

УДК: 556.54:551.468 (265.53:282.257)

DOI: 10.15853/2072-8212.2019.55.146-173

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭСТУАРИЯХ РЕК ИЧА И КРУТОГОРОВА И В ПРИЛЕГАЮЩИХ ВОДАХ ОХОТСКОГО МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД



С.Л. Горин, М.В. Коваль*

*Вед. н. с., канд. геогр. наук; Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии*

107140 Москва, Верхняя Красносельская, 17

Тел.: 8 (499) 264-81-22. E-mail: gorinser@mail.ru

**Вед. н. с., канд. биол. наук; Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии («КамчатНИРО»)*

683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18

Тел.: 8 (4152) 41-27-01. E-mail: koval.m.v@kamniro.ru

*ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СМЕШЕНИЕ ВОД, ВОДНЫЕ МАССЫ,
ЭСТУАРИЙ, УСТЬЕВАЯ ОБЛАСТЬ РЕКИ, ИЧА, КРУТОГОРОВА, КАМЧАТКА*

Статья основана на результатах собственных полевых работ, выполненных летом 2018 г., а также на архивных и литературных данных. Представлены сведения о пространственно-временной динамике уровня, солёности и температуры воды в эстуариях. Обсуждаются вопросы трансформации приливных колебаний уровня воды, структуры и динамики зоны смешения, динамики вод и водообмена, а также нагрева воды внутри эстуариев. Приведены сведения о пространственных характеристиках зоны смешения в прибрежной части Охотского моря около устья р. Крутогорова. Сообщается о морфодинамике баров (кос), отделяющих эстуарии рек Ича и Крутогорова от моря, и влиянии этого процесса на гидрологический режим обоих эстуариев. Фактические данные, имеющиеся в статье, могут быть полезны при сравнении исследуемых объектов с другими эстуариями.

SUMMER HYDROLOGICAL PROCESSES IN THE ESTUARIES OF THE RIVERS ICHA AND KRUTOGOROVA AND ADJACENT WATERS OF THE SEA OF OKHOTSK

Sergey L. Gorin, Maxim V. Koval*

*Leading Scientist, Ph. D. (Geography); Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO)
107140 Moscow, Verhnaya Krasnoselskaya Str., 17*

Tel.: +7 (499) 264-81-22. E-mail: gorinser@mail.ru

**Leading Scientist, Ph. D. (Biology); Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute
of Fisheries and Oceanography ("KamchatNIRO")*

683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya Str., 18

Tel.: +7 (4152) 41-27-01. E-mail: koval.m.v@kamniro.ru

*HYDROLOGICAL REGIME, HYDROLOGICAL PROCESSES, WATERMIXING, AQUATIC MASSES, ESTUARY,
RIVER MOUTH AREA, ICHA, KRUTOGOROVA, KAMCHATKA*

The article is made on the field data, obtained by authors in summer of 2018, and archive and literature data. It has demonstrated spatial-temporal dynamics of the level, salinity and temperature of the estuary waters. Issues of transformation of the tidal fluctuations of the water level, of the structure and dynamics of the water mixing zone, of the water dynamics, exchange and warming within estuaries are discussed. Data about spatial characteristics of water mixing zone in the coastal part of the Sea of Okhotsk near the mouth of Krutogorova River are provided. Morphodynamics of bars separating the estuaries of the rivers Icha and Krutogorova from the sea and the effects of the process in the hydrological regime of both estuaries are described. The in-fact data in the article can be used to compare the objects examined to the other estuaries.

Авторы статьи в течение многих лет (начиная с 2002 г.) изучают устья рек Камчатского края (Горин, 2012; Коваль, Горин, 2016). Общая цель многолетних исследований состоит в оценке воздействия совокупности абиотических, биотических и антропогенных факторов в устьевых областях рек на воспроизводство лососевых рыб. Очевидно, что для достижения этой цели нужно иметь представление о гидролого-морфологических процессах в эстуариях региона.

На 500-километровом участке Западной Камчатки между реками Кошегочек и Сопочная распространены лагунно-руслловые эстуарии, представляющие собой узкие, вытянутые вдоль морского берега водные объекты (Горин, 2012; Михайлов, Горин, 2012). Ранее нами был подробно изучен эстуарий р. Большой, расположенный на юге этого участка (Горин и др., 2019). Данный объект находится под воздействием стока большой реки ($Q_{cp} \sim 320 \text{ м}^3/\text{с}$) и умеренных

морских приливов (до 3 м). Но на севере участка реки меньше ($Q_{\text{ср}} < 150 \text{ м}^3/\text{с}$), а приливы больше (до 5 м). Поэтому следовало ожидать, что в расположенных здесь эстуариях проявления гидролого-морфологических процессов будут иметь свою специфику.

Для восполнения имеющихся пробелов летом 2018 г. были проведены полевые исследования в эстуариях рек Ича и Крутогорова. Обе реки имеют большую ценность для Камчатского края, поскольку они являются районами массового воспроизводства лососевых рыб, и прежде всего — горбуши (Шевляков, Маслов, 2011).

Настоящая статья посвящена исследованию гидрологических процессов в эстуариях рек Ича и Крутогорова в летний период. Отдельно рассмотрен вопрос о характеристиках зоны смешения на устьевом взморье р. Крутогорова. Морфологические процессы в этих эстуариях были предметом наших специальных исследований, результаты которых уже частично опубликованы (Горин и др., 2018). Поэтому в настоящей статье об этом сообщается только вкратце, насколько это нужно для понимания причин возможных многолетних изменений их гидрологического режима.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Рельеф и климат района исследований охарактеризованы по литературным источникам, ссылки на которые приведены по мере изложения материала. Характеристики гидрологического режима рек определены по данным многолетних наблюдений, проводившихся Камчатским УГМС на специализированных постах. Часть этих данных — с начала наблюдений до 1988 г. — ранее была опубликована в справочных изданиях Гидрометслужбы СССР (Ресурсы..., 1973; Многолетние..., 1987; и др.), в гидрологических ежегодниках за 1981–1988 гг. Данные за 1989–2007 гг. были предоставлены Камчатским УГМС. Результаты «речных» гидрологических наблюдений последнего времени (с 2008 г.) размещены в автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО, <https://gmvo.skniivh.ru>). (Данные в ней размещаются с запаздыванием на 2 года; сведения о температуре воды отсутствуют.) Гидрологический режим прибрежной части моря охарактеризован по сведениям из Водного кадастра (Ежегодные и многолетние..., 2018). Гидро-

логические расчеты выполнены стандартными средствами программы MS Excel.

Характеристика морфологического строения и гидрологического режима эстуариев дана по данным собственных полевых наблюдений, которые проводились с 21 июня по 2 июля (устье р. Ича) и с 4 по 11 июля 2018 г. (устье р. Крутогорова). Полевые работы выполнялись в соответствии с принятыми в гидрологии устьев рек методами (Гидрологические наблюдения..., 1993; Руководство..., 2011; Руководство..., 2012).

Режим уровня воды изучался с помощью гидроstaticеских датчиков, установленных на дно водных объектов. Использовались отечественные приборы (ГМУ-2 и СТД-2 производства ЦКБ ГМП, г. Обнинск), а также зарубежное оборудование — DST centi-TD, DST tilt (Star-Oddi Ltd.). Измерения уровня проводились через каждые 15 мин и продолжались от 6 до 9 суток в эстуарии р. Ича и 2–3 суток в эстуарии р. Крутогорова. Относительная точность измерений — от 1 до 5 см. Часть постов была оборудована водомерными рейками для контроля показаний приборов. Все посты были приведены к единой системе высот с использованием Глобальной навигационной спутниковой сети. Помимо собственных наблюдений, в статье использованы предвычисления приливов в Охотском море по пункту «Крутогорово», выполненные Камчатским УГМС.

Наблюдения за температурой и соленостью воды проводились как на упомянутых выше автоматических постах, так и с помощью гидрологических съемок. Посты были оборудованы приборами СТД-2, ГМУ-2 и DST CT (Star-Oddi Ltd.). Измерения проводились в придонном горизонте. Дискретность измерений на всех постах составляла 15 мин, а продолжительность — от 6 до 9 суток в эстуарии р. Ича и 2–3 суток в эстуарии р. Крутогорова. Точность измерений температуры и солености воды составляла 0,1 °С и 0,5‰ соответственно. Гидрологические съемки проводились с использованием гидрологического зонда AAQ-RINKO Profiler (JFE Advantech Ltd.). Этот вид работ выполнялся в обоих эстуариях как в полные (на максимуме прилива), так и в малые воды (на минимуме отлива). Кроме этого, около устья р. Крутогорова была выполнена съемка в прибрежной части моря. Расстояние между вертикалями, на которых делались измерения, зависело от величины наблюдаемых градиентов солености. При

резком изменении солености расстояние составляло 100–300 м, а при отсутствии значимых изменений достигало 2–3 км. Точность измерений температуры составляла 0,1 °С, а солености воды — от 0,5‰ (в диапазоне 0–2‰) до 0,1‰ в диапазоне 2–33‰.

Мутность воды и содержание в ней растворенного кислорода измерялись одновременно с температурой и соленостью во время гидрологических съемок. Измерения проводились с помощью гидрологического зонда AAQ-RINKO Profiler, оборудованного соответствующими оптическими датчиками: мутности — в условных единицах (NTU), а кислорода — в процентах насыщения и мг/л. Точность измерений мутности — от 1 NTU (в диапазоне 0–20 NTU) до 50 NTU (при достижении верхнего предела измерений, равного 1000 NTU). Скорость и направление течения воды (в створах измерения расходов) измерялись вертушкой ГР-21, а также заглубленными (0,5 м от поверхности воды) поплавками с GPS-приемниками. Створы находились выше места выклинивания приливных колебаний уровня воды в реках. Промеры глубин выполнены эхолотом GPSMAP Sounder (Garmin Ltd.). В большей части эстуариев промеры проводились по косым галсам и поперечникам, а в наиболее удаленных частях эстуария р. Ича — эпизодически в характерных местах. К единой системе отсчета все глубины были приведены по показаниям автоматических уровнемеров.

В теоретическом отношении статья опирается на представления об определении, классификации и районировании эстуариев, изложенные в (Михайлов, Горин, 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На гидрологические процессы в лагунных эстуариях Камчатки влияют как внешние факторы (рельеф и климат побережья, речной сток и морские приливы), так и внутренние, и в первую очередь морфодинамика их устьев (Горин, 2012). Из гидрологических процессов внутри этих объектов наиболее важны трансформация волн речных паводков и паводков, а также морских приливов; динамика зоны смешения речных и морских вод; трансформация водных масс в результате их взаимодействия с атмосферой и дном. Этими соображениями объясняется перечень проблем, рассматриваемых ниже.

Факторы гидрологических процессов в эстуариях рек Ича и Крутогорова

Рельеф речных бассейнов. Реки Ича и Крутогорова пересекают два крупных физико-географических района: их верховья находятся на западных склонах Срединного хребта, а нижние части — в пределах Западно-Камчатской равнины (рис. 1).

Срединный хребет представляет собой горно-вулканическое сооружение с максимальными отметками до 2–3 км, протянувшееся на 900 км вдоль всего п-ова Камчатка и образующее главный водораздел между речными системами бассейна Охотского моря, расположенными на западе Камчатки, и реками бассейнов Тихого океана и Берингова моря, протекающими в центре и на востоке полуострова (Ресурсы..., 1973). В горных истоках р. Крутогорова есть многолетние снежники, а в истоках р. Ичи — ледники.

Западно-Камчатская равнина в геоморфологическом отношении выглядит как ступенчатая пологонаклонная поверхность, отметки которой понижаются с 300–350 до 0 м над уровнем моря. С востока равнина примыкает к предгорьям Срединного хребта, а на западе плавно переходит в шельф Охотского моря. Поверхность равнины имеет сложное строение и по своему облику заметно отличается на разных участках. На юге (до бассейна р. Крутогорова) широко распространены плоские и слабонаклонные заболоченные участки, прорезанные относительно неглубокими и широкими речными долинами. К северу от р. Крутогорова (включая ее бассейн) более характерны участки пологоволнистого и пологоувалистого рельефа, а глубина вреза речных долин достигает нескольких десятков метров. Долины крупных рек (Большая Воровская, Крутогорова, Ича и др.) террасированы.

Морские берега и морфодинамика береговых баров. Берег моря в пределах исследуемого района выровненный, низменный, аккумулятивный, с небольшими по своей протяженности абразионными обрывами (Гидрометеорология..., 1998). Он образован чередованием протяженных баров, отделяющих лагуны (эстуарии) от Охотского моря, с относительно короткими участками выходов коренного берега с прислоненными пляжами. Южнее устья р. Крутогорова береговые уступы обычно меньше 3–5 м, а севернее этого места они нередко достигают 20–40 м.

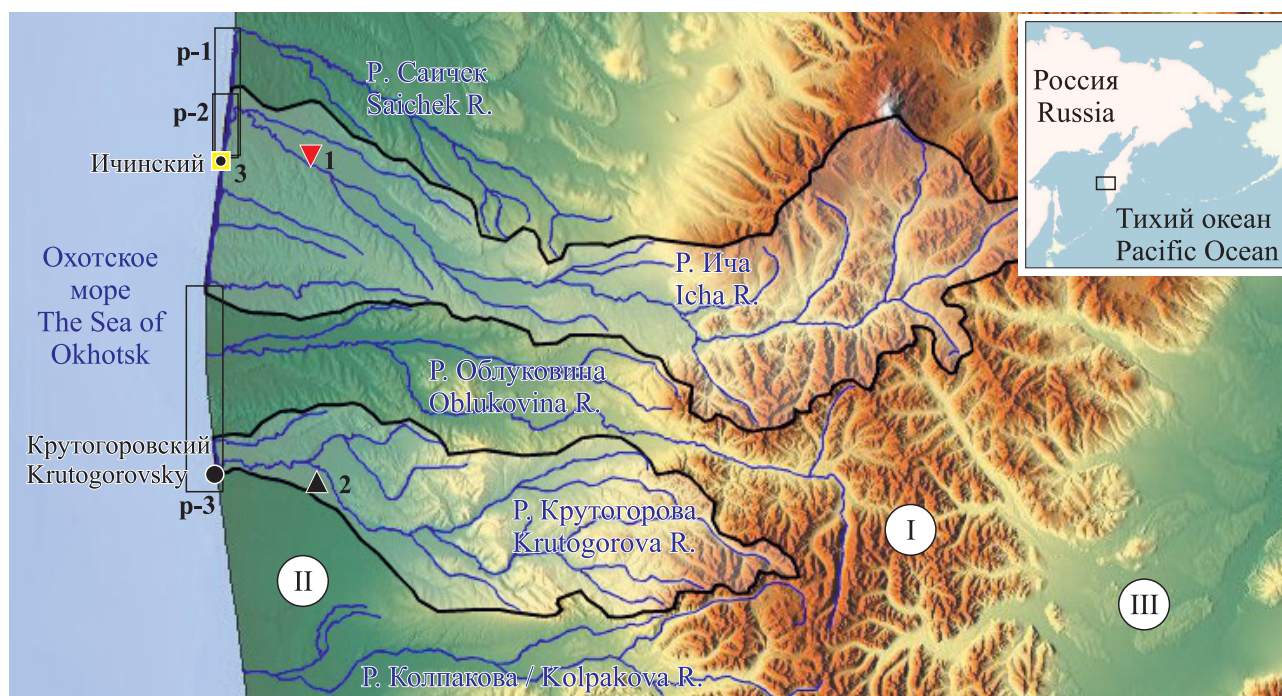


Рис. 1. Бассейны рек Крутогорова и Ича: I — Срединный хребет; II — Западно-Камчатская равнина; III — Центрально-Камчатская равнина; 1 — гидрологический пост «р. Ича – с. Ича»; 2 — гидрологический пост «р. Крутогорова – с. Крутогорова»; 3 — метеостанция и морской пост «Ича»; p-1, p-2 и p-3 — рамки изображений на рис. 2, 3 и 4 соответственно
 Fig. 1. The basins of the rivers Krutogorova and Icha: I – Sredinniy ridge; II – West-Kamchatkan Plain; III – Central-Kamchatkan Plain; 1 – the hydrological post “Icha R. – Icha Village”; 2 – the hydrological post “Krutogorova R. – Krutogorovo Village”; 3 – meteorological and marine post “Icha”; p-1, p-2 and p-3 – boundaries demonstrated in Figures 2, 3 and 4 respectively

Лагуна (эстуарий) р. Ичи отделяется от моря баром длиной более 40 км (далее «Ичинский бар»). На юге и севере он подходит к прибрежным увалам, несколько километров тянется под их уступами, а затем переходит в бары, блокирующие устья рек Облуковина (на юге) и Саичек (на севере). Ичинский бар сформирован одним валом с высотой гребня ок. 4–6 м над средним уровнем моря (2–4 м над уровнем максимального прилива). Но на его тыловом склоне встречаются небольшие по протяженности остатки более древних баров, образующих вторую и даже третью линию валов.

Лагуна (эстуарий) р. Ичи соединяется с морем через узкую (~100 м шириной) и короткую (до ~500 м длиной) прорву в баре. Как показали наши исследования, эта прорва постоянно перемещается вдоль оси бара (Горин и др., 2018) [морфодинамика устьев Ичинской и Крутогоровской лагун восстановлена по историческим документам XVIII–XX вв., а также по космическим снимкам 1974–2017 гг.]. В естественных условиях до середины XX в. ее исходное положение было на 7–9 км севернее современного, причем лагуны рек Ича и Саичек были объединены общим устьем (рис. 2). Иногда вследствие каких-то причин прорва могла одно-

моментно перемещаться на несколько километров южнее. Скорее всего, это происходило из-за замыка «старой» прорвы после сильных штормов в море и последующего прорыва «нового» устья водой, ищущей выхода из переполненной лагуны. После «отката» прорвы на юг начинался очередной этап ее постепенного перемещения на север (в начале XX в. со средней интенсивностью 0,3–0,4 км/год). Как часто возобновлялись эти циклы, не ясно. Скорее всего, несколько (менее 5?) раз за столетие.

В середине XX в. завершился «естественный» и начался «антропогенный» этап развития Ичинского бара: в последние 70 лет устье Ичинской лагуны не менее 6 раз прокапывали на юге после того, как оно слишком сильно удалялось на север (Горин и др., 2018). Впервые это произошло в 1948 г., затем по одному разу в периоды между 1951–1968 гг., 1981–1983 и 1995–1996 гг., а также по одному разу в 2013 и в 2017 гг. Вслед за каждым переносом устья цикл смещения прорвы на север начинался заново (рис. 3). Средняя интенсивность такого смещения (для отрезков времени более 10 лет) составляла 0,30–0,33 км/год. За один год смещение устья Ичинской лагуны варьировало в широких пределах: от 0,2 до 0,8 и даже до 1,0 км.

В устье р. Крутогорова лагуна (эстуарий) так же, как и в предыдущем случае, отделяется от моря береговым баром. Но Крутогоровский бар значительно короче Ичинского: его длина не превышает 4 км (рис. 4). На севере он подходит к прибрежным увалам, несколько километров тянется под

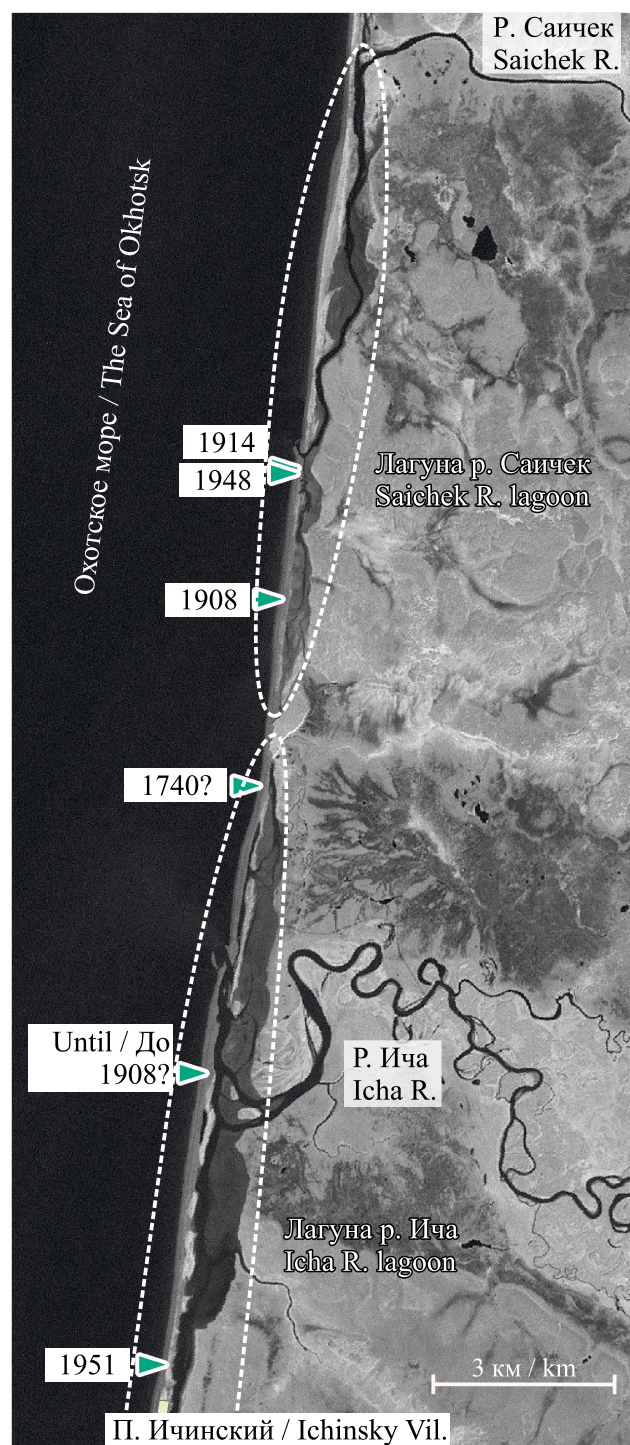


Рис. 2. Положение устьев лагуны р. Ичи в 1740–1951 гг. (на фоне космоснимка 2000 г.; рамку изображения см. на рис. 1)
Fig. 2. The Icha River lagoon mouth in 1740–1951 (on the background of space image 2000; see the boundaries in Fig. 1)

их уступами, а затем переходит в бар, блокирующий устье р. Схумач. Еще севернее этот бар соединяется с баром лагуны р. Облуковина. На юге (в районе пос. Крутогоровский) бар переходит в пляж полного профиля, примыкающий к заболоченной низменности. Еще южнее пляж прислонен к уступу невысокого увала. Большая часть Крутогоровского бара сформирована двумя валами, первый из которых (ближайший к морю) имеет высоту ок. 4–6 м над средним уровнем моря (2–4 м над уровнем максимального прилива).

Анализ исторических документов (Дополнение..., 1915; Давыдов, 1923) показал, что в первой половине XX в. р. Крутогорова впадала в общую лагуна вместе с протекающими севернее ее реками Половинная, Схумач, Схикия и Облуковина (рис. 4). Эта лагуна имела два выхода в море: южный около устья р. Крутогорова и северный около устья р. Облуковина. В тот период оба устья постепенно смещались к северу со средней интенсивностью 0,39 км/год (1907–1914 гг.). Скорее всего (прямых доказательств этому нет), здесь иногда случались штормовые замывы лагунных устьев и последующий прорыв речной водой новых устьев южнее предыдущих мест.

В 1958 г. севернее п. Крутогоровский была сделана искусственная прорезь (Леонтьев и др., 1969; 1971), через которую в море стали вытекать воды рек Крутогорова и Половинная, а лагуны рек Схумач, Схикия и Облуковина обособились. Судя по космическим снимкам, с тех пор устье Крутогоровской лагуны регулярно прочищалось и поэтому не отходило далее 0,5–1 км от своего современного местоположения. И лишь иногда его «отпускали», тогда оно в течение нескольких лет (по-видимому, не более 2–3) снова перемещалось к северу со средней интенсивностью 0,6 км/год (за один год — от 0,3 до 0,9 км). По имеющимся у нас данным, в последние полвека максимальное удаление устья от его современного положения не превышало 2 км.

Судя по всему, причины и механизмы смещения устья Крутогоровской лагуны на север идентичны таковым в Ичинской лагуне. В общих чертах, этот процесс протекает под совместным воздействием эрозии со стороны потока, вытекающего из лагуны в море, и волновой аккумуляции со стороны моря (подробнее см. Горин и др., 2018). В результате наносы с правого (северного) борта прорывы переносятся на ее левый

(южный) борт, и поэтому устье эстуария перемещается на север.

Климат в исследуемом районе морской умеренный, холодный (Кондратюк, 1974). [Характеристика климатических сезонов дана по метеостанции «Ича» (Научно-прикладной., 2010). Она находится в пос. Ичинском (рис. 1) и работает с 1935 г.] Зима длится ~6 мес., с конца октября до первых чисел мая. В это время отепляющее воздействие Охотского моря незначительно из-за его большой ледовитости, поэтому преобладает холодная, ветреная, малооблачная погода (Кондратюк, 1974). В самые холодные месяцы года (в январе и феврале) средняя температура воздуха

опускается ниже минус 12 °С (рис. 5). Первый снег обычно выпадает в последней декаде октября, а уже через неделю образуется устойчивый снежный покров. Зима относительно малоснежная: к марту толщина снежного покрова в среднем достигает ~65 см по постоянной рейке. Снег начинает таять в апреле, а сходит в первой декаде мая.

Весна прохладная и затяжная, длится ~1,5 мес. — до второй половины июня. Температура воздуха повышается медленно и устойчиво переходит через 10 °С лишь к концу сезона. Последние заморозки возможны до первой декады июня. Летом охлаждающее влияние моря очень велико, поэтому этот сезон прохладный и короткий: ~2 мес., с середины июня

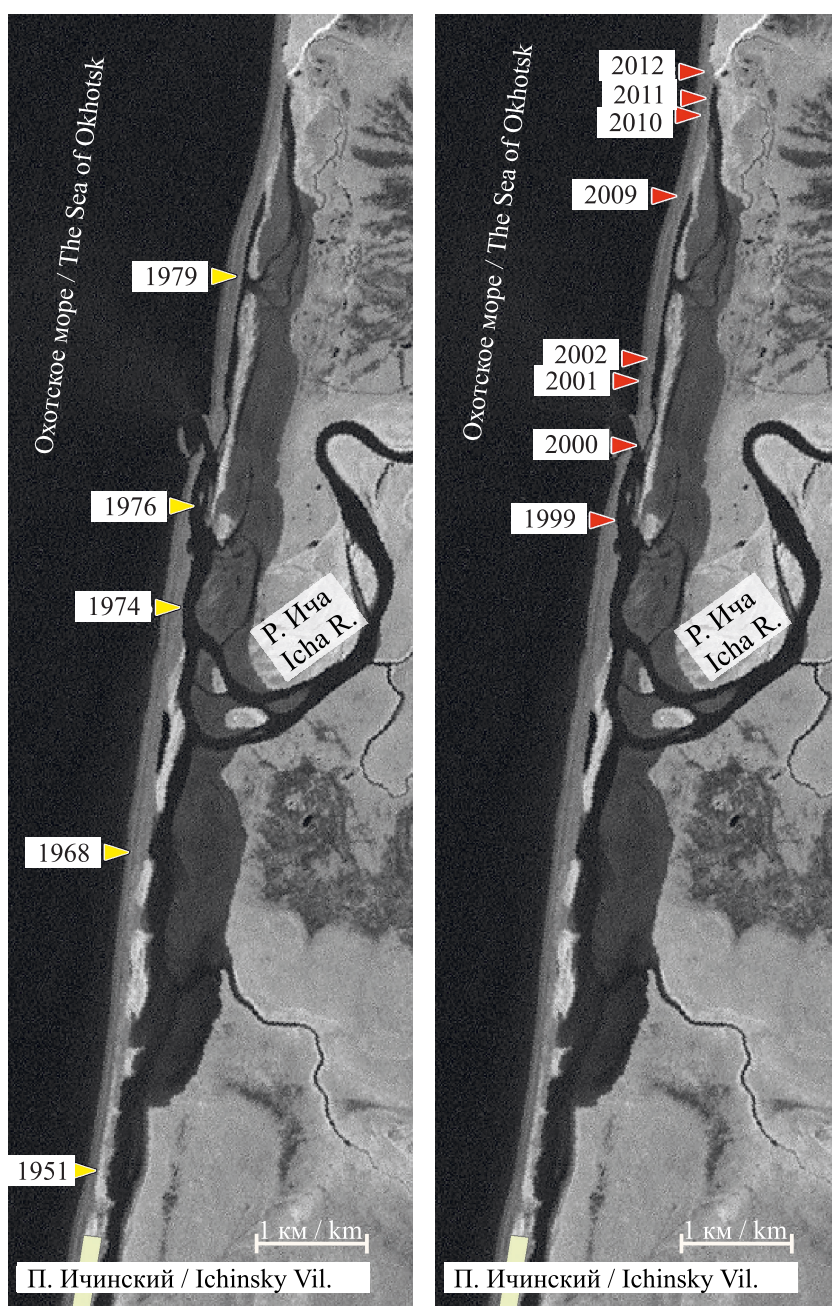


Рис. 3. Положение устьев лагуны р. Ичи в 1951–1979 и 1999–2012 гг. (на фоне космического снимка 2000 г.; рамку изображения см. на рис. 1)
Fig. 3. The Icha River lagoon mouth in 1951–1979 and 1999–2012 (space image of 2000 background; see the boundaries in Fig. 1)



Рис. 4. Положение устьев лагуны р. Крутогорова в начале XX в. (на фоне космоснимка 2000 г.; рамку изображения см. на рис. 1)
 Fig. 4. The Krutogorova River lagoon mouth at the beginning of XX century (space image of 2000 background; see the boundaries in Fig. 1)

до середины августа. Летом преобладают два типа погоды: 1) не очень теплые, сырые, пасмурные дни, которые сменяются относительно теплыми, туманными ночами; 2) теплые дни с переменной облачностью и ливнями, сменяющиеся прохладными и ветренными ночами (Кондратюк, 1974). В августе (самом теплом месяце года) средняя температура воздуха достигает $11,4^{\circ}\text{C}$ (рис. 5). К концу сезона температура воздуха понижается и устойчиво переходит через 10°C . Осень довольно затяжная: 2–2,5 мес. (с середины августа до конца октября). В этот сезон преобладает пасмурная, дождливая и ветреная погода. И хотя в сентябре довольно тепло (рис. 5), уже в начале этого месяца возможны первые заморозки. В середине октября температура воздуха переходит через 0°C , и через несколько дней устанавливается снежный покров.

Недостаток тепла и высокая относительная влажность воздуха (более 80%) ограничивают испарение, поэтому даже при небольшом количестве годовых осадков (~ 700 мм/год) для этой территории характерны избыточное увлажнение и заболачивание. За пять зимних месяцев — с декабря по апрель — в среднем выпадает 151 мм осадков (в основном, в твердом виде). В мае и июне осадков также немного: 96 мм за два месяца. С июля по ноябрь продолжается «дождливый» сезон: за пять месяцев в среднем выпадает 454 мм осадков. При этом суточный максимум осадков в среднем составляет 18–27 мм. В августе и ноябре бывали случаи, когда за одни сутки выпадало до 156 и 220 мм соответственно (рис. 5).

Гидрологический режим рек. В Ичинскую лагуну впадают пять рек (табл. 1). Главная из них — р. Ича, на долю которой приходится $\sim 91\%$ речного стока. Крутогоровская лагуна принимает всего две реки, причем на долю р. Крутогорова приходится $\sim 97\%$ стока. По площади своего бассейна и величине водного стока р. Ича относится к большим водотокам Западной Камчатки, а р. Крутогорова — к средним (табл. 1). Остальные притоки обеих лагун — это малые водотоки.

В табл. 2 представлены многолетние характеристики водного стока рек Ича и Крутогорова в замыкающих створах. Эти створы находятся в ~ 35 км от устьев рек, поэтому наблюдениями не было охвачено $\sim 12\%$ водосбора р. Ича и $\sim 22\%$ водосбора р. Крутогорова (рис. 1, табл. 2). На малых реках, впадающих в исследуемые лагуны, гидрологических постов никогда не было. В связи с этим, для пересчета многолетних

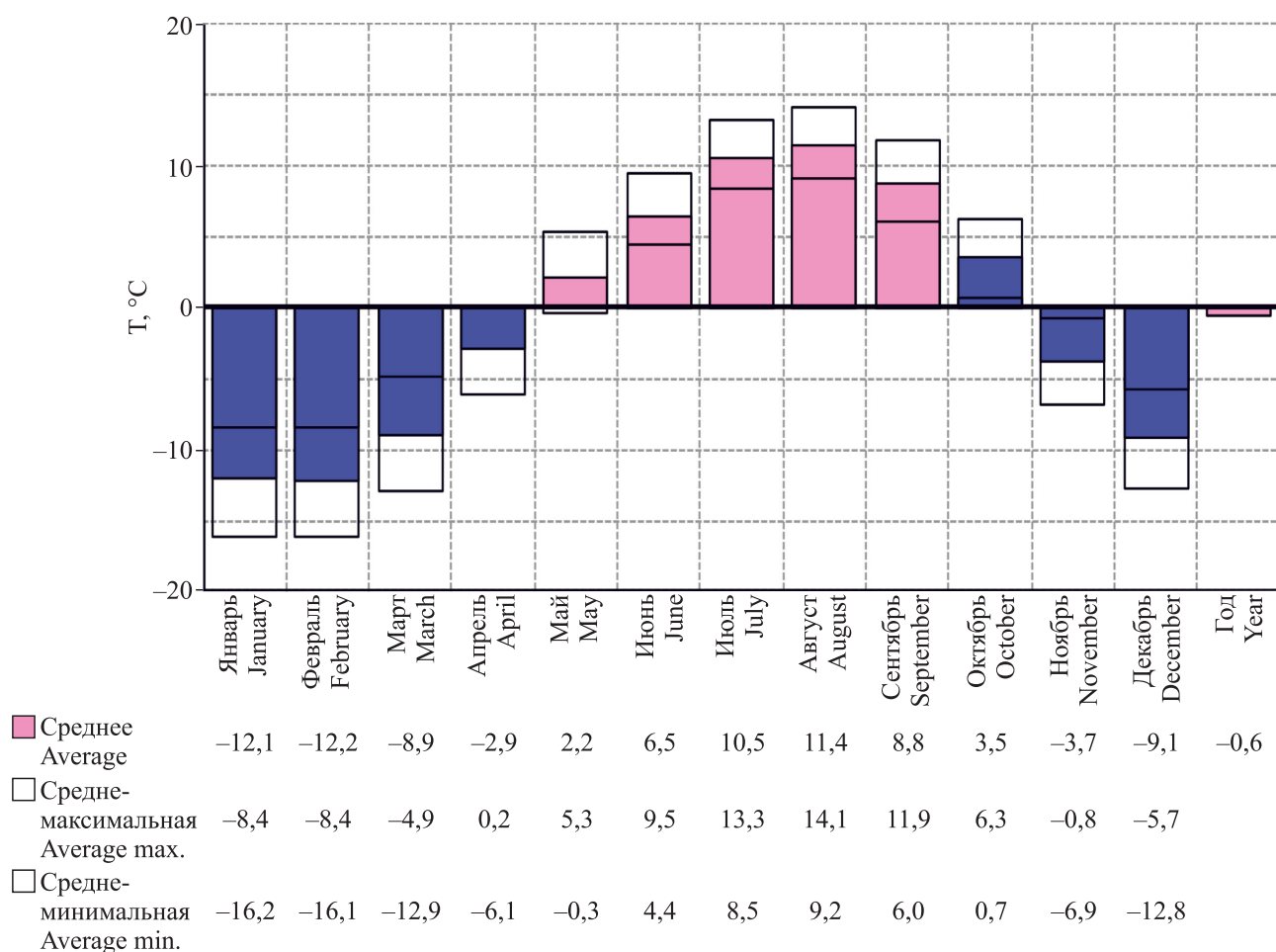


Рис. 5. Средняя, среднемаксимальная и среднеминимальная температура воздуха по месяцам на метеостанции «Ича» (Научно-прикладной..., 2010). Среднемаксимальная и среднеминимальная температура воздуха рассчитана на основании ежесуточных наблюдений 1937–2010 гг. по максимальному и минимальному термометрам соответственно. Первая величина характеризует дневную (наиболее теплую) часть суток, вторая дает представление о холодных ночных часах

Fig. 5. The average, average high and average low air temperature by months at the meteostation “Icha” (Научно-прикладной..., 2010). The average high and low air temperatures were calculated based on daily observations for 1937–2010 on the high and low thermometers respectively. The average high air temperature characterizes light part (warmer) of the day, and the low air temperature gives an insight about cold dark hours

Таблица 1. Гидрологические характеристики рек, впадающих в Ичинскую и Крутогоровскую лагуны (1948–1999 гг.)*
Table 1. Hydrological characteristics of the rivers entering the lagoons Ichinskaya and Krutogorovskaya (1948–1999)*

Река River	L , км (km)	F , км ² (km ²)	Q_{cp} , м ³ /с (m ³ /sec)	Доля в общем стоке, % Part in the total flow, %
Ичинская лагуна (эстуарий) / Ichinskaya Lagoon (estuary)				
Ича / Icha	233	4530	111	90,7
Конон / Konon	80	345	6,1	5,0
Скудой (Вторая) / Skudoy (Vtoraya)	36	148	2,3	1,9
Первая / Pervaya	44	133	2,1	1,7
Чавыча (Третья) / Chavycha (Tretya)	18	61	0,9	0,7
Крутогоровская лагуна (эстуарий) / Krutogorovskaya Lagoon (estuary)				
Крутогорова / Krutogorova	169	2650	65,6	96,7
Половинная / Polovinnaya	36	142	2,2	3,3

* L , F — длина реки и площадь ее водосбора по данным (Ресурсы..., 1966); Q_{cp} — средний многолетний расход воды в устьевом створе (расчеты ориентировочные, приведены к периоду 1948–1999 гг.; при расчетах использовались ряды наблюдений на постах «р. Ича – с. Ича» за 1959–1999 гг. и «р. Крутогорова – с. Крутогорово» за 1951–1988 гг., а в качестве аналога для приведения рядов к длинному периоду — «р. Большая Воровская – с. Соболево» за 1948–1999 гг.; для расчета стока малых рек использовались переходные коэффициенты из табл. 2 (см. рис. 1)

* L , F — the length of the river and its catchment area according to the data (Resources..., 1966); $Q_{cp(av)}$ — the average long-term water flow in the mouth section (the calculations indicative, given to the period 1948–1999; series of observations at the posts “Icha R. – Icha Village” for 1959–1999 and “Krutogorova R. – Krutogorovo Village” for 1951–1988 were used for the calculations, where the data from “Bolshaya Vorovskaya R. – Sobolevo Settlement” for 1948–1999 served as analogue to bring the series to a long period; the flow of small rivers was recalculated using coefficients from the Table 2 (see Fig. 1).

характеристик стока в замыкающих створах (табл. 1) к устьям рек, а также для приближенной оценки суммарных характеристик притока речной воды в лагуны, предлагается использовать «переходные коэффициенты», приведенные в табл. 2.

Для исследуемых рек характерны три фазы водного режима: зимняя межень, весенне-летнее половодье и летне-осенние паводки (рис. 6). Зим-

няя межень на реках начинается в первых числах декабря, когда речные бассейны уже месяц как покрыты снегом. В декабре на реках еще могут ощущаться последствия предшествующих паводков, но с января по март водный сток устойчиво низок (рис. 6). Средняя продолжительность зимней межени ~5 мес., ее доля в годовом стоке воды ~17%. Половодье на реках в среднем начинается в

Таблица 2. Характеристики водного стока рек Ича и Крутогорова в замыкающих створах
Table 2. Characteristics of the water flow in the outlet sections of the Icha and Krutogorova Rivers

Характеристика Characteristic	Р. Ича Icha R.	Р. Крутогорова Krutogorova R.
Створ измерений / Section of measurements	С. Ича Icha village	С. Крутогурово Krutogorovo village
Расчетный период / Analyzed period	1959–2001*	1951–1988**
Площадь водосбора в створе измерений, км ² Catchment area square in section of measurements, km ²	4000	2080
Расстояние от замыкающего створа до устья реки, км Distance from the closing section to the river mouth, km	36	33
Годовой расход воды, м ³ /с: / Annual water discharge, m ³ /sec: сред. (мин./макс.) / averaged (min/max)	104 (70,4/159)	54,5 (33,5/80,5)
Наибольший годовой расход (из срочных значений), м ³ /с: Maximum annual discharge (on the absolute values), m ³ /sec: сред. (мин./макс.) / average (min/max)	419 (204/795***)	296 (151/597***)
Наименьший расход воды в период открытого русла (из срочных значений), м ³ /с: / Minimum annual discharge during the ice free river bed period (on the absolute values), m ³ /sec: сред. (мин./макс.) / average (min/max)	80,9 (49,5/118)	34,0 (13,9/54,9)
Наименьший расход воды в зимнюю межень (из средних суточных значений), м ³ /с: / Minimum water discharge in winter low water (on the average daily values): сред. (мин./макс.) / average (min/max)	26,1 (10,3/43,2)	14,3 (7,67/27,5)
Переходный коэффициент для оценки водного стока в устье реки Intermediate coefficient for water flow estimation in the river mouth	1,10	1,21
Переходный коэффициент для оценки суммарного притока речной воды в лагуну / Intermediate coefficient for estimation of summarized flow of river water into the lagoon	1,22	1,25

*Использованы данные за весь период наблюдений. **В расчетах не использовались данные за 1989–1994 гг. (из-за отсутствия таковых у авторов статьи). ***Величины экстремально больших расходов воды занижены на ~20% из-за недоучета воды на пойме.

*Data for the whole period of observations were used. **Data for 1989–1994 could not be used, because authors did not have them. ***Values of extremely high water discharges were understated by ~20% due to under-accounting the water in the floodplain.

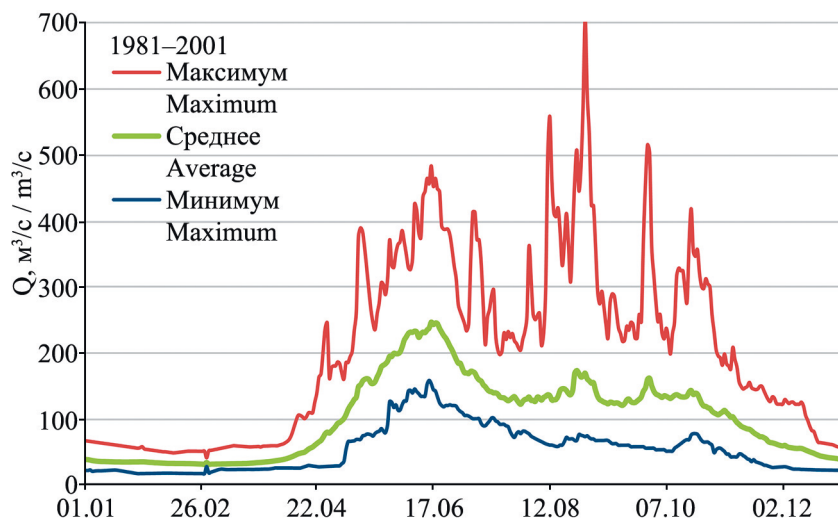


Рис. 6. Средние, максимальные и минимальные суточные расходы воды в р. Ича (створ «с. Ича») за многолетний период (1981–2001 гг.)
Fig. 6. The long-term (1981–2001) average, maximum and minimum daily water charges in the Icha River (the station “Icha village”)

конце апреля. Его максимум на р. Крутогорова обычно проходит в мае, а на р. Ича — с 20 мая по 20 июня. Часто волна половодья имеет многопиковый вид и иногда почти теряется на фоне многочисленных паводков. Обычно половодье оканчивается к середине июля на р. Крутогорова и к началу августа на р. Ича. После этого наступает период летне-осенних паводков. Их количество, сроки прохождения и объем стока изменяются в широких пределах. Иногда они почти незаметны, а в другие годы проходят сплошной чередой от спада половодья до начала зимней межени. В целом, паводки на реках могут случиться в любой из дней летне-осеннего периода (и даже ранее — на подъеме половодья, рис. 6). Но все-таки периодами их устойчивой активизации можно считать вторую половину августа, а также вторую половину сентября — первую декаду октября. В теплое время года межень как таковая на исследуемых реках случается только в маловодные годы. С началом холодного периода (в конце октября) активность дождевых паводков заметно снижается. Но в ноябре, уже когда в бассейнах рек лежит снег, на реках может пройти третья волна паводков. Минимальные в году расходы воды на обеих реках отмечаются в период зимней межени (табл. 2). Максимальный расход половодья на р. Ича в ~60% случаев является наибольшим в году, а на р. Крутогорова пик наиболее высокого паводка часто превышает половодный.

В нижнем течении рек Ича и Крутогорова речная вода начинает прогреваться в конце апреля, в это время ее температура переходит через 0,2 °C (по данным речных постов «с. Ича» (1958–1980 гг.) и «с. Крутогорова» (1951–1980 гг.): Многолетние данные..., 1987). Своего максимума температура воды достигает в июле: 11–12 °C в среднем за месяц и ~16 °C в среднем в самый теплый день. Во второй половине августа речная вода начинает охлаждаться, и в начале ноября ее температура опускается ниже 0,2 °C. Ледовые явления на реках начинаются в первой декаде ноября. В среднем через 2,5 недели устанавливается ледостав, который устойчиво держится в течение всей зимы. Разрушение ледяного покрова обычно начинается в первой декаде апреля на р. Ича и в конце месяца на р. Крутогорова. В первой декаде мая реки полностью очищаются ото льда. Таким образом, ледостав на реках держится ~5 мес., а ледовые явления продолжаются ~6 мес.

Гидрологический режим прибрежной зоны моря. На побережье Западной Камчатки наибольшие по величине изменения уровня моря связаны с приливами (Гидрометеорология..., 1998). Они здесь смешанные (в сизигии они близки к суточным, а в квадратуры к полусуточным), неправильные (высотные отметки соседних полных и малых вод не равны). Величина приливов не постоянна и имеет многолетнее, годовое, полумесячное и суточное неравенство (Деева, 1972). Примерно 1 раз в 19 лет приливы достигают своей максимально возможной по астрономическим причинам величины: около устьев рек Крутогорова и Ича 5,1 м (Деева, 1972). В июне и декабре величина больших приливов (*B*) в среднем изменяется от 2,0 м в квадратуры до 3,6–4,6 м в сизигии. В марте и сентябре она находится в пределах от 2,4 м в квадратуры до 3–3,5 м в сизигии. Малые приливы в сизигии почти незаметны, а в квадратуры их величина может достигать 0,5–1 м в июне и декабре и 1–1,5 м в марте и сентябре.

Температура морской воды в прибойной зоне изменяется от минус 1,7 °C в среднем за февраль до 11,1 °C в среднем за август (по данным морского поста «Ича» (рис. 1) за 1977–2017 гг. (с перерывами): Ежегодные и многолетние..., 2018). Среднеминимальная температура морской воды зимой составляет минус 1,8 °C, а среднемаксимальная летом достигает 13,9 °C. Период с положительной температурой морской воды продолжается ~7,5 мес. — с середины апреля до конца ноября. Лед в море около устья р. Ича появляется во второй половине декабря (морской пост «Ича» (рис. 1), 1985–2015 гг.: Думанская, 2017). Период с ледовыми явлениями продолжается до конца марта. В большинстве случаев ледяной покров неустойчивый, в течение зимы поверхность моря много раз очищается ото льда.

Соленость морской воды у берегов Западной Камчатки имеет сильную внутригодовую изменчивость, обусловленную опресняющим влиянием речного стока. На посту «Ича» наименьшая в году соленость воды отмечается в июле: 29,5‰ в среднем за месяц и 26‰ в день с наименьшей соленостью (Ежегодные и многолетние..., 2018). Зимой соленость морской воды превышает 32‰.

Гидрологические процессы в эстуариях рек Ича и Крутогорова

Краткая характеристика внешних условий в период исследований. Полевые работы в устьевой

области р. Ича продолжались с 21.06 по 02.07.2018. В это время в нижнем течении р. Ича был спад половодья. Измеренный расход воды в реке соответствовал средней многолетней величине для июня — самого многоводного месяца в году (табл. 3). Что касается условий в море, то нашими наблюдениями был охвачен период времени от низких квадратурных ($B = 1,8$ м, 23–24.06.2018) до высоких сизигийных ($B = 3,8$ м, 29–30.06.2018) приливов.

Устье Ичинской лагуны в июне 2018 г. находилось в ~2 км к северу от места впадения в нее р. Ича (рис. 7). Глубины в лагуне были очень малы: в низкие малые воды (НМВ) они в большинстве случаев не превышали 0,5 м и лишь на узком фарватере (в руслообразной ложбине, протянувшейся по дну эстуария от его южной и северной вершин до устья) они достигали 1 м и более (рис. 7). Севернее п. Ичинского >50% акватории лагуны в отлив осыхало; южнее поселка осушек было значительно меньше. В прорве, связывающей лагуну с Охотским морем, глубины в НМВ составляли 1,0–2,0 м. На выходе из нее находился устьевой бар с глубинами <0,5 м в НМВ. В прилив глубины в эстуарии увеличивались на величину прилива в данном месте. Площадь лагуны (вместе с приливными осушками) ~17,0 км²; длина ~39 км; средняя ширина ~0,43 км. Для удобства дальнейшего описания предлагается использовать две схемы деления Ичинской лагуны (эстуария): 1) на южную и северную части (находящиеся к югу и к северу от устья лагуны соответственно); 2) на ближнюю и кулутчуную части (первая находится между северной вершиной лагуны и 14 км к югу от ее устья, вторая — между 14 и 35 км к югу от ее устья, рис. 7).

Исследования в устье р. Крутогорова (с 4 по 11.06.2018) проводились уже после завершения половодья. Измеренный расход воды в реке был близок к средним многолетним величинам в июле и августе (табл. 3). В это время в море наблюдались низкие квадратурные приливы ($B = 1,8$ – $2,5$ м). Устье лагуны находилось в 0,8 км к северу от места впадения в нее р. Крутогорова. В северной части лагуны (севернее ее устья) глубины в НМВ были <0,5 м. В южной части лагуны глубины на фарватере составляли 1,6–2,4 м, а на устьевом участке реки (на четырех последних километрах ее русла) — от 1,0 м на перекатах до 3,3 м на плесах. Площадь лагуны вместе с приливными осушками составляла 1,11 км² (0,46 и 0,65 км² в ее северной и южной частях соответственно); еще 0,90 км² приходилось на устьевой участок реки. Длина лагуны составляла 5,5 км, а ширина — от 0,1 до 0,6 км. Во время низких отливов большая часть лагуны осыхала.

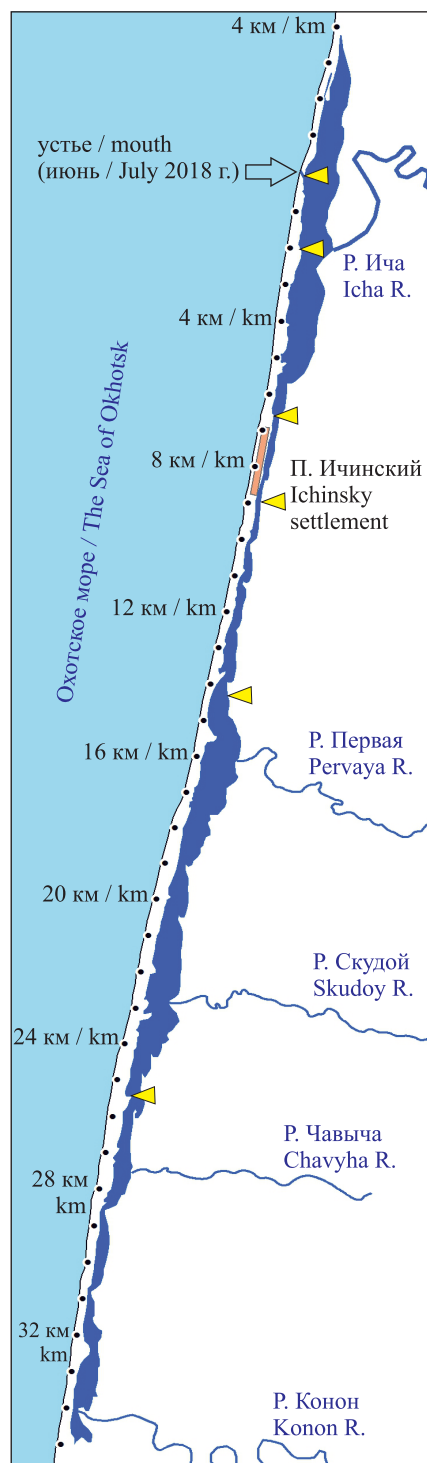
Эстуарий р. Ича (Ичинская лагуна). Строго говоря, эстуарием р. Ича следует считать не только Ичинскую лагуну, но и короткий (<2 км) участок р. Ича, в который проникают осолоненные воды. Но поскольку первый объект значительно больше и важнее (в смысле гидрологических процессов) второго, в дальнейшем мы для простоты будем использовать термины «Ичинская лагуна» и «эстуарий р. Ича» в качестве синонимов.

Краткость наших наблюдений не позволяет оценить характеристики сезонных изменений гидрологических характеристик в эстуарии, связанных с изменчивостью речного стока. Но суточная и полумесячная цикличность, обусловленная приливами в Охотском море, прослеживается хорошо.

Таблица 3. Летние расходы воды в реках Ича и Крутогорова в 2018 г. и за многолетний период
Table 3. Summer water discharge in the Icha and Krutogorova Rivers in 2018 and for many years

Река River	$Q_{\text{ср.ов(аbsol)}}$ — расход воды в момент измерений, м ³ /с The water discharge at the moment of measuring, m ³ /sec			$Q_{\text{ср.мес(аver monthly)}}$ — средние расходы воды в створах гидрологических постов (рис. 1), м ³ /с The average water discharge in sections of hydrological stations (Fig. 1), m ³ /sec		
	Устье (измеренный) mouth (measured)	Совокуп.* Cumulat.*	В створах постов** In sections of stations	Июнь June	Июль July	Август August
29 июня (June) 2018 г.				Пост «с. Ича» / Icha village station, 1959–2001 гг.		
Ича / Icha	266	295	242	235	158	135
7 июля (July) 2018 г.				Пост «с. Крутогорова» (Krutogorova village station), 1951–1988 гг.		
Крутогорова Krutogorova	70,3	72,6	58,1	107	66,8	62,0

Примечания: *расчетные величины суммарного стока рек в Ичинскую и Крутогоровскую лагуны (эстуарии); **расчетные величины речных расходов в створах гидрологических постов «с. Ича» и «с. Крутогорова» (рис. 1)
Note: *calculated values of summarized river water discharge into the Ichinskaya and Krutogorova lagoons (estuaries); **calculated values of river water discharges in the sections of the hydrological stations “Icha settlement” and “Krutogorova village” (Fig. 1)



Глубина (при НМВ), м Depth (during LPW), m		Уровень воды (Кв - Сиз) Water level (Qd - Syz)				Соленость (НМВ-ВПВ), ‰ Salinity (LPW-HRW), ‰	
Л	Ф	В _н , м	К _{пр}	Т _{ВПВ} , ч	Т _{НМВ} , ч	Кв	Сиз
до / up to 0,5–1	до / up to 1–2,5						
0–0,5	до / up to 0,5–1	1,8– 3,1	около арргох 0,8	около арргох 0	около арргох 1	0–27	0–29
0–0,5	до / up to 2,5–3	1,0– 1,9	0,4– 0,5	около арргох 0,5	около арргох 2,9	0–26	0–29
	до / up to 1,5–2						
<1		0,8– 1,7	0,3– 0,4	около арргох 0,8	около арргох 3,9	0–1	1–19
	до / up to 1–1,5	0,6– 1,2	0,2– 0,3	около арргох 0,9	около арргох 4,4	0–0	0–12
<0,5							
		0,2– 0,7	0,1– 0,2	около арргох 1,9	6,5– 5,5	0–0	0–1
<0,5	до / up to 0,5–1						
		до up to 0,3	<0,1	около арргох 5,5	до up to 9	0–0	0–0
<0,5	<0,5						

Рис. 7. Схема Ичинской лагуны (эстуария) с результатами промеров глубин и измерений уровня и солености воды на автоматических постах. Расстояния от устья эстуария. Глубины даны при самых низких отметках малых вод за весь период измерений: в высокие полные воды (ВПВ) глубины были больше на соответствующую величину. Характеристики уровня и солености воды даны для квадратурного прилива 24.06.2018 ($B_n = 2,4$ м) и сизигийного прилива 29.06.2018 ($B_n = 3,8$ м). Fig. 7. The scheme of the Lagoon Ichinskaya (estuary) with results of measuring the depth and water level and salinity at automatic stations. The distance from the estuary mouth. The depths are demonstrated at the lowest levels of river water for the whole period of measuring: the depths at the high rich waters level (HRW) were more by an appropriate volume. The characteristics of the water level and salinity are given for quadrature tide 24.06.2018 ($B_n = 2,4$ m) and syzygy tide 29.06.2018 ($B_n = 3,8$ m).

▲ — Места установки автономных измерителей (H, T, S) / Sites of autonomous recorders (H, T, S). Л — Ложе эстуария / Bed of estuary. Ф — Фарватер эстуария / Estuary fairway. ВПВ / HRW — Высокие полные воды / High rich waters. НМВ / LPW — низкие малые воды / low poor waters (соответствуют моментам наивысшего и наинизшего приливного уровня воды в данные сутки / according to the moments of the highest and the lowest tide levels in given 24 hours). В — Большая величина прилива, равная разности отметок между смежными ВПВ и НМВ (B_n — в море; B_n — в эстуарии) / Big tide, equal to the difference between the marks of adjacent HRW and LPW (B_n — at sea; B_n — in the estuary). $K_{пр}$ — Коэффициент прилива (равен отношению B_n в данном месте к B_n) / The tide coefficient (equal to the ratio between B_n in this place to B_n). $T_{ВПВ}$ и $T_{НМВ}$ — Запоздывание времени наступления ВПВ и НМВ в данном месте эстуария по отношению к морю / Time lag for HRW and LPW in this place of the estuary relative to the sea. Кв — Квадратурные приливы / Quadrature tides. Сиз — Сизигийные приливы / Syzygy tides

В период наших полевых работ приливные колебания уровня воды охватывали всю лагуну (рис. 7, 8, 9). Величина этих колебаний достигала 0,3 м в наиболее удаленной части лагуны и ~2–3 м в непосредственной близости от моря. Судя по рассчитанным коэффициентам приливов (рис. 7), при более высоких приливах в море, обычных в первой половине июня, максимальная величина приливных колебаний может составлять 0,5 м в култушной части лагуны и до ~4 м около ее устья.

По особенностям трансформации приливной волны в эстуарии можно выделить несколько участков. На очень коротком отрезке в устье лагуны (в прорве длиной <0,5 км) «срезается» ~20% приливной волны (рис. 7, 8). Скорее всего, это обусловлено влиянием устьевых баров — как и в эстуарии р. Большой (Горин и др., 2019). Проникновению приливов на небольшом участке между

прорвой и местом впадения р. Ича препятствуют встречный поток речных вод и многочисленные мелководья, поэтому здесь приливная волна теряет еще 30–40% своей величины (рис. 7, 8): в среднем ~5 см на 100 м длины участка (табл. 4). Таким образом, уже в 2 км от устья лагуны приливные колебания становятся меньше своей исходной величины на 50–60%. Южнее места впадения реки (между 2 и 6 км на рис. 7) действует только фактор малых глубин; из-за этого интенсивность затухания приливной волны уменьшается на порядок и составляет всего ~0,5 см на 100 м (табл. 4). Между 6 и 14 км лагуна заметно суживается, оставаясь мелководной (рис. 7). Из-за этого, а также наличия довольно сильных течений (в прилив на юг, а в отлив на север), потери приливной волны снова возрастают — до 1–2 см на 100 м. В относительно широкой и мелководной южной части лагуны,

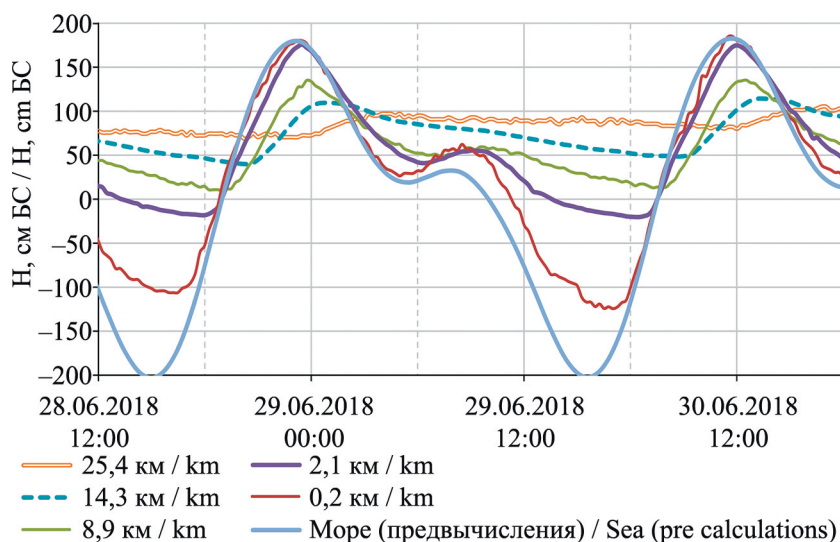


Рис. 8. Приливные колебания уровня воды в Ичинской лагуне в июне 2018 г. на разном удалении от ее устья (положение постов см. на рис. 7)
Fig. 8. The tidal fluctuations of the water level in the Ichinskaya Lagoon in June of 2018 at different distances from the lagoon mouth (stations in Fig. 7)

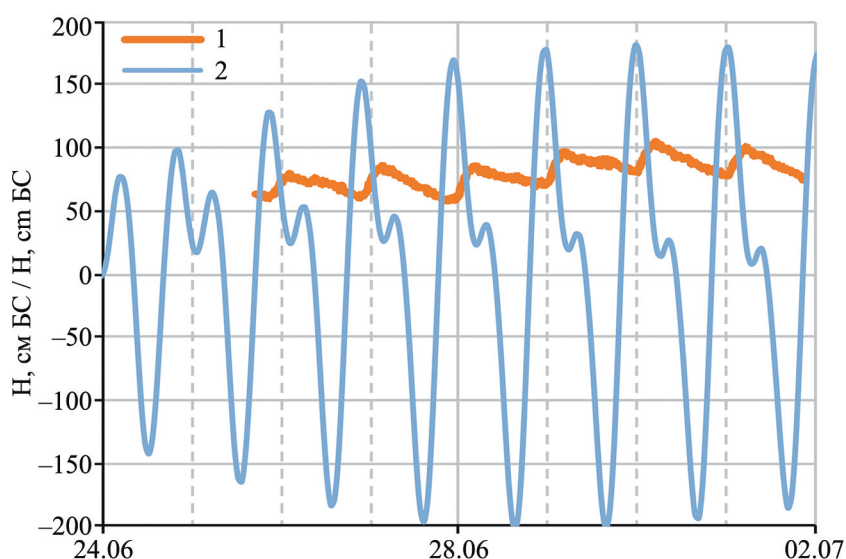


Рис. 9. Приливные колебания уровня воды в култушной части Ичинской лагуны в 25,4 км к югу от ее устья (1) и в Охотском море (2) в июне 2018 г. (положение поста в лагуне см. на рис. 7, уровень моря предвычисленный)
Fig. 9. The tidal fluctuations of the water level in the cultus part of the Ichinskaya Lagoon in 25.4 kms southward from the lagoon mouth (1) and in the Sea of Okhotsk (2) in June of 2018 (stations in Fig. 7, precalculated sea level)

в которой вода почти не течет, потери приливной волны закономерно уменьшаются — до 0,4 см на 100 м (табл. 4).

Во всем эстуарии трансформируется не только величина, но и форма приливной волны. Это проявляется в запаздывании времени наступления ее экстремумов по отношению к морю (рис. 7, 8, 9). При этом сдвиг по времени у полных вод меньше, чем у малых. В результате приливная волна при своем движении по лагуне перекашивается: прилив становится короче, а отлив продолжительнее (рис. 8, 9). Так, в южной части лагуны прилив продолжается в ~2 раза меньше времени, чем в море (3–5 и 7–8 ч соответственно). И чем меньше величина приливов в море, тем заметнее запаздывание экстремумов и перекашивание приливной волны. Кроме этого, трансформация приливной волны проявляется в том, что в наиболее удаленных от моря частях лагуны малые приливы в сизигии полностью исчезают (рис. 8, 9).

На рис. 9 видно, что в период наших наблюдений уровень воды на посту в култушной части лагуны (25,4 км к югу от его устья) неуклонно повышался. На всех прочих постах это явление было также заметно, но менее выражено. Поскольку сток речной воды в это время был постоянным или слабо уменьшался, в данном случае речь может идти только о влиянии приливных факторов. Скорее всего, наблюдалась «приливная накачка», которая состоит в том, что в промежутки времени между квадратурными и сизигийными приливами лагуна наполняется водой, а между сизигийными и квадратурными приливами она срабатывается (как и в эстуарии р. Большой, см. Горин и др., 2019). В результате в южной части эстуария р. Ича уровень воды в сизигийные НМВ может превышать таковой в квадратурные ВПВ.

Данные автоматических постов и гидрологических съемок показали, что в период наших работ

морская вода с каждым приливом проникала в Ичинскую лагуну (эстуарий). Во время отлива она почти полностью стекала обратно в море. Благодаря интрузии осолоненных вод внутри лагуны ежесуточно формировалась зона смешения (ЗС), размеры которой зависели от величины прилива в море (речной сток в период нашей работы можно принять постоянным). В самый низкий квадратурный прилив (22.06.2018, $B_m = 1,2$ м) морская вода не проходила дальше прорвы, соединяющей лагуну с морем. Но два дня спустя, когда величина прилива достигла 2,3 м, ЗС охватывала участок лагуны от ее северной оконечности до п. Ичинского (рис. 10). При высоком сизигийном приливе (28.06.2018, $B_m = 3,8$ м) ЗС распространилась еще на 7 км южнее (рис. 10). По сведениям рыбаков из стана, находящегося в 18,5 км к югу от устья лагуны, зимой и весной (до начала половодья) до этого места иногда доходит слабо осолоненная вода (рис. 10). Учитывая то, что на 20 и 23 км к югу от устья лагуны в ее литоральной зоне нами были обнаружены колонии редкого двустворчатого моллюска — жемчужницы Миддендорфа *Kurilinaia middendorffi*, сугубо пресноводного вида (Красная книга..., 2018), указанную границу можно принять за южный предел распространения осолоненных вод в Ичинской лагуне. Что касается проникновения осолоненных вод в русло р. Ича, то в сизигийный прилив 28.06.2018 они распространились до 1,5 км от места впадения реки в лагуну (рис. 10). Скорее всего, во второй половине лета — при снижении стока реки — дальность проникновения осолоненных вод в русло реки увеличивается до первого значительного переката, т. е. еще на 1–2 км.

По данным измерений солёности воды на автоматических постах в Ичинской лагуне можно оценить скорость движения фронта осолоненных вод (с речной стороны он оконтуривается изогалиной 1‰) в приливную фазу. На участке лагуны между

Таблица 4. Интенсивность затухания приливной волны в Ичинской лагуне (эстуарии)
Table 4. The tidal wave attenuation intensity in the Ichinskaya Lagoon (estuary)

Расстояние от устья эстуария, км* Distance from the estuary mouth, km*	Затухание, см на 100 м / Attenuation, sm on 100 m	
	Кв / Qdr (24.06.2018, $B_m = 2,4$ м)	Сиз / Szg (29.06.2018, $B_m = 3,8$ м)
0,2		
2,1	4,5	5,8
6,7	0,4	0,6
8,9	0,9	2,2
14,3	0,7	1,1
25,4	Нет измерений / No measurements	
		0,4

*Положение постов см. на рис. 7 / See locations of the stations in Fig. 7.

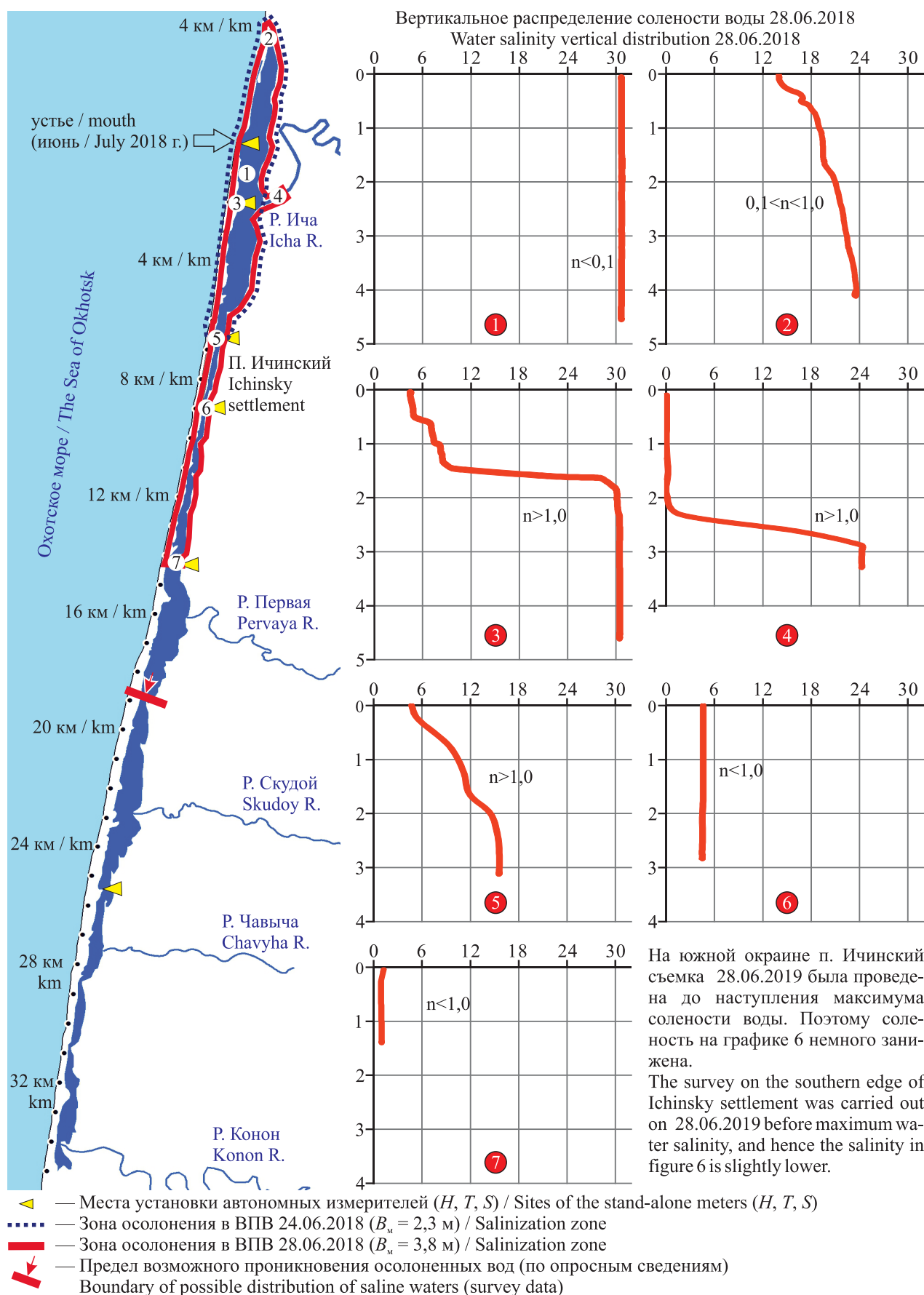


Рис. 10. Распространение и вертикальная структура зоны смешения в Ичинской лагуне (эстуарии). Расстояния от устья эстуария. На графиках: горизонтальная ось — соленость воды (‰), вертикальная — глубина (м)
Fig. 10. The distribution and the vertical structure of mixing zone in the Ichinskaya Lagoon (estuary). The distance from the estuary mouth. On the charts: the horizontal axis – water salinity (‰), the vertical axis – depth (m)

2 и 9 км к югу от ее устья (рис. 7 и 10) в период промежуточных приливов (25–26.06.2018, $B_m = 2,9–3,4$ м) эта скорость составляла 1,1–1,4 км/ч. В высокие сизигийные приливы (27–30.06.2018, $B_m = 3,7–3,8$ м) она была заметно больше: 1,7–2,1 км/ч (2,0 км/ч в среднем). В русле реки (по данным гидрологической съемки 28.06.2018) скорость движения фронта осолоненных вод была $<1,0$ км/ч: очевидно, что это было связано с сильным сопротивлением встречного потока речной воды.

Рассмотрим особенности вертикальной структуры ЗС в Ичинской лагуне на примере результатов гидрологической съемки в сизигийный прилив 28.06.2018 (рис. 10). Формальным критерием типа проникновения осолоненных вод является параметр стратификации $n = \Delta S / S_{cp}$, где $\Delta S = S_{дно} - S_{пов}$, $S_{cp} = 0,5(S_{дно} + S_{пов})$, $S_{дно}$ и $S_{пов}$ — соленость воды у дна и на поверхности. Случаю хорошего перемешивания по вертикали отвечает условие $n < 0,1$, случаю частичного перемешивания — n от 0,1 до 1,0, а случаю слабого перемешивания («клин осолоненных вод») — условие $n > 1,0$ (Guidelines., 1991). На максимуме прилива около устья лагуны находилась хорошо перемешанная морская вода с соленостью более 30‰ (граф. 1 на рис. 10). В зоне непосредственного влияния речного потока наблюдалась сильная стратификация вод с минимумом солености у поверхности и максимумом у дна (граф. 3–4). На некотором удалении от главной оси взаимодействия речных и морских вод (условной линии, соединяющей русло р. Ича с устьем лагуны) стратификация вод была менее выраженной,

но все же значительной (граф. 2 и 5). Еще дальше вертикальные градиенты солености практически отсутствовали (граф. 6, 7). Таким образом, осолоненные воды проникают в Ичинскую лагуну в виде «клина», язык которого размывается при движении через мелководья в удаленных от реки и моря частях лагуны.

Суточная изменчивость солености воды в различных частях Ичинской лагуны была прямым следствием динамики ЗС. На оси непосредственного взаимодействия речных и морских вод — от устья реки до устья лагуны — соленость воды ежедневно колебалась от 0 до $>25\%$ (рис. 7). В 6,7 км к югу от устья лагуны соленость воды в низкие квадратурные приливы повышалась лишь до $\sim 1\%$, а в высокие сизигийные приливы возрастала до 19‰ и более (рис. 7 и 11). Примечательно, что в этом месте в период сизигийных приливов вода была слабо осолонена даже в низкие малые воды (рис. 11), что может свидетельствовать об упомянутой выше приливной накачке. Еще южнее соленость воды повышалась только в сизигийные приливы (с удалением от устья лагуны величина суточных колебаний солености уменьшалась, рис. 7, 10). В той части лагуны, которая находится к северу от ее устья (рис. 7), по-видимому, преобладала полумесячная изменчивость солености воды: в квадратуры она была наполнена слабо осолоненной водой (от 0–3‰ до $<10\%$), а в сизигии — водой с соленостью $>20–25\%$.

К северу от устья Ичинской лагуны осолоненные воды в том или ином виде присутствовали

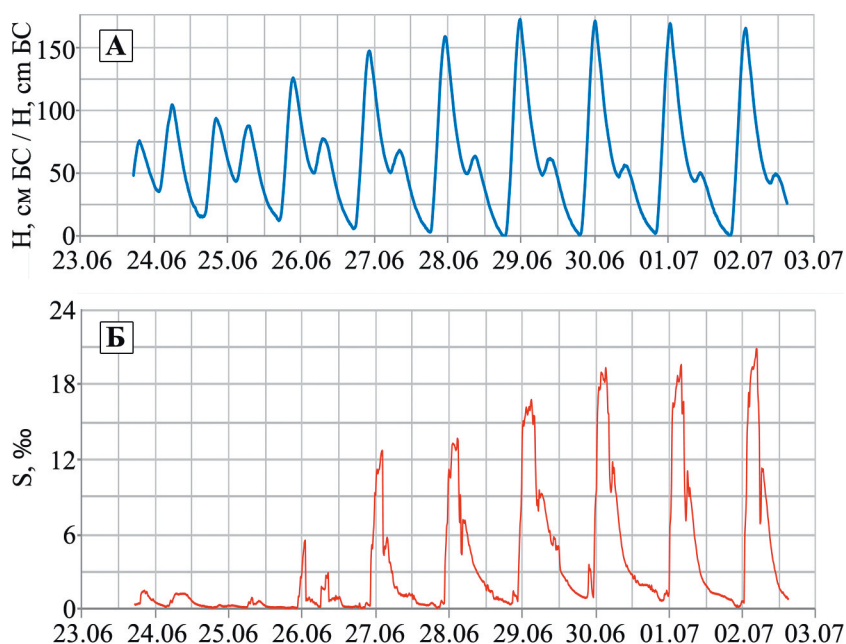


Рис. 11. Колебания уровня (сверху) и солености (снизу) воды в Ичинской лагуне в 6,7 км от ее устья летом 2018 г. (положение поста см. на рис. 7). Прибор стоял на дне около фарватера Fig. 11. Fluctuations of level (above) and water salinity (below) in the Ichinskaya Lagoon in 6.7 kms from the mouth in summer of 2018 (station in Fig. 7). The meter was set on the bottom near the fairway

постоянно. К югу от него (от 0 до 6,7 км, рис. 7, 10) в квадратуры осолонение было кратковременным и чувствовалось только на пиках приливов, а в сизигии оно продолжалось почти полные сутки (рис. 11). Еще южнее (до 12–14 км, рис. 7, 10) осолоненные воды отмечались только несколько часов на пиках сизигийных приливов. Около устья лагуны суточные экстремумы солености и уровня воды совпадали. Но уже в 6,7 км к югу от него максимум солености наступал через 3–3,5 ч после наибольшего уровня в этом же месте (рис. 11), то есть уже при отливе (это было следствием меньшей скорости и большей инерционности движения клина осолоненных вод по сравнению с распространением колебаний уровня воды). Минимум солености отмечался через 1,5–2 ч после наименьшего уровня воды (рис. 11). Судя по нашим отрывочным измерениям, к северу от устья лагуны минимум солености воды наступал значительно позже минимума уровня.

Опираясь на приведенные выше сведения, можно сделать несколько заключений относительно динамики вод в Ичинской лагуне во время наших исследований. Речная вода постоянно поступала в лагуну вне зависимости от фаз приливов; морская вода проникала в нее только в приливную фазу. Внутри лагуны водные массы перемещались следующим образом. Когда в море завершался отлив, речная вода транзитом проходила от устья реки до устья лагуны. К транзитному потоку добавлялось относительно небольшое количество осолоненных вод, стекающих из южной и северной частей лагуны. В начале прилива море «подпирало» речной поток, поэтому он начинал наполнять лагуну: сначала ее северную часть, а затем и южную. Из-за этого вода в лагуне продолжала опресняться. При дальнейшем подъеме прилива в лагуну проникала морская вода и формировалась ЗС. Сначала осолоненные воды заполняли приустьевую и северную часть лагуны, а потом, ближе к полным водам, проникали в ее южную часть и в реку. Движение осолоненных вод происходило в виде клина. При этом в зоне непосредственного влияния речного потока возникала двухслойная («эстуарная») циркуляция, при которой у дна в сторону реки текли осолоненные воды, а у поверхности в сторону моря перемещались пресные воды. После наступления высоких полных вод течение в устье лагуны поворачивало к морю. В первой трети отлива вода сливалась из реки и ближайшей

к устью части лагуны, а северная и южная части лагуны оставались в подпоре. В это же время сосредоточенная в южной части лагуны осолоненная вода продолжала растекаться по ее дну, расширяя границы ЗС к югу. При дальнейшем развитии отлива южная и северная части лагуны освобождались от накопившейся в них воды. Описанная схема была верной для всего полумесячного приливного цикла (может быть, за исключением одного дня в период низких квадратурных приливов, когда осолоненные воды проникали в лагуну в небольшом количестве). Здесь же стоит повторить вывод о том, что в промежуток времени между квадратурными и сизигийными приливами часть воды, поступившая в лагуну в приливную фазу из реки и моря, не успевала стечь из нее с отливом и лагуна наполнялась (в основном, пресной водой). А после сизигийных приливов она наоборот — сбрасывалась.

Несмотря на непродолжительность наших наблюдений, картина пространственно-временной изменчивости температуры воды в Ичинской лагуне довольно хорошо отразила основные закономерности термического режима этого объекта в первой половине лета. Чем дальше от моря находился пункт наблюдений, тем выше были средняя и экстремальные величины температуры воды в лагуне (табл. 5). Величина суточных колебаний температуры в этом же направлении (от моря к вершине лагуны) уменьшалась. В тех местах, куда доходили осолоненные воды (2,1 и 8,9 км к югу от устья лагуны), суточная изменчивость температуры воды носила приливный характер: максимумы температуры воды соответствовали пресным водам, а минимумы — осолоненным (табл. 5). В наиболее удаленной от реки и моря части лагуны, постоянно заполненной пресной водой, максимумы температуры наступали ближе к вечеру (в 17–18 ч по местному времени), а минимумы отмечались ранним утром (в 7–8 ч, рис. 12). Здесь колебания температуры воды в целом повторяли колебания температуры воздуха, но с некоторым запаздыванием (рис. 12). Систематических наблюдений за температурой воды в реке и в море мы не проводили, но данные всех гидрологических съемок свидетельствуют, что пресная вода в лагуне была значительно теплее, чем в реке, а осолоненная вода в ней была теплее, чем в море (рис. 13). Важно отметить, что во всей лагуне средняя температура воды за период наблюдений (10,7–14,9 °С,

табл. 5) была заметно выше, чем температура воздуха за это же время (8,4 °C, рис. 12).

Перечисленные факты свидетельствуют о следующем. В период наших наблюдений в култушной части лагуны (14–35 км к югу от ее устья), обособленной от прямого влияния реки и моря, термический режим обуславливался поступлением солнечного тепла и его последующим перерас-

пределением между водой и дном. В той части лагуны, на которую распространялась ЗС (рис. 10), температура воды определялась адвекцией речной и морской воды, а также их смеси, на которую накладывался «местный» прогрев вод из-за поглощения солнечного тепла. Во всех частях лагуны теплообмен с атмосферой, по-видимому, вносил отрицательный вклад в тепловой баланс водной

Таблица 5. Характеристики изменчивости температуры воды в Ичинской лагуне (эстуарии) за период с 17:15 25.06 по 15:30 30.06.2018
Table 5. Characteristics of water temperature dynamics in the Ichinskaya Lagoon (estuary) for the period from 17:15 25.06 to 15:30 30.06.2018

Показатели Indicators	Расстояние от устья лагуны (положение постов см. на рис. 7), км / The distance from the lagoon mouth (see locations of the stations in Fig. 7), km					
	2,1		8,9		14,3	25,4
	Все ¹ All ¹	Пресн. ² Freshw. ²	Все ¹ All ¹	Пресн. ² Freshw. ²	Все ¹ All ¹	Пресн. ² Freshw. ²
Сред. за весь период, °C Aver. for the whole period, °C	10,7	11,4	13,2	14,1	14,4	14,9
Макс. за весь период, °C Max. for the whole period, °C	15,4	15,4	17,8	17,8	18,7	18,7
Мин. за весь период, °C Min. for the whole period, °C	3,5	9,6	8,6	11,5	11,3	12,6
Сред. сут. величина колебаний ³ , °C Aver. daily fluctuation value ³ , °C	7,1	—	6,1	—	5,5	3,8
Кол-во значений Number of values	474	273	474	338	474	474

¹В расчетах использованы все измеренные величины температуры воды вне зависимости от ее солености. ²Использовались только величины температуры, соответствующие пресным водам ($S < 0,5\%$). ³Средняя величина колебаний температуры воды за сутки (среднее из суточных разностей максимальной и минимальной температур воды)
¹Results of all water temperature measurements no matter salinity were used in calculations. ²Only results of temperature measurements of fresh water ($S < 0.5\%$) were used. ³Water temperature value averaged for 24 hours (averaged difference between daily maximum and minimum water temperatures)

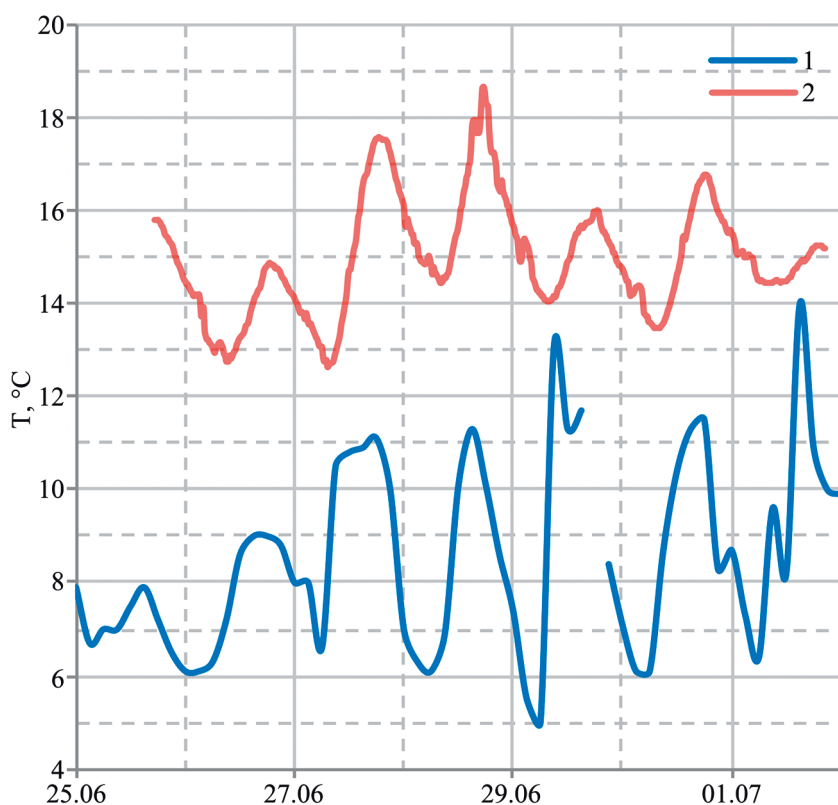


Рис. 12. Колебания температуры воздуха (1 — по метеостанции «Ича», с сайта <https://rp5.ru>) и воды (2 — Ичинская лагуна в 25,4 км от ее устья, положение поста см. на рис. 7) летом 2018 г.

Fig. 12. Air (1 – data from the meteorological station “Icha”, <https://rp5.ru>) and water (2 – Ichinskaya Lagoon in 25.4 kms from the mouth, station in Fig. 7) temperature fluctuations in summer of 2018

толщи (пониженная температура воздуха здесь обусловлена охлаждающим влиянием Охотского моря). То есть в первой половине лета Ичинская лагуна представляет собой нагреватель речной и морской воды, чему особенно способствует ее мелководность, — аналогично другим лагунам Дальнего Востока России (Кафанов, 1986).

Теперь несколько слов о содержании растворенного кислорода и мутности воды в Ичинской лагуне. Вода в лагуне — как осолоненная, так и пресная — очень хорошо насыщена кислородом (90–110% и 9–11 мг/л). Мутность воды повсеместно была низкой: <20 NTU, без сколь-нибудь значимых повышений в ЗС или где-нибудь еще.

Для полноценного понимания гидрологических процессов внутри эстуария важно иметь представление об интенсивности его водообмена и степени влияния на него речных и морских факторов. И хотя нам не удалось провести прямых наблюдений за водообменом в устье лагуны, однако, опираясь на косвенные данные (табл. 6), можно сделать несколько выводов по этому поводу. А именно:

1. Соотношение приливной призмы (объема воды между горизонтами низких малых и высоких полных вод) и собственного объема воды (находящегося ниже горизонта низких малых вод) в култушной части лагуны было на порядок меньше, чем в ближней части. Поэтому приливное обновление вод в первом случае было намного меньше, чем во втором.

2. По показателю условного водообмена, в култушной части лагуны сток малых рек мог обеспечить полную смену вод в собственном объеме за 2–3 отливные фазы. В ближней части лагуны собственный объем сменялся менее чем за одну отливную фазу.

3. Расчетная доля «собственного» речного стока в приливной призме в разных частях лагуны была неодинакова. В култушной части лагуны, в которую впадают малые реки (рис. 7), их стока не хватало на формирование приливной призмы. Следовательно, в ее наполнении участвовала пресная вода (осолоненные воды здесь не отмечались), которая во время приливов вытеснялась из ближней части лагуны. В квадратуру в ближней части лагуны был избыток «собственной» речной воды и некоторая его часть шла на пополнение дефицита в култушной части. В сизигию стока р. Ича не хватало, чтобы формировать приливную призму в ближней части и пополнять имеющийся дефицит в култушной части лагуны. Это вызывало большой приток морской воды через устье лагуны.

4. В целом в Ичинской лагуне приливная призма была значительно больше, чем собственный объем вод. Это, а также большой речной сток, обеспечивало высокую интенсивность обновления вод в лагуне (менее 2–3 суток на полную смену вод). Роль речного стока в формировании приливной призмы в квадратуры была определяющей. В сизигии вклад речных и морских вод был сопоставим. Объем приливной призмы в сизигийные

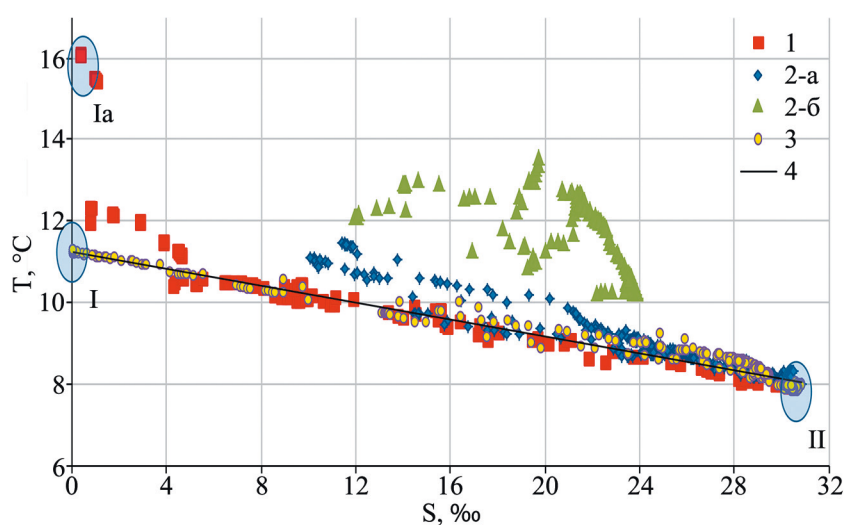


Рис. 13. T - S диаграмма водных масс (ВМ) в Ичинской лагуне по результатам гидрологической съемки в высокие полные воды 28.06.2018: 1 — измерения в южной части лагуны; 2 — измерения в северной части лагуны (а — участок от 0 до 3,5 км к северу от устья лагуны, б — в северной вершине лагуны, рис. 7); 3 — измерения от устья лагуны до реки и вверх по ее руслу; 4 — прямая смешения речной и морской воды; I — речная ВМ; II — морская ВМ; Ia — лагунная модификация речной ВМ

Fig. 13. The T - S diagram of the water masses (WM) in the Ichinskaya Lagoon on the data of the hydrological survey on the high rich water 28.06.2018: 1 — the changes in the southern part of the lagoon; 2 — the changes in the northern part of the lagoon (a — the plot from 0 to 3.5 km northward from the mouth of the lagoon, Fig. 7); 3 — the changes from the mouth of the lagoon to the river and upstream in the river body; 4 — the line of mixing the river and sea waters; I — the river WM; II — the sea WM; Ia — the lagoon modification of the river WM

приливы был примерно в два раза больше, чем в квадратурные. Соответственно, интенсивность водообмена в первом случае была выше, чем во втором.

Отдельно нужно упомянуть о следующем. По приблизительным расчетам, объем воды, который проходил через устье лагуны за приливные сутки 29.06.2018, был больше совокупного речного стока за это же время примерно в два раза. Это связано с притоком морской воды в лагуну в период прилива и ее последующим сбросом во время отлива. Данный факт влияет на форму устьевой протоки: ее поперечное сечение значительно больше, чем в русле р. Ича (аналогично эстуарию р. Большой (Горин и др., 2019)).

Величины приливной призмы и собственного объема воды, приведенные в табл. 6, мы исполь-

зовали для ориентировочных расчетов водообмена в Ичинской лагуне при средних условиях июля и августа (при среднем для этих месяцев речном стоке, см. табл. 3). В результате оказалось, что речной сток в июле даже в квадратуру не может обеспечить формирование приливной призмы в лагуне. В августе, когда сток реки еще ниже, расчетные характеристики водообмена лагуны для квадратурных приливов близки к таковым для сизигийных приливов. А в сизигийные приливы возможно поступление примерно в два раза большего объема осолоненных вод, чем в указанную дату. То есть во второй половине лета осолоненные воды полностью покидают лагуну только в квадратурные отливы. В этот период возможно слабое осолонение даже култучной части лагуны. Кроме этого, из-за уменьшения речного стока увеличи-

Таблица 6. Характеристики водообмена в Ичинской лагуне летом 2018 г. (Расчеты ориентировочные и могут служить только для качественных оценок)
Table 6. Summer characteristics of water exchange in the Ichinskaya lagoon in Summer of 2018 (Approximate calculations, useful for qualitative assessments only)

Характеристика Characteristic		Квадратурные приливы Quadrature tides (24.06.2018)			Сизигийные приливы Syzygy tides (29.06.2018)		
		Култучная часть Appendix part	Ближняя часть Mouth part	Вся лагуна Whole lagoon	Култучная часть Appendix part	Ближняя часть Mouth part	Вся лагуна Whole lagoon
Q	м ³ /с (m ³ /sec)	29,0	266	295	29,0	266	295
B _м	м / (m)	2,4	2,4	2,4	3,8	3,8	3,8
τ (прилив high tide)	ч / h	3,0	7,0	7,0	4,5	7,5	7,5
τ (отлив low tide)	ч / h	12,0	8,0	8,0	20,0	17,0	17,0
W _{min}	млн м ³ (mln m ³)	3,96	2,16	6,12	3,96	2,16	6,12
W _{np} (tide)	млн м ³ (mln m ³)	1,04	6,31	7,35	2,79	12,6	15,4
W _{реч np} (river high tide)	млн м ³ (mln m ³)	0,31	6,70	7,43	0,47	7,18	7,97
W _{реч отл} (river low tide)	млн м ³ (mln m ³)	1,25	7,66	8,50	2,09	16,3	18,1
W _{np} /W _{min}		0,26	2,92	1,20	0,71	5,84	2,52
W _{min} /W _{реч отл} (river low tide)		3,2	0,3	0,7	1,9	0,1	0,3
W _{реч np} (river high tide)/W _{np} (tide)		0,30	1,06	1,01	0,17	0,57	0,52

Примечание: Q — ср. расход речной воды (для култучной части лагуны — совокупный расход рек Конон, Чавыча, Скудой и Первая; для ближней части — расход р. Ича; для всей лагуны — совокупный расход всех рек); B_м — величина большого (за данные сутки) прилива в море; τ — период приливной и отливной фазы большого прилива в море; W_{min} — объем воды, который остается в НМВ («собственный объем»); W_{np} — объем приливной призмы (объем воды между горизонтами НМВ и ВПВ); W_{реч np} — объем речного стока за отливную фазу; W_{реч отл} — объем речного стока за приливную фазу; W_{np}/W_{min} — показатель соотношения приливной призмы и собственного объема; W_{min}/W_{реч отл} — показатель условного водообмена (сколько отливных фаз нужно для полного обновления воды в W_{min}); W_{реч np}/W_{np} — показатель доли речного стока в приливной призме.
Note: Q — aver. river water discharge (for the appendix part of the lagoon — total discharge of the Konon, Chavycha, Skudoi and Pervaya rivers; for the mouth part — the Icha river discharge; for the whole lagoon — the total discharge of all rivers); B_м — a high tide value (for given 24 hours) at sea; τ — period of high and low phase of the high tide at sea; W_{min} — water amount, which stays during LPW ("amount itself"); W_{np}(tide) — the tidal prism amount (water amount between the LPW and HRW horizons); W_{реч np}(river low tide) — the river flow amount for the phase of low tide; W_{реч np}(river high tide) — the river flow amount for the phase of high tide; W_{np}(tide)/W_{min} — the index of the ratio between the tidal prism and water amount; W_{min}/W_{реч отл}(river low tide) — the index of the conventional water exchange (how many low tide phases required for the total change of the water in W_{min}); W_{реч np}(river high tide)/W_{np}(tide) — the index of the part of the river flow in the tidal prism.

вается период обновления вод в култушной части лагуны — до 4–6 сут (возможно и больше).

Теперь рассмотрим вопрос о выделении водных масс (ВМ) в Ичинской лагуне. Анализ $T-S$ диаграмм (пример см. на рис. 13) показал, что в ЗС между собой взаимодействуют только две первичные ВМ: речная и морская. Поэтому гидрологические характеристики в ближней части лагуны (не только температура и соленость, но и все прочие) определяются текущими величинами этих характеристик в исходных ВМ, а также динамикой ЗС. Скорее всего, в небольшой котловине, находящейся в северной вершине лагуны, смесь речной и морской ВМ может задерживаться более чем на один приливный цикл. В результате вода здесь немного прогревается, однако собственной водной массы с устойчивыми характеристиками не образуется — слишком велика проточность. В култушной части лагуны (14–35 км к югу от ее устья), уже за пределами распространения ЗС, находятся пресные воды, изначально поступившие сюда с речным стоком. Водообмен здесь замедлен (по сравнению с ближней частью лагуны), поэтому есть условия для трансформации вод. Скорее всего, их исходные характеристики формируются во время весеннего половодья на реках, когда култушная часть лагуны наполняется свежей водой. В дальнейшем она трансформируется в результате поглощения солнечной радиации, взаимодействия с атмосферой и дном, а также смешения со свежей речной водой и пресной водой, вытесняемой во время приливов из ближней части лагуны (во второй половине лета, при низком речном стоке, возможен и слабый подток осолоненных вод из ЗС).

Для Ичинской лагуны важен вопрос о том, как морфологические процессы влияют на ее гидрологический режим. Опираясь на приведенные выше сведения, предположим следующее. Первый вид влияния связан с многолетним перемещением устья лагуны. Скорее всего, его постепенное удаление на север вызывает плавное смещение границ распространения ЗС в том же направлении. Величины приливных колебаний уровня в большей части лагуны уменьшаются. Объем морских вод, проникающих в лагуну во время приливов, также снижается. В целом, вода в лагуне становится преснее. После возвращения устья на юг (а это происходит одновременно — как по естественным, так и по антропогенным причинам) гидрологические

процессы в лагуне резко «откатываются» к исходным параметрам. Второй вид влияния обусловлен сезонным блокированием устья лагуны. По свидетельствам местных жителей, осенью и зимой, во время сильных штормов в море и низкого речного стока, устье лагуны нередко заносится морскими наносами и льдом. В результате, на несколько недель или даже месяцев водообмен лагуны с морем частично или полностью ограничивается. Это продолжается до весны или начала лета: сначала на подъеме половодья речная вода наливается в лагуну, а затем поток из переполненной лагуны прорывается через плотину в устье или через наиболее низкое место на поверхности бара. Скорее всего, временная изоляция лагуны от моря способствует ее опреснению.

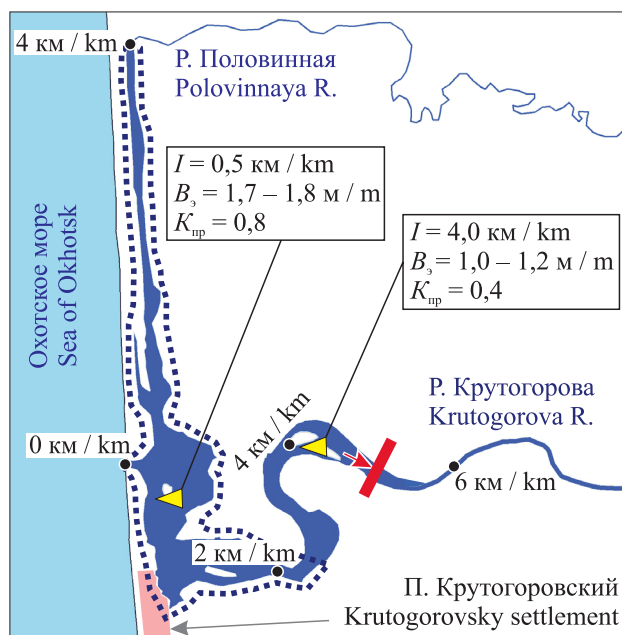
Эстуарий р. Крутогорова. В данном случае эстуарием следует считать систему из двух равнозначных объектов, в которые проникают осолоненные воды: первый из них — Крутогоровская лагуна длиной 5,5 км, а второй — устьевой участок р. Крутогорова длиной ~4 км (от места впадения реки в лагуну, рис. 14). Наблюдения в районе эстуария р. Крутогорова были краткими, но все же они (в сочетании с расчетными методами) позволяют получить адекватное представление о главных особенностях гидрологического режима этого объекта в летний период.

В период наших наблюдений за уровнем воды (06–09.07.2018) приливные колебания охватывали весь эстуарий. Величины квадратурных приливов в устье эстуария достигали ~1,7 м, а в его вершине — 1,0 м (рис. 14). Опираясь на рассчитанные коэффициенты приливов (рис. 14), можно оценить величины колебаний уровня воды при том же водном стоке реки, но в период высоких сизигийных приливов: до 3,5–4,0 м в устье и до 1,9 м в вершине эстуария. По сообщениям местных жителей, приливные колебания в речном русле распространяются не далее 14–15 км от моря. Косвенно это подтверждается тем, что в ходе наших биологических исследований на всем участке реки от ее устья до 12,7 км от моря в контрольных уловах встречалась молодь звездчатой камбалы *Platichthys stellatus*, а уже в 15,5 км от моря ее не было. Судя по опыту нашей работы в других эстуариях Камчатки (Коваль и др., 2012), молодь звездчатой камбалы может подниматься в реки западного побережья полуострова как раз до границы распространения приливов. По-видимому, это связано

с преобладанием илистых грунтов на таких участках (образующихся благодаря осаждению мелко-дисперсных взвесей в зоне влияния приливного подпора), которые являются наиболее предпочтительными местами обитания этого вида камбал.

Согласно данным наблюдений за соленостью воды с 06 по 09.07.2018, морская вода проникала в эстуарий с каждым приливом. Осолоненная вода находилась в эстуарии большую часть суток. В низкие малые воды эстуарий полностью опреснялся. На максимуме квадратурного прилива (09.07.2018, $B_m = 2,4$ м) зона смешения распространилась на всю лагуну и проникла в русло реки до первого переката, находящегося на расстоянии 2,5 км от моря (рис. 14).

Очевидно, что если осолонение наблюдалось во время низких квадратурных приливов, то в высокие сизигийные приливы это явление должно быть еще



B_3 — Большая величина прилива в эстуарии, равная разности отметок между смежными ВПВ и НМВ

Bigger value of the tide in the estuary, equal to difference between the marks of adjacent HRW and LPW

$K_{пр}$ — Коэффициент прилива (равен отношению B_3 в данном месте к B_m) / Tide coefficient (equal to the ratio between B_3 in certain place to B_m)

▲ — Места установки автономных измерителей (Н, Т, S) / Places of setting the stand-alone meters (H, T, S)

..... — Зона осолонения в ВПВ 09.07.2018 ($B_m = 2,4$ м) / Salinization zone during HRW on 9.07.2018 ($B_m = 2,4$ м)

— Расчетный предел проникновения осолоненных вод / Calculated boundary of the saline water distribution

Рис. 14. Схема эстуария р. Крутогорова с некоторыми результатами наблюдений (06–09.07.2018)

Fig. 14. The scheme of the Krutogorova River estuary with particular results of the observation (06–09.07.2018)

более выражено. Чтобы оценить дальность проникновения ЗС при высоких приливах на фоне средних величин речного стока в июле и августе (табл. 3), можно воспользоваться двумя подходами.

Во-первых, эту дальность можно приблизительно рассчитать по методу гидрологической аналогии. Характеристики прилива 09.07.2018, когда была сделана съемка в эстуарии р. Крутогорова, идентичны таковым 24.06.2018, когда аналогичные наблюдения выполнялись в эстуарии р. Ича. Максимальная дальность проникновения ЗС в эстуарии р. Ича зафиксирована 28.06.2018 (рис. 10). Отличия в характеристиках распространения ЗС при разных величинах приливов (при прочих равных — одинаковой продолжительности приливов и постоянном речном стоке) связаны с разной скоростью движения фронта осолоненных вод. В эстуарии р. Ича эта скорость составляла 1,1 и 2,1 км/ч (24 и 28.06.2018 соответственно). То есть при высоких сизигийных приливах она была в 1,9 раз больше, чем при низких квадратурных приливах. Предположим, что в случае проникновения осолоненных вод в русло р. Крутогорова соотношение скоростей движения фронта осолоненных вод, а значит и дальностей его проникновения, будет таким же. Тогда получаем, что при высоких сизигийных приливах верхняя граница ЗС будет находиться в речном русле на расстоянии 4,8 км от моря. Скорее всего, этот результат даже завышен, поскольку на участке 2,5–4,8 км от устья эстуария в русле р. Крутогорова находятся три значительных переката, каждый из которых в той или иной степени препятствует интрузии осолоненных вод.

Второй подход к оценке искомой границы заключается в анализе формы речного русла. Интрузия морских вод ведет к увеличению суммарного расхода воды в русле реки. Чем ближе к морю, тем эта добавка больше. Если приливы достаточно большие, как в устье р. Крутогорова, это приводит к формированию воронкообразного расширения речного русла. Следовательно, максимум проникновения осолоненных вод должен быть ниже по течению, чем вершина воронки, которая в случае р. Крутогорова находится в 5,5 км от моря. Таким образом, в теплое время года при высоких приливах и низком речном стоке осолоненные воды проникают в русло р. Крутогорова менее чем на ~5 км от моря (рис. 14). В июне, когда на реке проходит пик по-

ловодья, в некоторые дни вода в эстуарии может оставаться пресной даже в прилив.

Вертикальная структура ЗС в эстуарии была исследована во время гидрологической съемки 09.07.2018. Оказалось, что в большую часть эстуария осолоненная вода проникала в виде клина. При этом в речном русле на поверхности находилась пресная вода, а у дна — осолоненная (>20‰). В лагуне осолоненная вода занимала всю толщу (у поверхности соленость была ниже, чем у дна; чем дальше от моря, тем ниже была соленость на вертикали).

Наши наблюдения за соленостью воды проводились в период низких квадратурных приливов. В это время осолоненные воды находились в лагуне большую часть суток, покидая ее только во второй половине отлива. Скорее всего, во время высоких сизигийных приливов лагуна остается осолоненной даже на минимуме отлива. В речное русло осолоненные воды проникали только на максимуме прилива, а в остальное время вода здесь была пресной.

По имеющимся материалам можно сделать следующие выводы о температуре воды в эстуарии. В лагуне и в той части речного русла, в которую на приливах проникала морская вода, температура ежесуточно изменялась в диапазоне величин, крайние значения которого соответствовали морским и речным водам в данное время (так же, как и в Ичинской лагуне, см. выше). В эстуарии р. Крутогорова был замечен и нагрев воды, о котором говорилось при обсуждении предыдущего объекта: 07.07.2018 на участке реки между 19 и 7 км от ее устья температура воды составляла 10,6–10,9 °С, а в южной части лагуны и на устьевом участке реки (в это время здесь была только пресная вода) — в среднем 12,5 °С. То есть за 1–2 часа своего транзита через эстуарий речная вода нагревалась на 1,5 °С.

Содержание растворенного кислорода в эстуарии р. Крутогорова было высоким: 100% насыщения, или ~10 мг/л. Мутность воды повсеместно была низкой: <20 NTU.

Расчеты характеристик водообмена, аналогичные представленным в табл. 6, показали следующее. В квадратурный прилив 09.07.2018 ($B_m = 2,4$ м; $Q = 72,6$ м³/с) в эстуарии р. Крутогорова приливная призма была значительно больше, чем собственный объем воды ($W_{np} / W_{min} = 2,9$) (расшифровку обозначений см. в табл. 6). В формировании приливной призмы роль речного стока была преобладающей ($W_{реч пр} / W_{пр} = 0,68$). Период условного

водообмена в собственном объеме эстуария был существенно меньше, чем продолжительность отлива ($W_{min} / W_{реч отл} = 0,5$). Иными словами, в период нашей работы эстуарий р. Крутогорова представлял собой сильно проточный водный объект, в котором в прилив смешивались первичные (речная и морская) водные массы, а в отлив транзитом проходила речная вода; условия для формирования собственных водных масс здесь отсутствовали.

Несколько слов о влиянии морфологических процессов в эстуарии р. Крутогорова на его гидрологический режим. В естественном состоянии (до 1958 г., см. выше) р. Крутогорова впадала в обширную лагуну, объединяющую устья нескольких рек. По своим размерам, конфигурации и морфометрии она была похожа на современную Ичинскую лагуну. Скорее всего, гидрологический режим этих объектов также был похож. После начала систематических работ по удержанию устья Крутогоровской лагуны в непосредственной близости от места впадения реки, размеры лагуны многократно уменьшились, а положение ее устья стабилизировалось. В связи с этим, проточность эстуария должна была увеличиться, а многолетняя изменчивость его гидрологического режима, обусловленная морфодинамикой устья лагуны, скорее всего, уменьшилась.

Прибрежная часть Охотского моря. Смешение речных и морских вод происходит не только в эстуариях, но и в прибрежной части моря. Поэтому нами была проведена гидрологическая съемка, цель которой состояла в выяснении пространственных характеристик ЗС в районе устья р. Крутогорова (рис. 15).

В период проведения съемки уровень моря был немного ниже среднего; начало съемки пришлось на малый прилив, а ее окончание — на малый отлив (рис. 15Г). Течение в море было направлено к северу (в начале съемки оно было сильнее, чем в конце). Ветер был слабый, волны в море практически отсутствовали. В результате съемки удалось выяснить следующее. На поверхности воды ЗС распространялась от устья реки в сторону открытого моря на 4 км (до изобаты 20 м), а вдоль берега — на 15 км к северу и на 3,5 км к югу (рис. 15В). (Границы ЗС, в данном случае соответствующие изогалинам 1‰ с речной стороны и 29‰ с морской стороны, были определены на основе анализа $T-S$ диаграмм.) На вдольбереговых разрезах соленость воды в прибойной зоне была на 2–5‰ меньше, чем в 0,5 км от берега. Площадь ЗС составляла 33,0 км².

Поверхностная изогалина 20‰ проходила не далее 0,6 км от устья реки, а изогалина 10‰ — менее 0,3 км от него. В устье реки ЗС охватывала всю водную толщу, а уже в 0,5 км от него нижняя граница ЗС поднималась до глубины 0,9 м (рис. 15А). На вдольбереговом разрезе вертикальная мощность ЗС составляла 1–2 м. Приблизительный объем пресной воды в ЗС достигал 2,0 млн м³, что соответствовало суммарному стоку рек Круто-

горова и Половинная за ~8 ч (то есть за период одной отливной фазы). Речная вода была значительно теплее поверхностной морской воды: 12 и 8–9 °С соответственно (рис. 15Б). Уже в 1 км от берега на глубине ~8 м температура морской воды была <5 °С. Мутность воды повсеместно была низкой, без заметных повышений в какой-либо части ЗС.

Таким образом, опреснение морской воды, связанное со стоком р. Крутогорова, чувствовалось

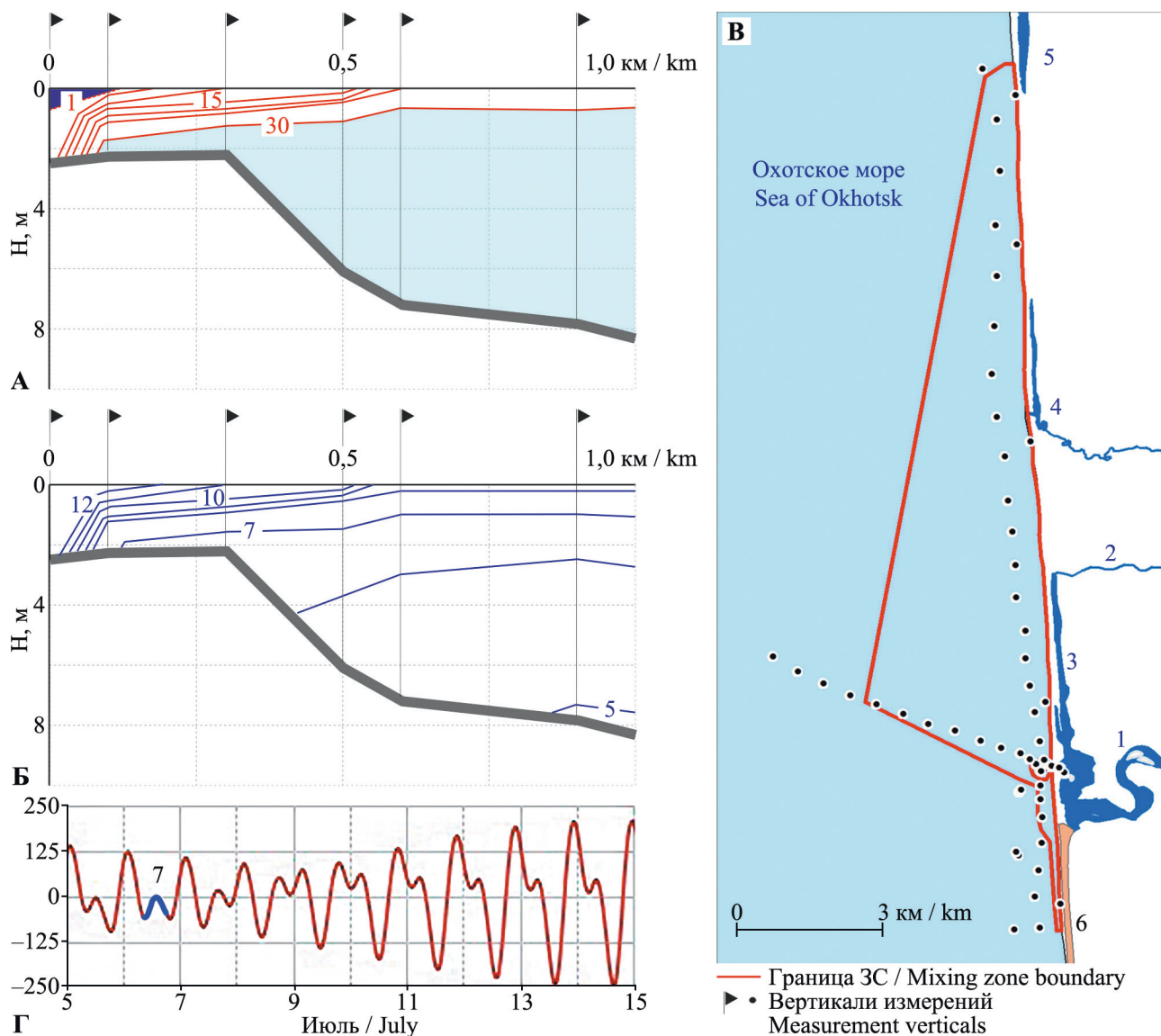


Рис. 15. Распределение солёности (А) и температуры (Б) воды по гидрологическому разрезу в прибрежной части Охотского моря (от устья р. Крутогорова на ЗСЗ), а также распространение ЗС на поверхности моря (В) по результатам гидрологической съемки 06.07.2018. Изменение уровня воды в море во время гидрологической съемки показано на врезке (Г). На разрезах изогалины проведены через 5‰, изотермы — через 1 °С; расстояние от устьев створа реки. На схеме граница ЗС проведена по изогалине 29‰. Колебания уровня воды предвычисленные. 1 — р. Крутогорова; 2 — р. Половинная; 3 — Крутогоровская лагуна; 4 — р. Схумач и ее лагуна; 5 — лагуна р. Облуковина; 6 — п. Крутогоровский; 7 (Г) — гидрологическая съемка

Fig. 15. Salinity (A) and water temperature (Б) distribution on the hydrological profile in the coastal part of the Sea of Okhotsk (from the mouth of Krutogorova River WNW), and distribution of the mixing zone on the sea surface (B) according to the data of the hydrological survey on 06.07.2018. The dynamics of the water level at sea during the hydrological survey is demonstrated on the sidebar (Г). The isogalines on the profile are set with 5‰ interval, the isotherms — with 1 °C interval; the distance from the mouth section of the river. The boundary of the mixing zone on the scheme is made along the isogaline 29‰. The fluctuations of the water level are precalculated. 1 — Krutogorova R.; 2 — Polovinnaya R.; 3 — Krutogorova R. lagoon; 4 — Skhumach R. and lagoon; 5 — Oblukovina R. lagoon; 6 — Krutogorovsky Settlement; 7 (Г) — hydrological survey

на большой площади, но ядро ЗС с высокими градиентами солёности находилось в непосредственной близости от устья реки. При этом ЗС была вытянута вдоль берега на север. Отметим, что похожая картина распространения ЗС была зафиксирована нами летом 2017 г. около устья р. Озерной, расположенной на юге полуострова (Koval et al., 2018).

Для практики такие выводы означают следующее: на Западной Камчатке результаты наблюдений на береговых станциях сильно зависят от того, с какой стороны и на каком расстоянии по отношению к устью ближайшей крупной реки находится данная станция; морские гидрологические съёмки, которые заканчиваются далее чем в 1–2 км от берега, не позволяют судить о характеристиках воды в узкой полосе прибрежного опреснения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что эстуарии рек Ича и Крутогорова, как и многие другие объекты в устьях рек Западной Камчатки, относятся к лагунно-русловому подтипу. Они сформировались в условиях довольно значительного речного стока ($Q_{cp} \sim 120$ и $70 \text{ м}^3/\text{с}$ соответственно) и высоких морских приливов (до 5 м) на выровненном морском побережье, открытом для сильного волнения. Эстуарий р. Ича представляет собой лагуну, вытянутую вдоль морского берега на 39 км. Эстуарий р. Крутогорова состоит из небольшой лагуны и устьевых участков реки (длиной $\sim 5,5$ и 4 км соответственно). От моря оба эстуария отделяются песчано-галечными барами.

Под совместным воздействием стока речной воды и морских приливов в эстуариях сформировался специфический гидрологический режим. Уровень воды в них изменяется с суточной, полумесячной и сезонной периодичностью. При этом чем выше речной сток и/или дальше место наблюдений от моря, тем слабее выражены первые два явления и заметнее последнее. В эстуариях нет замкнутых котловин и велика проточность (в теплое время года вода в эстуарии р. Ича обновляется не более чем 2–3 сут, а в эстуарии р. Крутогорова — <1 сут). Из-за этого в них между собой взаимодействуют только первичные (речные и морские) воды, а вторичных ВМ не формируется. Положение ЗС в эстуариях зависит от сочетания речных и морских факторов и поэтому изменяется с суточной полумесячной и сезонной периодич-

ностью. На пике особо высоких половодий ЗС может вытесняться в море. В большую часть летнего периода ЗС в отлив находится за пределами эстуариев, а в прилив перемещается в их приморские части (в сизигии — дальше, а в квадратуры ближе к устью). Во второй половине лета — при низком речном стоке — некоторое осолонение в эстуариях может ощущаться даже в отлив. Осолоненные воды проникают в эстуарии преимущественно в виде «клина». Предельная дальность их распространения в эстуарии р. Ича составляет ~ 18 км, а в эстуарии р. Крутогорова — ~ 5 км. Она достигается при сочетании низкого речного стока и сизигийных приливов.

В обоих случаях бары, отделяющие эстуарии от моря, активно переформируются. В естественных условиях это приводило к значительной изменчивости (в многолетнем плане) гидрологического режима эстуариев. Но начиная с середины XX в. морфодинамика баров искусственно сдерживается (в эстуарии р. Ича менее регулярно, чем в эстуарии р. Крутогорова).

В прибрежной зоне Охотского моря опреснение воды, связанное со стоком р. Крутогорова, чувствовалось на большой площади (33 км^2), но ядро ЗС с высокими градиентами солёности находилось в непосредственной близости от устья реки. ЗС была вытянута на 15 км вдоль берега на север и на 4 км в сторону открытого моря.

В заключение несколько слов о наиболее важных направлениях дальнейших исследований. В эстуариях рек Ича и Крутогорова желательно провести зимние наблюдения для оценки гидрологических условий в этих объектах в период ледостава. Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос о формировании наводнений в эстуарии р. Ича из-за заторов льда в его устье. Помимо этого, до сих пор остаются нерешенными две гидрологические проблемы: оценка пространственно-временных характеристик опреснения и направления течений (приливных, дрейфовых и суммарных) в прибрежной зоне Охотского моря около устьев больших рек Западной Камчатки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам метеостанции «Ича» и жителю п. Крутогоровский Н. Овчаренко за большую помощь во время проведения полевых работ, а также инженеру лаборатории эстуарных и прибрежных эко-

систем КамчатНИРО Л.Н. Смородиной за помощь в обработке исходных данных. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-01224).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гидрологические наблюдения и работы на гидрометеорологической сети в устьевых областях рек. 1993. Методические указания. РД 52.10.324-92. М.: Гидрометеиздат. 183 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей. 1998. Т. IX (Охотское море). Вып. 1 (Гидрометеорологические условия). СПб.: Гидрометеиздат. 342 с.
- Горин С.Л. 2012. Эстуарии полуострова Камчатка: теоретические подходы к изучению и гидролого-морфологическая типизация. Итоги 10 лет исследований // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 27. С. 5–12.
- Горин С.Л., Корзинин Д.В., Коваль М.В., Головлев П.П., Завадский А.С. 2018. Морфодинамика устья Ичинской лагуны (Западная Камчатка) // Арктические берега: путь к устойчивости: Матер. XXVII Междунар. береговой конф. (Мурманск, 24–29 сентября 2018 г.). С. 48–51.
- Горин С.Л., Попрядухин А.А., Коваль М.В. 2019. Гидрологические процессы в лагунно-русовом эстуарии в теплый период года (на примере устья р. Большой, Западная Камчатка) // Водн. ресурсы. Т. 46. № 1. С. 2–13.
- Давыдов Б.В. 1923. Лоция побережий РСФСР Охотского моря и восточного берега Камчатки с островом Карагинским включительно. Владивосток. 1498 с.
- Деева Р.А. 1972. Каталог гармонических и негармонических постоянных приливов отечественных вод Дальнего Востока // Тр. ДВНИГМИ. Вып. 0.18. Л.: Гидрометеиздат. 248 с.
- Дополнение к III части Лоции северо-западной части Восточного Океана издания 1907 года (исправлено по 1 января 1915 года). 1915. Петроград: Главное гидрографическое управление Морского министерства. Типография Морского министерства, 274 с.
- Думанская И.О. 2017. Ледовые условия морей азиатской части России. М.: Обнинск: ИГ – СОЦИН. 640 с.
- Ежегодные и многолетние данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. 2018. Водный кадастр РФ. Раздел 1 (поверхностные воды). Т. 4. Ч. 1 (Охотское море). Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД.
- Кафанов А.И. 1986. Лагуны дальневосточных морей // Природа, № 5. С. 34–42.
- Климат России: Научно-прикладной справочник. 2010. Электронный справочник Росгидромета: <http://aisori.meteo.ru/CIsprR>.
- Коваль М.В., Горин С.Л. 2016. Эстуарии Камчатского края: результаты и перспективы изучения // Морские биологические исследования: достижения и перспективы. Сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч., приуроченной к 145-летию Севастопольской биол. станции (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.). Севастополь. Т. 2. С. 315–318.
- Коваль М.В., Горин С.Л., Козлов К.В., Никулин Д.А., Штремель М.Н. 2012. Ихтиологические исследования эстуариев рек Хайрюзова, Белоголовая и Ковран (Западная Камчатка) в июле–августе 2012 г. // Бюллетень № 7 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 91–106.
- Кондратьев В.И. 1974. Климат Камчатки. М.: Гидрометеиздат. 200 с.
- Красная книга Камчатского края. 2018. Т. 1. Животные (Отв. ред. А.М. Токранов). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 196 с.
- Леонтьев О.К. (ред.), Васильев А.А., Добрынина Т.А., Жиндарев Л.А., Кривулин К.П., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г., Сперанский Н.С. 1969. Динамика и морфология берега Западной Камчатки (промежуточный отчет, 17.04.1969). М. Неопублик. данные кафедры геоморфологии Географического ф-та МГУ, 191 с.
- Леонтьев О.К. (ред.), Добрынина Т.А., Кривулин К.П., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г., Чуланов В.А. 1971. Динамика и морфология берега Западной Камчатки (окончательный отчет). Неопубл. данные кафедры геоморфологии Географического ф-та МГУ, 132 с.
- Михайлов В.Н., Горин С.Л. 2012. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей — эстуариев // Водн. ресурсы. Т. 39. № 3. С. 243–257.
- Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1987. Государственный водный кадастр. Т. I (РСФСР). Вып. 18 (бассейны рек Камчатской области). Л.: Гидрометеиздат. 386 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 1966. Гидрологическая изученность. Т. 20. Камчатка. Л.: Гидрометеиздат. 258 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 1973. Т. 20. Камчатка. Л.: Гидрометеиздат. 368 с.

Руководство по гидрологической практике. Т. 1. Гидрология: от измерений до гидрологической информации. 2011. ВМО-№ 168. 6-е изд. 514 с.

Руководство по гидрологической практике. Т. 2. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. 2012. ВМО-№ 168. 6-е изд. 324 с.

Шевляков Е.А., Маслов А.В. 2011. Реки, определяющие воспроизводство тихоокеанских лососей на Камчатке, как реперы для оценки заполнения нерестового фонда // Изв. ТИНРО. Т. 164. С. 114–139. Guidelines on the study of seawater intrusion into rivers / Studies and reports in hydrology. 1991. Paris: UNESCO. 117 p.

Koval M.V., Gorin S.L., Vasilenko A.V., Dubynin V.A., Klimov A.V. 2018. Biology of juvenile ozernovskaya sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (the Ozernaya River, Basin of the Kurilskoe Lake) during downstream migration and early marine period of life // NPAFC Technical Rep. N 11. Vancouver. Canada. P. 29–38.

REFERENCES

Gidrologicheskiye nablyudeniya i raboty na gidrometeorologicheskoy seti v ust'yevykh oblastiakh rek [Hydrological observations and work on the hydrometeorological network in the estuarine areas of rivers]. Guidelines. RD 52.10.324-92. Moscow: Gidrometeoizdat, 1993, 183 p.

Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. V. IX (Sea of Okhotsk)]. Vol. 1 (Hydrometeorological conditions). SPb.: Gidrometeoizdat, 1998, 342 p.

Gorin S.L. Kamchatka's estuaries: theoretical approaches and hydrological-morphological typing. Ten-year research outcomes. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2012, vol. 27, pp. 5–12. (In Russian with English abstract)

Gorin S.L., Korzinin D.V., Koval M.V., Gogolev P.P., Zavadskiy A.S. Morphodynamics of river mouth of Icha's lagoon (Western Kamchatka). *Proceedings of XXVII International Coastal Conference "Arctic shores: shore-up to sustainability"*. Murmansk, 2018, pp. 48–51. (In Russian)

Gorin S.L., Popryadukhin A.A., Koval M.V. Hydrological Processes in a Lagoon-Channel Estuary in the Warm Season: Case Study of the Mouth of the Bolshaya R., Western Kamchatka. *Water Resources*, 2019, vol. 46, no. 1, pp. 2–13.

Davydov B.V. *Lotsiya poberezhnyy RSFSR Okhotskogo morya i vostochnogo berega Kamchatki s ostrovom Karaginskim vklyuchitelno* [Lotsiya coasts of the RSFSR of the Sea of Okhotsk and the eastern coast of Kamchatka with the island of Karaginsky inclusive]. Vladivostok, 1923, 1498 p.

Deyeva R.A. Catalog of harmonic and non-harmonic constant tides of domestic waters of the Far East. *Trudy DVNIGMI*, 1972, vol. 0.18, Leningrad: Hydrometeoizdat, 248 p.

Dopolneniye k III chasti Lotsii severo-zapadnoy chasti Vostochnogo Okeana izdaniya 1907 goda (ispravleno po 1 yanvarya 1915 goda) [Supplement to the third part of Lotsia of the northwestern part of the Eastern Ocean of the 1907 edition (amended on January 1, 1915)]. Petrograd: Main Hydrographic Directorate of the Ministry of the Sea, Printing house of the Ministry of the Sea, 1915, 274 p.

Dumanskaya I.O. *Ledovyye usloviya morey aziatskoy chasti Rossii* [Ice Conditions of Seas of the Asian Part of Russia]. Moscow: Obninsk: IG – SOTSIN, 2017, 640 p.

Ezhegodnyye i mnogoletniye dannyye o rezhime i kachestve vod morey i morskikh ustyev rek. Vodnyy kadastr RF. Razdel 1 (poverkhnostnyye vody). CH. 1 (Okhotskoye more) [Annual and long-term data on the regime and quality of the waters of the seas and estuaries. Water cadastre of the Russian Federation. Section 1 (surface water)]. Vol. 4. Part 1 (Sea of Okhotsk)]. Obninsk: VNIIGMI-MTSD, 2018.

Kafanov A.I. Lagoons of the Far Eastern Seas. *Priroda*, 1986, no. 5, pp. 34–42. (In Russian)

Klimat Rossii: Nauchno-prikladnoy spravochnik. [Climate of Russia: Scientific and Applied Reference]. Roshydromet electronic reference book, 2010. Available at <http://aisori.meteo.ru/Clspr>. (In Russian)

Koval M.V., Gorin S.L. Estuaries of the Kamchatka Region: results and perspectives of study. *Proceedings of all-Russian Scientific-Practical Conference with International Participation dedicated to the 145th anniversary of Sevastopol Biological Station Sevastopol: "Marine biological research: achievements and perspectives"*. Sevastopol, 2016, pp. 315–318. (In Russian)

Koval M.V., Gorin S.L., Kozlov K.V., Nikulin D.A., Shtremel M.N. Ichthyological studies of estuaries of the Khayryuzov, Belogolovaya and Kovran Rivers (Western Kamchatka) in July–August 2012. *Bulletin for the study of Pacific salmon in the Far East*, vol. 7, Vladivostok: TINRO, 2012, pp. 91–106. (In Russian)

- Kondratyuk V.I. *Klimat Kamchatki* [Climate of Kamchatka]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1974, 200 p.
- Tokranov A.M. (ed.). *Krasnaya kniga Kamchatskogo kraya. T. 1. Zhivotnyye* [Red Book of Kamchatka Territory. Vol. 1. Animals]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2018, 196 p.
- Leontiev O.K. (ed.), Vasilyev A.A., Dobrynina T.A., Zhindarev L.A., Krivulin K.P., Lukyanova S.A., Nikiforov L.G., Speranskiy N.S. *Dinamika i morfologiya berega Zapadnoy Kamchatki (promezhutochnyy otchet, 17.04.1969)* [Dynamics and morphology of the coast of Western Kamchatka (interim report, 04.17.1969)]. Moscow: Unpublished data from the Department of Geomorphology of the Geographical Faculty of Moscow State University, 1969, 191 p.
- Leontiev O.K. (ed.), Dobrynina T.A., Krivulin K.P., Lukyanova S.A., Nikiforov L.G., Chulanov V.A. *Dinamika i morfologiya berega Zapadnoy Kamchatki (okonchatelnyi otchet, 17.10.1971)* [Dynamics and morphology of the coast of Western Kamchatka (final report, 10.17.1971)]. Moscow: Unpublished data of the Department of Geomorphology of the Geographical Faculty of Moscow State University, 1971, 132 p.
- Mikhailov V.N., Gorin S.L. New definitions, regionalization, and typification of river mouth areas and estuaries as their parts. *Water Resources*, 2012, vol. 39, no. 3, pp. 247–260.
- Mnogoletniye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. T. I (RSFSR). Vyp. 18 (basseyny rek Kamchatskoy oblasti)* [Long-term data on the regime and resources of land surface water. State Water Cadastre. Vol. I (RSFSR), issue 18 (river basins of the Kamchatka Region)]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1987, 386 p.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost. T. 20. Kamchatka* [Surface water resources of the USSR. Hydrological knowledge. Vol. 20. Kamchatka]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1966, 258 p.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 20. Kamchatka* [Surface water resources of the USSR. Vol. 20. Kamchatka]. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1973, 368 p.
- Rukovodstvo po gidrologicheskoy praktike. T. 1. Gidrologiya: ot izmereniy do gidrologicheskoy informatsii* [Guide to hydrological practice. Vol. 1. Hydrology: from measurements to hydrological information]. 2011, WMO-No. 168, 6th ed., 514 p.
- Rukovodstvo po gidrologicheskoy praktike. T. 2. Upravleniye vodnymi resursami i praktika primeneniya gidrologicheskikh metodov* [Guide to hydrological practice. T. 2. Water management and the practice of using hydrological methods]. 2012, WMO-No. 168, 6th ed., 324 p.
- Shevlyakov E.A., Maslov A.V. The rivers determining reproduction of pacific salmon in Kamchatka as indicators of spawning grounds filling. *Izvestiya TINRO*, 2011, vol. 164, pp. 114–139. (In Russian)
- Guidelines on the study of seawater intrusion into rivers. Studies and reports in hydrology. 1991. Paris: UNESCO. 117 p.
- Koval M.V., Gorin S.L., Vasilenko A.V., Dubynin V.A., Klimov A.V. Biology of juvenile ozernovskaya sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (the Ozernaya River, Basin of the Kurilskoe Lake) during downstream migration and early marine period of life. *NPAFC Technical Rep.*, no. 11. Vancouver. Canada, 2018, pp. 29–38.

Статья поступила в редакцию: 23.04.2019

Статья принята после рецензии: 09.09.2019