

УДК 597.552.511–154.343(282.257.5)

В.И. Островский*

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

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПУТИНЫ АМУРСКИХ ЛОСОСЕЙ РОДА ONCORHYNCHUS

Рассмотрена пригодность оперативных данных по вылову тихоокеанских лососей для разработки прогнозов вылова за путину. Проанализирована зависимость вылова за путину от двух показателей — суточного и накопленного выловов. Показано, что первый фактор теснее связан с окончательным значением вылова в самом начале путины, но быстро теряет преимущества по сравнению со вторым. По накопленному вылову относительно надежный прогноз вылова горбуши за путину можно составить начиная с первой декады июля, летней кеты — со второй декады июля, осенней кеты — со второй декады августа.

Ключевые слова: *Oncorhynchus*, тихоокеанские лососи, сезонная динамика вылова, краткосрочное прогнозирование, путина.

Ostrovsky V.I. Short-term forecasting of the result of fishery on the Amur salmon gen. *Oncorhynchus* // *Izv. TINRO*. — 2017. — Vol. 189. — P. 25–34.

Usefulness of operational data on catch of pacific salmon for forecasting of their annual landings is considered. The landing dependence on daily and cumulative catch is analyzed. The former index has better correlation with the annual landing in the beginning of the fishery season but later loses this advantage. The landing relationship with the latter index increases naturally with time and rather reliable forecasts could be based on its value from early July for pink salmon, from middle July for summer chum salmon, and from middle August for fall chum salmon.

Key words: *Oncorhynchus*, pacific salmon, catch dynamics, short-term fishery forecasting, fishery season.

Введение

Прогнозы численности тихоокеанских лососей, возвращающихся из моря, не надежны, именно этой причиной объясняется необходимость организации региональных комиссий по регулированию вылова, которые на основе рекомендаций науки корректируют интенсивность промысла соответственно фактическому подходу рыб. Однако оценить фактический подход рыб прямыми методами на огромной территории в сжатые сроки невозможно, поэтому ориентиром для разработки направления и масштабов корректировок, как правило, служит промысел. Он организован практически на всех путях нерестовых миграций, поэтому динамика вылова рыб в ходе путины гораздо полнее отражает состояние запаса, чем точечные исследования.

* *Островский Владимир Иванович*, кандидат биологических наук, начальник методико-прогностического отдела, e-mail: ostrovkhv@rambler.ru.

Ostrovsky Vladimir I., Ph.D., head of department, e-mail: ostrovkhv@rambler.ru.

Для корректировки предварительно рекомендованного объема вылова (РВ) текущая оценка подхода необходима, но, если ограничиваться лишь данной оценкой, то часто возникает необходимость разработки дополнительных корректировок по причине неопределенности количества рыб, которые еще не вернулись из моря, что отрицательно сказывается на ходе путины. Для уменьшения данной неопределенности необходимы методы краткосрочного прогноза итогов путины на основе косвенных признаков, доступных для анализа в относительно ранние сроки от ее начала, но таких методов пока нет. Один из возможных подходов к решению проблемы — поиск лет-аналогов, но каждая путина уникальна, а надежных критериев выбора того или иного года в качестве аналога, особенно в начале текущей путины, не существует.

В последние годы ведомственные институты Росрыболовства стали более или менее регулярно получать оперативные данные по накопленному вылову лососей в ходе путины. Вначале эти данные сильно отличаются от итоговых, чем ближе к окончанию путины, тем очевиднее ее итог, но к этому времени корректировки, как правило, уже не нужны.

Цель работы — попытаться определить с какого момента от начала путины по оперативным данным с достаточной уверенностью можно судить об ее итогах и насколько эти данные пригодны для краткосрочных прогнозов вылова.

Материалы и методы

Последние 10 лет оперативные сводки по кумулированному вылову лососей в Хабаровский филиал ТИНРО-центра (ХфТИНРО) поступают из Амурского территориального управления Росрыболовства (АТУ). Материал в сводках сгруппирован по подзонам, подзона Амур и лиман содержат обобщенные сведения по вылову лососей как в русловой части Амура, так и в Амурском лимане, где, кроме транзитных амурских лососей, вылавливаются лососи, воспроизводящиеся в малых реках материковой части лимана. Кроме того, кета в сводках не подразделена на летнюю и осеннюю расы. Далее всех лососей подзоны, независимо от районов происхождения и промысла, будем условно называть амурскими.

Оперативные сводки из АТУ поступают нерегулярно, поэтому для сравнения динамики вылова лососей в разные годы на одну и ту же дату необходимо найти способ заполнения пропущенных значений. С этой целью динамику накопленного вылова лососей описывали логистическим уравнением:

$$G = a/(1 + \exp(b - c \cdot dd)) - d, \quad (1)$$

где G — вылов лососей конкретного вида в подзоне; dd — дата (порядковый номер дня от условного начала промыслового сезона); $a-d$ — коэффициенты, значения которых подбирали итерационными методами, реализованными в пакете прикладных программ SYSTAT (Wilkinson et al., 1992).

Методы нелинейного регрессионного и дисперсионного анализов приведены в справочной литературе (Дрейпер, Смит, 2007).

Результаты описания сезонной динамики кумулированного вылова продемонстрируем на примере амурской горбуши в 2016 г. (рис. 1). Для данного вида за начало промыслового сезона во все годы приняли 15 июня.

Результаты и их обсуждение

Горбуша. Детерминация уравнения 1, которым сглаживали значения кумулированного вылова горбуши в разные годы, варьирует в пределах 0,973–0,997, все регрессии значимы с вероятностью более 99 %. Достаточно надежные описания динамики вылова в каждом году позволяют вместо фактических значений вылова использовать расчетные и сравнивать вылов на одну и ту же дату, независимо от регулярности поступления оперативных данных (рис. 2).

Зависимость вылова горбуши за путину от расчетных значений накопленного вылова на любую дату (далее накопленный вылов) в первом приближении можно описать полиномом второй степени, для примера приведем диаграмму вылова в разные годы на 15 июля (рис. 3). Для используемого уравнения характерно стремление первого ко-

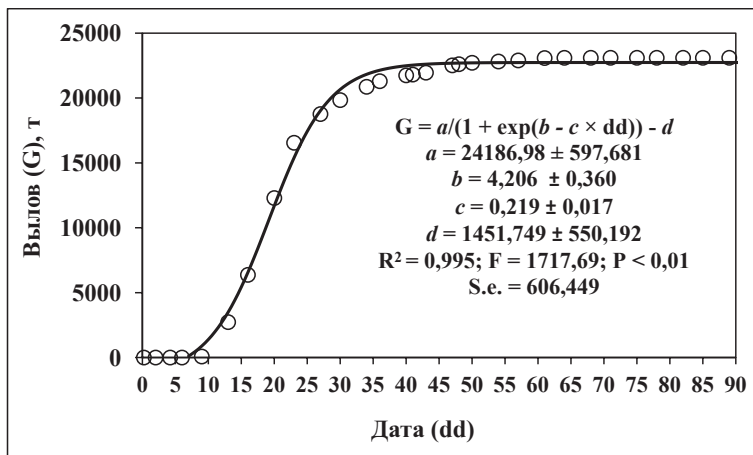


Рис. 1. Кумулята вылова амурской горбуши в 2016 г.: R^2 — коэффициент детерминации; F — критерий Фишера; P — уровень значимости; $S.e.$ — стандартная ошибка уравнения
 Fig. 1. Cumulative catch of the Amur pink salmon in 2016: R^2 — coefficient of determination; F — Fisher criterion; P — significance level; $S.e.$ — standard error of equation

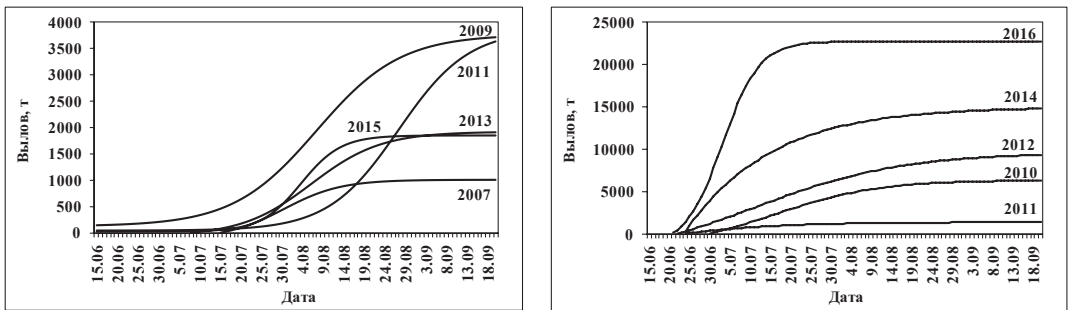


Рис. 2. Теоретические кривые накопленного вылова амурской горбуши в 2007–2016 гг.
 Fig. 2. Theoretical curves of the Amur pink salmon cumulative catch for 2007–2016

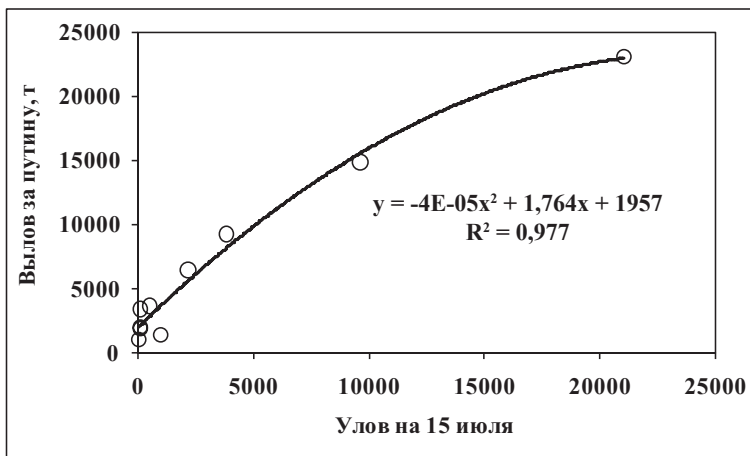


Рис. 3. Зависимость вылова амурской горбуши за путину от сглаженных значений вылова по состоянию на 15.07 в 2007–2016 гг.
 Fig. 3. Dependence of the Amur pink salmon annual landing on its smoothed cumulative catch to July 15 in 2007–2016

эффицента к 0 по мере смещения описания рассматриваемой связи на поздние сроки. Следовательно, для описания зависимости улова за путину от накопленного вылова на поздние даты вполне приемлемо уравнение линейной регрессии.

Аналогичные диаграммы построены для каждого дня в период с 20.06 по 20.09. Анализ временной изменчивости всех уравнений слишком громоздкий, поэтому ограничимся рассмотрением их коэффициентов детерминации. Динамика данных коэффициентов (рис. 4) свидетельствует о том, что относительно надежный прогноз вылова за путину на основе накопленного вылова может быть получен уже в первых числах июля.

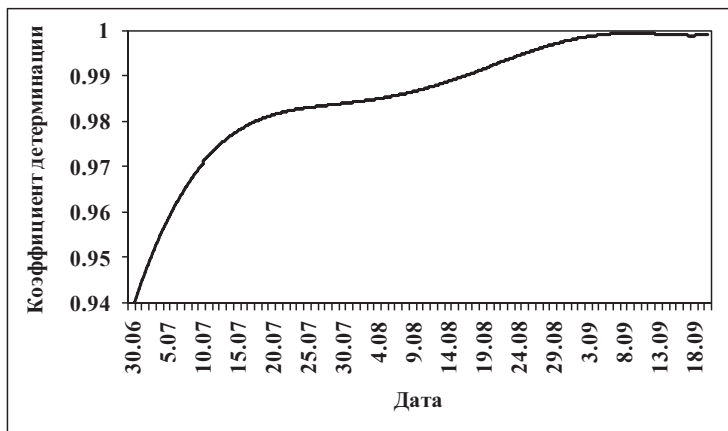


Рис. 4. Динамика коэффициента детерминации полинома 2-й степени, описывающего связь накопленного вылова на определенную дату, с итоговым значением вылова за путину

Fig. 4. Dynamics of the coefficient of determination for the quadrate polynomial describing the relationship between the cumulative catch to certain date and the annual landing

Не исключено, что предварительные представления о возможном вылове за путину можно получить не только на основе накопленного вылова на конкретную дату, но и на основе расчетной скорости прироста накопленного вылова. Разность расчетных значений вылова на текущую и предшествующую дату, т.е. сглаженные значения суточного вылова (далее суточный вылов), не постоянна — она достигает наивысших значений во время «рунного» хода (рис. 5).

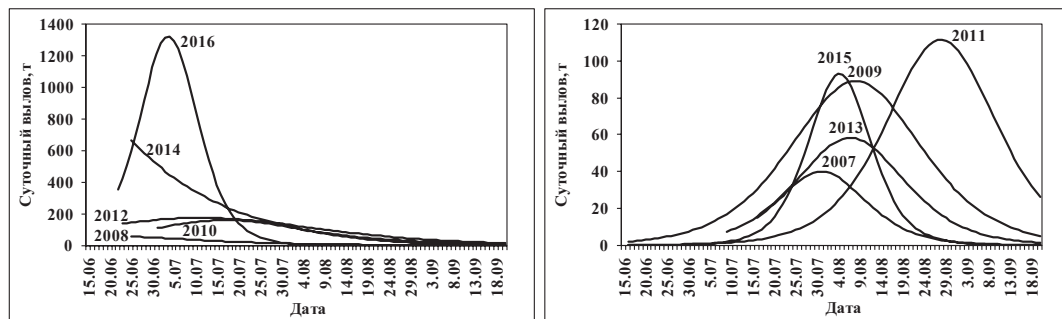


Рис. 5. Теоретические кривые суточного вылова амурской горбуши в четные и нечетные годы

Fig. 5. Theoretical curves of the Amur pink salmon daily catch for odd and even years

«Рунный» ход горбуши по четным (высокоурожайным) годам наблюдался не позже июля, по нечетным (низкоурожайным) — не раньше августа, хотя положение точки максимума суточного вылова в конце августа 2011 г. (рис. 5) вызывает сомнение. Согласно сведениям сотрудников ХфТИНРО, находящихся в районе промысла, в это время горбуша в уловах практически отсутствовала, т.е. в данном случае, вероятно, объемы рекомендованного вылова горбуши и кеты были «закрыты» (без фактического вылова), либо была задержка отчетности по вылову.

Связь вылова за путину с суточным уловом, как и с накопленным выловом на конкретную дату (см. рис. 3), описывали полиномом второй степени, о сезонной изменчивости тесноты связи также судили по коэффициентам детерминации. Связь улова за путину с суточным выловом в начале сезона оказалась несколько более тесной по сравнению с

предыдущим вариантом описания, однако в первом случае коэффициент детерминации увеличивается до конца путины, во втором — он резко уменьшается уже в середине июля (рис. 6). Для удобства сравнения изменчивости коэффициента детерминации в связи с вариантом используемой факториальной переменной (накопленный улов или суточный вылов на конкретную дату) на этом же рисунке приведен фрагмент кривой рис. 4.

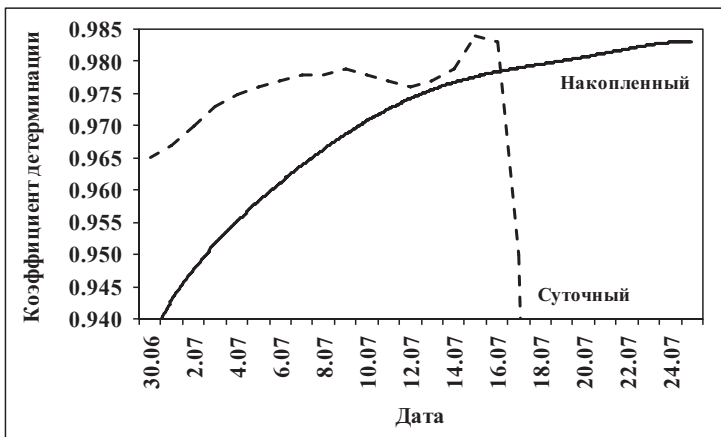


Рис. 6. Динамика коэффициента детерминации полинома 2-й степени при описании связи накопленного и суточного выловов горбуши на определенную дату с итоговым выловом за путину
 Fig. 6. Dynamics of the coefficient of determination for the quadrate polynomial describing relationship between the cumulative and daily catch of the Amur pink salmon for certain date and its annual landing

Кета. В р. Амур кета представлена двумя сезонными расами — летней и осенней. Сроки миграции зависят от численности рыб, их физиологического состояния, погодо-но-климатических факторов, и в некоторые годы одновременно могут вылавливаться рыбы обеих рас. Так, в 2016 г. осенняя кета штучно начала попадаться в первой декаде августа, а летняя — в последних числах августа составляла около 10 % массы общего улова кеты. Оперативная информация по вылову кеты в подзоне Амур и лиман поступает без подразделения на летнюю и осеннюю расы, однако приблизительную границу окончания хода летней и начала хода осенней кеты можно установить по диаграмме накопленного вылова, которая обычно имеет излом в середине августа (рис. 7).

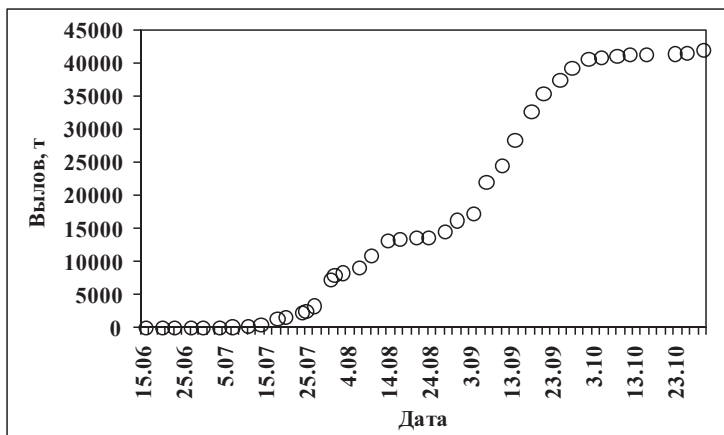


Рис. 7. Динамика кумулированного вылова амурской кеты в 2016 г.
 Fig. 7. Dynamics of the Amur chum salmon cumulative catch in 2016

Кроме некоторой неопределенности в описании динамик выловов летней и осенней кеты по причине частичного перекрытия сроков хода, существует неопределенность в итоговых значениях вылова. Так, например, иногда промысловики «закрывают» недоиспользованные квоты на вылов летней кеты осенней кетой, а вылов как летней,

так и осенней амурской кеты на Сахалине не фиксируется в отчетах Амурского территориального управления ФАР.

Тем не менее схему расчетов, описанную выше для горбуши, мы полностью использовали в аналогичных расчетах на примере кеты, а именно: оперативные сводки накопленного вылова сглаживали уравнением 1, зависимость уловов за сезон от расчетных значений накопленного вылова на конкретную дату, так же, как и от суточного вылова, — полиномом второй степени. Условной датой начала промысла летней кеты приняли 15 июня, окончания — 25 августа, датой начала промысла осенней кеты — 1 сентября. Итоговые значения вылова летней и осенней кеты за путину приняты такими, какими они предоставляются в годовых сводках АТУ ФАР.

Кета летняя. Значения коэффициента детерминации уравнения (1), использованного для сглаживания данных оперативных сводок по вылову летней кеты, в период 2007–2016 гг. варьировали в пределах 0,975–0,999. Практически для всех сглаженных кривых к окончанию августа характерен «выход на плато» (рис. 8), следовательно, расчетные значения вылова, по крайней мере на 25 августа, в разные годы должны быть тесно связаны с окончательными значениями вылова. Исключением является 2009 г., в котором точка перегиба при «выходе на плато» не выявляется. Согласно сведениям сотрудников ХфТИНРО с мест промысла 26 августа летняя кета в уловах составляла не более 2 % массы улова всей кеты, к 1 сентября ее ход фактически закончился, следовательно, отсутствие верхней точки перегиба кривой кумулированного вылова является артефактом. Массовый ход осенней кеты начался 25 августа, поэтому вполне вероятно, что осеннюю кету, выловленную в конце августа, ошибочно или нет, относили к летней расе.

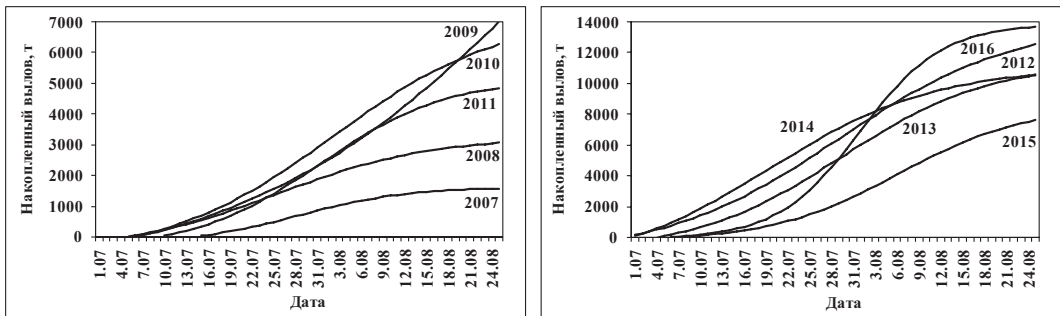


Рис. 8. Теоретические кривые накопленного вылова амурской летней кеты в 2007–2016 гг.
Fig. 8. Theoretical curves of the Amur summer chum salmon cumulative catch for 2007–2016

Об аномальном характере оперативной информации по вылову 2009 г. свидетельствуют кривые расчетных значений суточного вылова. В отличие от прочих лет наблюдений, кривая 2009 г. не имеет явно выраженного максимума в типичные для летней кеты сроки (рис. 9). В более поздние сроки «рунный ход» летней кеты был невозможен по причине окончания ее нерестовой миграции через основные места промысла к 1 сентября.

Отметим, что сроки «рунного хода» летней кеты практически совпадают со сроками «рунного хода» горбуши в неурожайные на нее нечетные годы (см. рис. 5). Для лова данных видов рыб используются разные плавные сети, поэтому с началом массового хода летней кеты рыбаки, как правило, меняют горбушовые плавные сети на кетовые. Смена снастей во время «рунного хода» малочисленных поколений горбуши может искажать зависимость окончательного значения ее вылова от сезонной динамики лова. Возможно, это одна из причин, по которым закономерность увеличения вылова горбуши за путину в связи с ростом ее накопленного вылова отчетливо проявляется лишь в многочисленных поколениях (см. рис. 3).

Сезонная изменчивость коэффициентов детерминации в уравнениях, описывающих зависимость вылова летней кеты за путину от сглаженных значений накопленного вылова (рис. 10), отличается от изменчивости данного коэффициента в уравнениях, построенных на материалах по горбуше (см. рис. 4, 6). Вопреки логически оправданным

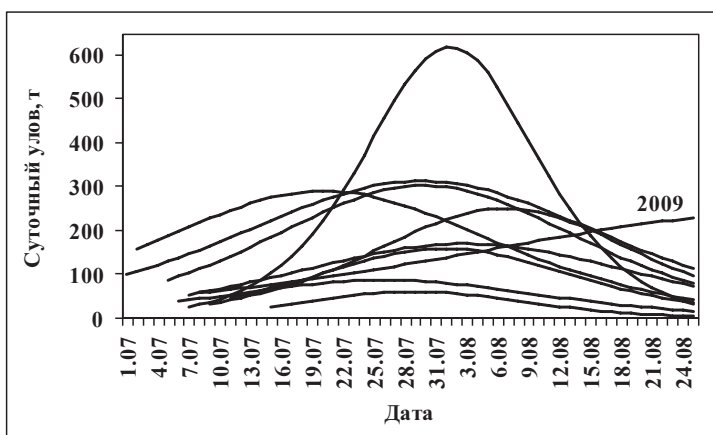


Рис. 9. Динамика расчетных значений суточного улова амурской летней кеты в 2007–2016 гг.
 Fig. 9. Dynamics of calculated daily catch of the Amur summer chum salmon in 2007–2016

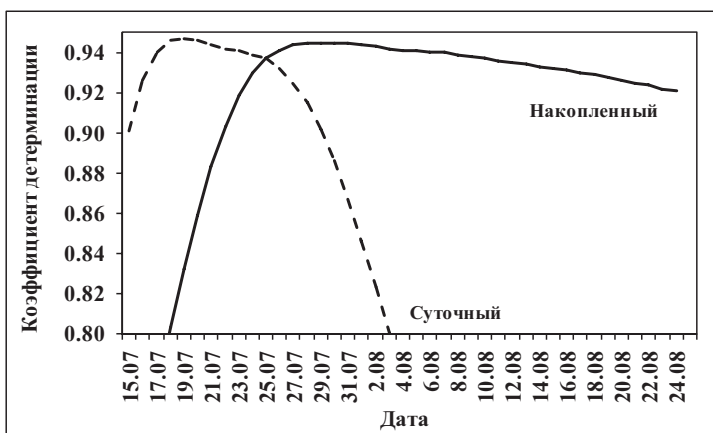


Рис. 10. Динамика коэффициента детерминации полинома 2-й степени при описании связи накопленного и суточного выловов летней кеты на определенную дату с итоговым выловом за путину

Fig. 10. Dynamics of the coefficient of determination for the quadrate polynomial describing relationship between the cumulative and daily catch of the Amur summer chum salmon for certain date and its annual landing

ожиданиям значения данных коэффициентов увеличиваются лишь до начала августа, а к окончанию нерестовой миграции через основные места промысла уменьшаются до 0,921 (рис. 10). Вполне очевидно, что уникальность характера данной кривой свидетельствует о накоплении ошибок в оперативной отчетности по вылову (ее задержки, искажение сведений по объемам вылова), вследствие чего накапливается «несоответствие» динамики вылова и его итога.

Естественно, после прекращения поступления оперативных данных по вылову летней кеты величина рассматриваемого коэффициента будет равна 1, но произойдет это значительно позже фактического окончания лова и периода, актуального для разработки корректировок прогнозов.

Как и в случае с горбушей (см. рис. 6), зависимость итогового вылова от сглаженных значений суточного вылова относительно тесная лишь в начале рассматриваемого периода (рис. 10), но в данном случае прогностическая ценность суточного вылова максимальна не в первой, а во второй половине июля.

Кета осенняя. Для вычленения данных по осенней кете из обобщенных данных, поступивших после 1 сентября, вычитали заявленный вылов летней кеты. Пропущенные значения, как и в предыдущих случаях, восстанавливали сглаживанием эмпири-

ческих рядов уравнением 1 (рис. 11). Коэффициент детерминации данного уравнения для материалов разных лет варьировал в пределах 0,984–0,999.

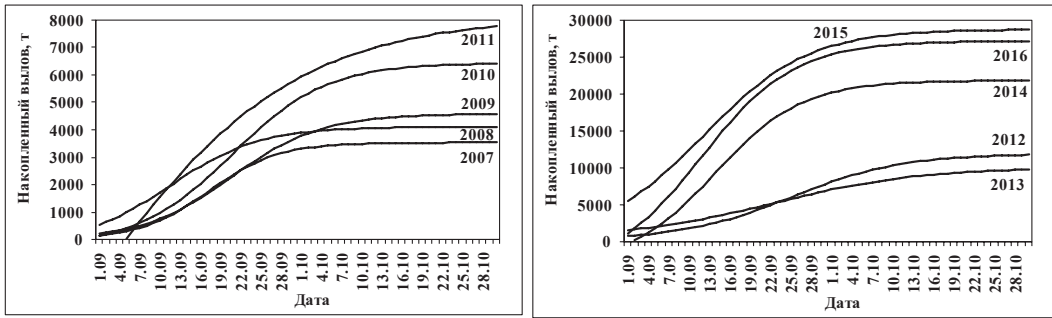


Рис. 11. Теоретические кривые кумулированного вылова амурской осенней кеты в 2007–2016 гг.
Fig. 11. Theoretical curves of the Amur fall chum salmon cumulative catch for 2007–2016

Суточные уловы осенней кеты, рассчитанные по сглаженным рядам кумулированного вылова, максимальны в сентябре, причем в годы наибольших суточных уловов «рунный ход», как правило, наблюдался в более ранние сроки (рис. 12).

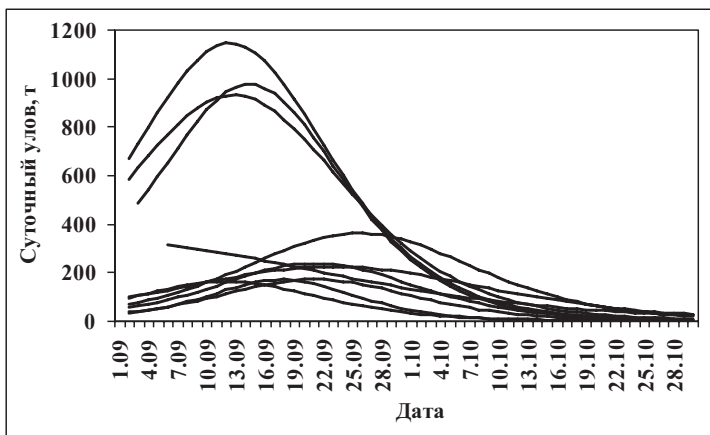


Рис. 12. Динамика расчетных значений суточного улова амурской осенней кеты
Fig. 12. Dynamics of calculated daily catch of the Amur fall chum salmon

Коэффициенты детерминации полинома второй степени в уравнениях, описывающих связь накопленных уловов с итоговыми значениями вылова за сезон, как и в примере с горбушей (см. рис. 4), стремятся к 1 по мере приближения к окончанию путины (рис. 13).

Зависимость итогового значения вылова осенней кеты от сглаженных значений суточного вылова, в отличие от аналогичных зависимостей для горбуши и летней кеты (см. рис. 6, 10), остается довольно тесной в течение почти месяца, но большую часть данного времени коэффициенты детерминации меньше, чем рассчитанные на основе анализа накопленного вылова (рис. 13).

Расчет вылова за путину по суточному вылову из оперативных сводок сильно зависит от случайных вариаций улова, поэтому суточный вылов можно использовать лишь для ориентировочной оценки окончательного значения вылова. Иное дело накопленный улов — каждое новое значение улова из оперативных сводок вносит меньший вклад в изменчивость данного показателя, а уменьшение роли случайной компоненты положительно сказывается на надежности расчетов.

Возможность краткосрочного прогноза вылова за сезон на основе его связи с теоретическими значениями накопленного вылова продемонстрируем на примере летней кеты. Данную связь описывали уравнением:

$$U = e / (1 + \exp(a - b \cdot Ud)), \quad (2)$$

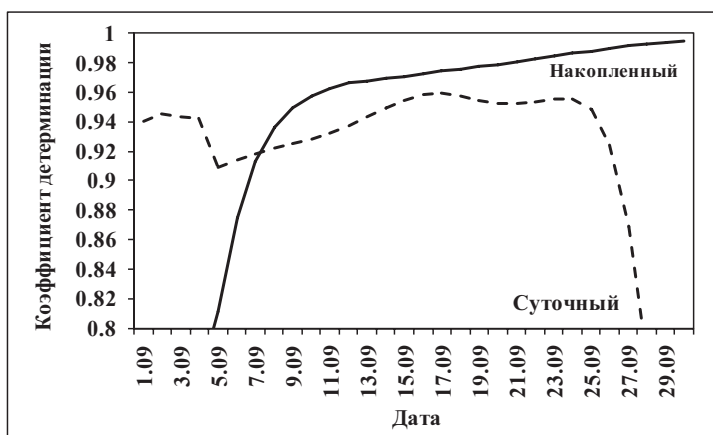


Рис. 13. Динамика коэффициента детерминации полинома 2-й степени при описании связи накопленного и суточного выловов осенней кеты на определенную дату с итоговым выловом за путину

Fig. 13. Dynamics of the coefficient of determination for the quadrate polynomial describing relationship between the cumulative and daily catch of the Amur fall chum salmon for certain date and its annual landing

которое точнее характеризует изменчивость улова летней кеты за сезон U от вылова на указанную дату Ud по сравнению с использованной выше параболой второго порядка. Ее использование было оправдано возможностью быстрого подбора данной функции в пакете Microsoft Office Excel, что удобно для ориентировочной оценки коэффициента детерминации для большого объема данных при незначительных потерях точности описания.

Зависимость можно описать для любого дня рассматриваемого периода (см. рис. 10), для наглядности приведем теоретические кривые для равноудаленных дат с шагом 5 дней (рис. 14). Данная номограмма позволяет оценить приблизительное значение вылова за сезон при известном накопленном вылове на конкретную дату.

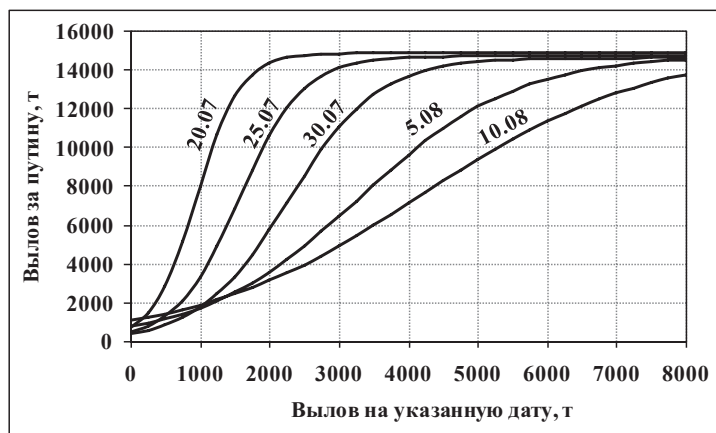


Рис. 14. Зависимость вылова летней кеты за путину от накопленного вылова на указанную дату

Fig. 14. Dependence of the annual landing of summer chum salmon on its cumulative catch to certain date

Так, например, при накопленном вылове 3 тыс. т к 10.08 итоговый вылов, вероятно, не превысит 5 тыс. т. Если же данный объем накоплен, например, уже к 25.07, тогда вылов за путину должен составить порядка 14 тыс. т (рис. 14). Эти расчеты основаны на обобщении материалов за 10 лет, накопление новых данных позволит уточнить выявленные зависимости.

Возможность более точного расчета по известному накопленному вылову на любую дату, для которой описание связи U с Ud достаточно надежно, продемонстрируем на примере осенней кеты. Согласно оперативной информации, предоставленной АТУ ФАР, на 9 сентября 2014 г. было выловлено 4897,406 т осенней кеты. Сглаженные значения вылова разных лет на эту дату, а также итоговый вылов за сезон приведены в таблице.

Вылов осенней амурской кеты за путину (U) и сглаженные значения вылова по состоянию на 9 сентября (Ud) в разные годы
Annual landing of the Amur fall chum salmon (U) and its smoothed cumulative catch to September 9 (Ud), by years

Год	U , т	Ud , т
2007	3544,1	594,9
2008	4403,4	1561,5
2009	4888,5	663,5
2010	6879,3	831,2
2011	8089,0	1260,5
2012	11550,9	1635,1
2013	9856,0	2569,2
2014	22361,0	4768,5
2015	28159,0	11530,1
2016	27423,7	8263,1

Для полной имитации краткосрочного прогноза вылова осенней кеты на основе оперативных сведений по вылову данные 2014 г. из расчетов исключены. Уравнение, описывающее зависимость вылова за сезон от сглаженных значений вылова на 9.09, имеет вид $U = 28925,230 / (1 + \exp(1,865 - 5,386 \cdot 10^{-4} \cdot Ud)) \pm 2517,729$ ($R^2_c = 0,958$; $F = 65,720$; $P < 0,01$). Подставляя в данное уравнение фактическое значение вылова на 9.09 ($Ud = 4897,406$), находим, что к концу сезона при неизменной интенсивности промысла вылов (U) должен составить около 19788 ± 2518 т, т.е. с вероятностью 95 % он не должен превысить 22306 т.

Фактически в 2014 г. было выловлено 22361 т осенней амурской кеты. Учитывая, что уравнение построено на основе наблюдений всего за 9 лет, что прогнозное значение рассчитано более чем за месяц до окончания путины (см. рис. 11), когда связь U и Ud относительно слаба (рис. 13), что оперативная информация по вылову, как и итоговая оценка вылова, дифференцированно по расам не отличаются большой точностью, результат можно считать вполне удовлетворительным. Поскольку расчетное значение (U) превышало предварительно рекомендованный объем (РВ), вполне очевидно, что была необходима разработка уточнения РВ в сторону увеличения, в противном случае ($U < РВ$) потребовалось бы введение мер, ограничивающих интенсивность промысла. Масштаб необходимых мер можно оценить из соотношения U и РВ.

Заключение

Таким образом, несмотря на то что оперативные сводки по вылову амурских лососей не отличаются высокой точностью, прогноз итогов путины на их основе вполне возможен. Расхождение величины предварительно рекомендованного объема вылова и вылова, рассчитанного на основе анализа его динамики в начале путины, дает представление о направлении и масштабах мер, необходимых для рационального освоения ресурсов.

Список литературы

- Дрейпер Н.Р., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ : моногр. — М. : Издат. дом «Вильямс», 2007. — 912 с.
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 6.03.17 г.

Принята в печать 7.04.17 г.