

УДК 639.2.05:528.9:004.9

DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-84-93

## Влияние динамики уровней воды в весенний период на площадь нерестилищ и эффективность естественного воспроизводства лимнофильных видов рыб Чебоксарского водохранилища

Л.М. Минина,  
А.Е. Минин,  
А.В. Мусеев

Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО»  
(«НижегородНИРО»), г. Нижний Новгород

E-mail: lminina@yandex.ru

В статье представлен анализ многолетних колебаний площади нерестовых участков трёх отделов Чебоксарского водохранилища в зависимости от водности года и уровней воды в весенний период и их влияние на численность пополнения основных промысловых видов рыб. На основе дешифрирования космических снимков Landsat определены границы и площади пойменных и прибрежных нерестовых участков при различных уровнях. Получена формула зависимости площади нерестовых участков от уровней воды, разница между минимальным и максимальным значениями нерестовых площадей составила 1,65 раза. Показано, что высокие степени обводнения нерестилищ благоприятно сказываются на успешности размножения большинства промысловых видов рыб – установлена заметная положительная корреляция численности сеголеток с площадью нерестилищ (коэффициент корреляции Спирмена равен 0,65 при  $p = 0,01$ ). Получена формула зависимости численности сеголеток от площади нерестилищ, на основе которой дан прогноз пополнения в годы различной степени водности. По предварительным расчётам эффективность естественного воспроизводства может увеличиваться в 20,5 раза в многоводные годы по сравнению с маловодными. С помощью географической привязки границ нерестилищ в геоинформационных системах также устранены разногласия в интерпретации описаний нерестилищ в Правилах рыболовства.

**Ключевые слова:** Чебоксарское водохранилище, уровень воды, половодье, площадь нерестовых участков, эффективность естественного воспроизводства, промысловые виды рыб, космические снимки Landsat.

### ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на проекты рыбохозяйственного освоения русловых водохранилищ [Уточнённое проектное ..., 1970], зарегулирование реки Волги оказало преимущественно отрицательное воздействие на состояние водных биоресурсов, режим эксплуатации водохранилищ в большинстве случаев не соответствует требованиям рыбного хозяйства.

Это воздействие выразилось, главным образом, в снижении рыбопродуктивности и уровня естественного воспроизводства промысловых рыб [Шакирова и др., 2012; Чавычалова, 2013; Астафьева и др., 2016; Васильев и др., 2016; Логинов, 2016; Логинов и др., 2016; Тарадина, Чавычалова, 2017; Чавычалова, Фомин, 2018], в первую очередь, за счёт неблагоприятного уровня режима в период воспроизводства большинства массовых водохранилищных видов рыб.

Уровненный режим имеет первостепенное значение для эффективности воспроизводства рыб водохранилищ [Минин и др., 2004; Интересова и др., 2009;

Клевакин и др., 2012; Шакирова и др., 2012; Логинов, 2016; Жезмер, Бубер, 2018; Чавычалова, Фомин, 2018; Go'rski et al., 2010]. Уровень воды водохранилища в нерестовый период влияет на естественное воспроизводство непосредственным образом: от колебаний уровня воды могут нарушаться условия размножения рыб [Клевакин и др., 2012; Шакирова и др., 2012; Чавычалова, 2013; Логинов, 2016; Логинов, Гелашвили, 2016]. Подсчитано, что резкое снижение уровня воды на водохранилищах приводит к колоссальным ущербам рыбному хозяйству [Чавычалова, 2013; Логинов, 2016].

В связи с этим, получение данных о связи динамики уровней воды и общей площади нерестовых участков представляется ценным и актуальным для оценки условий естественного воспроизводства рыб в условиях водохранилищ.

Известно, что площадь нерестовых участков напрямую зависит от уровня воды в весенний период [Отчёт ..., 2003; Подоляко и др., 2012; Васильев и др.,

2016; Чавычалова и др., 2020]. Зависимость площади затопления нерестилищ в дельте Волги от высоты стояния уровня половодья [Катунин, 2014] носит, по-видимому, экспоненциальный характер. При этом площадь нерестилищ изменяется в 4–6 раз. Ю.С. Васильевым с соавторами [2016] проанализировано изменение уровневого режима Рыбинского водохранилища и площади затопления мелководий. Определено, что эти показатели носят случайный характер, как во внутригодовом цикле, так и в разные годы.

Чебоксарское водохранилище образовано в результате перекрытия р. Волги плотиной ГЭС в 1980 году. Проектным заданием предусматривалось довести уровень воды до отметки 68 м, однако, в настоящее время водохранилище и гидроузел в г. Чебоксары эксплуатируется на непроектной отметке НПУ 63,00 м БС. Регулирующая ёмкость практически отсутствует, водохранилище представляет собой подпёртый бьеф, работающий на транзите стока. Гидроузел срезает высокую волну весеннего половодья, существенно не изменяя его внутригодового распределения. В связи с этим водный режим значительно отличается от других водохранилищ Волжско-Камского каскада, сочетая речные и озёрно-прудовые черты. Для водохранилища характерен высокий коэффициент водообмена – от 19,8 до 32,2 раз [Кочеткова, 2005]. Максимальные амплитуды колебаний отмечаются с апреля по май и захватывают возможный период нереста большинства промысловых видов рыб [Отчёт ..., 2016].

Таким образом, учитывая особенности эксплуатации Чебоксарского водохранилища, анализ взаимосвязи «уровень воды – площадь нерестилищ», а также зависимость численности пополнения от водности года и уровней воды представляет особый интерес.

В продольном направлении по морфологическим и гидрологическим параметрам Чебоксарское водохранилище подразделяется на четыре отдела (сверху вниз по течению р. Волги): верхний речной, средний речной, озёрный и приплотинный.

Верхний речной отдел расположен от плотины Горьковской ГЭС до г. Нижний Новгород, характеризуется наименьшей площадью, отсутствием подпора со стороны Чебоксарского гидроузла, речными условиями и сильной зависимостью суточных и годовых колебаний уровня воды от режима работы Нижегородской ГЭС. В связи с этим, в рамках данного исследования этот отдел Чебоксарского водохранилища не рассматривается.

Средний речной и озёрный отделы характеризуются большим количеством островов, мелководных заливов и протоков, образовавшихся при затоплении

волжской поймы, имеют исключительное значение для размножения рыб. Приплотинный отличается от озёрного и среднего речного отдела значительно меньшими площадями мелководий [Отчёт ..., 2018]. В этих отделах суммарно сосредоточено около 80% по площади и 76% по количеству всех нерестовых участков водохранилища. Нерестилища на этой части акватории представляют собой пойменные береговые участки, заливы, устьевые участки рек, а также воложки и мелководья вокруг островов и у берегов, которые используются для размножения весенне-нерестующих видов рыб, создающих основу промысла и уловов рыболовов-любителей (лещ *Abramis brama* (L., 1758), щука *Esox lucius* L., 1758, плотва *Rutilus rutilus* (L., 1758), окунь *Perca fluviatilis* L., 1758, густера *Blicca bjoerkna* (L., 1758), синец *Ballerus ballerus* (L., 1758), язь *Leuciscus idus* (L., 1758), ряд других менее значимых). Состав рыбного сообщества водохранилища в настоящее время позволяет отнести водоём к лещёво-плотвичному типу.

С целью определения границ нерестовых участков, их оцифровки и географической привязки, а также определения их площадей применяются географические информационные системы [Золотухин, Ходжер, 2007; Тюрнин, 2007; Комарова, Филоненко, 2015; Калюжная и др., 2017]. При этом картирование нерестилищ проводится чаще всего с использованием данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Преимущество этих методов в том, что они позволяют получить значения площадей нерестовых участков в разное время и при разных уровнях воды.

Целью работы стало установление связи между уровнями воды и площадями нерестовых угодий Чебоксарского водохранилища в весенний период, которые определялись по данным дистанционного зондирования Земли, а также оценка влияния динамики нерестовых площадей на величину естественного воспроизводства основных промысловых видов рыб.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Границы нерестовых участков оцифрованы и географически привязаны с помощью геоинформационных систем (рис. 1), при этом за основу взят список нерестовых участков в Приложении № 6 к Правилам рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна (Приказ Минсельхоза России от 18.11.2014 № 453, в редакции приказа от 25.07.2019 № 438). Дополнительно были учтены площади нерестилищ, рекомендованные для включения в перечень нерестовых участков отделом по Республике Чувашия Камско-Волжского филиала ФГБУ «Главрыбвод». Местоположение и границы нерестовых участков опре-

делялись в Нижегородской области по картам нерестилищ, приведённым в отчете Нижегородской лаборатории ГосНИОРХ [2003], в Республике Марий Эл и Республике Чувашия – по картографическим материалам отделов Камско-Волжского филиала ФГБУ «Главрыбвод» по этим регионам.

Картирование нерестилищ проводилось методом визуального дешифрирования и оцифровки береговой линии по космическим снимкам Landsat 5, Landsat 7 и Landsat 8 (мультиспектральным изображениям со средним разрешением каналов видимой части спектра – 30 м/пиксель). В границы нерестилищ включались участки с глубинами от 0 до 3 м. Глубины определялись по созданной ранее векторной карте распределения глубин Чебоксарского водохранилища [Минин, Минина, 2012].

Для оцифровки границ нерестовых участков использовались космические снимки со спутников Landsat из каталога данных Геологической службы США (USGS Global Visualization Viewer, 2014). В данном каталоге имеется только 5 пар космических снимков Landsat за 1997–2020 гг., покрывающих всю акваторию Чебоксарского водохранилища в нерестовый период, сделанных в безоблачную или малооблачную погоду, с небольшой разницей уровней воды (1–4 см) в даты их создания.

Анализ выполнен для наиболее значимых в воспроизводственном отношении отделов водохранилища – среднего речного, озёрного и приплотинного.

Материалом для исследования стал 21 комплект космических снимков Landsat на акваторию нижнего речного, озёрного и приплотинного участков Чебоксарского водохранилища за 1997, 1998, 2000–2003, 2005, 2007–2009, 2013–2015, 2019 и 2020 гг. в нерестовый период (с 10 апреля по 15 июня). При отсутствии космического снимка, полностью покрывающего изучаемую акваторию (в трёх случаях из 21), использовались пары снимков, отличающихся по времени соз-

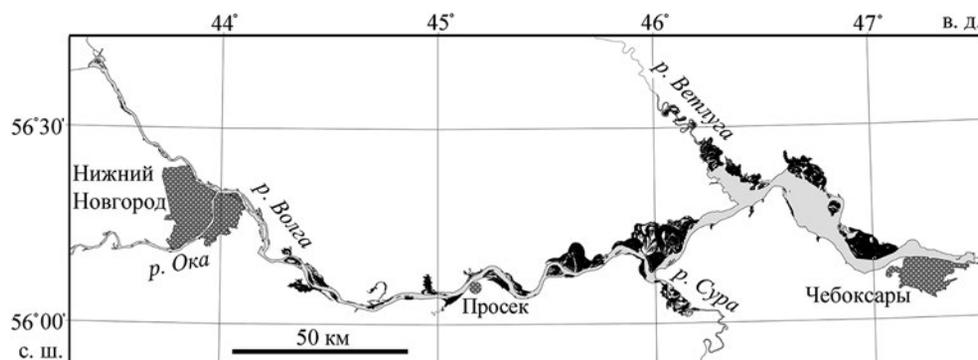
дания на 1–2 суток, при этом разница уровней воды в даты создания снимков была не более 2 см (1–2 см). Проанализировано 6 космических снимков за разные годы, созданных в апреле, 10 снимков и 2 комплекта из двух снимков – в мае, 2 снимка и 1 комплект из двух снимков – в июне.

Уровни воды приняты по данным гидрологического поста в с. Просек Нижегородской области (код пункта наблюдений 75020, расположен примерно на равном расстоянии между Нижегородской и Чебоксарской ГЭС) за даты, соответствующие времени создания каждого космического снимка, получены из архива, размещенного в портале Центра регистра и кадастра [2020]. При отличии уровней воды в даты создания снимков из одной пары проводилось усреднение их значений.

Данные по количественным показателям успешности размножения основных промысловых видов рыб (лещ, щука, плотва, окунь, густера, белоглазка *Ballerus sapa* (Pallas, 1814), язь) были собраны в ходе неводных съёмов (мальковая волокуша и мальковый невод) на изучаемой части акватории Чебоксарского водохранилища в 2000, 2001, 2003, 2005–2013, 2017–2018 гг. Численность сеголеток получена путём умножения значений относительной численности на площадь глубин, облавливаемых соответствующими орудиями лова (мальковая волокуша – 0–1 м, мальковый невод – 1–3 м). Площади мелководий вычислены по карте глубин Чебоксарского водохранилища [Минин, Минина, 2012]. Далее суммировались значения численности на глубинах 0–1 м и 1–3 м.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно сведениям многолетних мониторинговых исследований воспроизводства рыб Чебоксарского водохранилища, весенний нерест большинства видов рыб приходится на период со второй декады апреля по первую декаду июня (табл. 1) [Отчёт ..., 2018, 2019]. При этом в зависимости от температур-



**Рис. 1.** Расположение нерестовых участков среднего речного, озёрного и приплотинного отделов Чебоксарского водохранилища:

серая сплошная заливка – Чебоксарское водохранилище, черная заливка – нерестилища

ных условий конкретного года возможен сдвиг пика нерестовой активности на 7–10 дней.

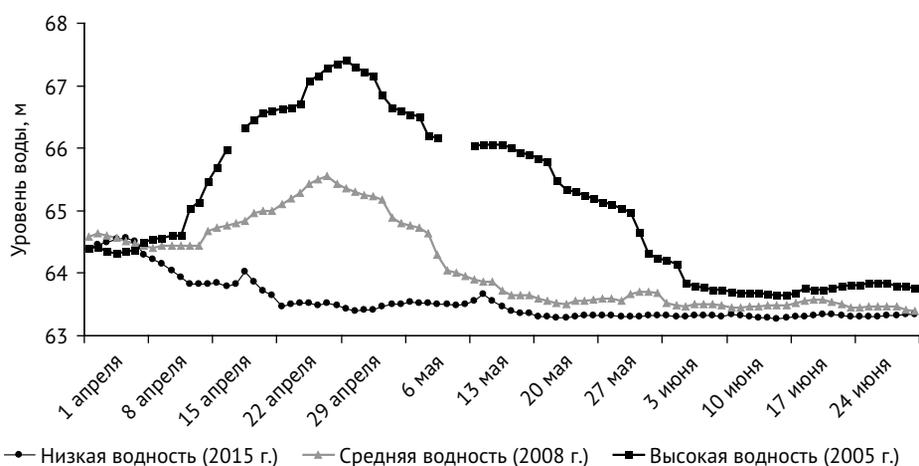
**Таблица 1.** Сроки нереста некоторых основных промысловых видов рыб Чебоксарского водохранилища

| Виды рыб | Сроки нереста      | Сроки массового нереста |
|----------|--------------------|-------------------------|
| Лещ      | 1 мая – 8 июня     | 14–22 мая               |
| Плотва   | 29 апреля – 16 мая | 4–9 мая                 |
| Окунь    | 30 апреля – 14 мая | 3–7 мая                 |
| Щука     | 21 апреля – 7 мая  | 24–28 апреля            |
| Густера  | 23 мая – 12 июня   | 28 мая – 1 июня         |
| Судак    | 7 мая – 1 июня     | 10–24 мая               |

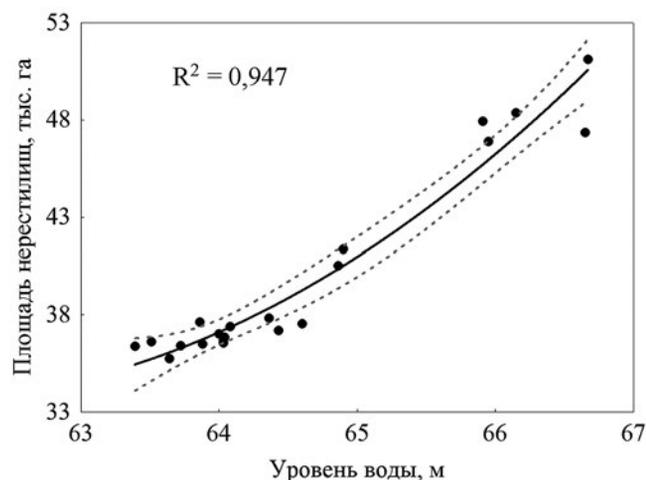
Режим пропуска воды через гидроузлы в весенний период существенно отличается в зависимости от условий водности года, которые принято условно оценивать как «средние», «маловодные» и «высоководные». Аналогичный подход применён и в данной статье как общепринятый. График изменения уровней воды различных по водности годов приведён на рис. 2.

По результатам дешифрирования космических снимков Landsat были оцифрованы и привязаны к географической сети координат границы 48 нерестовых участков Чебоксарского водохранилища, определён 21 вариант площади нерестилищ при различных уровнях воды (рис. 3).

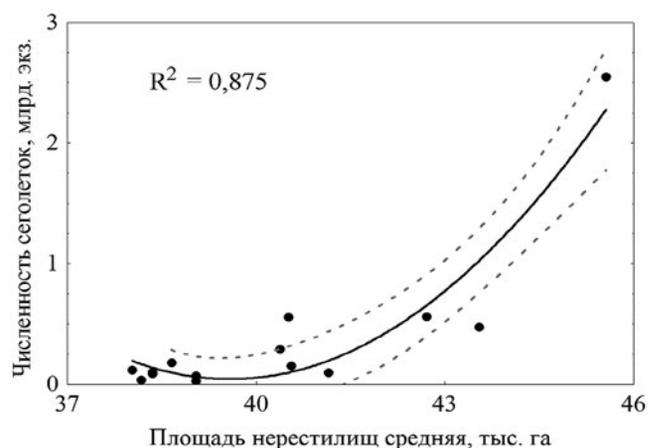
95% доверительный интервал (рис. 3, 4) показывает диапазон вокруг регрессионной кривой, в кото-



**Рис. 2.** Ход уровней воды Чебоксарского водохранилища в нерестовый период в годы различной водности (гидрологический пост Просек, код пункта наблюдений 75020)



**Рис. 3.** Зависимость площади нерестовых участков среднего речного, озёрного и приплотинного отделов Чебоксарского водохранилища от уровня воды ( $n = 21$ ): сплошная линия — кривая регрессии; пунктир — границы 95% доверительного интервала для регрессионной кривой



**Рис. 4.** Зависимость численности сеголеток основных промысловых видов рыб среднего речного, озёрного и приплотинного отделов Чебоксарского водохранилища от средней площади нерестилищ ( $n = 14$ ):

сплошная линия — кривая регрессии, пунктир — границы 95% доверительного интервала для регрессионной кривой

ром находится её истинное значение (с 95 % вероятностью) [Реброва, 2002].

Получена регрессионная зависимость площади нерестилищ от уровня воды:

$$y = 0,7051 x^2 - 87,098 x + 2723,2, \quad (1)$$

где:  $y$  – площадь нерестовых участков, тыс. га;  $x$  – уровень воды, м.

Выведенная формула позволяет восстанавливать общую площадь пойменных и прибрежных нерестилищ в годы высокой, средней и низкой водности и сопоставлять эти значения с показателями естественного воспроизводства рыб.

Анализ степени залития нерестовых угодий, проведённый по космическим снимкам и регрессионной модели, показал, что общая площадь нерестилищ изучаемой части Чебоксарского водохранилища меняется в зависимости от уровня воды в следующих пределах: минимум – 35,01 тыс. га, максимум – 57,68 тыс. га (при уровнях воды соответственно 63,23 и 67,62 м). Минимум и максимум уровней воды в нерестовый период определены по данным Центра регистра и кадастра на гидрологическом посту Просек за 1997–2019 гг. Таким образом, размах варьирования нерестовых площадей в весенний период достигает 1,65 раза.

С целью нивелирования влияния температурных условий, определяющих разброс дат нереста по годам, по формуле (1) по усреднённым значениям уровня воды за период половодья каждого года были вычислены средние площади нерестилищ. Полученные значения использовались для построения зависимости между площадью нерестилищ в различных по водности условиях и урожайностью поколений основных промысловых видов рыб (густера, жерех *Leuciscus aspius* (L., 1758), карась серебряный *Carassius auratus* (L., 1758), краснопёрка *Scardinius erythrophthalmus* (L., 1758), лещ, линь *Tinca tinca* (L., 1758), плотва, сазан *Cyprinus carpio* L., 1758, синец, щука) (рис. 4). Зависимость имеет характер полинома второй степени с высоким коэффициентом детерминации (более 0,8).

Наблюдается заметная положительная связь численности сеголеток со средней площадью нерести-

лищ, коэффициент корреляции Спирмена равен 0,65 ( $\rho = 0,01$ ).

Анализ позволяет предположить, что наибольшая численность сеголеток в водохранилище достигается в годы с высокой степенью залития поймы, что отмечено и для других районов р. Волги [Клевакин и др., 2012; Столбунов, 2016; Чавычалова и др., 2020].

Регрессионное уравнение (2) показывает зависимость численности сеголеток от площади затопления нерестилищ и даёт возможность с определенной степенью достоверности ( $R^2 = 0,88$ ) прогнозировать урожайность пополнения для большей части Чебоксарского водохранилища исходя из значений площади прибрежных и пойменных нерестилищ.

$$y = 62,58 x^2 - 4954,3 x + 98099, \quad (2)$$

где:  $y$  – численность сеголеток, млн экз.,  $x$  – средняя площадь нерестилищ в нерестовый период, тыс. га.

Полученные формулы (1, 2) позволяют оценить примерную численность сеголеток в различные по водности годы (табл. 2). Формула (2) требует уточнения, поскольку для корректных расчётов мы считаем недостаточным использованное количество данных ( $n = 14$ ).

По нашим данным, в Чебоксарском водохранилище в годы различной водности численность пополнения доминирующих видов рыб может изменяться как минимум в 20,5 раз. Для сравнения, в расположенном выше по каскаду Горьковском водохранилище [Клевакин и др., 2012] при разных значениях максимального уровня воды общая численность сеголеток может отличаться в 36–211 раз.

Таким образом, при незначительном увеличении площади нерестилищ (в 1,7 раза) численность пополнения может вырасти в 20 раз. Такая разница объясняется, на наш взгляд, различием коэффициентов регрессии в формулах (1 и 2). Как известно, коэффициент уравнения регрессии показывает, насколько сильно значение зависимого признака изменяется с каждой единицей изменения независимого [Реброва, 2002]. В уравнении зависимости численности сеголеток от площадей нерестилищ регрессионные коэффициенты существенно больше, чем для зависимости

**Таблица 2.** Динамика средней площади нерестилищ зависимости от водности года и возможная численность сеголеток основных промысловых видов рыб трёх отделов Чебоксарского водохранилища в годы различной водности

| Водность | Уровень воды в половодье средний, м | Площадь нерестилищ средняя, тыс. га | Численность сеголеток, млн экз. | Частота встречаемости, лет, % |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Низкая   | 63,6–64,4                           | 35,9–38,4                           | менее 131,8                     | 43,5                          |
| Средняя  | 64,4–65,2                           | 38,4–41,8                           | 131,8–351,5                     | 39,1                          |
| Высокая  | 65,2–66,0                           | 41,8–46,1                           | 351,5–2701,4                    | 17,4                          |

площадей нерестилищ от уровня воды, поэтому численность сеголеток растёт быстрее, чем площади нерестилищ.

По частоте встречаемости лет определённой водности (табл. 2) можно судить о вероятности появления урожайных поколений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый метод восстановления площадей нерестилищ по космическим снимкам в увязке с данными постов гидрологических наблюдений даёт возможность прямого сопоставления величины пополнения непосредственно с площадями нерестовых участков, а не с уровнями воды.

В зависимости от уровня воды общая площадь нерестовых участков наиболее важных для естественного воспроизводства отделов Чебоксарского водохранилища может изменяться в 1,65 раза, а численность сеголеток может меняться в 20,5 раза в зависимости от водности года.

По данным совместного анализа данных по эффективности размножения основных видов рыб и определённых при различной водообеспеченности площадей нерестилищ показано, что для Чебоксарского водохранилища урожайность поколений находится в заметной положительной связи с площадью нерестовых участков (коэффициент корреляции Спирмена равен 0,65).

Полученное уравнение, описывающее зависимость численности сеголеток от средней площади нерестилищ, нуждается в уточнении. При наличии достаточного количества данных возможно прогнозировать уровень естественного воспроизводства в конкретном году на основе связи наблюждённых уровней воды и динамики общей площади нерестилищ в весенний период, что позволит снизить затраты на проведение мальковых съёмок.

Полученные зависимости могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации режимов пропуска половодья в интересах рыбного хозяйства в Правилах эксплуатации Чебоксарского водохранилища. Температурный режим весеннего нерестового периода неустойчив и непостоянен год от года, не поддается корректировке, но за счёт регулирования уровней воды вполне возможно обеспечить площадь заливаемых нерестилищ с максимальной для текущей водности численностью пополнения.

Дополнительно, благодаря точной пространственной привязке границ в геоинформационных системах, в Правилах рыболовства устранены разночтения с трактовкой описаний нерестовых участков и локализации их на местности, что имеет прямое практиче-

ское значение для регулирования рыболовства и ограничения хозяйственной деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

- Астафьева С.С., Судакова Н.В., Ахметова А.Р., Карпенко Н.И.* 2016. Оценка влияния гидрологического режима низовьев дельты Волги на нерест рыб в современных условиях // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. № 32. С. 242–248.
- Васильев Ю.С., Масликов В.И., Шилин М.Б.* 2016. Режим регулирования стока Рыбинского водохранилища как основной фактор формирования экологической ситуации в осушной зоне // Учёные записки РГМУ. № 45. С. 28–42.
- Жезмер В.Б., Бубер А.Л.* 2018. Соответствие современных показателей гидроэкологического режима низовьев Волги основным требованиям нерестового цикла рыб Волго-Каспийского рыбопромыслового подрайона // Природообустройство. № 5. С. 21–30.
- Золотухин С.Ф., Ходжер Л.Ч.* 2007. Расчеты площади нерестового фонда лососей основных рек юга Амурского лимана // Известия ТИНРО. Т. 148. С. 130–142.
- Интересова Е.А., Ядрёнкина Е.Н., Савкин В.М.* 2009. Пространственная организация нерестилищ карповых рыб (Cyprinidae) в условиях зарегулированного стока верхней Оби // Вопросы ихтиологии. Т. 49. № 1. С. 78–84.
- Калюжная Н.С., Калюжная И.Ю., Хоружая В.В., Самотева В.В., Сохина Э.Н.* 2017. Опыт изучения состояния нерестилищ верхнего плёса Цимлянского водохранилища с использованием ГИС // Мат. межд. конф. ИнтерКарто/ИнтерГИС 23. М.: Изд-во МГУ. Т. 1. С. 308–322.
- Катунин Д.Н.* 2014. Гидроэкологические основы формирования экосистемных процессов в Каспийском море и дельте реки Волги. Астрахань: КаспНИРХ. 478 с.
- Клевакин А.А., Логинов В.В., Минин А.Е., Постнов Д.И.* 2012. Определение безвозвратного речного стока и установление экологического попуска в Горьковском водохранилище // Вода: химия и экология. № 8. С. 8–15.
- Комарова А.С., Филоненко И.В.* 2015. Оценка площади нерестилищ фитофильных рыб озера Белое с помощью ГИС-технологий // Мат. XIII Всеросс. науч. конф. «Вузовская наука – региону» 25 февраля 2015 г. Вологда: ВоГУ. С. 120–123.
- Кочеткова М.Ю.* 2005. Гидролого-гидрохимическая характеристика Чебоксарского водохранилища в XXI веке // Тез. докл. межд. Конгресса «Великие реки 2005». Нижний Новгород: ННГАСУ. Т. 1. С. 125–128.
- Логинов В.В.* 2016. Влияние уровня режима Нижегородского гидроузла на воспроизводство рыбного населения // Научный фонд «Биолог». № 2 (16). С. 4–7.
- Логинов В.В., Гелашвили Д.Б.* 2016. Вред водным биологическим ресурсам водохранилищ Волжско-Камского каскада от воздействия гидроэлектростанций // Принципы экологии. № 4. С. 4–26.

- Логинов В.В., Гелашвили Д.Б., Постнов Д.И. 2016. Экологические аспекты воздействия гидротехнических сооружений на устойчивое воспроизводство водных биоресурсов в бассейне реки Волги // 18-й Межд. науч.-пром. форум «Великие реки'2016». Т. 1. Н. Новгород: ННГАСУ. С. 84–87.
- Минин А.Е., Клевакин А.А., Баянов Н.Г., Анучин Ю.В. 2004. Условия нереста рыб и воспроизводство рыбных запасов в Чебоксарском водохранилище // Экологические проблемы литорали равнинных водохранилищ. Мат. межд. конф. Казань: Отечество. С. 11–15.
- Минин А.Е., Минина Л.М. 2012. Оценка рыбных запасов Чебоксарского водохранилища и их пространственного распределения с использованием ГИС-технологий // Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Сб. мат. докл. участников Всеросс. конф. ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22–26 октября 2012 г. Ижевск: издатель Пермьяков С.А. С. 187–189.
- Отчёт о научно-исследовательской работе «Материалы, обосновывающие общий допустимый улов водных биологических ресурсов в Чебоксарском водохранилище и водных объектах, расположенных в границах Нижегородской области, Республики Марий Эл и Чувашской Республики на 2019 год (с оценкой воздействия на окружающую среду)». 2018. Фонды НижегородНИРО: Нижний Новгород. 128 с.
- Отчёт о научно-исследовательской работе «Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов во внутренних водах, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях». 2019. Раздел 1 – Во внутренних водах Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации. Рыбохозяйственные водоемы в зоне ответственности Нижегородского отделения. (Заключительный). Фонды НижегородНИРО. Нижний Новгород. 87 с.
- Отчёт о научно-исследовательской работе «Характеристика особо охраняемых участков нереста рыб Нижегородской области. Этап 1. Характеристика особо охраняемых участков нереста рыб Чебоксарского водохранилища». 2003. Фонды НижегородНИРО. Нижний Новгород. 38 с.
- Отчёт «Оценка воздействия реконструкции и эксплуатации Чебоксарской ГЭС на водные биологические ресурсы и среду их обитания в Чебоксарском водохранилище». Книга 2. «Оценка воздействия реконструкции и эксплуатации Чебоксарской ГЭС на водные биологические ресурсы и среду их обитания». 2016. Фонды НижегородНИРО. Нижний Новгород. 143 с.
- Приказ Минсельхоза России от 18.11.2014 № 453 «Об утверждении правил рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна» (в ред. приказов Минсельхоза России от 26.05.2015 № 214, от 12.01.2016 № 1, от 19.04.2016 № 153, от 27.07.2017 № 371, от 18.04.2018 № 164, от 06.11.2018 № 511, от 25.07.2019 № 438). Доступно через: <http://www.consultant.ru/>. 13.04.2020.
- Подолько С.А., Благова Ю.А., Штепина Л.А. 2012. Влияние обводненности пойменных нерестилищ нижней зоны дельты р. Волги на развитие молоди рыб и ее кормовой базы // Водные ресурсы Волги: история, настоящее и будущее, проблемы управления. Мат. II межрег. науч.-практ. конф. 25–27 октября 2012 г. Астрахань: АИСИ. С. 40–43.
- Столбунов И.А. 2016. Распределение, видовой состав и численность молоди рыб в мелководной зоне Рыбинского водохранилища в разные по уровневому режиму годы // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство. № 2. С. 64–70.
- Реброва О.Ю. 2002. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера. 312 с.
- Тарадина Д.Г., Чавычалова Н.И. 2017. О естественном воспроизводстве полупроходных и некоторых речных видов рыб в низовьях р. Волга в 2011–2015 гг. // Труды ВНИРО. Т. 166. С. 85–108.
- Тюрнин В.Б. 2007. Применение спутниковой космической информации для исследования нерестилищ охотской сельди // Чтения памяти академика К.В. Симакова. Тез. докл. Всеросс. науч. конф. Магадан, 27–29 ноября 2007 г. С. 171–172.
- Уточненное проектное задание рыбохозяйственного освоения водохранилища Чебоксарской ГЭС. 1970. Кн. 1. Пояснительная записка. Фонды ГосНИОРХ. М.: Гидрорыбпроект.
- Центр регистра и кадастра. Доступно через: <http://gis.vodinfo.ru>. 13.04.2020.
- Чавычалова Н.И. 2013. Современные проблемы естественного воспроизводства рыб в низовьях Волги // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. № 2. С. 80–87.
- Чавычалова Н.И., Фомин С.С. 2018. Эффективность естественного воспроизводства рыб в зависимости от гидрологического режима реки Волга в весенне-летний период // Рыбное хозяйство. № 6. С. 12–15.
- Чавычалова Н.И., Тарадина Д.Г., Васильченко О.М., Лардыгина Е.Г. 2020. Эффективность размножения полупроходных и речных рыб реки Волга в различные, по водности и режиму половодья, годовые периоды // Рыбное хозяйство. № 2. С. 67–73.
- Шакирова Ф.М., Таиров Р.Г., Северов Ю.А. 2012. Влияние уровня режима Куйбышевского водохранилища на формирование его рыбных запасов // Рыбное хозяйство. № 1. С. 40–43.
- Go'rski K., Winter H.V., De Leeuw J.J., Minin A.E., Nagelkerke L.A.J. 2010. Fish spawning in a large temperate floodplain: the role of flooding and temperature // Freshwater Biology. 55. P. 1509–1519.

Поступила в редакцию 15.02.2021 г.  
Принята после рецензии 25.02.2021 г.

## Influence of the dynamics of water levels in spring on the area spawning grounds and efficiency of natural reproduction limnophilic fish species of the Cheboksary reservoir

L.M. Minina,  
A.E. Minin,  
A.V. Moiseev

Nizhny Novgorod Branch of VNIRO  
(«NizhegorodNIRO»), Nizhny Novgorod, Russia

The article presents an analysis of long-term fluctuations in the area of spawning areas of three sections of the Cheboksary reservoir, depending on the water content of the year and water levels in the spring period, and their effect on the number of replenishment of the main commercial fish species. Basing on the interpretation of Landsat satellite images, the boundaries and areas of floodplain and coastal spawning areas at different levels were determined. A formula was obtained for the dependence of the area of spawning areas on water levels; the difference between the minimum and maximum values of spawning areas was 1.65 times. It was shown that a high degree of watering of spawning grounds favorably affects the reproductive success of most commercial fish species – a noticeable positive correlation was established between the number of underyearlings and the area of spawning grounds (Spearman's correlation coefficient is 0.65 at  $p = 0.01$ ). A formula was obtained for the dependence of the number of underyearlings on the area of spawning grounds, on the basis of which a forecast of recruitment in years with different degrees of water availability was given. According to preliminary calculations, the efficiency of natural reproduction can increase 20.5 times in high-water years compared to low-water years. By geo-referencing the boundaries of spawning grounds in geographic information systems, differences in the interpretation of the descriptions of spawning grounds in the Fishing Rules have also been eliminated.

**Keywords:** Cheboksary reservoir, water level, flood, area of spawning grounds, efficiency of natural reproduction, commercial fish species, Landsat satellite images.

### REFERENCES

- Astaf'eva S.S., Sudakova N.V., Akhmetova A.R., Karpenko N.I. 2016. Otsenka vliyaniya gidrologicheskogo rezhima nizov'ev del'ty Volgi na nerest ryb v sovremennykh usloviyakh [Assessment of the influence of the hydrological regime of the lower Volga delta on fish spawning in modern conditions] // Voprosy rybnogo khozaystva Belarusi. № 32. S. 242–248.
- Vasil'ev Yu.S., Maslikov V.I., Shilin M.B. 2016. Rezhim regulirovaniya stoka Rybinskogo vodokhranilishcha kak osnovnoj faktor formirovaniya ehkologicheskoy situatsii v osushnoj zone [Regime for regulating the flow of the Rybinsk reservoir as the main factor in the formation of the ecological situation in the dry zone] // Uchenye zapiski RGGMU. № 45. S. 28–42.
- Zhezmer V.B., Buber A.L. 2018. Sootvetstvie sovremennykh pokazatelej gidroehkologicheskogo rezhima nizov'ev Volgi osnovnym trebovaniyam nerestovogo tsikla ryb Volgo-Kaspijskogo rybopromyslovogo podrajona [Correspondence of modern indicators of the hydroecological regime of the lower reaches of the Volga to the basic requirements of the spawning cycle of fish in the Volga-Caspian fishing subarea] // Prirodoobustrojstvo. № 5. S. 21–30.
- Zolotukhin S.F., Khodzher L. Ch. 2007. Raschety ploshchadi nerestovogo fonda lososej osnovnykh rek yuga Amurskogo limana [Calculations of the area of the salmon spawning fund of the main rivers in the south of the Amur estuary] // Izvestiya TINRO. T. 148. S. 130–142.
- Interesova E.A., Yadrenkina E.N., Savkin V.M. 2009. Prostranstvennaya organizatsiya nerestilishch karpovykh ryb (Cyprinidae) v usloviyakh zaregulirovannogo stoka verkhnej Obi [Spatial organization of spawning grounds for cyprinids (Cyprinidae) in conditions of regulated flow of the upper Ob] // Voprosy ikhtiologii. T. 49. № 1. S. 78–84.
- Kalyuzhnaya N.S., Kalyuzhnaya I. Yu., Khoruzhaya V.V., Samoteeva V.V., Sokhina E.N. 2017. Opyt izucheniya sostoyaniya nerestilishch verkhnego plesa Tsimlyanskogo vodokhranilishcha s ispol'zovaniem GIS [The experience of studying the state of spawning grounds in the upper reach of the Tsimlyansk reservoir using GIS] // Mat. mezhd. konf. InterKarto/InterGIS 23. M.: Izdvo MGU. T. 1. S. 308–322.
- Katunin D.N. 2014. Gidroehkologicheskie osnovy formirovaniya ehkosi-stemnykh protsessov v Kaspijskom more i del'te reki Volgi [Hydroecological foundations of the formation of ecosystem processes in

- the Caspian Sea and the Volga river delta]. Astrakhan': KaspNIRKH. 478 s.
- Klevakin A.A., Loginov V.V., Minin A.E., Postnov D.I.* 2012. Opredelenie bezvozvratnogo rechnogo stoka i ustanovlenie ehkologicheskogo popuska v Gor'kovskom vodokhranilishche [Determination of irreversible river flow and establishment of ecological release in the Gorky reservoir] // *Voda: khimiya i ehkologiya*. № 8. S. 8–15.
- Komarova A.S., Filonenko I.V.* 2015. Otsenka ploshchadi nerestilishch fi-tofil'nykh ryb ozera Beloe s pomoshch'yu GIS-tehnologij [Estimation of the area of spawning grounds for phytophilous fish in Lake Beloye using GIS technologies] // *Mat. XIII Vseross. nauch. konf. «Vuzovskaya nauka – regionu» 25 fevralya 2015 g. Vologda: VoGU*. S. 120–123.
- Kochetkova M. Yu.* 2005. Gidrologo-gidrokhimicheskaya kharakteristika CHEboksarskogo vodokhranilishcha v XXI veke [Hydrological and hydrochemical characteristics of the Cheboksary reservoir in the XXI century]. *Tez. dokl. mezhd. Kongressa «Velikie reki 2005»*. Nizhnij Novgorod: NNGASU. T. 1. S. 125–128.
- Loginov V.V.* 2016. Vliyanie urovennogo rezhima Nizhegorodskogo gidrouzla na vosproizvodstvo rybnogo naseleniya [Influence of the level regime of the Nizhny Novgorod hydroelectric complex on the reproduction of the fish population] // *Nauchnyj fond «Biolog»*. № 2 (16). S. 4–7.
- Loginov V.V., Gelashvili D.B.* 2016. Vred vodnym biologicheskim resursam vodokhranilishch Volzhsko-Kamskogo kaskada ot vozdejstviya gidroehlektrostantsij [Harm to aquatic biological resources of reservoirs of the Volga-Kama cascade from the impact of hydroelectric power plants] // *Printsipy ehkologii*. № 4. S. 4–26.
- Loginov V.V., Gelashvili D.B., Postnov D.I.* 2016. Ehkologicheskie aspekty vozdejstviya gidrotekhnicheskikh sooruzhenij na ustojchivoe vosproizvodstvo vodnykh bioresursov v bassejne reki Volgi [Environmental aspects of the impact of hydraulic constructions on the sustainable reproduction of aquatic biological resources in the Volga river basin] // 18-j Mezhd. nauch.-promysl. forum «Velikie reki'2016». T. 1. N. Novgorod: NNGASU. S. 84–87.
- Minin A.E., Klevakin A.A., Bayanov N.G., Anuchin Yu.V.* 2004. Usloviya neresta ryb i vosproizvodstvo rybnых zapasov v Cheboksarskom vodokhranilishche [Fish spawning conditions and reproduction of fish stocks in the Cheboksary reservoir] // *Ehkologicheskie problemy litorali ravninnykh vodokhranilishch*. *Mat. mezhd. konf. g. Kazan': Otechestvo*. S. 11–15.
- Minin A.E., Minina L.M.* 2012. Otsenka rybnых zapasov Cheboksarskogo vodokhranilishcha i ikh prostranstvennogo raspredeleniya s ispol'zovaniem GIS-tehnologij [Assessment of fish stocks of the Cheboksary reservoir and their spatial distribution using GIS technologies] // *Bassejn Volgi v XXI veke: struktura i funktsionirovanie ehkosistem vodokhranilishch*. *Sb. mat. dokl. uchastnikov Vseross. konf. IBVV im. I.D. Papanina RAN, Borok*, 22–26 oktyabrya 2012 g. Izhevsk: izdatel' Permyakov S.A. S. 187–189.
- Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Materialy, obosnovyuyushchie obshchij dopustimyj ulov vodnykh biologicheskikh resursov v CHEboksarskom vodokhranilishche i vodnykh ob'ektakh, raspolozhennykh v granitsakh Nizhegorodskoj oblasti, Respubliki Marij Ehl i Chuvashskoj Respubliki na 2019 god (s otsenкой vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu)»* [Report on the research work “Materials substantiating the total allowable catch of aquatic biological resources in the Gorky reservoir and water bodies located within the boundaries of the Yaroslavl, Kostroma, Ivanovo and Nizhny Novgorod regions for 2019 (with an assessment of the impact on environment)”]. 2018. Fondy NizhegorodNIRO: Nizhnij Novgorod. 128 s.
- Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Osushchestvlenie gosudarstvennogo monitoringa vodnykh biologicheskikh resursov vo vnutrennikh vodakh, v territorial'nom more Rossijskoj Federatsii, na kontinental'nom shel'fe Rossijskoj Federatsii i v isklyuchitel'noj ehkonomicheskoy zone Ros-sijskoj Federatsii, v Azovskom i Kaspijskom moryakh»* [Report on research work “Implementation of state monitoring of aquatic biological resources in inland waters, in the territorial sea of the Russian Federation, on the continental shelf of the Russian Federation and in the exclusive economic zone of the Russian Federation, in the Azov and Caspian seas”]. 2019. Razdel 1 – Vo vnutrennikh vodakh Rossijskoj Federatsii, za isklyucheniem vnutrennikh morskikh vod Rossijskoj Federatsii. *Rybokhozyajstvennyye vodoemy v zone otvetstvennosti Nizhegorodskogo otdeleniya. (Zaklyuchitel'nyj)*. Fondy NizhegorodNIRO. Nizhnij Novgorod. 87 s.
- Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Kharakteristika osobo okhranyaemykh uchastkov neresta ryb Nizhegorodskoj oblasti. Etap 1. Kharakteristika osobo okhranyaemykh uchastkov neresta ryb Cheboksarskogo vodokhranilishcha»* [Report on research work “Characteristics of specially protected areas for fish spawning in the Nizhny Novgorod region. Stage 1. Characteristics of specially protected fish spawning areas of the Cheboksary reservoir”]. 2003. Fondy NizhegorodNIRO. Nizhnij Novgorod. 38 s.
- Otchet «Otsenka vozdejstviya rekonstruktsii i ehkspluatatsii Cheboksarskoj GEHS na vodnye biologicheskie resursy i sredu ikh obitaniya v Cheboksarskom vodokhranilishche»*. *Kniga 2. «Otsenka vozdejstviya rekonstruktsii i ehkspluatatsii Cheboksarskoj GEHS na vodnye biologicheskie resursy i sredu ikh obitaniya»* [Report “Assessment of the impact of the reconstruction and operation of the Cheboksarskaya HPP on aquatic biological resources and their habitat in the Cheboksarsky reservoir”. *Book 2. “Assessment of the impact of reconstruction and operation of the Cheboksary hydroelectric power station on aquatic biological resources and their habitat”*]. 2016. Fondy NizhegorodNIRO. Nizhnij Novgorod. 143 s.
- Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 18.11.2014 № 453 ((v red. Prikazov Minsel'khoza Rossii ot 26.05.2015 № 214, ot 12.01.2016 № 1, ot 19.04.2016 № 153, ot 27.07.2017 № 371, ot 18.04.2018 № 164, ot 06.11.2018 № 511, ot*

- 25.07.2019№ 438)) «Ob utverzhenii pravil rybolovstva dlya Volzhsko-Kaspijskogo rybokhozyajstvennogo bassejna» [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated November 18, 2014 No. 453 ((as amended by Orders of the Ministry of Agriculture of Russia dated May 26, 2015 No. 214, dated January 12, 2016 No. 1, dated April 19, 2016 No. 153, dated July 27, 2017 No. 371, dated April 18, 2018 No. 164, dated 06.11.2018 No. 511, dated 25.07.2019 No. 438)) "On approval of fishing rules for the Volga-Caspian fishery basin"]. Accessible via: <http://www.consultant.ru/>. 13.04.2020.
- Podolyako S.A., Blagova Yu.A., Shtepina L.A.* 2012. Vliyanie ob-vodnennosti pojmenykh nerestilishch nizhnej zony del'ty r. Volgi na razvitie molodi ryb i ee kormovoj bazy [Influence of watering of floodplain spawning grounds in the lower zone of the Volga river delta for the development of juvenile fish and its food base] // *Vodnye resursy Volgi: istoriya, nastoyashchee i budushchee, problemy upravleniya. Mat. II mezhhreg. nauch.-prakt. konf. 25–27 oktyabrya 2012 g.. Astrakhan': AISI. S. 40–43.*
- Stolbunov I.A.* 2016. Raspredelenie, vidovoj sostav i chislennost' molodi ryb v melkovodnoj zone Rybinskogo vodokhranilishcha v raznye po urovnevomu rezhimu gody [Distribution, species composition, and abundance of juvenile fish in the shallow zone of the Rybinsk Reservoir in years different by the level regime] // *Vestnik AGTU. Ser. Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 64–70.*
- Rebrova O. Yu.* 2002. Statisticheskij analiz meditsinskih dannyx. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA [Statistical analysis of medical data. Using the STATISTICA Application Package]. M.: MediaSfera. 312 s.
- Taradina D.G., Chavychalova N.I.* 2017. O estestvennom vosproizvodstve poluprokhodnykh i nekotorykh rechnykh vidov ryb v nizov'yakh r. Volga v 2011–2015 gg. [On the natural reproduction of semi-anadromous and some river fish species in the lower Volga river in 2011–2015] // *Trudy VNIRO. T. 166. S. 85–108.*
- Tyurnin V.B.* 2007. Primenenie sputnikovoj kosmicheskoy informatsii dlya issledovaniya nerestilishch okhotskoj sel'di [Application of satellite space information to study the spawning grounds of the Okhotsk herring] // *Chteniya pamyati akademika K.V. Simakova. Tez. dok. Vseross. nauchn. konf. Magadan, 27–29 noyabrya 2007 g. S. 171–172.*
- Utochnennoe proektnoe zadanie rybokhozyajstvennogo osvoeniya vodokhranilishcha Cheboksarskoj GEHS* [The revised design assignment for the fishery development of the reservoir of the Cheboksary HPP]. 1970. Kn. 1. Poyasnitel'naya zapiska. Fondy GosNIORKH. M.: Gidrorobproekt.
- Chavychalova N.I.* 2013. Sovremennye problemy estestvennogo vosproizvodstva ryb v nizov'yakh Volgi [Modern problems of natural fish reproduction in the lower Volga] // *Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya. № 2. S. 80–87.*
- Chavychalova N.I., Fomin S.S.* 2018. Ehffektivnost' estestvennogo vosproizvodstva ryb v zavisimosti ot gidrologicheskogo rezhima reki Volga v vesenne-letnij period [The efficiency of natural reproduction of fish depending on the hydrological regime of the Volga river in the spring-summer period] // *Rybnoe khozyajstvo. № 6. S. 12–15.*
- Chavychalova N.I., Taradina D.G., Vasil'chenko O.M., Lardygina E.G.* 2020. Ehffektivnost' razmnozheniya poluprokhodnykh i rechnykh ryb reki Volga v razlichnye, po vodnosti i rezhimu polovod'ya, godovye periody [Efficiency of reproduction of semi-anadromous and river fish of the Volga river in different, according to water level and flood regime, annual periods] // *Rybnoe khozyajstvo. № 2. S. 67–73.*
- Shakirova F.M., Tairov R.G., Severov Yu.A.* 2012. Vliyanie urovennogo rezhima Kujbyshevskogo vodokhranilishcha na formirovanie ego rybnykh zapasov [Influence of the level regime of the Kuibyshev reservoir on the formation of its fish stocks] // *Rybnoe khozyajstvo. № 1. S. 40–43.*
- Go'rski K., Winter H.V., De Leeuw J.J., Minin A.E., Nagelkerke L.A.J.* 2010. Fish spawning in a large temperate floodplain: the role of flooding and temperature // *Freshwater Biology. 55. P. 1509–1519.*

#### TABLE CAPTIONS

**Table 1.** Spawning dates of some of the main commercial fish species in the Cheboksary reservoir

**Table 2.** Dynamics of the average area of spawning grounds depending on the water content of the year and the possible number of underyearlings of the main commercial fish species in three sections of the Cheboksary reservoir in years of different water availability

#### FIGURE CAPTIONS

**Fig. 1.** Location of spawning areas of the middle river, lake and dam sections of the Cheboksary reservoir  
Gray solid fill – Cheboksary reservoir, black fill – spawning grounds

**Fig. 2.** The course of water levels of the Cheboksary reservoir during the spawning period in years of different water levels (Prosek hydrological station, observation point code 75020)

**Fig. 3.** Dependence of the area of spawning areas of the middle river, lake and dam sections of the Cheboksary reservoir on the water level ( $n = 21$ )  
Solid line – regression curve, dotted line – borders of 95% confidence interval for regression curve

**Fig. 4.** Dependence of the number of underyearlings of the main commercial fish species in the middle river, lake and dam sections of the Cheboksary reservoir on the average area of spawning grounds ( $n = 14$ )  
Solid line – regression curve, dotted line – boundaries of 95% confidence interval for regression curve