

УДК 597.552.1(282.257.5)

Е.В. Островская*

Хабаровский филиал Тихоокеанского научно-исследовательского
рыбохозяйственного центра,
680028, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ АМУРСКОЙ ЩУКИ *ESOX REICHERTII*

Проанализированы архивные данные Хабаровского филиала ТИНРО-центра по вылову частичковых видов рыб в р. Амур с 1937 г. С использованием множественного регрессионного и дисперсионного анализа выявлены основные факторы, оказывающие наибольшее влияние на состояние запасов и уловов амурской щуки *Esox reichertii*. Описана зависимость ее уловов в данном году от уровня воды с июня по сентябрь и уловов в предшествующем году, а также от июньского уровня воды в год промысла. Совместным влиянием трех данных факторов объяснимо около 80 % изменчивости уловов. Показано, что причины уменьшения запасов и вылова амурской щуки, начавшегося в прошлом веке, связаны с изменением режима водности р. Амур. Предложен способ восстановления запасов в условиях низкой водности.

Ключевые слова: динамика численности, уловы, уровень воды, имитационное моделирование, *Esox reichertii*.

Ostrovskaya E.V. Causes of changing stock of the Amur pike *Esox reichertii* // *Izv. TINRO*. — 2017. — Vol. 189. — P. 67–73.

Retrospective data on catches of fine-mesh fishes in the Amur collected by Khabarovsk branch of the Pacific Fish. Res. Center (TINRO) since 1937 are analyzed. The main factors influencing on stock and catches of the Amur pike *Esox reichertii* (Dybowski, 1869) are revealed by methods of multiple regression and variance analyses, as the water level and preceding withdrawal by fishery. Dependence of the pike annual catch on these factors in preceding year (annual landing and the water level in June–September) and in current year (the water level in June) describes about 80 % of the catches variation. The tendency to both stock and landings decreasing since in the late 20th century is caused by the Amur water regime change. Ways of the stock recovery in conditions of low water level are discussed.

Key words: fish stock dynamics, catch, water level, simulation technique.

Введение

Исследование динамики численности живых организмов — ключевая проблема экологии, в особенности актуальная в отношении видов, эксплуатируемых человеком. Рациональное ведение промысла рыб немислимо без знания причин изменчивости их численности. Среди промысловых жилых рыб р. Амур главное место в промысле занимают рыбы, откладывающие икру на растительность (фитофилы).

Известно, что уловы рыб этой группы значительно возрастали после лет с высокими уровнями воды в Амуре (Вронский, 1965; Крыхтин, 1975; Семенченко, 2008). Во время

* Островская Елена Владимировна, научный сотрудник, e-mail: ostrovkhv@rambler.ru.
Ostrovskaya Elena V., researcher, e-mail: ostrovkhv@rambler.ru.

разлива реки увеличивается площадь нерестилищ, на хорошо прогреваемых мелководьях создаются благоприятные условия для выживаемости личинок и роста молоди рыб (Никольский, 1974). Несмотря на то что наличие связи численности рыб с уровнем воды не вызывает сомнений, характер данной связи не описан — не установлена ни ее форма, ни теснота.

В середине прошлого века при относительно стабильном промысловом усилии произошло резкое падение уловов всех амурских видов пресноводных рыб, которые, несмотря на рыбоохранные мероприятия, не восстановились до сих пор. Несомненно, при высокой интенсивности промысла вылов отражает состояние запаса, что позволяет делать вывод о его снижении. Для выявления причин данного явления необходимо выявить факторы, влияющие на запас, на примере изменчивости уловов.

Один из представителей рыб фитофильной группы — амурская щука *Esox reichertii*. В промысловом отношении это наиболее востребованный вид пресноводных рыб р. Амур. Ее вылов в период 1937–2016 гг. составлял в среднем 13,70 % (2,75–37,33 %) от объема вылова всех пресноводных рыб. Максимальный улов щуки был зарегистрирован в 1961 г. — 3384,1 т. В 60-е гг. прошлого века ее уловы, как и прочих промысловых видов рыб р. Амур, значительно уменьшились и до настоящего времени находятся на низком уровне. В последние 10 лет среднегодовой улов щуки составлял всего 125,4 т.

Цель работы — попытаться выявить основные факторы, влияющие на уловы пресноводных рыб Амура, описать форму и тесноту их связи с уловами на примере одного из самых востребованных объектов частикового промысла — амурской щуки.

Материалы и методы

В работе использованы архивные данные Хабаровского отделения ТИНРО-центра по вылову частиковых видов рыб и гидрометеорологическим условиям в районе Среднего Амура. Используемые в работе методы множественного регрессионного и дисперсионного анализа приведены в справочной литературе (Афифи, Эйзен, 1982; Поллард, 1982; Дрейпер, Смит, 2007; и др.). Коэффициенты уравнений подбирали итерационными методами, реализованными в программе Nonline пакета прикладных программ SYSTAT (Wilkinson et al., 1992). Значения факториальных переменных нормированы (доля от максимума). Графики и диаграммы выполнены в среде Microsoft Office Excel.

Результаты и их обсуждение

Естественная динамика запаса щуки, как и любого другого вида, напрямую отражается в уловах при их достаточной интенсивности. После 1964 г. (рис. 1) при относительно постоянном промысловом усилии уловы упали более чем на порядок (в 1937–1964 гг. годовой улов в среднем составлял около 1727 т, в 1965–2013 гг. — около 114 т), что свидетельствует об уменьшении запаса.

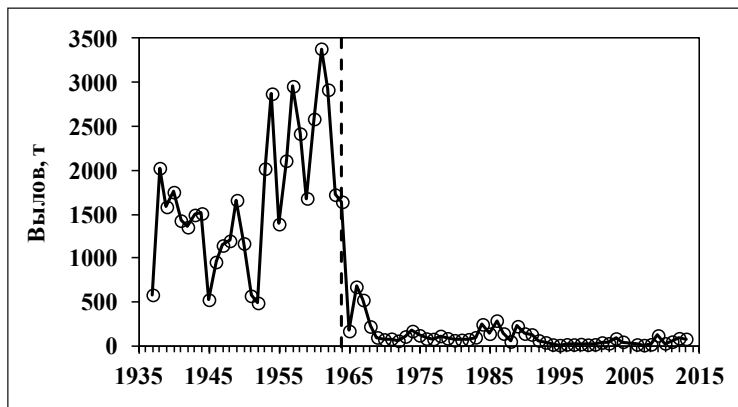


Рис. 1. Динамика вылова амурской щуки. Вертикальная линия — граница разделения периодов высоких и низких уловов

Fig. 1. Dynamics of the Amur pike annual landings. Periods of high and low catches are divided by a vertical line

Чтобы выяснить причины снижения уловов и запаса щуки после 1964 г., необходимо определить факторы, которые оказывали наибольшее влияние на вылов в пред-

шествующий период. Улов зависит от многих факторов, включая их взаимодействие, поэтому для выявления причин изменчивости улова использовали множественный регрессионный анализ.

Из числа имеющихся в нашем распоряжении факторов улов щуки в данном году оказался наиболее тесно связан с уровнем воды в июне-сентябре предшествующего года (рис. 2; табл. 1, уравнение 1).

Рис. 2. Зависимость уловов амурской щуки в данном году от среднего значения нормированных уровней воды в июле-сентябре предшествующего года

Fig. 2. Dependence of the Amur pike annual landings on mean normalized water level in July-September of preceding years

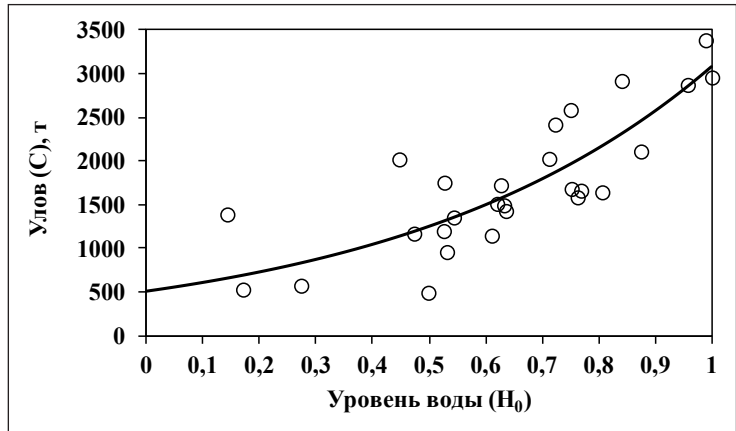


Таблица 1

Последовательность построения модели, описывающей динамику вылова амурской щуки (C, т) в 1937–1964 гг.

Table 1

Algorithm of the model development for describing of the Amur pike landings (C, t) dynamics in 1937–1964

№ п/п	Уравнение	Фактор и значимость его включения в модель
1	$C = a \cdot \exp(b \cdot H_0)$	H_0 , среднее значение нормированных уровней воды в июле-сентябре предшествующего года
2	$D_1 = a \cdot \exp(b \cdot C_0)$ $C = a \cdot \exp(b \cdot H_0 + c \cdot C_0)$	C_0 , нормированный улов щуки в предшествующем году ($F = 6,44; P_F < 0,05$)
3	$D_2 = a \cdot \exp(b \cdot H)$ $C = a \cdot \exp(b \cdot H_0 + c \cdot C_0 + d \cdot H)$	H , нормированный уровень воды в июне в год лова ($F = 4,65; P_F < 0,05$)

Наличие связи в данном случае может быть обусловлено влиянием условий нагула в год, предшествующий промыслу. Чем больше уровень воды, тем большая площадь речной поймы залита водой. Именно залитая пойма является основным местом нагула как молоди щуки, так и большинства видов жилых рыб Амура, ее потенциальных жертв (Никольский, 1974). Молодь многих видов амурских рыб во время разлива распределяется по залитой водой территории, где в условиях хорошего прогрева и богатой кормовой базы быстро растет, что благоприятно сказывается на выживаемости и росте, в том числе щуки. Уже в возрасте 1+ лет (особенно осенью) она достигает размеров, доступных для облова промысловыми орудиями. Факт уязвимости для промысла щук в возрасте 1+ лет подтверждается результатами анализа промысловых уловов.

Значение скорректированного коэффициента детерминации (R^2_c) уравнения 1 (табл. 1) составило 0,692, уравнение с высокой вероятностью значимо ($F = 56,14; P < 0,01$, табл. 2).

Отклонения значений улова, рассчитанных по уравнению 1 (D_1 , см. табл. 1), от эмпирических значений оказались статистически значимо ($F = 4,62, P < 0,05$, табл. 3) связанными с уловами щуки в предшествующем году (C_0). Данная связь, вероятно, объяснима тем, что улов прошлого года отражает уровень промысловой части запаса и численности молоди, которая, как мы отмечали выше, в возрасте 1+ лет составляла часть улова. С другой стороны, запас прошлого года не может быть полностью подорван за один промысловый сезон, часть рыб облавливается и в последующие годы.

Таблица 2
Значения коэффициентов и результаты дисперсионного анализа уравнений 1–3 (табл. 1), описывающих зависимость уловов амурской щуки от факториальных переменных

Table 2
Coefficients of the equations (1–3) in Table 1 simulating the Amur pike landings dependence on factorial variables and results of their variance analysis

Коэффициент	Уравнение (№), факторы (см. табл. 1)		
	1, H_0	2, H_0, C_0	3, H_0, C_{02}, H
$a \pm \text{a.s.e.}$	$508,465 \pm 104,573$	$467,672 \pm 88,148$	$394,281 \pm 79,658$
$b \pm \text{a.s.e.}$	$1,801 \pm 0,258$	$1,519 \pm 0,247$	$1,533 \pm 0,234$
$c \pm \text{a.s.e.}$		$0,531 \pm 0,202$	$0,506 \pm 0,183$
$d \pm \text{a.s.e.}$			$0,370 \pm 0,169$
Дисперсионный анализ			
$D_c : k_c$	14786400 : 26		
$D_r : k_r$	4556098 : 25	3591868 : 24	2988246 : 23
R_c^2	0,692	0,757	0,798
F	56,140	37,400	30,270
s.e.	435,703	395,181	368,550
Анализ остатков			
$M \pm \text{s.e.}$	$6,517 \pm 80,551$	$4,253 \pm 71,526$	$2,263 \pm 65,243$
As	0,501	0,913	0,652
Ex	-0,501	1,003	0,197

Примечание. Здесь и далее в табл. 3 a.s.e. — асимптотическая стандартная ошибка; D_r, D_c — соответствующие индексам остаточная и общая скорректированная сумма квадратов остатков; k_r, k_c — соответствующие индексам числа степеней свободы; R_c^2 — скорректированный коэффициент детерминации; F — критерий Фишера; s.e. — стандартная ошибка; все регрессии значимы ($P_F < 0,01$); M — среднее значение остатков; во всех случаях стандартная ошибка коэффициента асимметрии (As) равна 0,449, эксцесса (Ex) — 0,719.

Таблица 3
Значения коэффициентов и результаты дисперсионного анализа уравнений, описывающих связь отклонений (D_1-D_2 , табл. 1) расчетных значений уловов от фактических

Table 3
Coefficients of the equations describing the model deviations (D_1-D_2 in Table 1) and results of their variance analysis

Коэффициент	Отклонения	
	$D_1(C_0)$	$D_2(H)$
$a \pm \text{a.s.e.}$	$0,755 \pm 0,121$	$0,733 \pm 0,088$
$b \pm \text{a.s.e.}$	$0,583 \pm 0,265$	$0,670 \pm 0,206$
Дисперсионный анализ		
$D_c : k_c$	3,091 : 26	2,417 : 26
$D_r : k_r$	2,609 : 25	1,716 : 25
R_c^2	0,156	0,290
F	4,620	10,210
P_F	< 0,05	< 0,01
s.e.	0,330	0,267

Включение в уравнение 1 дополнительного фактора (C_0) значимо ($F = 6,44$; $P_F < 0,05$, см. табл. 1) улучшает качество модели. Совместным влиянием двух описанных факторов (уравнение 2, табл. 1) объяснимо 75,7% дисперсии уловов (табл. 3). Отклонения значений улова, рассчитанных по уравнению 2, включающему два рассмотренных фактора (см. табл. 1), от эмпирических значений наиболее хорошо объясняются изменчивостью июньского уровня воды в год промысла (табл. 1, 3). Данный фактор в меньшей степени влияет на улов текущего года, чем предшествующие два фактора. Его влияние выявляется только после устранения зависимости вылова от первых двух факторов. Возможно, его влияние связано с зависимостью прироста биомассы запаса в год промысла от водности Амура.

Таким образом, зависимость уловов амурской щуки до 1965 г. (C, T) от уровня воды в июле-сентябре в год, предшествующий промыслу (H_0), уловов в предшествующем

году (C_0) и июньского уровня воды в год промысла (H) удовлетворительно ($R^2 = 0,798$, $F = 30,27$, $P < 0,01$, табл. 2) описывается уравнением

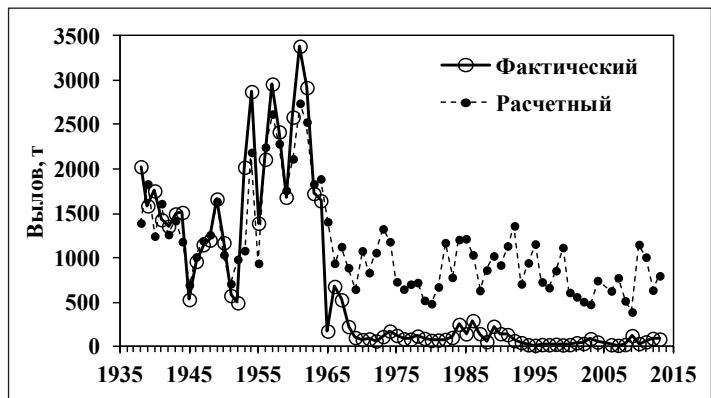
$$C = a \cdot \exp(b \cdot H_0 + c \cdot C_0 + d \cdot H).$$

Асимптотические стандартные ошибки коэффициентов в среднем составляют 12,135 % от их средних значений. Средние значения эмпирических (1727 ± 145 т) и модельных (1725 ± 131 т) значений уловов одинаковы (значение Т-критерия Стьюдента равно 0,012 при критическом значении для 99 %-ного уровня, равном 2,001). Практически не различаются и дисперсии распределений фактических (568708) и расчетных (465049) значений уловов ($F = 1,223 < F_t = 2,604$; $P_F < 0,01$). Судя по отсутствию существенной асимметрии и эксцесса (табл. 2), распределение остатков близко к нормальному со средним значением, неотличимым от 0. Коэффициент автокорреляции остатков первого порядка равен 0,086, судя по значению критерия Дарбина-Уотсона (1,883), превышающему значение граничного ориентира для 27 наблюдений при трех коэффициентах модели (1,413), автокорреляция остатков первого порядка отсутствует с вероятностью более 99 %.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об адекватном описании изменчивости уловов щуки под влиянием рассмотренных факторов до 1965 г. Следовательно, при неизменных условиях воспроизводства и промысла модель должна быть пригодна для расчета уловов после 1964 г. Однако «прогноз» на второй период оказался существенно завышенным (рис. 3). Поскольку интенсивность промысла, по крайней мере в начале второго периода, не изменялась, падение уловов, по-видимому, связано с уменьшением запаса по причине ухудшения условий его формирования, причем, судя по масштабам отклонений, эти изменения носят кардинальный, неучтенный в модели характер.

Рис. 3. Динамика фактического и модельного вылова амурской щуки

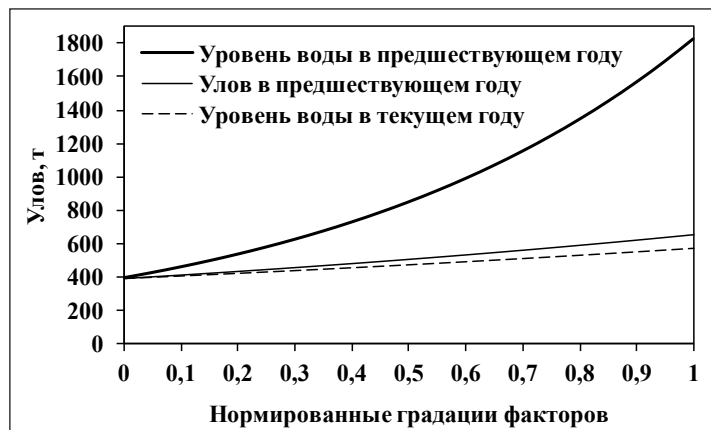
Fig. 3. Dynamics of real and modeled annual landings of the Amur pike



Учитывая относительную роль факторов (рис. 4), можно предположить, что столь масштабное изменение улова могло произойти только за счет принципиального изменения влияния основного фактора — летне-осеннего уровня воды предшествующего года (H_0). Уровень вылова при максимальных значениях данного фактора более чем в 4 раза превышает уровень вылова при минимальных значениях.

Рис. 4. Модельная зависимость улова щуки от градаций данного фактора при отсутствии влияния прочих факторов

Fig. 4. Modeled dependences of the pike catch on certain factor, neglecting other factors



Сравнение уровней воды в период с июня по сентябрь до и после 1964 г. свидетельствует о том, что в период высоких уловов летне-осенний уровень воды был действительно больше, чем в период низких уловов (рис. 5). Однако градации данного фактора учтены в модели, поэтому, вероятно, изменения запаса связаны не столько со средним уровнем воды, сколько с изменившейся сезонной динамикой уровня.

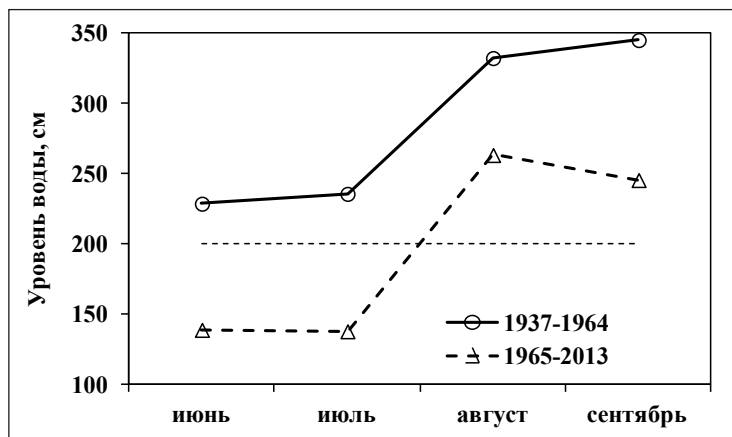


Рис. 5. Сезонная динамика среднемесячных уровней воды в Амуре

Fig. 5. Seasonal dynamics of the mean month water level in the Amur

В период высоких уловов уровень воды в среднем превышал уровень залития поймы, составляющий 200 см в течение всего летнего сезона. В период низких уловов уровень воды превышал данный уровень только в августе-сентябре, что, видимо, слишком поздно для того, чтобы существенно улучшить условия воспроизводства рыб. Вероятно, именно то, что в большинстве лет второго периода в весенне-летние месяцы пойма Амура не была залита, послужило триггерным механизмом, качественно изменившим сложившееся ранее соотношение запаса и вылова. При темпе эксплуатации прежних лет и изменившихся в худшую сторону условиях воспроизводства запасы не успевали восстанавливаться.

Заключение

Уровень воды в Амуре зависит в основном от осадков (Тростников, 1967), поэтому соответствует циклам дождливых и «сухих» лет (Кляшторин, Любушкин, 2005). Однако уровень воды зависит и от гидростроительства (Крыхтин, 1960), одна из целей которого — зарегулирование стока. В данном случае предотвращение паводков, наносящих ущерб экономике края, входит в противоречие с их необходимостью для успешного воспроизводства рыбных запасов. Один из теоретически возможных способов разрешения данного противоречия — создание искусственных участков с пониженным рельефом, которые будут затапливаться при уровнях воды менее 2 м и формировать благоприятные условия для нагула молоди жилых рыб. Второй способ — уменьшить промысловую нагрузку на популяции жилых рыб до биологически безопасного уровня. Однако отметим, что даже полное прекращение промысла в изменившихся условиях водности Амура не позволит запасу достичь былых значений.

Список литературы

- Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ : моногр. — М. : Мир, 1982. — 488 с. (Пер. с англ.)
- Вронский Б.Б. Влияние гидрологических и метеорологических условий на нерест некоторых фитофильных рыб Амура и выживаемость их икры и молоди // Вопр. ихтиол. — 1965. — Т. 5, вып. 1(34). — С. 111–126.
- Дрейпер Н.Р., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ : моногр. — М. : Издат. дом «Вильямс», 2007. — 912 с.
- Кляшторин Л.Б., Любушкин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности : моногр. — М. : ВНИРО, 2005. — 235 с.

Крыхтин М.Л. О периодических колебаниях численности жилых рыб Амура и их причинах // Вопр. ихтиол. — 1975. — Т. 15, вып. 5(94). — С. 919–922.

Крыхтин М.Л. Промыслово-биологические основания комплекса мероприятий по воспроизводству жилых рыб Нижнего и нижней части Среднего Амура в связи с намечаемым гидростроительством : отчет о НИР / АоТИНРО. — № 126. — Хабаровск, 1960. — 394 с.

Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1974. — 447 с.

Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики. — М. : Финансы и статистика, 1982. — 344 с. (Пер. с англ.)

Семенченко Н.Н. Гидрологический режим р. Амур и численность промысловых пресноводных рыб // Современное состояние водных биоресурсов : мат-лы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 246–250.

Тростников М.В. Влажные и засушливые летние сезоны в Приамурье и солнечная активность // Вопросы географии Дальнего Востока. Климат и воды. — Хабаровск : Хабар. кн. изд-во, 1967. — Сб. 8. — С. 3–22.

Wilkinson L., Hill M.-A., Welna J.P., Birkenbeyel G.K. Systat for Windows: Statistics. Version 5. — Evanston : Systat, Inc., 1992. — 750 p.

Поступила в редакцию 20.02.17 г.

Принята в печать 7.04.17 г.