 7 лет. В нашем случае такой «шаг» оказался равен пяти годам — возрасту западнокамчатской наваги, на который приходится наибольшая ихтиомасса популяции (рис. 1).

При рассмотрении хода межгодовых изменений биомассы западнокамчатской наваги (рис. 2) можно выделить два достаточно отличающихся друг от друга временных промежутка. С 1967 по 1980 гг. она находилась на низком уровне. В 80-е годы начался постепенный подъем уровня биомассы наваги, продолжавшийся до второй половины 90-х годов. За это время превышение, по сравнению с 60–70-ми годами, оказалось более чем пятикратным.

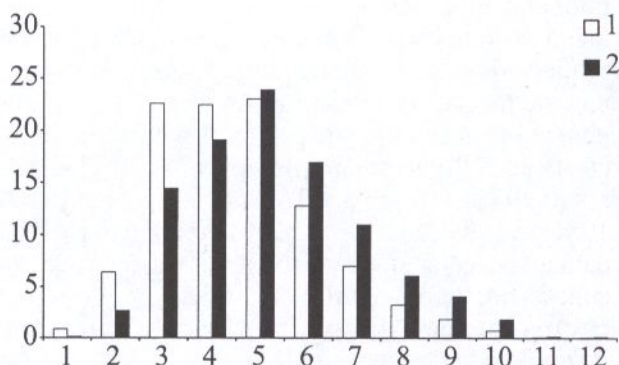


Рис. 1. Возрастной состав популяции наваги у Западной Камчатки по численности (1) и биомассе (2) по осредненным данным учетных донных траловых съемок, выполненных в 1997–1999 гг. По оси абсцисс — возраст рыб, лет; по оси ординат — количество рыб, %

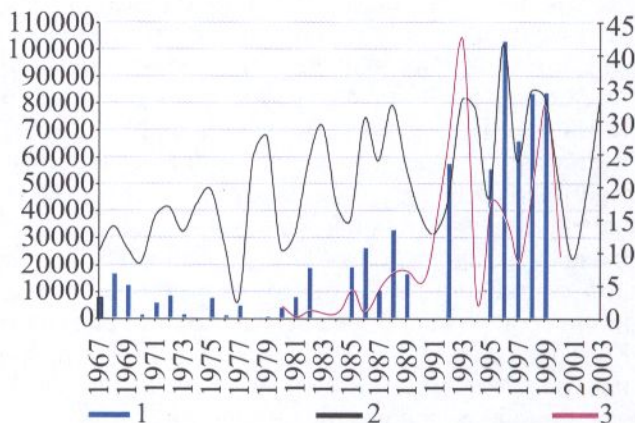


Рис. 2. Учетная (1), прогнозируемая величина биомассы (2) и фактический вылов западнокамчатской наваги (3). На оси абсцисс — годы (1967–2003 гг.); на левой оси ординат — биомасса, т; на правой — фактический вылов, тыс. т

Выполненный корреляционный анализ межгодового изменения аномалии АД и биомассы наваги не опроверг возможность существования такой связи: $r = -0,46$ при $p = 0,02$ и $n = 32$ (p — критерий достоверности, n — длина ряда). Для пары «биомасса—градиент давления» эти показатели, соответственно, равны 0,34, 0,10 и 24, т. е. недостоверны.

Проверить гипотезу о наличии квазидвадцатидвухлетней цикличности в изменении биомассы наваги, соответствующей изменению солнечных пятен, в настоящее время не представляется возможным по причине ограниченной длины исследуемого временного ряда. Возможно, поэтому выполненный корреляционный анализ не подтвердил гипотезу о существовании связи «биомасса—числа Вольфа»: при длине ряда, равной 32, $r = -0,18$ ($p = 0,32$). При сопоставлении динамики биомассы с геомагнитными индексами данные параметры оказались намного более значимыми: $r = 0,41$ при $p = 0,03$ и $n = 32$. Если предположить наличие совпадающих длиннопериодных цикличностей, о которых упоминалось выше, и попытаться исследовать внутреннюю зависимость в отдельных циклах, разбив общий ряд на две части по двадцать лет, то будут получены несколько другие результаты: для биомассы и чисел Вольфа, на отрезке от 1967 по 1980 гг., $r = -0,39$ ($p = -0,15$, $n = 16$), а для промежутка с 1981 по 1999 гг. — $r = 0,25$ ($p = 0,40$, $n = 16$). Обращает на себя внимание смена знака при коэффициентах корреляции. Возможно, это связано со столь разным уровнем биомассы наваги в анализируемые периоды.

Последний рассмотренный предиктор — «океанологический». В качестве гипотезы можно высказать предположение о возможной связи потепления в 80–90-х годах, отмечавшегося многими исследователями (Хен, 1987; Шунтов, 1991; Фигуркин, 1999), с резким увеличением биомассы западнокамчатской наваги приблизительно в этот же период. В нашем распоряжении имеются достаточно полные сведения по изменению теплосодержания слоя вод 50–200 м у Восточной Камчатки. При анализе этих данных прослеживается явная тенденция к снижению теплосодержания вод ХПС в районе восточнокамчатского шельфа из-за интенсификации процессов осенне-зимнего охлаждения. Правда, говорить о полной сопряженности гидрометеорологических процессов на западном и восточном побережьях Камчатки нельзя, но мы не имеем продолжительных рядов наблюдений для Охотского моря. Коэффициент корреляции, полученный для этих двух рядов, отрицательный и очень низкий.

Имеющиеся данные по ледовитости Охотского моря охватывают только двадцатидвухлетний период: с 1972 по 1994 гг. Их анализ указывает,

судя по уменьшению максимальной площади покрытия льдами Охотского моря, на вероятное потепление в рассматриваемый отрезок времени. Корреляционный анализ не опроверг возможности существования связи между рядами максимальной ледовитости и биомассы наваги. Коэффициент корреляции между ними оказался достаточно высоким ($r = -0,83$) и достоверным ($p = 0,002$), несмотря на малую длину ряда ($n = 11$).

Известно, что в практике биологической статистики нередки случаи, когда, в отсутствие тесной связи какого-либо признака с отдельными факторами, совокупность последних оказывает на первый достаточно сильное влияние (Дубынина, 1969). Поэтому с целью построения по возможным зависимостям уравнения связи был проведен множественный регрессионный анализ. В качестве предикторов (независимые переменные) были выбраны наиболее значимые — геомагнитные индексы и аномалии давления Алеутской депрессии. Полученный коэффициент корреляции оказался достаточно высок: $r = 0,7$, $p = 0,00$, $n = 30$. Учитывая, что расчет биомассы производился по абиотическим данным, ряды которых, по описанным выше соображениям, сдвигались на пять лет, появилась возможность произвести упреждающий расчет (прогноз) с заданной заблаговременностью. Полученная в результате формула связи величины биомассы, геомагнитного индекса и аномалии АД имеет вид:

$$B = 17981,67 + 2000,79 \cdot G - 5258,59 \cdot A,$$

где B — биомасса наваги, т; G — геомагнитный индекс; A — аномалия АД ($r = 0,7$, $p = 0,00$, $n = 30$).

Спрогнозированные с помощью вышеуказанного уравнения величины биомассы практически совпадают с цифрами, полученными в результате прямого учета в последние годы. Значительные ее колебания могут быть следствием как значительных флуктуаций промыслового пресса на популяцию, так и статистической ошибки вследствие использования в расчетах неполного ряда данных по биомассе (рис. 2).

Рассчитанная кривая биомассы указывает на тенденцию к снижению ее уровня вплоть до 2001 г. Лишь в 2003 г. эта величина будет сопоставима с 1998–1999 гг. (80–85 тыс. т).

Для построения уравнения связи на основе множественного регрессионного анализа был использован и другой набор предикторов: максимальная ледовитость Охотского моря и аномалия давления АД. В этом случае длина используемых в анализе рядов определялась по совпадающим значениям имеющихся данных. В результате их протяженность сократилась ($n = 11$) и был получен высокий коэффициент множественной корреляции ($r = 0,9$, $p = 0,00$). Однако данные по ле-

довитости, имеющиеся в нашем распоряжении, ограничены 1994 г., что препятствует возможности прогнозирования величины биомассы наваги на будущее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлена связь биомассы наваги с геомагнитными индексами и аномалией давления Алеутской депрессии, что позволило осуществить прогноз запаса наваги на пять лет вперед. Выявленная тенденция позволяет говорить о снижении биомассы западнокамчатской наваги вплоть до 2001 г. Лишь к 2003 г. ее величина будет сопоставима с уровнем 1998–1999 гг.

Этот прогноз хорошо согласуется с имеющейся информацией. По данным донной траловой съемки, выполненной одним из авторов в июле–августе 2000 г. у Западной Камчатки, учтенная биомасса наваги составила 37,1 тыс. т, т. е. минимальную величину за последнее десятилетие. При этом количество годовиков достигало 84% (268 млн шт.) от численности всех особей, значительно превышая этот показатель в предыдущие годы, что свидетельствует о благоприятных условиях для воспроизводства вида в 1999 г. Таким образом, эти рыбы в 2003 г. достигнут 4-годовалого возраста и будут иметь существенное значение в биомассе западнокамчатской популяции в этом и 1–3 последующих годах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бирман И.Б. 1973. Гелиогидробиологические связи как основа для долгосрочного прогнозирования запасов промысловых рыб (на примере лососей и сельди) // *Вопр. ихтиологии*. Т. 13. Вып. 1 (78). С. 23–37.

Борец Л.А. 1997. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение // Владивосток: ТИНРО-центр. 217 с.

Витинский Ю.И., Оля А.И., Сазонов Б.И. 1976. Солнце и атмосфера Земли. // Л.: Гидрометеиздат. 351 с.

Васильков В.П., Чупышева Н.Г., Колесова Н.Г. 1980. О возможности прогнозирования уловов дальневосточной наваги в Японском море по циклам солнечной активности // *Вопр. ихтиологии*. Т. 20. Вып. 4. С. 606–614.

Волвенко И.В. 1998. Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловой съемки. *Изв. ТИНРО-центр*. Т. 124. С. 473–500.

Герман Дж. Р., Голберг Р.А. 1981. Солнце, погода и климат. Перевод с англ. Оля А.И. и Цветкова А.В. Л.: Гидрометеиздат.

Давыдов И.В., Куцых А.Г. 1967. Температура ядра холодного промежуточного слоя как прогностический показатель термического состояния вод, прилегающих к Камчатке. *Изв. ТИНРО*. Т. 61. С. 301–318.

Дементьева Т.Ф. 1976. Биологическое обоснование промысловых прогнозов. М.: Пищ. пром-сть. 236 с.

Дубынина В.Г. 1969. Использование множественной корреляции для прогноза промыслового возврата донского судака // *Тр. ВНИРО*. Т. 67. С. 357–361.

Жукинский В.Н. 1974. Влияние абиотических факторов на разнокачественность и жизнеспособность рыб в раннем онтогенезе // М.: Агропромиздат. 248 с.

Сафронов С.Н. 1986. Экология дальневосточной наваги ... шельфа Сахалина и Южных Курильских островов // Автореф. дис.... канд. биол. наук. Владивосток.: ДВНЦ АН СССР. 24 с.

Тихонов В.И. 1984. Численность поколений желтоперой лиманды *Limanda aspera* (Pallas) (Pleuronectidae) // *Вопр. ихтиологии*. Т. 24. Вып. 2. С. 198–203.

Толстяк А.Ф. 1990. Влияние некоторых факторов среды на численность поколений камчатской наваги // *Биол. ресурсы шельфовых и окраинных морей*. М.: Наука. С. 148–155.

Фигуркин А.Л. 1999. Мониторинг ранневесенних океанологических условий вод шельфа Охотского моря // Тезисы докладов XI конференции по промысловой океанологии. Калининград. 14–18 сентября 1999 г. С. 51.

Хен Г.В. 1987. Межгодовые изменения температуры воды в юго-восточной части Берингова моря и ее роль в колебании урожайности восточноберинговоморского минтая // Владивосток: ТИНРО. С. 209–220.

Шунтов В.П. 1985. Биологические ресурсы Охотского моря // М.: Агропромиздат. 224 с.

Шунтов В.П. 1991. Губительно ли глобальное потепление для биологических ресурсов Берингова моря // *Рыбн. хоз-во*. № 9. С. 27–30.

Шунтов В.П., Борец Л.А., Дулепова Е.П. 1998. Некоторые результаты экосистемных исследований биологических ресурсов дальневосточных морей // *Изв. ТИНРО*. Т. 111. С. 3–26.