

# ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ НЕРЕСТА ШПРОТА НА ЕГО ПРОМЫСЛОВЫЕ ЗАПАСЫ

В.С. Латун

Морской гидрофизический институт  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: lee@alpha.mhi.iuf.net

Для использования в разрабатываемой эколого-экономической модели системы «биогены – фитопланктон – кормовой зоопланктон – анчоус – ставрида – шпрот – промысел этих рыб» предложена математическая форма учёта условий, которые влияют на результаты нереста шпрота и его промысловые запасы.

**Введение.** Экспериментальная база и доступный математический инструментарий не позволяют создать теорию экосистемы определённой морской акватории. В лучшем случае удаётся предложить математическую модель функциональных зависимостей между основными компонентами системы и в параметрической форме учесть влияние части второстепенных факторов. Модель переходит в категорию эколого-экономических моделей, если в ней формализованы процессы хозяйственного использования морских ресурсов. Основная задача таких моделей – давать определенные прогнозы относительно результатов природных и антропогенных воздействий на экосистему и соответственно планировать хозяйственную деятельность.

Хищническая эксплуатация биологических ресурсов Чёрного моря привела в недалёком прошлом к коллапсу численности дельфинов и промысловых запасов многих пелагических рыб (пелагида, скумбрия, ставрида, хамса и др.) [1]. В результате среди пелагических рыб на первое место по суммарной биомассе вышел шпрот. Использование новых способов лова позволяет быстро увеличить промысловое изъятие шпрота, что повышает вероятность опасного перелова. На предыдущей стадии развития модели системы «биогены – фитопланктон – кормовой зоопланктон – анчоус – ставрида – шпрот – промысел этих рыб» нами был формализован как летний лов

половозрелого шпрота из его дневных придонных скоплений на СЗШ, так и вылов молоди шпрота во время её осенней миграции [2, 3]. Для этого в модель были включены новые уравнения о пространственно-временной изменчивости удельной биомассы размерно-возрастных групп объектов промысла и об их вылове в соответствующие промысловые сезоны. Модель адаптирована к условиям тёплого времени года на акватории СЗШ. Нерестится шпрот зимой за пределами этой акватории.

Цель данной работы – для разрабатываемой модели предложить способ учёта влияния условий нереста шпрота на его урожайность и промысловые запасы.

**Физиолого-этологические особенности черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus*).** Формализованная концептуальная схема учитываемых функциональных зависимостей между компонентами биоценоза и факторами влияния в моделируемой системе разрабатывается автором в течение ряда лет. За непростой задачей выбора вида необходимых уравнений следует проблема задания параметров этих уравнений. Существование данной проблемы обусловлено нехваткой натуральных данных для количественной формализации функциональных зависимостей между компонентами моделируемой системы. В лучшем случае известны, например, лабораторные данные о зависимости интенсивности питания конкретного вида рыбы от температуры воды. Приходится пользоваться трудоёмким эвристическим методом, то есть, задавая правдоподобный вид неизвестной зависимости, в процессе вычислительных экспериментов последовательным перебором значений коэффициентов настраивать базовый вариант модели на адекватное функционирование.

Трудности включения шпрота в разрабатываемую модель вызваны тем, что этот холодолюбивый планктонофаг по своим физиолого-этологическим характеристикам существенно отличается от теплолюбивых ставриды (*Trachurus mediterraneus ponticus*) и хамсы (*Engraulis encrasicolus ponticus*). Нагул и нерест теплолюбивых рыб совершаются летом



на СЗШ, главный промысел – в холодное время года на акваториях зимовальных скоплений.

Нагул и вылов холодолюбивого шпрота происходят на СЗШ летом, основной нерест – в открытом море зимой, когда шпрот продолжает интенсивно питаться. Во время нереста на урожайность шпрота влияют следующие факторы: 1. Погодные условия. 2. Изменения рациона. 3. Пресс хищников.

Элиминация шпрота разных возрастных групп происходит и во время его сезонных миграций. Для возможности с помощью модели получить адекватные рекомендации по регулированию вылова шпрота на СЗШ, необходимо количественно оценить суммарное влияние перечисленных факторов и учесть его в начальных и граничных условиях модели.

**Погодные условия.** Основной нерест происходит порционно в зимние месяцы на обширных акваториях открытого моря, где шпрот не образует плотных промысловых скоплений.

Нерестится шпрот днём на глубине 30 – 70 м, ночью для питания поднимается в приповерхностные воды. Нижней температурной границей нереста шпрота и развития его личинок служит изотермическая поверхность 5° С, верхней – 12° С, наиболее благоприятная температура – около 7 – 8° С. На рацион нерестующего шпрота и выживаемость его личинок во время их желточного питания отрицательно влияет холодная штормовая погода, когда течения, волновые движения и термическая конвекция вод проникают на значительную глубину.

В январе центр западного циклонического круговорота течений смещается в СВ направлении. В его центральной части благоприятные температурные условия для нереста шпрота наблюдаются на глубине около 50 м (рис. 1). На этой акватории более устойчива стратификация вод пикноклина [4]. Над куполом пикноклина происходит интенсивное развитие кормового планктона [5]. При СВ ветрах высота волн здесь сравнительно невелика, поскольку сокращается длина их разгона и Крымские горы уменьшают среднюю скорость ветра.

Тёплая, дождливая, маловетренная погода, при которой увеличивается устой-

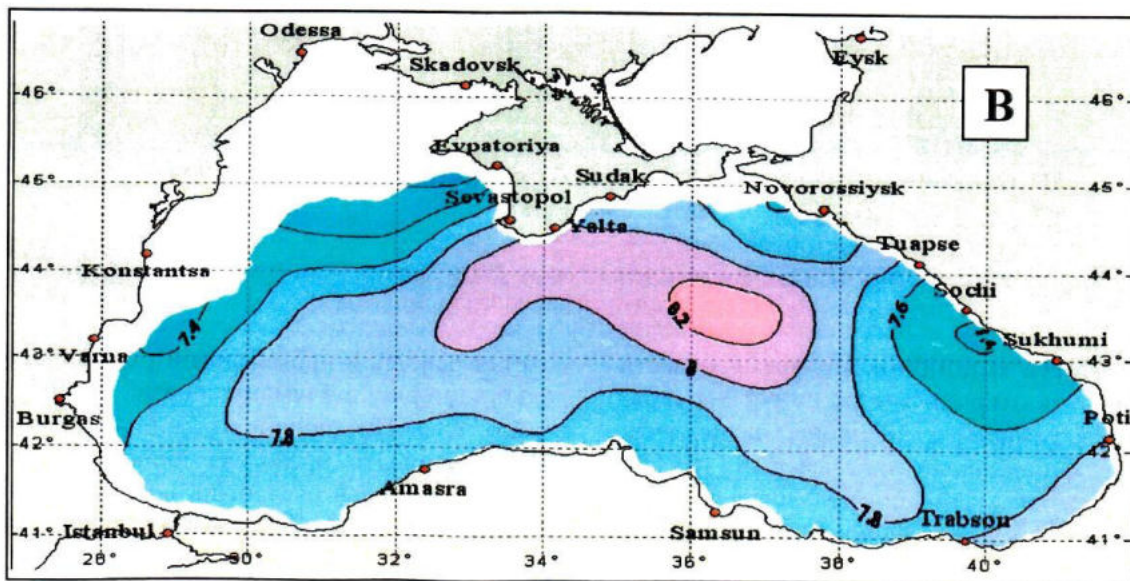
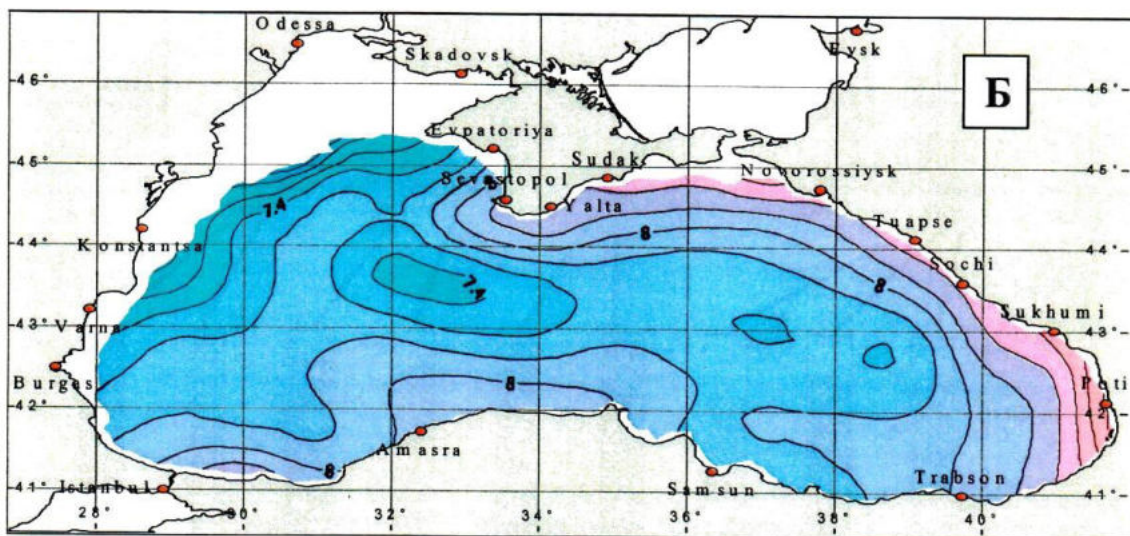
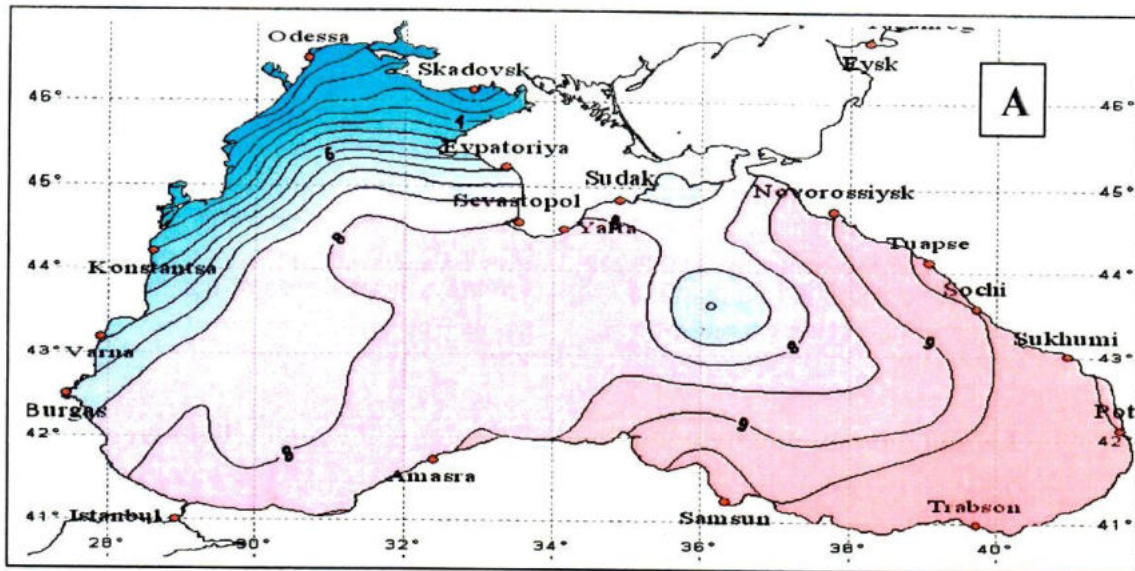
чивость вертикальной стратификации вод, наиболее благоприятна для выживания личинок и молоди шпрота.

Базовый вариант модели можно приблизить к имитации реальных экологических процессов, если использовать среднемесячные карты распределения гидрометеорологических характеристик. Океанологические условия изменяются медленнее метеорологических, поэтому отладку базового варианта можно производить по данным атласов [6, 7]

**Рацион шпрота.** Невелико число видов зоопланктона, потребляемых шпротом. Холодолюбивая пелагическая копепода *Calanus euxinus* (Hulsemann, 1991) является ключевым компонентом черноморской пелагической экосистемы и занимает особое место в рационе шпрота благодаря своим пищевым качествам и большой биомассе. Все стадии развития этой копеподы проходят сравнительно быстро, так что в течение одного года может сформироваться несколько генераций. Находясь на поздней копеподитной стадии, эти рачки проводят зимние месяцы на значительных глубинах, весной становятся половозрелыми и начинают размножаться [8].

Ночью *C. euxinus* концентрируется в приповерхностном слое вод, днём распределяется в более глубоких водах. Суточные вертикальные миграции шпрота позволяют ему ночью, избегая прессы дельфинов, питаться более результативно. Во все сезоны года на открытых акваториях Чёрного моря биомасса этой копеподы превышает суммарную биомассу всех остальных видов кормового зоопланктона. Даже среднегодовая доля *C. euxinus* в рационе шпрота наглядно коррелирует с биомассой пополнения и с последующим увеличением биомассы нерестового стада (рис 2) Ярким примером этой зависимости служат экологические условия 1998 года, когда шпрот питался исключительно копеподой *C. euxinus* и его урожайность была рекордной при средней биомассе нерестующих рыб. Среди нерестующего шпрота преобладали двухлетки, с соответствующим лагом увеличилась его биомасса [9]. В те годы вылов шпрота ещё не оказывал существенного влияния на возрастную структуру и биомассу нерестового стада.



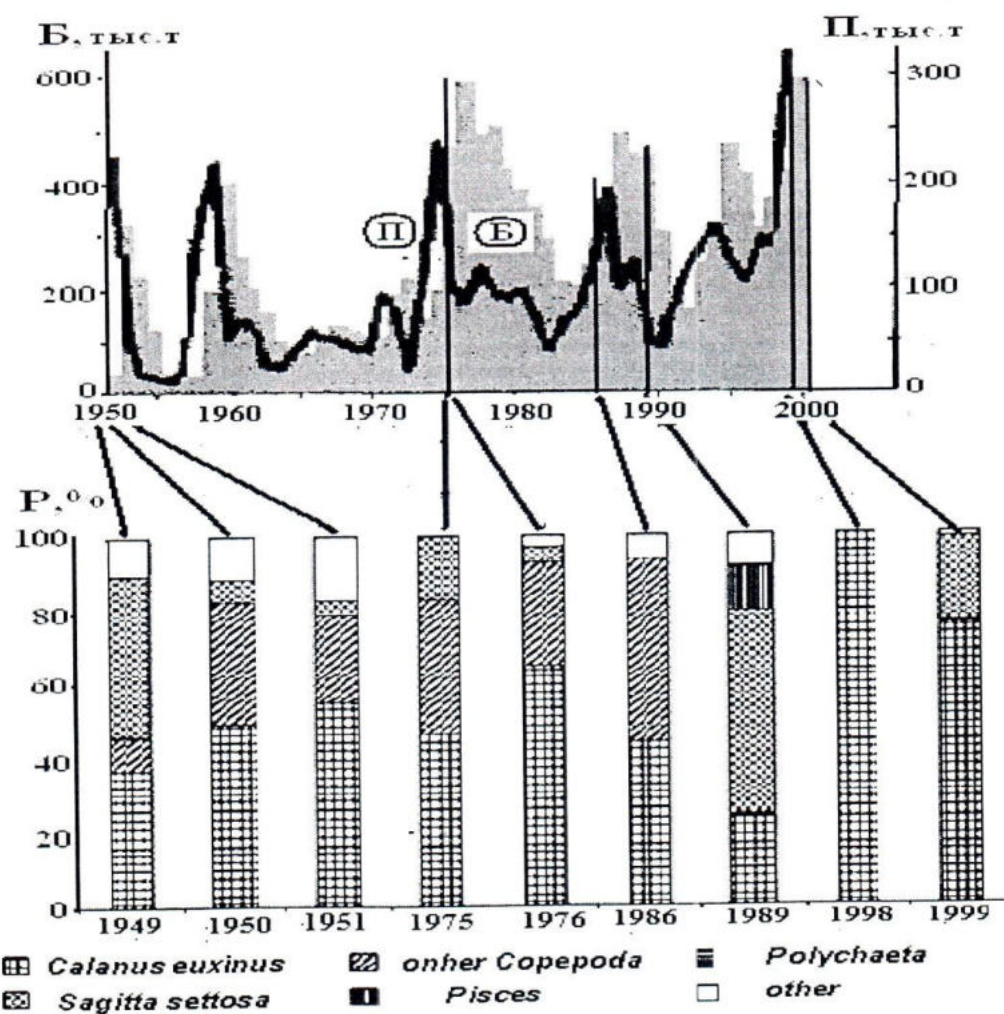


Р и с. 1. Распределение среднемесячной температуры воды в январе на поверхности моря (А) и на глубинах 50 м (Б) и 75 м (В)



На формирование биомассы пополнения влияют многие факторы. Для выживания личинок шпрота, на глубине нереста должно находиться нужное количество мелкого холодлюбивого планктона определённых видов. Актуальная задача – выполнить необходимые натурные измерения во всём слое суточных вертикальных миграций шпрота в местах его нереста. Такие измерения

позволят ответить на следующий вопрос: если в данном месте ухудшились условия питания нерестующих рыб или условия развития икры и личинок, будет ли косяк шпрота для следующего порционного икрометания искать другое место, где оба эти условия оптимальны? Ответ на этот вопрос даст возможность уточнить искомое соотношение «пополнение – вылов».



Р и с. 2. Зависимость биомассы нерестового стада шпрота (Б) и его пополнения (П) от изменчивости рациона шпрота (Р) [9]

**Пресс хищников.** Во время нереста зимой в открытом море шпрот – основной компонент рациона дельфинов. Дельфинобойный промысел в 1953 – 1983 годы уменьшил поголовье дельфинов с 2 – 2,5 млн. до 50 – 100 тысяч. Промысловые запасы шпрота в это время постоянно увеличивались и в 1986 году превысили 1 млн. т. [10]. Шпрот

стал основной промысловой рыбой Чёрного моря, придуманы новые способы его лова. Интенсивность и техническая оснащённость промысла шпрота с тех пор значительно возросли, но в научных публикациях отсутствуют количественные данные о суммарном вылове шпрота и о промысловом изъятии рыб основных возрастных групп.

Для молоди шпрота (сеголетки, годовики) температура воды – не столь жесткий лимитирующий фактор, молодь обитает и мигрирует в более тёплых водах и поэтому испытывает дополнительный пресс естественных хищников (ставрида, птицы и др.).

**Нерест и сезонные миграции.** Основной нерест шпрота происходит в декабре – марте, когда небольшие косяки порционно нерестующего шпрота рассеяны на сравнительно большой акватории. Шпрот старших возрастных групп осенью первым уходит на глубоководную акваторию, весной первым возвращается на СЗШ.

Натурные данные об условиях нереста и миграций основных разновозрастных групп шпрота, нужны для применения модели в качестве одного из инструментов рационального использования рыбных ресурсов. В модели предусмотрена возможность усвоения таких данных, для получения которых необходимо на новом организационном и техническом уровне возобновить работу промразведки.

При разработке базового варианта модели приходится учитывать эти факторы в общем виде, при отладке программы – задавать их среднегодовые или вероятные значения.

**Формализация факторов влияния.** Для факторов влияния характерна их большая пространственно-временная изменчивость в широком диапазоне масштабов. Точность учёта влияния этих факторов на изменчивость биомассы шпрота зависит от пространственно-временного «окна осреднения» значений выбранных характеристик и обеспеченности соответствующими натурными данными.

Основные экологические процессы изменяются медленнее, чем вызвавшие их метеорологические условия. Поэтому в базовом варианте модели изменчивость условий нереста можно представить в виде суммы их среднемесячных значений и поправок на особенности погодных условий конкретного месяца.

Во время нереста шпрот продолжает интенсивно питаться. В течение этих четырёх месяцев биомасса нерестующего шпрота ( $F_1$ ) может пополняться за

счёт питания ( $N_{F1}$ ) и уменьшается вследствие образования генеративной продукции ( $G_{F1}$ ) [11], естественной элиминации ( $E_{F1}$ ), неблагоприятных погодных условий ( $R_{F1}$ ) и пресса дельфинов ( $D_{F1}$ ):

$$F_1 = (F_1)_0 \left[ 1 + \sum_{n=1}^4 (N_{F1} - G_{F1} - E_{F1} - R_{F1} - D_{F1})_n \right] \quad (1)$$

где  $(F_1)_0$  – биомасса шпрота, пришедшего на акваторию нереста к началу декабря.

Основу нерестового стада составляют двухлетки, биомасса мигрирующей осенью молоди ( $F_2$ ) может достигать 30% от общей биомассы мигрирующего осенью шпрота, уходящего с СЗШ ( $F_a$ ). Пресс хищников ( $P_{F2}$ ) и браконьерский вылов сеголеток молоди пелагическими тралями ( $C_{F2}$ ) во время их осенней миграции [2] необходимо было учесть в модели. В свою первую зиму старшая подгруппа годовиков начинает участвовать в нересте, который продолжается более четырёх месяцев, но её вклад в биомассу пополнения сравнительно невелик. В зимние месяцы не исключен пресс дельфинов на молодь шпрота.

$$F_2 = (F_a - C_{F2} - P_{F2})_0 * \left[ 1 + \sum_{n=1}^4 (N_{F2} - E_{F2} - R_{F2} - D_{F2})_n \right] \quad (2)$$

На формирование пополнения и увеличение его биомассы влияют многие факторы. На выживание личинок шпрота во время их желточного питания основное влияние оказывают движения вод, на следующих стадиях развития лимитирующим фактором является обеспеченность мелкими формами кормового планктона.

Мальки постепенно увеличивают свою активность в поисках благоприятных условий, при этом, вероятно, возрастает и пресс хищников. Формализация этих факторов в общем виде позволит включить их в модель и путём вычислительных экспериментов имитировать результаты влияния вероятных благоприятных и неблагоприятных эко-



логических условий на биомассу пополнения.

Труднее формализовать итоговую урожайность шпрота, количественно оценить биомассу сеголеток, приходящих весной на СЗШ ( $F_3$ ). Дополнительно

$$F_3 = a(F_1)_0 \left\{ 1 + \sum_{n=1}^4 [f_a(N_{F1}) - f_b(G_{F1}) - f_c(E_{F1}) - f_d(W, T) - f_e(D_{F1})]_n \right\} - f_f(Tr_{F3}) \quad (3)$$

где  $f$  – соответствующие функции влияния,  $W$  – скорость ветра,  $T$  – температурная стратификация вод,  $Tr$  – концентрация ставриды во время весенней миграции сеголеток шпрота. Суммирование проводится по четырём основным месяцам нереста шпрота.

В связи с происходящим изменением климата, в базовом варианте модели для конкретизации функции  $[f_d(W, T)]_n$  нежелательно пользоваться устаревшими данными. За последние 10 лет над Чёрным морем суровые зимы не наблюдались, отмечены 2 умеренно тёплые зимы и 8 мягких зим. По этим факторам средние за десятилетие условия нереста шпрота были благоприятнее среднепогодных условий.

**Развитие модели.** Для достоверного воспроизведения моделью динамики промысловых запасов шпрота, необходимо предусмотреть: 1. Усвоение в модели реальных данных о вылове половозрелого шпрота и его молоди. 2. Адекватную оценку биомассы сеголеток, приходящих весной на СЗШ.

Способы и сроки лова половозрелого шпрота и его молоди различны и это формализовано на предыдущей стадии развития модели [3]. Но результативность лова зависит от многих изменчивых и малоизвестных факторов, например от технических характеристик флота и логистики промысла. Поэтому усвоение конкретных данных позволит корректировать работу модели.

В общем виде зависимость биомассы сеголеток от основных экологических условий формализована в данной работе уравнением (3). Использование средне-

месячных значений экологических характеристик в данном случае не является существенным недостатком. Поскольку экзогенные факторы влияния отличаются большой изменчивостью, такой подход, казалось бы, может привести к нежелательному сглаживанию результатов. Но в зимний период шпрот нерестится много раз, личинки шпрота развиваются достаточно быстро. Каждое порционное икротетание шпрота происходит в несколько отличных условиях, что приводит к неодинаковому выживанию личинок и к сглаживанию итоговых величин урожайности. Так работает естественный механизм осреднения, путём порционного нереста предохраняющий популяцию шпрота от последствий отдельных икротетаний в неблагоприятных условиях. Направленность модельного осреднения совпадает с направленностью естественного осреднения, что в результате уменьшает возможную погрешность моделирования.

При использовании в оперативной работе результатов дистанционных измерений состояния поверхности моря, можно в уравнение (3) вводить поправки на экстремальные значения экзогенных факторов влияния.

Зимой центральная часть западной антициклонической циркуляции вод расположена сравнительно близко к СЗШ, месту летнего нагула шпрота и его промысла. Например, благоприятные условия для нереста шпрота наблюдаются на акватории, в январе ограниченной изотермой  $7,6^\circ\text{C}$  на глубине 50 м (рис. 1), а купол пикноклина залегает глубже [7]. Площадь этой акватории достаточно велика для того, чтобы на ней нерести-



лись все косяки шпрота, пришедшего с СЗШ. В зимний период местоположение акватории нереста может несколько изменяться, но если выделить большую акваторию с жидкими границами, в её пределах можно использовать эколого-математическую модель во все месяцы основного нереста шпрота. Для адаптации этой модели к реальным условиям и её применения при регулировании вылова шпрота, потребуются соответствующие натурные данные. Можно запрограммировать автоматическое использование результатов работы этой сравнительно простой модели в работе с гораздо более сложной эколого-экономической моделью процессов на СЗШ в тёплое время года.

**Заключение.** Для использования в разрабатываемой автором эколого-математической модели системы «биогены – фитопланктон – кормовой зоопланктон – анчоус – ставрида – шпрот – промысел этих рыб» формализован способ учёта влияния условий зимнего нереста и сезонных миграций шпрота на его урожайность и промысловые запасы.

Предложены уравнения для биомассы нерестующего шпрота, биомассы молоди и биомассы пополнения. Адекватная оценка последствий неконтролируемого вылова сеголеток во время их осенней миграции может стать решающим доводом к безусловному запрету этой преступной практики.

Для использования разрабатываемой модели в качестве инструмента управления рыбным промыслом, необходимо на новом организационном и техническом уровне возобновить работу промысловой разведки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Латун В.С.* Влияние рыбного промысла на устойчивость экосистемы Черного моря. // Устойчивость и эволюция океанологических характеристик экосистемы Черного моря. / Под ред. В.Н. Еремеева, С.К. Коновалова. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2012. – С. 331 – 353
2. *Латун В.С.* Формализация влияния экологических факторов на размерно-возрастную структуру популяции черноморского шпрота // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2013. – Вып. 19. – С. 238 – 242.
3. *Латун В.С.* Влияние летней миграции шпрота и его вылова на экосистему северо-западного шельфа Чёрного моря // Морской гидрофизический журнал. 2013. – № 5. С. 83 – 95.
4. *Латун В.С.* Механизм зимней интенсификации циклонических круговоротов вод // Процессы формирования и внутригодовой изменчивости гидрофизических и гидрохимических полей Чёрного моря. Севастополь: Мор. гидрофиз. ин-т АН УССР, 1988. С. 5–16.
5. *Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шуликша В.А.* Экосистема Чёрного моря. – М.: Наука, 1992. – 112 с.
6. *Black Sea Geographic Information System.* BSEP, 1997. – CD version 2.0.
7. *Eremeev V.N., Suvorov A.M., Khaliulin A.Kh., Belokopytov V.N., Godin E.A., Ingerov A.V.* Oceanographic characteristics of the Black Sea: Data base and Digital atlas. – Sevastopol: NOAA – ESDIM, 2003. – CD version.
8. *Парсонс Т.Р., Такахаши М., Харгрейв Б.* Биологическая океанография. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. – 432 с.
9. *Латун В.С.* О промысле шпрота на СЗ шельфе Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2013. – Вып. 19. – С. 243 – 246.
10. *Латун В.С.* Использование эколого-экономических моделей экосистемы Чёрного моря для управления рыбным промыслом // Морские ресурсы прибрежной зоны Украины. Под ред. акад. НАНУ П.Ф. Гожики, акад. НАНУ В.А. Иванова. / НАН Украины, Морской гидрофизический институт. – Севастополь, 2012. – С. 277 – 292.
11. *Шульман Г. Е., Урденко С. Ю.* Продуктивность рыб Чёрного моря. – Киев: Наук. думка, 1989. – 188 с.
12. *Виноградов К. А., Розенгурт М. Ш., Толмазин Д. М.* Атлас гидрологических характеристик северо-западной части Черного моря (в рыбопромысловых целях). – Киев: Наукова думка, 1966. – 96 с.