

Краткое сообщение

УДК 597.552.51–169:576.895.132

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-906-916

EDN: KFZKPL



О ВЫЖИВАЕМОСТИ ЛИЧИНОК МОРСКОЙ ПАРАЗИТИЧЕСКОЙ НЕМАТОДЫ *ANISAKIS SIMPLEX* SENSU LATO (RUDOLPHI, 1809) В ПРЕСНЫХ ВОДАХ

О.Ю. Бусарова¹, В.А. Паренский^{2*}

¹ Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет,
690078, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б;

² Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17

Аннотация. Проведено наблюдение за выживаемостью личинок морской паразитической нематоды *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) в пресных водах. Живых личинок отбирали от гольца *Salvelinus malma* из нижнего течения р. Камчатка. Выдерживали в пресной воде, взятой из р. Азабачьей, и ежедневно ее сменяли. Личинки *A. simplex sensu lato* сохраняли жизнеспособность в пресной воде в свободном состоянии в течение 4 сут (100 % личинок), по истечении 9 сут жизнеспособными оставались 2,7 % особей, гибель 100 % личинок произошла через 10 сут. Регрессионный анализ зависимости количества погибших личинок в связи со временем, прошедшим от начала эксперимента, показал, что эти данные хорошо ($R^2 = 0,996$) аппроксимируются уравнением Берталанфи. Дополнительно оценили жизнеспособность личинок *A. simplex sensu lato* в телах погибших производителей нерки на нерестилище оз. Азабачьего: в полости тела рыб, смерть которых наступила не менее 3–5 дней назад, содержались живые личинки *A. simplex sensu lato*. Наблюдение показало, что личинки морского паразита *A. simplex sensu lato* заносятся в пресные воды проходными рыбами и выживают в пресной воде. При использовании в пищу пресноводных рыб, отловленных в водоемах Дальнего Востока, связанных с морской средой, необходимы меры по обеззараживанию рыб от *A. simplex sensu lato*.

Ключевые слова: пресноводные рыбы, лососевые рыбы, полевой эксперимент, озеро Азабачье, Камчатка

Для цитирования: Бусарова О.Ю., Паренский В.А. О выживаемости личинок морской паразитической нематоды *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) в пресных водах // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 906–916. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-906-916. EDN: KFZKPL.

* Бусарова Олеся Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, olesyabusarova@mail.ru, ORCID 0000-0003-3246-9658; Паренский Валерий Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, vaparensky@inbox.ru, ORCID 0000-0003-1282-4253.

© Бусарова О.Ю., Паренский В.А., 2022

Short message

On survival of the larvae of marine parasitic nematode *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) in the fresh waters

Olesya Yu. Busarova*, Valery A. Parensky**

* Far-Eastern State Technical Fisheries University,
52b, Lugovaya St., Vladivostok, 690087, Russia

** National Scientific Centre of Marine Biology,
Far-Eastern branch of Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690041, Russia

* Ph.D., assistant professor, olesyabuserova@mail.ru, ORCID 0000-0003-3246-9658

** Ph.D., researcher, vaparensky@inbox.ru, ORCID 0000-0003-1282-4253

Abstract. Survival of the larvae of marine parasitic nematode *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) in the fresh waters was monitored. In total, 37 live larvae of *A. simplex* s.l. were sampled from charr *Salvelinus malma* caught in the lower reaches of the Kamchatka River. The larvae were kept in the freshwater refreshed everyday, without food, their viability was examined daily at 9 a.m. All larvae were still alive in the 4th day (100 %); 2.7 % were alive after 9 days in freshwater, but all of them were died after 10 days. Dependence of the number of dead larvae on the time of their exposition in the freshwater is well approximated by von Bertalanffy equation ($R^2 = 0.996$). Besides, viability of *A. simplex* s.l. larvae in the bodies of dead sockeye spawners was examined at the spawning grounds in Lake Azabachye: the larvae were alive in the body cavity of fish that died at least 3–5 days ago and remained alive at least 3 days more being placed in the freshwater. The larvae of marine nematode *A. simplex* s.l. are able to enter to the fresh waters with migratory fish. Following to our results, they can survive there for several days. So, measures for disinfecting against *A. simplex* s.l. are recommended for the freshwater fish caught in the water bodies connected with the marine environment.

Keywords: freshwater fish, salmon, natural experiment, Lake Azabachye, Kamchatka

For citation: Busarova O.Yu., Parenskij V.A. On survival of the larvae of marine parasitic nematode *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) in the fresh waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 906–916. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-906-916. EDN: KFZKPL.

Введение

Морские паразитические нематоды *Anisakis simplex sensu lato* (Rudolphi, 1809) имеют всеветное распространение и встречаются у многих групп животных [Гаевская, 2005]. Для *A. simplex sensu lato* дефинитивными хозяевами являются морские млекопитающие, промежуточными хозяевами — морские эвфаузииды и веслоногие, транспортными — кальмары и различные виды морских рыб [Klimpel et al., 2004; Buchmann, Mehrdana, 2016]. Человек может выступать в качестве резервуарного хозяина *A. simplex sensu lato*, приобретая паразита во время питания зараженной рыбой [Гаевская, 2005].

У человека нематоды семейства Anisakidae вызывают тяжелое инвазионное заболевание — анисакидоз, в некоторых случаях приводящее к летальному исходу [Попов и др., 2020]. Личинки нематод поражают желудочно-кишечный тракт [Baptista-Fernandes et al., 2017], вызывают иммунные реакции [Del Pozo et al., 1999; Audicana et al., 2002; Ivanović et al., 2017]. Анисакидоз относят к космополитическим зоонозам, зарегистрировано более 20 тыс. случаев заболеваний [Pravettoni et al., 2012], большинство которых отмечают в прибрежных регионах, где традиционно используют в пищу сырую рыбу (Япония [Suzuki et al., 2021], Республика Корея [Choi et al., 2009], Тайвань [Li et al., 2015], Нидерланды [Bucci et al., 2013], Португалия [Baptista-Fernandes et al., 2017], Италия [Mattiucci et al., 2013], Приморский край РФ [Соловьева, Таран, 2000; Кравцова и др., 2004; Попов и др., 2020]).

Помимо широкого распространения у различных видов морских и проходных рыб [Гаевская, 2005], *A. simplex sensu lato* может встречаться и у жилых пресновод-

ных рыб. Так, на Дальнем Востоке личинки *A. simplex* и *Anisakis* sp. были отмечены на Камчатке у хариуса *Thymallus arcticus mertensi* в р. Камчатка [Ахмеров, 1955], у микижи *Parasalmo mykiss* в реках Камчатка [Коновалов, 1971], Сопочная и Утхолок [Соколов, 2005], мальмы *Salvelinus malma* в р. Плотникова [Спасский и др., 1961], р. Авача [Бусарова и др., 2020], мальмы, микижи и кунджи *Salvelinus leucomaenis* в бассейне оз. Азабачье [Бусарова и др., 2018], а также у сига-пыжьяна *Coregonus pidschian*, чира *C. nasus*, обыкновенного валька *Prosopium cylindraceum* и сибирского хариуса *Th. arcticus* в р. Анадырь и чира — в р. Колыма [Пугачев, 1984]. Во многих реках Дальнего Востока пресноводные рыбы, такие как мальма, кунджа, микижа, населяющие водоемы в течение всего года, являются важным объектом традиционного рыболовства и питания населения. Между тем у этих видов рыб отмечают личинок анисакид, которые являются опасными для здоровья человека и животных.

Морской паразит *A. simplex* sensu lato способен заражать пресноводных рыб. Так, пресноводные садковые рыбы (радужная форель *P. mykiss* и кумжа *Salmo trutta*) заражаются личинками анисакид при питании кормами, изготовленными из морских рыб [Wootten, Smith, 1975]. Эксперимент по внедрению личинок *A. simplex*, отобранных у голубого путассу *Micromesistius poutassou*, в радужную форель показал приживаемость паразита в пресноводных рыбах [Santamarina et al., 1994]. Эти результаты демонстрируют возможность перехода личинок *A. simplex* sensu lato от морских рыб к пресноводным.

В связи с этим целью нашей работы являлось экспериментальное наблюдение за выживаемостью личинок *A. simplex* sensu lato в пресной воде.

Материалы и методы

Памятник природы, оз. Азабачье (56°14' с.ш. 161°79' в.д.), располагается в 40 км от устья р. Камчатка и соединяется с ней р. Азабачьей длиной 12 км (рис. 1); в озеро впадает 15 притоков, из которых самый крупный — р. Бушуйка, длиной 40 км; площадь озера — 56,5 км², длина — 13 км, ширина — 7,7 км, максимальная глубина — 36,8 м, средняя — 18,2 м; озеро является нерестово-выростным водоемом для нерки

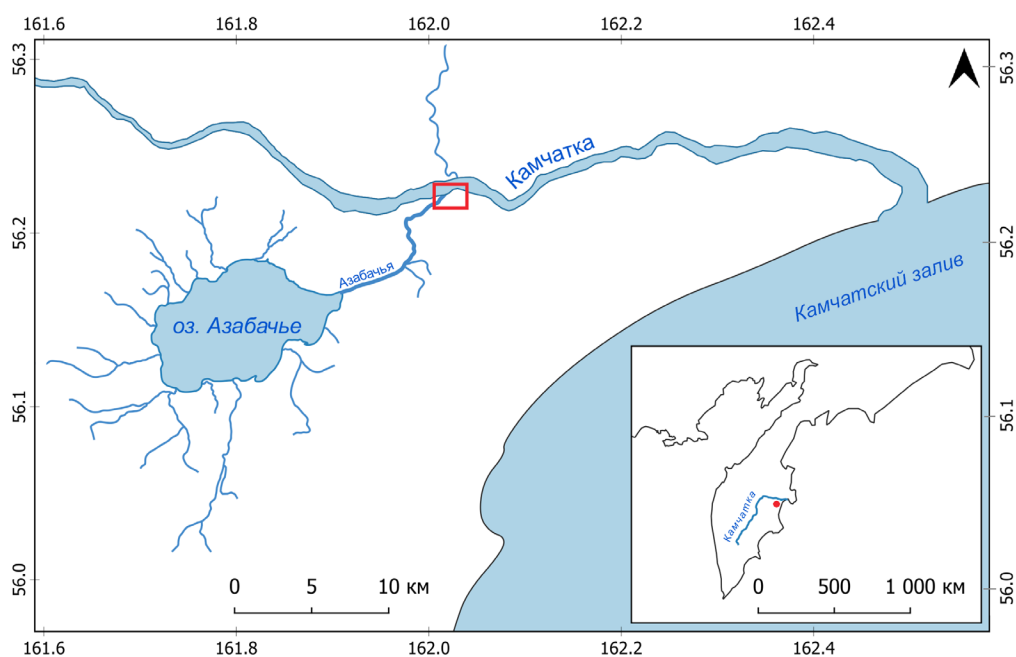


Рис. 1. Карта нижнего течения р. Камчатка

Fig. 1. Scheme of the lower reaches of the Kamchatka River

Oncorhynchus nerka и кижуча *O. kisutch*, помимо этих видов, здесь обитают мальма, кунджа, микижа, трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus*, девятииглая колюшка *Pungitius pungitius*, малоротая корюшка *Hipomesus olidus*, серебряный карась *Carassius auratus gibelio* и другие виды [Бугаев, Кириченко, 2008].

Сбор материала провели в августе 2021 г. в нижнем течении р. Камчатка. Личинок *A. simplex sensu lato* отобрали от 10 экз. речной формы мальмы *S. malma*, отловленной на спиннинг в р. Камчатка в месте впадения в нее р. Азабачьей. Червей собрали из полости тела рыб, с поверхности внутренних органов, из мышечной ткани. Всего отобрали 37 экз. живых активно двигающихся личинок *A. simplex sensu lato*. Отобранных червей поместили в чашку Петри с пресной водой из р. Азабачьей, хранили при комнатной температуре, дополнительно не кормили. В течение следующих 10 сут в 9.00 подсчитывали число живых и погибших личинок, удаляли мертвые экземпляры, после чего меняли воду, в которой находились личинки, на свежую из р. Азабачьей. В первые 5 сут жизнеспособность личинок оценивали визуально по их двигательной активности. В последующие сутки неподвижных личинок дополнительно механически раздражали кончиком препаровальной иглы и увеличивали температуру воды, т.е. использовали метод физического раздражения [ГОСТ 34812-2021]. Мертвыми считали личинок *A. simplex sensu lato*, которые были неподвижны, не реагировали на увеличение температуры воды и на механическое раздражение. Жизнеспособность личинок оценивали под бинокулярным микроскопом марки МБС-10 в проходящем и падающем свете.

Для формализации наблюдавшейся динамики смертности и выживания личинок в эксперименте была использована модель «логистического роста» Берталанфи [Von Bertalanffy, 1938].

Дополнительно провели специальное паразитологическое вскрытие 3 экз. погибших производителей нерки *O. nerka* из побережья оз. Азабачьего на наличие в мертвых рыбах живых личинок *A. simplex sensu lato*. Отобранных живых личинок поместили в отдельную чашку Петри с водой из р. Азабачьей и оценили их жизнеспособность через три дня.

Результаты и их обсуждение

Личинки *A. simplex sensu lato*, отобранные из тел речной мальмы, находясь в свободном состоянии в пресной воде без питания, сохраняли жизнеспособность в течение десяти суток. За период наблюдения в первые четверо суток (96 ч) все 100 % личинок были живы и активны. Гибель личинок началась на пятые сутки наблюдения с отхода 16,2 % особей. На девятые сутки наблюдения жизнеспособными оставались 2,7 % особей. Гибель 100 % личинок произошла на десятые сутки. Погибшие личинки были поражены плесневыми грибами (Saprolegniales).

Как показал регрессионный анализ зависимости количества погибших личинок (D) в связи со временем (T , ч), прошедшим от начала эксперимента, эти данные хорошо ($R^2 = 0,996$) аппроксимируются уравнением Берталанфи [Von Bertalanffy, 1938] со степенью:

$$D = a (1 - \exp(-T/b))^{\exp(c)},$$

где $b = 25,730$, $c = 5,188$. Первый коэффициент $a = 37$ — известная величина (количество личинок в эксперименте).

Средняя относительная ошибка коэффициентов модели 7,84 %. Соответственно, выживание (S , экз.) в течение времени (T , ч) является комплементарной функцией с теми же параметрами и качеством (рис. 2):

$$S = 37 (1 - (1 - \exp(-T/b))^{\exp(c)}).$$

Проведенные наблюдения за выживаемостью личинок *A. simplex sensu lato* в пресных водах позволяют дополнить понимание особенностей их жизненного цикла. Личинки, отобранные от рыб и помещенные в пресную воду из естественного источника в свободном состоянии без питания, сохраняют жизнеспособность как минимум 10 сут. В

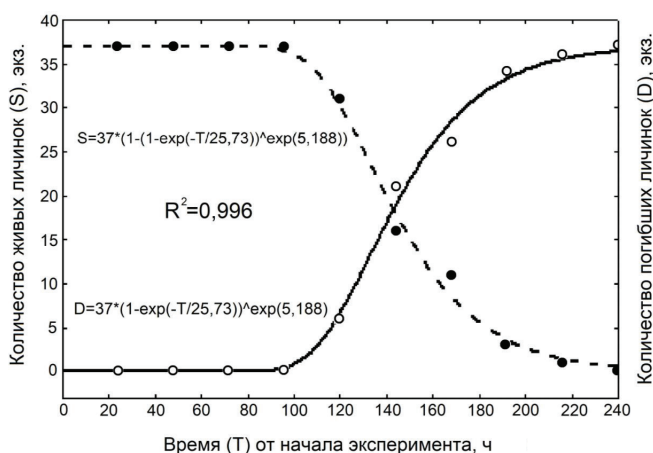


Рис. 2. Аппроксимация динамики смертности (сплошная линия, светлые кружки) и выживания (штриховая линия, черные кружки) *A. simplex sensu lato* в пресной воде уравнением Бергаланфи

Fig. 2. Dynamics of mortality (solid line, light circles) and survival (dashed line, black circles) for larvae of *A. simplex s.l.* in the freshwater approximated by von Bertalanffy equation

дистиллированной воде продолжительность жизни анизакид составляет до 71 сут [Беспрозованных, Ермоленко, 2005]. Относительно ранняя гибель личинок в эксперименте может быть связана с несколькими факторами: личинки содержались в воде из реки, не подвергшейся обеззараживанию и, по всей видимости, содержащей споры плесневых грибов, поразивших личинок; личинки содержались в скученном состоянии; личинки испытывали широкий диапазон дневных и ночных температур. Сохраняется вероятность более долгой продолжительности жизни личинок при благоприятных условиях.

При осмотре полости тела погибших производителей нерки во всех трех осматриваемых рыбах присутствовали живые личинки *A. simplex sensu lato* в количестве 5–17 экз./рыбу, мертвые личинки не отмечены (рис. 3). По визуальной оценке смерть нерки наступила не менее чем 3–5 дней назад, поверхность тела и жабры рыб имели белый цвет (рис. 3), рыбы были найдены либо в прибрежье озера на поверхности воды, либо у кромки воды.



Рис. 3. Мертвая нерка с живыми подвижными личинками *A. simplex sensu lato*
Fig. 3. Dead sockeye salmon with alive and mobile larvae of *A. simplex s.l.*

Также у берега встречались производители нерки с разорванной брюшной стенкой и отсутствующими внутренними органами, выклеванными птицами (рис. 4).



Рис. 4. Мертвая нерка в прибрежье оз. Азабачьего, внутренние органы которой выклеваны птицами

Fig. 4. Dead sockeye salmon ashore of Lake Azabachie with viscera pecked out by birds

Все личинки *A. simplex sensu lato*, отобранные из тел погибшей нерки и помещенные в пресную воду, в течение первых трех суток наблюдения сохраняли жизнеспособность. На четвертые сутки наблюдение за личинками было остановлено.

Таким образом, в пресных водах тихоокеанские лососи после гибели сохраняют в своих телах живых личинок *A. simplex sensu lato* в течение как минимум нескольких дней. При этом известно, что в кете, засоленной семужным (слабым) посолом, личинки остаются живыми в течение 2 мес. [Беспрозванных, Ермоленко, 2005]. Тихоокеанские лососи (как живые, так и мертвые), пришедшие в пресные воды на нерест, являются пищей для хищных птиц и медведей. Животные, поедая рыб, разрывают их тела, при этом гельминты рыб попадают в воду. Находясь в воде, активные свободноживущие личинки могут случайно послужить кормом для пресноводных рыб.

Срок жизни личинок анизакид в живых рыбах составляет не менее двух лет, и рыбы в течение жизни аккумулируют этих гельминтов [Koie, 2001]. Имеются данные о сохранении жизнеспособности 50 % личинок анизакид в треске в течение 4 лет и 90 % личинок в течение 14 лет [Hauksson et al., 2012]. На примере морских рыб показан путь передачи анизакид к новым рыбам от погибших рыб-хозяев непосредственно через воду [Гаевская, 2005, с. 95]. Несмотря на то что алиментарный путь заражения показан для морской среды, не исключена возможность того, что пресноводные рыбы могут заражаться *A. simplex sensu lato* в пресных водах, куда паразит заносится проходными рыбами.

Подтверждением возможности заражения рыб анизакисом в пресных водах является присутствие личинок у чисто пресноводных видов рыб в оз. Азабачьем. Так, *A. simplex sensu lato* отмечен нами у микижи (доля зараженных рыб в выборке составляла 30 %), кунджи (20), хищной мальмы (84), бентосоядной (10) и ручьевой мальмы (6,7 %). Мы считаем, что бентосоядная и ручьевая мальма, питаясь бентосом у дна, заражается *A. simplex* непосредственно из воды. Заражение хищных рыб (хищной формы мальмы, микижи и кунджи) *A. simplex sensu lato* мы связываем с их питанием мелкими проходными рыбами — трехиглой колюшкой и малоротой корюшкой, возвращающимися из моря в озеро [Бусарова, 2022].

Стоит учитывать, что *A. simplex sensu lato* смертельно опасен для человека и животных, вызывая тяжелое заболевание — анизакидоз. Личинки нематод локализуются у рыб не только в полости тела на внутренних органах, но и в мышцах (рис. 5), из-за чего черви менее заметны при разделке рыбы.



Рис. 5. Личинки *A. simplex sensu lato* в мышцах мальмы *S. malma* из нижнего течения р. Камчатка

Fig. 5. Larvae of *A. simplex s.l.* in muscles of dolly varden *S. malma* from the lower reaches of the Kamchatka River

По нашим данным, речная форма гольца (мальмы) из нижнего течения р. Камчатка в устье р. Азабачьей имеет высокую инвазию личинками *A. simplex sensu lato*. В наших сборах 66,7 % рыб были заражены паразитом, индекс обилия (среднее число особей, приходящееся на одну рыбу в выборке) составлял 4,5 экз., максимальная интенсивность инвазии (число личинок на одну зараженную рыбу) — 39 экз. Личинки нематод находились в полости тела, на поверхности внутренних органов, в мышцах рыб. Также мы отмечали личинок анизакид у молоди мальмы в р. Авача [Бусарова и др., 2020]. Поэтому необходимо учитывать, что пресноводные рыбы из рек и озер Камчатки также могут служить источником заражения человека и животных и проводить обязательные мероприятия по обеззараживанию рыбного сырья. Учитывая устойчивость анизакид к солевым растворам, наиболее эффективным способом обеззараживания рыб является их промораживание в течение не менее 7 сут [Беспрозванных, Ермоленко, 2005].

Заключение

Личинки морской паразитической нематоды *A. simplex sensu lato* сохраняют жизнеспособность в пресных водах: в свободном состоянии, в телах проходных рыб, пришедших на нерест, и в организмах жилых пресноводных рыб. Необходимо соблюдать технологические требования к обеззараживанию рыбного сырья из пресноводных рыб, отловленных в водоемах, связанных с морской средой.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы глубоко признательны д.б.н. Т.Е. Буториной (ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз») за обсуждение рукописи.

The authors are sincerely grateful to T.E. Butorina (Far Eastern State Technical Fisheries University) for useful discussions concerning the manuscript.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the care and use of animals have been followed. The authors declare that they have no conflict of interest.

Список литературы

Ахмеров А.Х. Паразитофауна рыб р. Камчатки // Изв. ТИНРО. — 1955. — Т. 43. — С. 99–137.

Беспрозванных В.В., Ермоленко А.В. Природноочаговые гельминтозы человека в Приморском крае : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — 120 с.

Бугаев В.Ф., Кириченко В.Е. Нагульно-нерестовые озера азиатской нерки (включая некоторые другие водоемы ареала) : моногр. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2008. — 280 с.

Бусарова О.Ю. Трофическая специализация симпатрических форм мальмы *Salvelinus malma* (Salmonidae) озера Азабачье, Камчатка // Вопр. ихтиол. — 2022. — Т. 62, № 5. — С. 621–633. DOI:10.31857/S0042875222040051.

Бусарова О.Ю., Есин Е.В., Маркевич Г.Н. Питание и паразиты молоди мальмы *Salvelinus malma* реки Авачи (юго-восточная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 21-й междунар. науч. конф. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2020. — С. 33–37.

Бусарова О.Ю., Колтун Г.Г., Подвалова В.В. Паразиты лососевых рыб (Salmonidae) озера Азабачьего (Камчатка), опасные для здоровья человека и влияющие на качество рыбного сырья // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2018. — Вып. 48. — С. 31–42. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.48.31-42.

Гавская А.В. Анизакидные нематоды и заболевания, вызываемые ими у животных и человека : моногр. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. — 223 с.

Коновалов С.М. Дифференциация локальных стад нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) : моногр. — Л. : Наука, 1971. — 229 с.

Кравцова В.О., Царенко С.С., Филимонова Н.Б., Гагальчий Н.М. Анизактиоз в Приморском крае // Тихоокеанский медицинский журнал. — 2004. — № 3(7). — С. 65–67.

Попов А.Ф., Симакова А.И., Петухова С.А. и др. Анизактиоз в Приморском крае // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. — 2020. — № 2. — С. 15–20. DOI: 10.33092/0025-8326mp2020.2.15-20.

Пугачев О.Н. Нематоды пресноводных рыб северо-востока Азии // Тр. ЗИН АН СССР. — 1984. — Т. 126. — С. 10–19.

Соколов С.Г. Обзор паразитов микижи *Parasalmo mykiss* (Osteichthyes, Salmonidae) полуострова Камчатка // Invertebrate Zoology. — 2005. — Т. 2, № 1. — С. 35–60.

Соловьева Г.Ф., Таран Н.А. Два случая обнаружения личинок *Anisakis simplex* (Ascaridina, Anisakidae) в желудке у человека // Изв. ТИНРО. — 2000. — Т. 127. — С. 590–592.

Спаский А.А., Ройтман В.А., Шагаева В.Г. К гельминтофауне рыб бассейна р. Плотникова Камчатской области // Тр. ГЕЛАН. — 1961. — Т. 11. — С. 270–285.

Audicana M.T., Ansotegui I.J., de Corres F.L., Kennedy M.W. *Anisakis simplex*: dangerous — dead and alive? // Trends Parasitol. — 2002. — Vol. 18, Iss. 1. — P. 20–25. DOI: 10.1016/S1471-4922(01)02152-3.

Baptista-Fernandes T., Rodrigues M., Castro I. et al. Human gastric hyperinfection by *Anisakis simplex*: a severe and unusual presentation and a brief review // Int. J. Infect. Dis. — 2017. — Vol. 64. — P. 38–41. DOI: 10.1016/j.ijid.2017.08.012.

Bucci C., Gallotta S., Morra I. et al. Anisakis, just think about it in an emergency! // Int. J. Infect. Dis. — 2013. — Vol. 17, Iss. 11. — P. e1071–e1072. DOI: 10.1016/j.ijid.2013.05.008.

Buchmann K., Mehrdana F. Effects of anisakid nematodes *Anisakis simplex* (s.l.), *Pseudoterranova decipiens* (s.l.) and *Contracaecum osculatum* (s.l.) on fish and consumer health // Food and Waterborne Parasitology. — 2016. — Vol. 4. — P. 13–22. DOI: 10.1016/j.fawpar.2016.07.003.

Choi S.-J., Lee J.-C., Kim M.-J. et al. The clinical characteristics of *Anisakis* allergy in Korea // Korean J. Intern. Med. — 2009. — Vol. 24, № 2. — P. 160–163. DOI: 10.3904/kjim.2009.24.2.160.

Del Pozo V., Arrieta I., Tuñon T. et al. Immunopathogenesis of human gastrointestinal infection by *Anisakis simplex* // J. Allergy Clin. Immunol. — 1999. — Vol. 104, Iss. 3. — P. 637–643. DOI: 10.1016/S0091-6749(99)70336-2.

Hauksson E., Karlsson H., Eliasson K. Decreases in Anisakid Nematodes Abundance and Density in Cod, Kept in On-growing Sea-Cages // Advanced Studies in Biology. — 2012. — Vol. 4, № 5. — P. 217–230.

Ivanović J., Baltić M.Ž., Bošković M. et al. Anisakis allergy in human // Trends in Food Science & Technology. — 2017. — Vol. 59. — P. 25–29. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.11.006.

Klimpel S., Palm H.W., Ruckert S., Piatkowski U. The life cycle of *Anisakis simplex* in the Norwegian Deep (northern North Sea) // Parasitol. Res. — 2004. — Vol. 94, Iss. 1. — P. 1–9. DOI: 10.1007/s00436-004-1154-0.

Køie M. Experimental infections of copepods and sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* with small ensheathed and large third-stage of *Anisakis simplex* (Nematoda, Ascaridoidea, Anisakidae) // Parasitol. Res. — 2001. — Vol. 87, Iss. 1. — P. 32–36. DOI: 10.1007/s004360000288.

Li S.-W., Shiao S.-H., Weng S.-C. et al. A case of human infection with *Anisakis simplex* in Taiwan // Gastrointestinal Endoscopy. — 2015. — Vol. 82, Iss. 4. — P. 757–758. DOI: 10.1016/j.gie.2015.03.1983.

Mattiucci S., Fazii P., De Rosa A. et al. Anisakiasis and gastroallergic reactions associated with *Anisakis pegreffii* infection, Italy // Emerg. Infect. Dis. — 2013. — Vol. 19, № 3. — P. 496–499. DOI: 10.3201/eid1903.121017.

Pravettoni V., Primavesi L., Piantanida M. *Anisakis simplex*: current knowledge // Eur. Ann. Allergy Clin. Immunol. — 2012. — Vol. 44, № 4. — P. 150–156.

Santamarina M.T., Tojo J.L., Gestido J.C. et al. Experimental infection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by *Anisakis simplex* (Nematoda: Anisakidae) // Jpn. J. Parasitol. — 1994. — Vol. 43, № 3. — P. 187–192.

Suzuki J., Murata R., Kodo Y. Current status of Anisakiasis and Anisakis larvae in Tokyo, Japan // Food Safety. — 2021. — Vol. 9, Iss. 4. — P. 89–100. DOI: 10.14252/foodsafetyfscj.D-21-00004.

Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II) // Human Biology. — 1938. — Vol. 10, № 2. — P. 181–213. DOI: 10.2307/41447359.

Wootton R., Smith J.W. Observational and experimental studies on the acquisition of *Anisakis* sp. larvae (Nematoda: Ascaridida) by trout in fresh water // Int. J. Parasitol. — 1975. — Vol. 5, Iss. 3. — P. 373–378. DOI: 10.1016/0020-7519(75)90087-9.

References

Akhmerov, A.Kh., Parasitic fauna of fish from the Kamchatka River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1955, vol. 43, pp. 99–137.

Bezprozvannykh, V.V. and Ermolenko, A.V., *Prirodnookhagovyye gel'mintozy cheloveka v Primorskom kraye* (Natural focal human helminthiasis in Primorsky Krai), Vladivostok: Dal'nauka, 2005.

Bugaev, V.F. and Kirichenko, V.E., *Nagul'no-nerestovyye ozera aziatskoy nerki (vklyuchaya nekotoryye drugie vodoyemy areala)* (Feeding and Spawning Lakes for Asian Sockeye Salmon Stocks (Including Several Additional Water Bodies in the Range), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2008.

Busarova, O.Yu., Trophic specialization of sympatric forms of Dolly Varden *Salvelinus malma* (Salmonidae) from Azabachy Lake, Kamchatka, *Vopr. Ikhtiol.*, 2022, vol. 62, no. 5, pp. 621–633. doi 10.31857/S0042875222040051

Busarova, O.Yu., Esin, E.V., and Markevich, G.N., Nutrition and parasites of juvenile Dolly Varden *Salvelinus malma* of the Avacha River (southeastern Kamchatka), in *Mater. 21 Mezhdunar. nauchn. Konf. «Sokhraneniye bioraznobraziya Kamchatki i prilgayushchikh morey»* (Proc. 21st Int. Sci. Conf. «Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas», Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2020, pp. 33–37.

Busarova, O.Yu., Koltun, G.G., and Podvalova, V.V., Parasites of Salmonidae in the Azabachy Lake (Kamchatka), dangerous for human health or affecting quality and commercial value of fish, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2018, vol. 48, pp. 31–42. doi 10.15853/2072-8212.2018.48.31-42

Gayevskaya, A.V., *Anizakidnyye nematody i zabolevaniya, vyzyvayemye imi u zhivotnykh i cheloveka* (Anisakid nematodes and diseases caused by them in animals and humans), Sevastopol': EKOSI-Gidrofizika, 2005.

- Konovalov, S.M.**, *Differentsiatsiya lokal'nykh stad nerki Oncorhynchus nerka (Walbaum)* (Differentiation of local herd of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum)), Leningrad: Nauka, 1971.
- Kravtsova, V.O., Tsarenko, S.S., Filimonova, N.B., and Gagalchii, N.M.**, Anisakiasis in Primorsky Krai, *Pacific Medical Journal*, 2004, no. 3(17), pp. 65–67.
- Popov, A.F., Simakova, A.I., Petuhova, S.A., Obratsov, Y.G., Sokotun, S.A., Dmitrenko, K.A., and Ivanis, V.A.**, Anisakiasis in Primorsky Krai, *Meditinskaya parazitologiya i parazitarnyye bolezni*, 2020, no. 2, pp. 15–20. doi 10.33092/0025-8326mp2020.2.15-20
- Pugachev, O.N.**, Freshwater fish nematodes of Northeast Asia, *Tr. Zool. Inst., Akad. Nauk SSSR*, 1984, vol. 126, pp. 10–19.
- Sokolov, S.G.**, A review of parasites of the mikizha *Parasalmo mykiss* (Osteichthyes, Salmonidae) from Kamchatka peninsula, *Invertebrate Zoology*, 2005, vol. 2, no. 1, pp. 35–60.
- Solov'yeva, G.F. and Taran, N.A.**, Two cases of revealing of *Anisakis simplex* (Ascaridina, Anisakidae) larvae in human stomach, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2000, vol. 127, pp. 590–592.
- Spassky, A.A., Roitman, V.A., and Shagaeva, V.G.**, To the helminthofauna of fishes from the Plotnikov River basin, Kamchatka Oblast, *Tr. Gel'mintologicheskoi Lab. Akad. Nauk*, 1961, vol. 11, pp. 270–285.
- Audicana, M.T., Ansotegui, I.J., de Corres, F.L., and Kennedy, M.W.**, *Anisakis simplex*: dangerous — dead and alive?, *Trends Parasitol.* 2002, vol. 18, no. 1, pp. 20–25. doi 10.1016/S1471-4922(01)02152-3
- Baptista-Fernandes, T., Rodrigues, M., Castro, I., Paixão, P., Pinto-Marques, P., Roque, L., Belo, S., Ferreira, P.M., Mansinho, K., and Toscano, C.**, Human gastric hyperinfection by *Anisakis simplex*: a severe and unusual presentation and a brief review, *Int. J. Infect. Dis.*, 2017, vol. 64, pp. 38–41. doi 10.1016/j.ijid.2017.08.012
- Bucci, C., Gallotta, S., Morra, I., Fortunato, A., Ciacci, C., and Iovino, P.**, *Anisakis*, just think about it in an emergency!, *Int. J. Infect. Dis.*, 2013, vol. 17, no. 11, pp. e1071–e1072. doi 10.1016/j.ijid.2013.05.008
- Buchmann, K. and Mehrdana, F.**, Effects of anisakid nematodes *Anisakis simplex* (s.l.), *Pseudoterranova decipiens* (s.l.) and *Contracaecum osculatatum* (s.l.) on fish and consumer health, *Food and Waterborne Parasitology*, 2016, vol. 4, pp. 13–22. doi 10.1016/j.fawpar.2016.07.003
- Choi, S.-J., Lee, J.-C., Kim, M.-J., Hur, G.-Y., Shin, S.-Y., and Park, H.-S.**, The clinical characteristics of *Anisakis* allergy in Korea, *Korean J. Intern. Med.*, 2009, vol. 24, no. 2, pp. 160–163. doi 10.3904/kjim.2009.24.2.160
- Del Pozo, V., Arrieta, I., Tuñón, T., Cortegano, I., Gomez, B., Cárdbaba, B., Gallardo, S., Rojo, M., Renedo, G., Palomino, P., Tabar, A.I., and Lahoz, C.**, Immunopathogenesis of human gastrointestinal infection by *Anisakis simplex*, *J. Allergy Clin. Immunol.*, 1999, vol. 104, no. 3, pp. 637–643. doi 10.1016/S0091-6749(99)70336-2
- Hauksson, E., Karlsson, H., and Eliasson, K.**, Decreases in anisakid nematodes abundance and density in cod, kept in on-growing sea-cages, *Advanced Studies in Biology*, 2012, vol. 4, no. 5, pp. 217–230.
- Ivanović, J., Baltić, M.Ž., Bošković, M., Kilibarda, N., Dokmanović, M., Marković, R., Janjić, J., and Baltić, B.**, *Anisakis* allergy in human, *Trends in Food Science & Technology*, 2017, vol. 59, pp. 25–29. doi 10.1016/j.tifs.2016.11.006
- Klimpel, S., Palm, H.W., Ruckert, S., and Piatkowski, U.**, The life cycle of *Anisakis simplex* in the Norwegian Deep (northern North Sea), *Parasitol. Res.*, 2004, vol. 94, no. 1, pp. 1–9. doi 10.1007/s00436-004-1154-0
- Koie, M.**, Experimental infections of copepods and sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* with small ensheathed and large third-stage of *Anisakis simplex* (Nematoda, Ascaridoidea, Anisakidae), *Parasitol. Res.*, 2001, vol. 87, no. 1, pp. 32–36. doi 10.1007/s004360000288
- Li, S.-W., Shiao, S.-H., Weng, S.-C., Liu, T.-H., Su, K.-E., and Chen, C.-C.**, A case of human infection with *Anisakis simplex* in Taiwan, *Gastrointestinal Endoscopy*, 2015, vol. 82, no. 4, pp. 757–758. doi 10.1016/j.gie.2015.03.1983
- Mattiucci, S., Fazii, P., De Rosa, A., Paoletti, M., Megna, A.S., Glielmo, A., De Angelis, M., Costa, A., Meucci, C., Calvaruso, V., Sorrentini, I., Palma, G., Bruschi, F., and Nascetti, G.**, Anisakiasis and gastroallergic reactions associated with *Anisakis pegreffii* infection, Italy, *Emerg. Infect. Dis.*, 2013, vol. 19, no. 3, pp. 496–499. doi 10.3201/eid1903.121017
- Pravettoni, V., Primavesi, L., and Piantanida, M.**, *Anisakis simplex*: current knowledge, *Eur. Ann. Allergy Clin. Immunol.*, 2012, vol. 44, no. 4, pp. 150–156.

Santamarina, M.T., Tojo, J.L., Gestido, J.C., Leiro, J.L., Ubeira, F.M., and Sanmartin, M.L., Experimental infection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by *Anisakis simplex* (Nematoda: Anisakidae), *Jpn. J. Parasitol.*, 1994, vol. 43, no. 3, pp. 187–192.

Suzuki, J., Murata, R., and Kodo, Y., Current status of Anisakiasis and Anisakis larvae in Tokyo, Japan, *Food Safety*, 2021, vol. 9, no. 4, pp. 89–100. doi 10.14252/foodsafetyfscj.D-21-00004

Von Bertalanffy, L., A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II), *Human Biology*, 1938, vol. 10, no. 2, pp. 181–213. doi:10.2307/41447359

Wootten, R., Smith, J.W., Observational and experimental studies on the acquisition of *Anisakis* sp. Larvae (Nematoda: Ascaridida) by trout in fresh water, *Int. J. Parasitol.*, 1975, vol. 5, no. 3, pp. 373–378. doi 10.1016/0020-7519(75)90087-9

Поступила в редакцию 13.09.2022 г.

После доработки 7.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 13.09.2022; approved after reviewing 7.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

Научная статья

УДК 551.464.618(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-917-932

EDN: IZYFHO

**ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ФОСФАТОВ В ЭСТУАРИЯХ РЕК УДА И УСАЛГИН
(ОХОТСКОЕ МОРЕ)****А.С. Курносова¹, Ю.И. Зуенко¹, М.Г. Швецова^{2*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Аннотация. По данным гидрохимических наблюдений, выполненных экспедицией Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН в июле 2016 г., определена локализация зон преобладания продукции и деструкции органического вещества в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) по признаку неконсервативных изменений концентрации фосфатов. На протяжении зон смешения вод обеих рек с морскими водами отмечена смена знака продукционно-деструкционного баланса: от преобладания деструкции во внутренних эстуариях к преобладанию продукции в верхних частях внешних эстуариев. При этом для продуцирования большей части органического вещества в обоих эстуариях использован не речной ионный сток, а реминерализованный в эстуариях фосфор. Более интенсивный рециклинг отмечен в эстуарии р. Усалгин, дренирующей болотистую местность.

Ключевые слова: эстуарий, фосфаты, неконсервативное смешение, продукционно-деструкционный баланс

Для цитирования: Курносова А.С., Зуенко Ю.И., Швецова М.Г. Локализация продукционно-деструкционных процессов по распределению фосфатов в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 917–932. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-917-932. EDN: IZYFHO.

Original article

**Localization of production-destruction processes by distribution of phosphate
in the estuaries of Uda and Usalgin Rivers (Okhotsk Sea)****Anna S. Kurnosova*, Yury I. Zuenko**, Maria G. Shvetsova*****

*, ** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

*** Pacific Oceanological Institute, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

* leading specialist, anna.vazhova@gmail.com, ORCID 0000-0002-4026-9456

** D.Geogr., head of laboratory, zuenko_yury@hotmail.com, ORCID 0000-0003-1312-542X

*** researcher, chippers@rambler.ru, ORCID 0000-0002-6415-0329

* Курносова Анна Сергеевна, ведущий специалист, anna.vazhova@gmail.com, ORCID 0000-0002-4026-9456; Зуенко Юрий Иванович, доктор географических наук, заведующий лабораторией, zuenko_yury@hotmail.com, ORCID 0000-0003-1312-542X; Швецова Мария Геннадиевна, научный сотрудник, chippers@rambler.ru, ORCID 0000-0002-6415-0329.

© Курносова А.С., Зуенко Ю.И., Швецова М.Г., 2022

Abstract. The areas with prevalence of either production or decomposition of organic matter are localized in the estuaries of Uda and Usalgin Rivers (western coast of the Okhotsk Sea) on the data of chemical survey conducted in conditions of summer flood in July, 2016, interpreting patterns of non-conservative variations of inorganic phosphorus concentration (deflections of observed values from potential values determined by the river water mixing with the seawater). Sign of production-destruction balance changed along both surveyed estuaries: the organic matter decomposition prevailed in the internal estuaries but its production prevailed in the upper part of the external estuaries. Another common feature of both estuaries was active recycling: the larger portion of organics was produced with utilizing the phosphorus mineralized within the estuaries, but not the terrestrial phosphorus provided by the rivers ionic discharge. Extremely intensive recycling was observed in the Usalgin estuary that drained swampy lands.

Keywords: estuary, phosphate, non-conservative mixing, production-destruction balance

For citation: Kurnosova A.S., Zuenko Yu.I., Shvetsova M.G. Localization of production-destruction processes by distribution of phosphate in the estuaries of Uda and Usalgin Rivers (Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 917–932. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-917-932. EDN: IZYFHO.

Введение

В ходе продукционно-деструкционных процессов в экосистемах синтезируется либо разлагается органическое вещество, выделяется либо потребляется кислород, обеспечиваются потребности живых организмов в обмене веществ. Интенсивность и баланс продукционно-деструкционных процессов оцениваются по косвенным показателям: по количеству хлорофилла или углерода в составе органического вещества [Lee et al., 1996; Marra et al., 2007], по динамике (росту или убыванию) содержания растворенного кислорода [Винберг, 1960], по отношению валовой первичной продукции к суммарной деструкции планктона, по изменениям связанных с ними компонент в экосистемных моделях [Дмитриев и др., 2019], а также гидрохимическим методом — по балансу биогенных веществ в эстуарных водах [Леонов, Стыгар, 2001; Звалинский и др., 2005; Важова, Зуенко, 2015]. Гидрохимический подход основывается на допущении, что соотношение потребляемых сообществом фитопланктона биогенных веществ и связываемого в процессе продуцирования углерода существенно не меняется и соответствует стехиометрическому соотношению [Redfield et al., 1963].

Для понимания закономерностей функционирования эстуарных экосистем важно оценивать: какие процессы преобладают в экосистеме на конкретном участке эстуария — синтез или разложение органического вещества? В зависимости от этого выстраивается вся биологическая надстройка экосистемы: в ее нижних звеньях преобладают либо фитофаги, либо детритофаги. Ранее такие исследования проведены для эстуариев рек южного Приморья, где выявлена значительная пространственная разобщенность зон с разными знаками продукционно-деструкционного баланса, а именно: во внутренних частях эстуариев преобладают деструкционные, а во внешних — продукционные процессы [Важова, Зуенко, 2015; Важова, 2019]. Для рек, находящихся в иных климатических и океанологических условиях, подобные работы не проводились. Реки Уда и Усальгин, впадающие в западную часть Охотского моря, находятся в области сурового климата с отрицательной среднегодовой температурой воздуха. Река Уда дренирует горную таежную местность, площадь водосбора 61 300 км², среднегодовой расход воды 510 м³/с. Долина р. Усальгин — это в основном заболоченная местность, площадь водосбора 2420 км², расчетный среднегодовой расход — около 15 м³/с [Ресурсы..., 1970]. Водный режим этих рек в основном определяется количеством атмосферных осадков. Важнейшей особенностью эстуариев обеих рек являются сильные приливы, высота которых достигает 6 м*. Эстуарий р. Усальгин отличается тем, что полностью занимает кутовую часть длинного и узкого зал. Николая, в то время как р. Уда впадает в море на открытом участке побережья обширного Удского залива.

* Ловия Охотского моря (№ 1406). Вып. 1. Южная часть моря. СПб.: ГУНиО, 1998. 390 с.

Целью данной работы является определение особенностей локализации зон преобладания продукции и деструкции органического вещества в эстуариях рек, находящихся в своеобразных климатических и океанологических условиях, на основе анализа изменений концентрации минерального фосфора по градиенту солености, на примере рек Уда и Усалгин, впадающих в западную часть Охотского моря.

Материалы и методы

Материалом для расчетов продукционно-деструкционного баланса послужили данные о температуре, солености и концентрации неорганического фосфора в поверхностном слое эстуариев (в котором распространяются и разбавляются речные воды), полученные в экспедиции Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на НИС «Профессор Гагаринский» в район Шантарского архипелага в июле 2016 г. В ходе экспедиции с использованием маломерных плавсредств в эстуариях рек Уда и Усалгин были выполнены съемки, охватывающие нижнее течение рек и обширную зону смешения речных и морских вод, распространяющуюся далеко в море, поскольку съемки проводились в период летнего паводка (рис. 1). Результаты экспедиции подробно представлены в сообщениях ее участников [Тищенко и др., 2018; Семкин и др., 2020a].

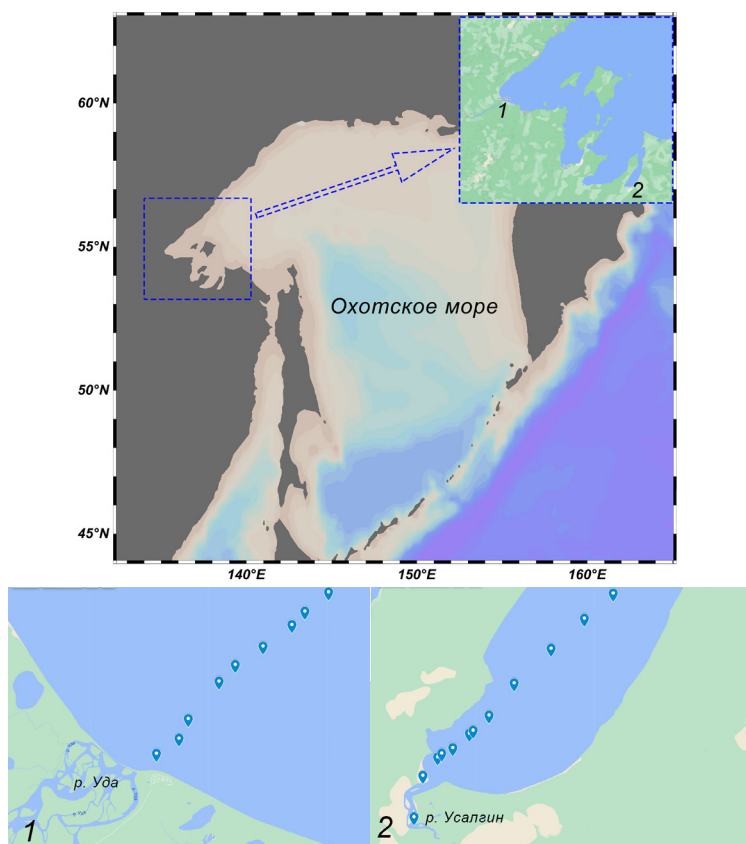


Рис. 1. Схемы исследованных акваторий: 1 — р. Уда; 2 — р. Усалгин. Обозначены станции, данные которых использованы для расчета продукционно-деструкционного баланса

Fig. 1. Schemes of the surveyed estuaries (1 — Uda River, 2 — Usalgin River). The stations are marked which data are used for calculation of the production-destruction balance

Фосфор входит в состав продуцируемого растениями органического вещества и потому является непрямым участником продукционно-деструкционных процессов, более того, в зоне смешения речных и морских вод продукция органического вещества обычно лимитируется наличием растворенных в воде минеральных соединений

фосфора [Doering et al., 1995]. В процессе фотосинтеза фосфор дигидро- и гидрофосфатов связывается в органических соединениях, при этом наиболее предпочтительной формой для фитопланктона являются ортофосфаты [Correll et al., 1975]. В процессе деструкции органического вещества фосфор вновь минерализуется с образованием фосфатов. Строго говоря, определить истинную скорость оборота фосфора посредством прямых измерений изменений во времени концентрации какой-либо из его форм невозможно, так как эти концентрации являются результатом одновременного протекания прямой и обратной реакций [Рыжаков, Степанова, 2016], однако можно определить, какая из них преобладает. Для расчета продукционно-деструкционного баланса использована методика, основанная на анализе неконсервативных изменений концентрации неорганического фосфора (преимущественно в составе растворимых ортофосфатов) в зоне смешения речных и морских вод [Liss, 1976; Михайлов, 1997; Звалинский и др., 2005; Гордеев, 2012], усовершенствованная авторами настоящей статьи ранее [Важова, Зуенко, 2015] с учетом возможного влияния на концентрацию фосфора в эстуариях водообмена с богатыми биогенными элементами подповерхностными морскими водами [Howarth et al., 2021]. Суть метода состоит в расчете отклонений фактически наблюдаемых концентраций фосфора от «потенциальных» значений концентрации этого биогенного элемента, обусловленных только разбавлением речных вод. В случае консервативного поведения растворенных в речной воде фосфатов изменение его концентрации (потенциальной концентрации) в эстуарии по направлению градиента солености должно происходить пропорционально росту солености, и зависимость концентрации фосфора от солености имеет вид линейной функции. Превышение на каком-либо участке эстуария фактических концентраций фосфора над его потенциальной концентрацией интерпретировано как результат преобладания процесса деструкции органики, а недостаток фосфора относительно потенциальных значений — как результат преобладания процесса продукции. По этим отклонениям можно оценить значение продукционно-деструкционного баланса, а если пренебречь деструкцией на участках преобладания продукции и продукцией на участках преобладания деструкции — то и получить минимальные оценки величин продукции и деструкции. Если же в эстуарии смешиваются три водные массы (речная вода, поверхностная и подповерхностная морские водные массы), то предварительно с применением TS-анализа [Мамаев, 1987] для каждой станции по температуре и солености оценивали вклад каждой водной массы в смесь и, соответственно, в величину потенциальной концентрации фосфора и для анализа использовали значения потенциальной концентрации с вычетом вклада подповерхностных морских вод. Такой подход позволяет аналитически сделать систему замкнутой для дальнейших расчетов. В частности, такая поправка имеет значения для внешней периферии эстуария, где поступление фосфора с глубины может значительно превышать потенциальную концентрацию; неучет этого процесса приводит к завышению величины продукции во внешнем эстуарии. Концентрацию фосфора в ядрах водных масс определяли по экстремальным измеренным значениям, TS-индексы ядер водных масс — «графическим» методом по треугольникам смешения, поскольку доли водных масс в смеси на каждой станции обратно пропорциональны евклидову расстоянию в TS-координатах от точки, соответствующей температуре и солености на станции, до углов треугольника смешения, соответствующих ядрам трех водных масс.

В случае преобладания продукции по разностям фактических и потенциальных концентраций фосфора для каждой станции (i) с использованием соотношения Редфилда $C : P = 106 : 1$ [Redfield et al., 1963] определялась масса органического вещества, которая образовалась в результате утилизации этого количества фосфора (удельная урожайность):

$$b_i = R(C_{i_potential} - C_i) \text{ [гC/м}^3\text{]}, \quad (1)$$

где b_i — удельная урожайность; R — соотношение Редфилда; C_i — фактическая концентрация фосфора на станции i ; $C_{i_potential}$ — потенциальная концентрация фосфора на станции i .

Далее оценивался урожай органического вещества, продуцированного из единичного объема речной воды к моменту достижения им станции i , с учетом разбавления речной воды в эстуарии:

$$Y_i = b_i / \mu_i \text{ [гС/м}^3 \text{ речной воды]}, \quad (2)$$

где Y_i — урожай органического вещества с кубометра речной воды; b_i — удельная урожайность; μ_i — доля речной воды в эстуарной воде.

Величина Y по определению может только возрастать вниз по течению реки, поскольку этот урожай продуцируется из фиксированного единичного начального объема речной воды. Рост урожая с единичного объема речной воды (например, с 1 м^3) так же необратим, как необратимо разбавление речной воды по мере ее прохождения через эстуарий. Поэтому случаи локального роста концентрации фосфатов в этом объеме при перемещении его вниз по течению, когда формальный расчет дает «отрицательную продукцию», интерпретированы как преобладание деструкции. На таких участках удельную урожайность b обнуляли путем добавления в уравнении (1) к наблюдаемой концентрации C_i величины $C_{i\text{-recycling}}$, обусловленной деструкцией. Соответственно, на таких участках, где преобладала деструкция, вместо величины удельной урожайности определяли величину удельной деструкции:

$$\begin{aligned} b_i = 0 &= R (C_{i\text{potential}} + C_{i\text{-recycling}} - C_i), \\ d_i &= R C_{i\text{-recycling}} \text{ [гС/м}^3 \text{]}. \end{aligned} \quad (3)$$

Суммарная величина деструкции органического вещества из единичного объема речной воды к моменту достижения им станции i с учетом разбавления может быть определена аналогично определению урожая органического вещества из единичного объема речной воды по уравнению (2).

Основным показателем первичной продукции в данной работе является удельная продукция эстуария на единицу его протяженности:

$$p = \frac{Y_i - Y_{i-1}}{L_i - L_{i-1}} \mu_i \text{ [гС/м}^3 \text{км]}, \quad (4)$$

где p — удельная продукция; $L_i - L_{i-1}$ — расстояние между станцией i и расположенной выше по течению станцией $i-1$; Y_i — урожай органического вещества с кубометра речной воды до станции i ; Y_{i-1} — урожай органического вещества с кубометра речной воды до станции $i-1$; μ_i — доля речной воды на станции i .

Необходимым условием для такого расчета является монотонное убывание доли речной воды при движении вниз по течению, т.е. увеличение солености от реки к морю. Если известна скорость прохождения водой эстуария, этот показатель продукции может быть пересчитан в размерность гС/м³сут, однако для эстуариев рек Уда и Усалигин скорость течения неизвестна.

По вышеописанной методике оцениваются величины продукции, основанной на утилизации как терригенных фосфатов, принесенных в эстуарий речной водой, так и минерализованных в эстуарии фосфатов (фосфаты рециклинга). Предполагается, что в зону эстуария органическое вещество поставляется только с речным стоком, в отличие от фосфатов, которые поставляются также из глубинных морских вод — этот поток учитывается при расчете потенциальных концентраций и из расчета продукции речных вод исключен. Однако при нашем расчете не учитывается возможность неоднократного рециклинга за время прохождения речной водой эстуария, из-за чего оценки деструкции и «продукции рециклинга» могут быть завышенными, особенно для мористой периферии эстуария. Завышение оценки продукции рециклинга может происходить также, если часть минерализующегося в эстуарии органического вещества ранее была синтезирована на основе нетерригенных (глубинных морских) фосфатов.

Результаты и их обсуждение

Распределение солёности. На обоих разрезах вдоль эстуариев при переходе от реки к морю солёность на поверхности быстро увеличивалась до значений $\sim 25\text{‰}$, которые в эстуарии р. Усалгин наблюдались в 30–40 км от бара реки, а в эстуарии более крупной р. Уда — в 60–70 км от бара (рис. 2). При дальнейшем удалении от берега значения солёности продолжали возрастать, но медленнее и, по-видимому, вне зависимости от влияния этих конкретных рек, поэтому районы исследования в данной работе условно ограничены изохалиной 25‰ .

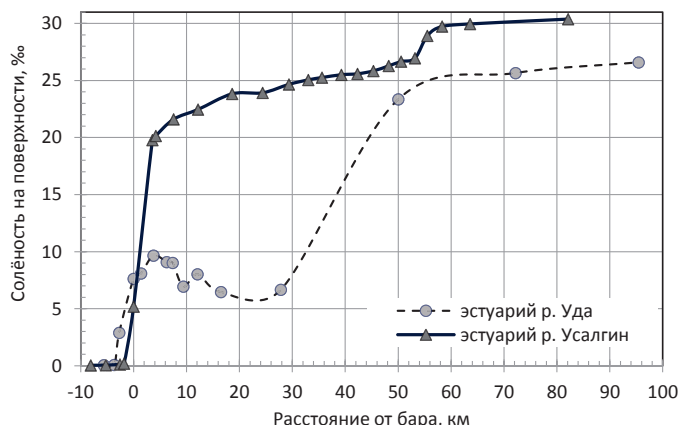


Рис. 2. Изменения солёности от реки к морю на поверхности эстуариев рек Уда и Усалгин

Fig. 2. Change of salinity from the rivers to the open sea at the surface of the Uda and Usalgin estuaries

На разрезе р. Усалгин — зал. Николая в эти пределы вошли 13 станций, расположенных на участке протяженностью 41 км (8 км по реке и 33 км по морю), а на разрезе р. Уда — Удская губа — 14 станций, расположенных на участке протяженностью 77 км (5 км по реке и 72 км по морю). При этом на карте расположения станций (см. рис. 1) в районе исследований видно, что так называемые речные станции расположены и за пределами устья р. Уда (в кутовой части Удской губы), и за пределами устьевового створа р. Усалгин (в кутовой части зал. Николая). Так, на дистанции 10–30 км от устья р. Уды наблюдалась обширная область с очень низкой солёностью ($6,6\text{--}8,0\text{‰}$) и относительно высокими концентрациями биогенных элементов (фосфаты до $0,3\text{ мкг/л}$). В условиях высокого расхода рек почти вся толща воды выше бара в обеих реках была занята пресной речной водой, а типичная для внутренних эстуариев стратификация с солоноватым клином у дна наблюдалась лишь с мористой стороны от бара (рис. 3). Внешний эстуарий р. Усалгин отличался слабой стратификацией вод, очевидно, вследствие сильного приливного перемешивания.

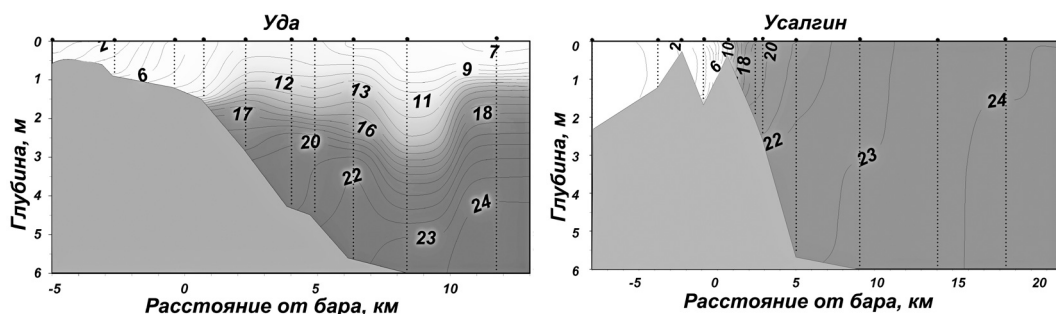


Рис. 3. Распределение солёности (‰) на разрезах вдоль эстуариев рек Уда и Усалгин.

Выделены зоны внутреннего эстуария

Fig. 3. Salinity (‰) at the sections along the Uda and Usalgin estuaries

Реальные и потенциальные концентрации фосфора. По результатам TS-анализа, в эстуариях рек Уда и Усалгин вклад речных вод в смешанной эстуарной воде убывал при перемещении от реки к морю от 100 практически до 0 %, а вклад подповерхностных морских вод возрастал соответственно изменению доли этих водных масс в смеси (рис. 4). В эстуарии р. Усалгин доля речных вод на поверхности стремилась к нулевым значениям на расстоянии 8 км от бара, а в эстуарии р. Уда — в 45–50 км от бара реки.

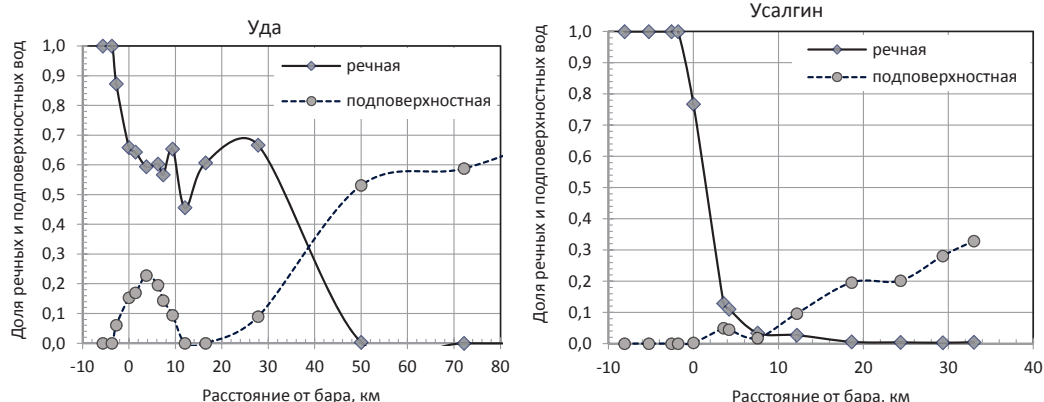


Рис. 4. Изменение от реки к морю доли речных и подповерхностных морских вод в смешанной эстуарной воде на поверхности эстуариев рек Уда и Усалгин

Fig. 4. Portions of the river freshwater and subsurface seawater in the mixed estuarine water at the surface of the Uda and Usalginsk estuaries, from the rivers to the open sea

Потенциальные концентрации фосфора в эстуариях, обусловленные только разбавлением речной воды морскими водами, были определены исходя из соотношения водных масс в смеси и следующих предполагаемых концентраций фосфора в ядрах этих водных масс:

$$\begin{aligned} C_{\text{р-Усалгин}} &= 1,6 \text{ мкМ/л}, C_{\text{р-Уда}} = 1,1 \text{ мкМ/л}, \\ C_{\text{р-подповерх. зал. Николая}} &= 1,6 \text{ мкМ/л}, C_{\text{р-подповерх. Удская губа}} = 0,6 \text{ мкМ/л}. \end{aligned}$$

Концентрация фосфора в ядре поверхностной морской водной массы принята нулевой, так как летом в этой водной массе происходит потребление, а не минерализация биогенных элементов.

Фактически во внутренних частях эстуариев рек Усалгин и Уда концентрации фосфора растут вниз по течению (рис. 5, 6), причем очень резко, возрастая на коротком участке нижнего течения рек протяженностью несколько километров более чем

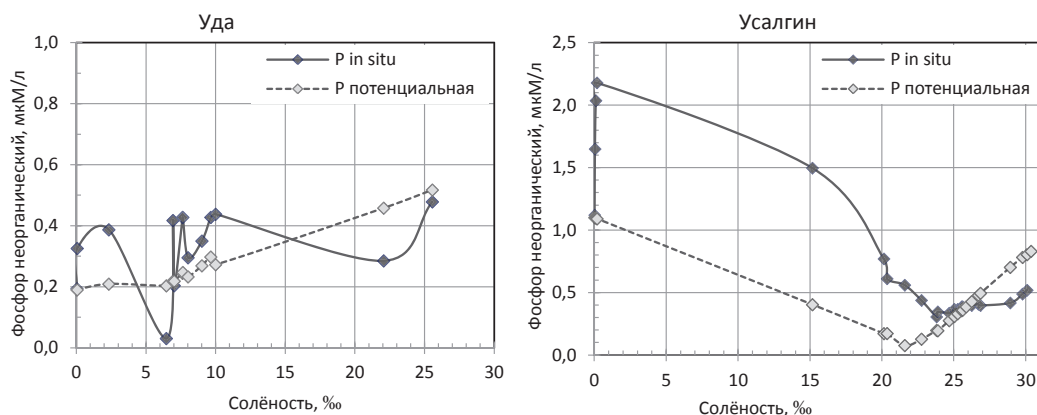


Рис. 5. Изменение от реки к морю потенциальных и реальных концентраций фосфора на поверхности эстуариев рек Уда и Усалгин по градиенту солёности

Fig. 5. Potential and factual concentration of phosphorus at the surface of the Uda and Usalginsk estuaries, by salinity gradient from the rivers to the open sea

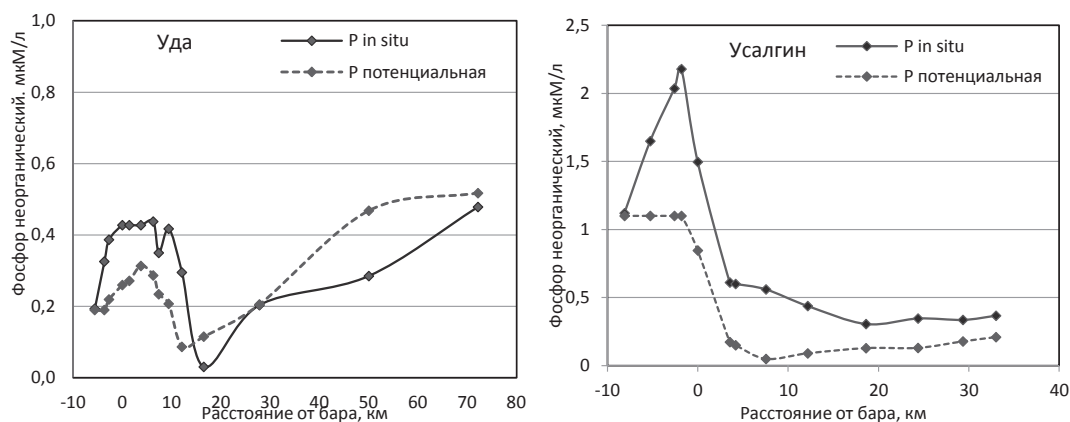


Рис. 6. Изменение от реки к морю потенциальных и реальных концентраций фосфора на поверхности эстуариев рек Уда и Усалгин, по протяженности разрезов

Fig. 6. Potential and factual concentration of phosphorus at the surface of the Uda and Usalgin estuaries, by distance along the transects from the rivers to the open sea

вдвое (соответственно от 1,0 до 2,2 и от 0,2 до 0,4 мкМ/л), что указывает на активные процессы деструкции органического вещества. Во внешних частях обоих эстуариев концентрации фосфора в целом снижаются (соответственно от 0,6 до 0,3 и от 0,4 мкМ/л практически до нуля) и постепенно приближаются к потенциальным значениям, что является признаком преобладания продукционных процессов. Однако в обоих эстуариях отмечена еще одна зона преобладания деструкции, когда фактическая концентрация фосфора вновь немного возрастает относительно потенциальных значений — она находится на внешней периферии эстуариев при солёности 20–25 ‰.

Локализация продукции и деструкции в эстуариях. По мере прохождения речной водой эстуария содержащиеся в ней терригенные фосфаты используются для фотосинтеза, соответственно, возрастает урожай органического вещества с 1 м³ речной воды (рис. 7). Участки преобладания продукции с резким ростом урожая в эстуарии р. Усалгин локализуются в районе бара (где урожай возрастает от 0,0 до 0,3 гС), в 8–12 км мористее бара (от 0,3 до 2,7 гС) и на внешней кромке эстуария, примерно в 30 км от бара (до 4,2 гС). В эстуарии р. Уда для расчета урожая речных вод использованы только данные, полученные в один день (для избежания искажений, связанных с приливной адвекцией); согласно этим данным, ограниченной приустьевой областью, зона роста урожая органического вещества была локализована в 6–8 км от бара, где урожай увеличился до 0,3 гС.

Поскольку на протяжении эстуария р. Усалгин доля речной воды в смешанной эстуарной воде последовательно уменьшалась, урожай и суммарная деструкция органического вещества с 1 м³ речной воды возрастали монотонно, есть возможность оценить скорость продукции и деструкции на единицу протяженности эстуария (рис. 8). На графике этих показателей, помимо упомянутой основной зоны продукции во внешнем эстуарии, хорошо виден еще и небольшой участок преобладания продукции (до +0,12 гС/м³км) в районе бара, а также обширные зоны деструкции, занимающие как большую часть внутреннего эстуария (до бара и сразу после бара), так и часть внешнего эстуария, при этом в районе бара скорость деструкции достигает 0,23 гС/м³км, а в 8–12 км от бара — 0,17 гС/м³км. На том небольшом участке эстуария р. Уда, где данные были получены в один день, что обеспечило последовательное увеличение солёности на поверхности эстуария, во внутреннем эстуарии наблюдалось преобладание деструкции (до –0,09 гС/м³км), а во внешнем эстуарии преобладала продукция (до +0,03 гС/м³км) (рис. 9). Удельные величины и деструкции, и продукции в эстуарии р. Уда значительно ниже, чем в эстуарии р. Усалгин.

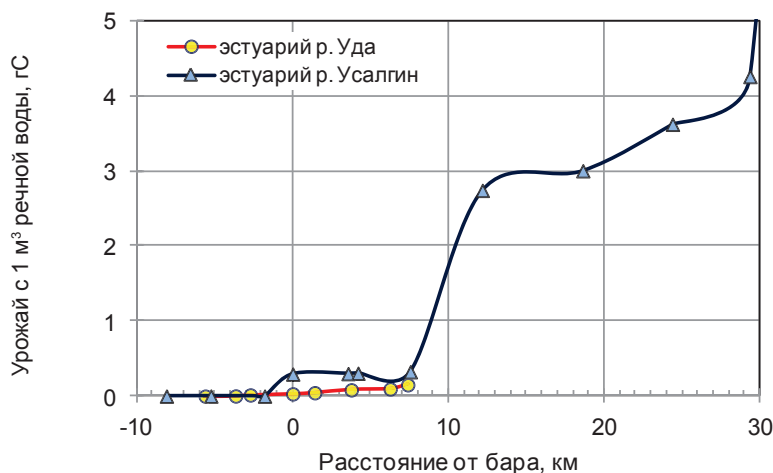


Рис. 7. Накопление урожая органического вещества с 1 м³ воды рек Уда и Усалин на разрезах вдоль оси их эстуариев (расчет произведен только для части эстуария р. Уда, где процесс разбавления речной воды не искажен приливной адвекцией)

Fig. 7. Accumulation of organic matter yielded from 1 m³ of the Uda and Usalgin Rivers freshwater on the sections along their estuaries (the yield is calculated for a part of the Uda estuary where the freshwater mixing with the seawater is not distorted by tidal advection)

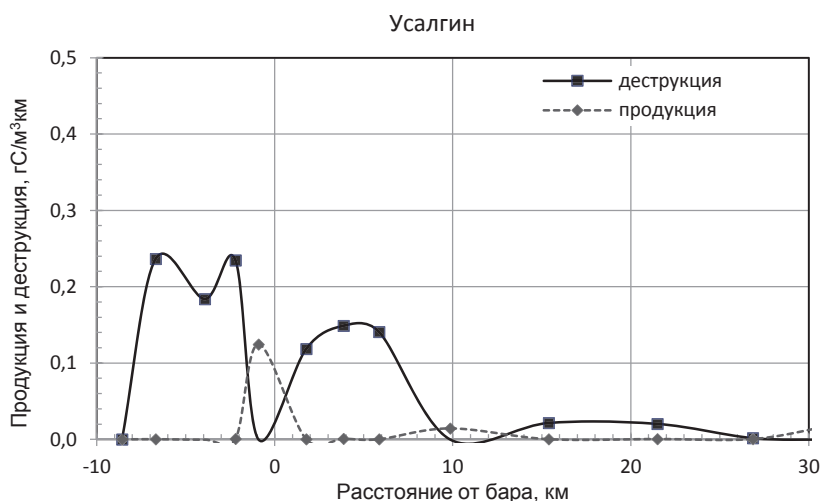


Рис. 8. Минимальные оценки удельной продукции и деструкции (по фосфору) эстуарных вод при прохождении ими 1 км вдоль оси эстуария р. Усалин

Fig. 8. The minimal estimations of net production and degradation of organic matter in the estuarine water (recalculated from phosphorous units) per 1 km of the water track along the Usalgin estuary

В реках южного Приморья, где продукционно-деструкционный баланс исследовался ранее [Важова, Зуенко, 2015], зона внутреннего эстуария хорошо выражена по наличию у дна реки клина солоноватых вод, а внешний эстуарий отделяется от прибрежных морских вод поверхностным эстуарным фронтом. В макроприливных эстуариях рек Уда и Усалин воды либо полностью перемешаны от поверхности до дна, либо наблюдается лишь слабая стратификация, а распределение термохалинных и гидрохимических показателей в мористой части очень подвижно под действием приливной адвекции (см. рис. 3). К тому же в период съемки на реках наблюдался паводок, оценки расходов рек (4390 м³/с для р. Уды и 173 м³/с для р. Усалин) значительно превышали их среднегоголетние расходы в июле — соответственно 1600 и 41 м³/с [Семкин и др., 20206]. Поэтому структура вод в исследованных эстуариях существенно отличалась от структуры вод, известной для эстуариев рек южного Приморья. Так, судя

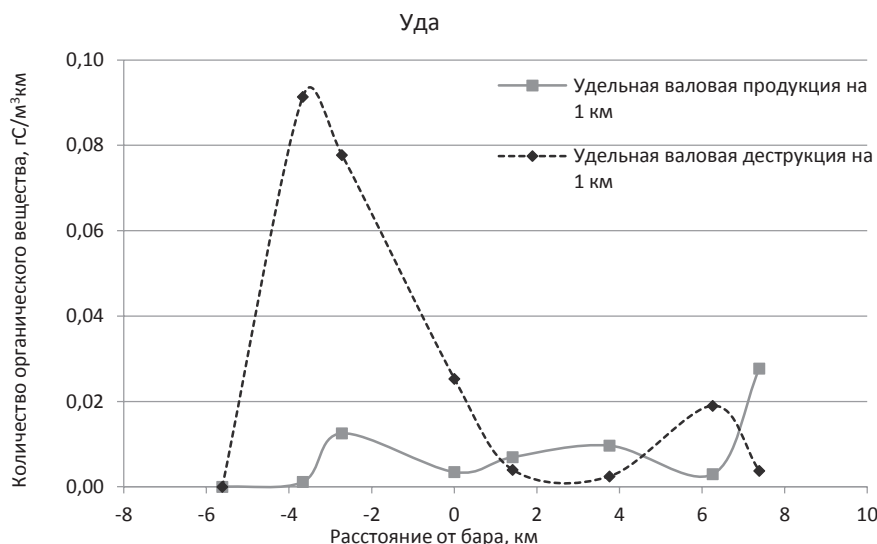


Рис. 9. Минимальные оценки удельной продукции и деструкции (по фосфору) эстуарных вод при прохождении ими 1 км вдоль оси эстуария р. Уда

Fig. 9. The minimal estimations of net production and degradation of organic matter in the estuarine water (recalculated from phosphorous units) per 1 km of the water track along the Uda estuary

по распределению солёности, зона внутреннего эстуария (где пресные речные воды подстилаются солоноватыми) у обеих рек располагалась с мористой стороны от бара, а все речное русло было занято только речными водами. Несмотря на такие различия, наиболее общие закономерности локализации продукционно-деструкционных процессов оказались свойственны и исследованным эстуариям, при ряде существенных местных особенностей.

Прежде всего привлекает внимание то, что в эстуариях рек Уда и Усалин концентрация фосфора на поверхности моря при удалении от устья рек не убывает, как следовало бы ожидать при смешении богатых биогенными элементами речных вод с бедными поверхностными морскими, а увеличивается из-за возрастающего влияния подповерхностных морских вод в условиях мощного приливного перемешивания. Поэтому график зависимости потенциальной концентрации фосфора от солёности не является прямой нисходящей линией, которая обычно анализируется в эстуарных исследованиях [например: Савенко, 2018], а имеет V-образную форму (см. рис. 5). Восходящая ветвь кривой отражает растущий вклад подповерхностных морских вод, который компенсирует убывающий вклад речных вод. В эстуарии р. Уда, где значительное влияние подповерхностных вод прослеживается уже в районе бара и еще более увеличивается мористее, представлена только правая часть V-образной кривой. В нашем исследовании эстуарных процессов, целью которых является оценка влияния именно материкового стока, вклад глубинных вод — это «шум», который искажает искомые результаты. Но удаление этого вклада из рассмотрения с использованием TS-анализа приводит динамику изменений концентрации фосфора в норму.

Основной закономерностью локализации продукционно-деструкционных процессов, которая проявилась и в исследованных эстуариях рек бассейна Охотского моря, является преобладание деструкции во внутренних частях эстуариев и продукции — в их внешних частях. Важно отметить, что все указанные процессы рассматриваются только в самом верхнем фотическом слое (на поверхности эстуариев). Признаками активной деструкции во внутренних эстуариях рек Уда и Усалин, помимо резкого роста концентрации неорганического фосфора, являются высокие концентрации общего фосфора за счет его органических форм и относительно высокие значения парциального

давления углекислого газа и AOU (apparent oxygen utilization — кажущееся поглощение кислорода) [Семкин и др., 2020a]. О высокой продуктивности внешних частей обоих эстуариев свидетельствуют как снижение концентрации фосфора, с постепенным приближением к потенциальным значениям, так и высокие концентрации хлорофилла *a*, высокий pH, пониженные значения парциального давления углекислого газа и отрицательные величины AOU, т.е. избыточное насыщение воды кислородом [Семкин и др., 2020a]. Экстремальные значения этих показателей в эстуарии р. Уда отмечены в диапазоне солености 5–10 ‰, в эстуарии р. Усалгин — 5–12 ‰.

Особенность обоих эстуариев — еще одна зона преобладания деструкции на их внешней периферии при солености 20–25 ‰, где фактическая концентрация фосфора вновь немного возрастает относительно потенциальных значений, а также снижается парциальное давление углекислого газа и AOU и увеличивается pH [Семкин и др., 2020a]. Для эстуариев рек южного Приморья такая зона не была отмечена, возможно потому, что не была исследована их дальняя внешняя периферия, но в принципе ее следовало бы ожидать, так как продуцируемое во внешней эстуарии органическое вещество должно где-то утилизироваться. С другой стороны, процессы деструкции на внешней периферии эстуариев, строго говоря, не являются эстуарными, поскольку там утилизируется органическое вещество нетерригенного происхождения, синтезированное в морских частях эстуариев. Значительная часть фосфатов в этой зоне, по-видимому, высвобождается в процессе минерализации органического вещества донных отложений, которые в условиях сильного приливного перемешивания взмучиваются [Савенко, 2018]. Аккумуляция органического вещества в донных отложениях — типичное явление как для внутренней зоны эстуариев, где происходят флокуляция и седиментация органического вещества, содержащегося в речной воде, так и для высокопродуктивной внешней зоны, где осаждается новообразованное органическое вещество [Лисицын, 1994].

Поскольку на протяжении эстуария р. Усалгин вклад речной воды в смесь эстуарной воды последовательно уменьшается от реки к морю, а урожай и суммарная деструкция органического вещества с 1 м³ речной воды возрастают монотонно, удалось оценить скорость продукции и деструкции на единицу протяженности эстуария (рис. 8). На протяжении эстуария знак продукционно-деструкционного баланса неоднократно менялся, чего не наблюдалось в эстуариях рек южного Приморья и других рек. По-видимому, лишь в первой зоне деструкции во внутреннем эстуарии, характерной для всех эстуариев мира [McLusky, Elliott, 2004], разлагается органическое вещество, поступающее с речной водой. В последующих же вниз по течению зонах преобладания деструкции, находящихся за пределами речного русла, разлагается органическое вещество, аккумулированное в донных отложениях вершины зал. Николая. Особенностью химического состава вод р. Усалгин является относительно высокое содержание гуминовых веществ, а также общее высокое содержание органического вещества (до 23 мгС/л), предположительно по причине большой заболоченности водосбора реки с обширными торфяниками [Семкин и др., 2020б]. По-видимому, из-за этой особенности переносимая рекой органика не разлагается полностью во внутреннем эстуарии, а в значительных количествах выносится в вершину зал. Николая, где оседает на дно эстуария и там разлагается окончательно, поставляя реминерализованные биогенные элементы в поверхностный слой внешнего эстуария.

Наблюдаемое в верхней части внешнего эстуария р. Усалгин преобладание продукции (до +0,22 гС/м³км) также типично для всех эстуариев [Лисицын, 1994]. Локализация зоны преобладания продукции в этом месте обусловлена осветлением речной воды после осаждения во внутреннем эстуарии загрязняющих ее минеральной взвеси и органических веществ. Но в условиях активного разложения органического вещества, сложившихся в вершине зал. Николая, деструкция преобладает и на части внешнего эстуария, разделив высокопродуктивную зону на участки в районе бара и

в 8–12 км от бара. Из-за чрезвычайно активной деструкции (до $-0,23$ гС/м³км выше бара, до $-0,17$ гС/м³км ниже бара) количество минерального фосфора, регенерированного в эстуарии, превышает количество фосфора, приносимого рекой, поэтому в зонах преобладания продукции органическое вещество синтезируется в основном на основе реминерализованных в эстуарии, а не терригенных фосфатов. Это дает существенную прибавку к продукции эстуария, вследствие чего эстуарий р. Усалгин отличается очень высокой продукцией, основой которой на 9/10 является рециклинг. Этот феномен подтверждается и высокими концентрациями феофитина и хлорофилла *a* в водах эстуария р. Усалгин [Семкин и др., 2020a]. Хотя во внешней эстуарии этой реки величины удельной продукции и деструкции эстуарных вод гораздо ниже, чем во внутренней его части и в районе бара, именно в морской части эстуария производится большая часть органического вещества, с учетом большой площади внешнего эстуария, на которой распределяется речная вода. Мощный рециклинг в эстуарии р. Усалгин стал причиной формирования нескольких чередующихся зон преобладания продукции и деструкции, что нехарактерно для других исследованных эстуариев, где наблюдается лишь одна зона преобладания деструкции во внутренней эстуарии и одна зона преобладания продукции во внешней эстуарии [Важова, Зуенко, 2015].

К сожалению, точно локализовать участки преобладания продукции и деструкции в пространственных координатах удалось только для эстуария р. Усалгин. На большей части эстуария р. Уда в период наблюдений процесс постепенного разбавления речной воды от реки к морю был искажен приливной адвекцией. Поэтому для эстуария р. Уды процессы продукции и деструкции не могут быть локализованы в географических координатах (по протяжению разреза от реки к морю), хотя в гидрологических координатах (по градиенту солености) отмечаются те же основные закономерности, что и в других эстуариях мира [McLusky, Elliott, 2004].

Результаты наших расчетов продукционно-деструкционного баланса по распределению фосфатов в эстуариях двух рек, впадающих в Охотское море, согласуются с выводом, сделанным на основе всей совокупности гидрохимических данных, полученных экспедицией 2016 г. [Семкин и др., 2020a], что высокие концентрации растворенного органического вещества, поступающего с водосборных бассейнов рек Уда и Усалгин, обеспечивают благоприятные условия для высокой биопродуктивности эстуариев этих рек, при этом раскрывают химические механизмы высокой продуктивности и позволяют сделать количественные оценки продукции и деструкции органического вещества.

Заключение

Анализ локализации зон преобладания продукции и деструкции органического вещества в эстуариях рек Уда и Усалгин, впадающих в заливы Охотского моря в районе Шантарского архипелага, выявил как типичные для приливных эстуариев черты пространственных изменений продукционно-деструкционного баланса, так и особенности, обусловленные местными условиями. По неконсервативному изменению фосфатов в обоих исследованных эстуариях отмечена смена знака продукционно-деструкционного баланса от деструкции во внутренних частях эстуариев к продукции в верхних частях внешних эстуариев. Поскольку это явление отмечается разными исследователями для эстуариев рек разных типов, находящихся в разных климатических зонах, очевидно, оно является типичным для эстуариев вообще.

Вместе с тем расчеты показывают, что в эстуарии р. Усалгин существует еще одна мощная зона преобладания деструкции, расположенная в его внешней части, которая разделила надвое высокопродуктивную мористую зону. Активная деструкция не только во внутренней эстуарии, но и на части внешнего эстуария р. Усалгин обусловлена массовым поступлением органических веществ с водами этой реки, дренирующей заболоченную местность, а также орографическими условиями зал. Николая, куда впадает река, способствующими аккумуляции органических отложений в вершине

залива, где они разлагаются. Это дает существенную прибавку к продукции эстуария, вследствие чего эстуарий р. Усалин отличается очень высокой продукцией, основой которой (по расчетам на 9/10) является рециклинг. В эстуарии р. Уда вторая, мористая, зона деструкции выражена слабее, но также прослеживается.

Новые данные подтвердили авторскую концепцию, ранее [Важова, Зуенко, 2015] сформулированную на основе результатов исследования продукционно-деструкционного баланса в эстуариях рек южного Приморья, что благодаря пространственной разобщенности участков преобладания продукции и деструкции органического вещества эстуарии являются одновременно и маргинальными фильтрами, задерживающими терригенные биогенные вещества (в частности, фосфаты), преобразуя их в первичную продукцию, и «фабриками биогенов», поставляющими минерализованные биогенные элементы в морские экосистемы. Основная граница, разделяющая зоны преобладания продукции и деструкции в эстуариях, проходит примерно по изохалинам 8–12 ‰, что в целом согласуется с известным в морской экологии понятием первой зоны критической солености и представлениями о нелинейности биологических процессов по градиенту солености с резким изменением их скоростей (или даже направления) в узком соленостном диапазоне [Хлебович, 1974; Telesh, Khlebovich, 2010].

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Коллектив авторов выражает глубокую благодарность сотрудникам лаборатории гидрохимии ФГБУН Тихоокеанского океанологического института им. В. И. Ильичева ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН), принимавшим участие в сборе образцов проб воды и их лабораторном анализе, использованных в подготовке материалов для данной статьи.

The authors are deeply grateful to the researchers of Hydrochemistry Lab. of the Pacific Oceanological Institute who collected and analyzed the water samples and whose results were used in the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с животными в качестве объектов.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The article does not concern to animal studies.

The authors declare that they have no conflict of interest

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — Ю.И. Зуенко, А.С. Курносова; проведение лабораторных анализов — М.Г. Швецова; расчеты, написание статьи, рисунки — А.С. Курносова; редакторская правка — Ю.И. Зуенко.

Research concept — Yury Zuenko and Anna Kurnosova; laboratory analysis — Maria Shvetsova; data processing, text writing, figures — Anna Kurnosova; text editing — Yury Zuenko.

Список литературы

Важова А.С. Влияние структуры вод и особенностей продукционно-деструкционных процессов в эстуариях на структурно-функциональные характеристики биоценозов // Проблемы региональной экологии. — 2019. — № 3. — С. 14–22. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-13014.

Важова А.С., Зуенко Ю.И. Оценка первичной продукции в эстуариях рек Раздольная и Суходол (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 132–143. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-132-143.

- Винберг Г.Г.** Первичная продукция водоемов : моногр. — Минск : АН БССР, 1960. — 329 с.
- Гордеев В.В.** Геохимия системы река–море : моногр. — М. : ИП Матушкина И.И., 2012. — 452 с.
- Дмитриев В.В., Боброва О.Н., Грачева И.В. и др.** Мониторинг и моделирование продукционно-деструкционных отношений в водных экосистемах // Успехи соврем. естествознания. — 2019. — № 1. — С. 82–87.
- Звалинский В.И., Недашковский А.П., Сагалаев С.Г. и др.** Биогенные элементы и первичная продукция в эстуарии реки Раздольной (Амурский залив Японского моря) // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 2. — С. 107–116.
- Леонов А.В., Стыгар О.В.** Математическое моделирование процессов биотрансформации органогенных веществ для изучения условий евтрофирования вод поверхностного слоя Каспийского моря // Вод. ресурсы. — 2001. — Т. 28, № 5. — С. 587–605.
- Лисицын А.П.** Маргинальный фильтр океанов // Океанол. — 1994. — Т. 34, № 5. — С. 735–747.
- Мамаев О.И.** Термохалинный анализ вод Мирового океана : моногр. — Л. : Гидрометеоиздат, 1987. — 296 с.
- Михайлов В.Н.** Гидрологические процессы в устьях рек : моногр. — М. : ГЕОС, 1997. — 176 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 18 : Дальний Восток. Вып. 2 : Нижний Амур (от с. Помпеевки до устья) / под ред. А.П. Муранова.** — Л. : Гидрометеоиздат, 1970. — 592 с.
- Рыжаков А.В., Степанова И.А.** Оценка скорости потребления минерального фосфора в природных водах с использованием ингибиторов щелочной фосфатазы // Экол. химия. — 2016. — Т. 25, № 3. — С. 172–175.
- Савенко А.В.** Типы распределения растворенных форм химических элементов в устьевых областях рек // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. — 2018. — № 2. — С. 53–59.
- Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Тищенко П.П. и др.** Параметры карбонатной системы и растворенный органический углерод эстуариев рек Уда и Усалгин (Охотское море) в летний сезон // Тр. ГОИ. — 2020а. — Т. 221. — С. 195–210.
- Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Тищенко П.Я. и др.** Характеристика продукционно-деструкционных процессов в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) в период летнего паводка // Вестн. ДВО РАН. — 2020б. — № 2. — С. 88–96. DOI: 10.37102/08697698.2020.210.2.011.
- Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Шулькин В.М. и др.** Комплексные исследования прибрежных акваторий Японского и Охотского морей, находящихся под влиянием речного стока (71-й рейс научно-исследовательского судна «Профессор Гагаринский») // Океанол. — 2018. — Т. 58, № 2. — С. 340–342. DOI: 10.7868/S5003957418020193.
- Хлебович В.В.** Критическая соленость биологических процессов : моногр. — Л. : Наука, 1974. — 235 с.
- Correll D.L., Faust M.A., Severn D.J.** Phosphorus flux and cycling in estuaries // Estuarine research: chemistry, biology, and the estuarine system. — N.Y. : Acad. Press, 1975. — Vol. 1. — P. 108–136.
- Doering P.H., Oviatt C.A., Nowicki B.L. et al.** Phosphorus and nitrogen limitation of primary production in a simulated estuarine gradient // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1995. — Vol. 124. — P. 271–287.
- Howarth R.W., Chan F., Swaney D.P. et al.** Role of external inputs of nutrients to aquatic ecosystems in determining prevalence of nitrogen vs. phosphorus limitation of net primary productivity // Biogeochemistry. — 2021. — Vol. 154. — P. 293–306. DOI: 10.1007/s10533-021-00765-z.
- Lee Z.P., Carder K.L., Marra J. et al.** Estimating primary production at depth from remote sensing // Applied Optics. — 1996. — Vol. 35, Iss. 3. — P. 463–474.
- Liss P.S.** Conservative and non-conservative behavior of dissolved constituents during estuarine mixing // Estuarine Chemistry. — L. : Acad. Press, 1976. — P. 93–130.
- Marra J., Trees C.C., O'Reilly J.E.** Phytoplankton pigment absorption: A strong predictor of primary production in the surface ocean // Deep-Sea Res. I. — 2007. — Vol. 54, Iss. 2. — P. 155–163.
- McLusky D.S., Elliott M.** The Estuarine Ecosystem: ecology, threats and management, 3rd edn. — Oxford : OUP, 2004. — 216 p.
- Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A.** The Influence of organisms on the composition of sea-water // The Sea. — 1963. — Vol. 2. — P. 26–77.
- Telesh I.V., Khlebovich V.V.** Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review // Mar. Poll. Bull. — 2010. — Vol. 61, Iss. 4–6. — P. 149–155. DOI: 0.1016/j.marpolbul.2010.02.008.

References

- Vazhova A.S.** Effect of water structure and characteristics of the production-destructive processes in estuaries on structural and functional characteristics of biocenoses, *Problemy regional'noy ekologii*, 2019, no. 3, pp. 14–22. doi 10.24411/1728-323X-2019-13014
- Vazhova, A.S. and Zuenko, Yu.I.**, Evaluation of primary production in the estuaries of the Razdolnaya/Suifen and Sukhodol Rivers (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, no. 3, pp. 132–143. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-132-143
- Vinberg, G.G.**, *Pervichnaya produktsiya vodoyemov* (Primary production of reservoirs), Minsk: AN BSSR, 1960.
- Gordeev, V.V.**, *Geokhimiya sistemy reka–more* (Geochemistry of the river–sea system), Moscow: IP Matushkina I.I., 2012.
- Dmitriev, V.V., Bobrova, O.N., Gracheva, I.V., Kolodkin, P.A., Primak, E.A., Sedova, S.A., and Chetverova, A.A.**, Monitoring and modeling of production and destruction relations in aquatic ecosystems, *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2019, no. 1, pp. 82–87.
- Zvalinsky, V.I., Nedashkovsky, A.P., Sagalaye, S.G., Tishchenko, P.J., and Shvetsova, M.G.**, Nutrients and primary production in the Estuary of the Razdol'naya River (Amur Bay, Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2005, vol. 31, no. 2, pp. 91–101.
- Leonov, A.V. and Stygar, O.V.**, Mathematical modeling of the processes of biotransformation of organogenic substances to study the conditions of eutrophication of the waters of the surface layer of the Caspian Sea, *Vodnyye resursy*, 2001, vol. 28, no. 5, pp. 587–605.
- Lisitsyn, A.P.**, Marginal filter of the oceans, *Oceanology*, 1994, vol. 34, no. 5, pp. 735–747.
- Mamaev, O.I.**, *Termokhalimnyy analiz vod Mirovogo okeana* (Thermohaline analysis of the waters of the World Ocean), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987.
- Mikhailov, V.N.**, *Gidrologicheskie protsessy v ust'yakh rek* (Hydrological Processes in River Estuaries), Moscow: GEOS, 1997.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 18: Dal'nii Vostok, vyp. 2: Nizhniy Amur (ot s. Pompeyevki do ust'ya)* (Surface Water Resources of the USSR, Hydrological study, vol. 18: Far East, no. 2: Lower Amur (from the village of Pompeevka to the mouth)), Muranova, A.P., ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970.
- Ryzhakov, A.V. and Stepanova, I.A.**, Determination of rate of mineral phosphorus acceptance in natural waters by using of alkaline phosphatase inhibitors, *Ekol. khimiya*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 172–175.
- Savenko, A.V.**, Types of distribution of dissolved components in river mouth areas, *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Ser. 5. Geografiya*, 2018, no. 2, pp. 53–59.
- Semkin, P.Yu., Tishchenko, P.Ya., Tishchenko, P.P., Pavlova, G.Yu., Sagalaev, S.G., Khodorenko, N.D., Shvetsova, M.G., and Shkirnikova, E.M.**, Parameters of the carbonate system and dissolved organic carbon in estuaries of Uda and Usalgin Rivers (Okhotsky Sea) in the summer season, *Tr. Gos. Okeanogr. Inst.*, 2020, vol. 221, pp. 195–210.
- Semkin, P.Yu., Tishchenko, P.P., Tishchenko, P.Ya., Pavlova, G.Yu., Sagalaev, S.G., Khodorenko, N.D., Shkirnikova, E.M., and Shvetsova, M.G.**, Characterization of production/destruction processes in the Uda and Usalgin estuaries of the Sea of Okhotsk during the summer flood, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2020, no. 2, pp. 88–96. doi 10.37102/08697698.2020.210.2.011
- Tishchenko, P.Y., Lobanov, V.B., Mel'nikov, V.V., Tsoi, I.B., Semkin, P.Y., Tishchenko, P.P., Bannov, V.A., Belous, O.V., Vasil'eva, L.E., Elovskaya, O.A., Sagalaev, S.G., Fedorets, Y.V., Shul'kin, V.M.**, Comprehensive research of the coastal water area of the Sea of Japan and Sea of Okhotsk under the influence of river runoff (cruise 71 of the R/V professor Gagarinskii), *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 2, pp. 325–327. doi 10.1134/S0001437018010150
- Khlebovich, V.V.**, *Kriticheskaya solenost' biologicheskikh protsessov* (Critical Salinity of Biological Processes), Leningrad: Nauka, 1974.
- Correll, D.L., Faust, M.A., and Severn, D.J.**, Phosphorus flux and cycling in estuaries, *Estuarine research: chemistry, biology, and the estuarine system*, New York: Acad. Press, 1975, vol. 1, pp. 108–136.
- Doering, P.H., Oviatt, C.A., Nowicki, B.L., Klos, E.G., and Reed, L.W.**, Phosphorus and nitrogen limitation of primary production in a simulated estuarine gradient, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1995, vol. 124, pp. 271–287.
- Howarth R.W., Chan F., Swaney D.P., Marino, R.M. and Hayn, M.**, Role of external inputs of nutrients to aquatic ecosystems in determining prevalence of nitrogen vs. phosphorus limitation of net primary productivity, *Biogeochemistry*, 2021, vol. 154, pp. 293–306. doi 10.1007/s10533-021-00765-z

Lee, Z.P., Carder, K.L., Marra, J., Steward, R.G., and Perry, M.J., Estimating primary production at depth from remote sensing, *Applied Optics*, 1996, vol. 35, no. 3, pp. 463–474.

Liss, P.S., Conservative and non-conservative behavior of dissolved constituents during estuarine mixing, *Estuarine Chemistry*, London: Acad. Press, 1976, pp. 93–130.

Marra, J., Trees, C.C., and O'Reilly, J.E., Phytoplankton pigment absorption: A strong predictor of primary production in the surface ocean, *Deep-Sea Res., Part I*, 2007, vol. 54, no. 2, pp. 155–163.

McLusky, D.S., Elliott, M., *The Estuarine Ecosystem: ecology, threats and management*, Glasgow: Blackie & Son, 1981.

Redfield, A.C., Ketchum, B.H., and Richards, F.A., The Influence of organisms on the composition of sea-water, *The Sea*, 1963, vol. 2, pp. 26–77.

Telesh, I.V. and Khlebovich, VV., Principal processes within the estuarine salinity gradient: A review, *Mar. Poll. Bull.*, 2010, vol. 61, no. 4–6, pp. 149–155. doi 0.1016/j.marpolbul.2010.02.008

Lotsiya Okhotskogo morya (№ 1406). Vyp. 1. Yuzhnaya chast' morya (Pilot of the Sea of Okhotsk (no. 1406). Issue 1. Southern part of the sea), St. Petersburg: GUNIO, 1998.

Поступила в редакцию 13.09.2022 г.

После доработки 8.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 13.09.2022; approved after reviewing 8.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022*

**АКВАКУЛЬТУРА
AQUACULTURE**

Научная статья

УДК 639.3.043.2:597.552.511-135**DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-933-945****EDN: KNBJXZ****СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОМБИКОРМОВ
НА РЫБОВОДНЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ
МОЛОДИ КЕТЫ**

А.Н. Баштовой, К.Г. Павел, Т.Н. Слуцкая, Г.Н. Тимчишина, Е.В. Якуш*
Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Проведен сравнительный анализ рыбоводно-биологических показателей молоди кеты, выращенной на производственно-экспериментальном комбикорме, разработанном ТИНРО, и комбикорме «Aller Aqua» в холодноводных условиях лососевого рыбоводного завода. Установлено, что при одинаковой выживаемости при использовании комбикорма ТИНРО скорость роста рыб ниже, а кормовой коэффициент выше. Показано, что ткани кеты при использовании экспериментального корма ТИНРО содержат больше белков, минеральных веществ и менее обводнены, что может свидетельствовать о более высокой жизнестойкости молоди. Получены данные о влиянии низких температур воды на рыбоводно-биологические показатели молоди.

Ключевые слова: аквакультура, молодь кеты, комбикорма, температура воды, рыбоводные и биохимические показатели

Для цитирования: Баштовой А.Н., Павел К.Г., Слуцкая Т.Н., Тимчишина Г.Н., Якуш Е.В. Сравнительные исследования влияния комбикормов на рыбоводные и биохимические показатели молоди кеты // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 933–945. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-933-945. EDN: KNBJXZ.

* Баштовой Александр Николаевич, кандидат технических наук, заведующий сектором, a.n.bashtovoy@mail.ru, ORCID 0000-0003-1398-3547; Павел Константин Геннадьевич, кандидат химических наук, ведущий специалист, kg.pavel@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1476-9577; Слуцкая Татьяна Ноевна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, tatyana.slutskaya@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-3228-3047; Тимчишина Галина Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, galina.timchishina@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-8889-8657; Якуш Евгений Валентинович, кандидат химических наук, первый заместитель руководителя филиала, evyakush@mail.ru, ORCID 0000-0001-7837-5943.

© Баштовой А.Н., Павел К.Г., Слуцкая Т.Н., Тимчишина Г.Н., Якуш Е.В., 2022

Original article

Comparative studies of effect of compound feeds on fish-breeding and biochemical properties of juvenile chum salmon

Alexander N. Bashtovoy*, Konstantin G. Pavel, Tatyana N. Slutskaya***, Galina N. Timchishina****, and Evgeny V. Yakush*******

*, **, ***, ****, ***** Pacific branch of VNIRO (TINRO),
Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., head of sector, a.n.bashtovoy@mail.ru, ORCID 0000-0003-1398-3547

** Ph.D., leading specialist, kg.pavel@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1476-9577

*** D.Tech., professor, principal researcher, tatyana.slutskaya@tinro-center.ru,
ORCID 0000-0002-3228-3047

**** Ph.D., leading researcher, galina.timchishina@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-8889-8657

***** Ph.D., first deputy head of the branch, evyakush@mail.ru, ORCID 0000-0001-7837-5943

Abstract. Effectiveness of starter fodders is examined for the low-temperature rearing pools in the salmon fish hatchery Savushkina (Severo-Kurilsk). In May 2022, the experimental compound feed developed in TINRO was compared with the control fodder Aller Aqua (made in Denmark) when feeding of chum salmon fry. Both fodders complied with the veterinary and sanitary requirements of the Euro-Asian Economic Union in terms of quality and safety. The following fish breeding indices were determined for the experimental/control fodders after 47 days of testing: feeding ratio 0.670/0.467; mean daily gain 1.255/1.547 %; mean final weight 0.630/0.735 g; absolute weight growth 0.287/0.392 g; mortality (survival) 0.50 (99.50)/0.48 (99.52) %. Increasing of the water and minerals content and noticeable decreasing of the protein and fat content were detected in tissues of the control samples of fry by comparative biochemical analysis before and after the testing, whereas the content of protein and minerals had increased in tissues of the experimental samples. Thus, suitability and effectiveness of the experimental starter fodder for rearing of juvenile chum salmon in the low-temperature environment is proven by combination of several indices. To intensify the weight gain of juveniles, the experiments will be continued to adjust the composition of mixed feed for juvenile chum salmon in the cold-water conditions, with a principal restriction of the growth intensifiers (hormones) use. The starter compound feed developed in TINRO is recommended for using in rearing of chum salmon fry.

Keywords: aquaculture, juvenile chum salmon, compound feed, fish breeding, biochemical test

For citation: Bashtovoy A.N., Pavel K.G., Slutskaya T.N., Timchishina G.N., Yakush E.V. Comparative studies on influence of compound feeds on fish-breeding and biochemical properties of juvenile chum salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 933–945. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-933-945. EDN: KNBXJZ.

Введение

В Российской Федерации успешно развивается промышленное заводское разведение тихоокеанских лососей, основой которого является подращивание молоди (в основном кеты) в определенных условиях, одним из которых является обеспечение рыбопроизводных заводов физиологически полноценными кормами, которые соответствуют пищевым потребностям рыб и способствуют ускорению их роста, развития и повышению жизнестойкости. Несмотря на то что имеется ряд работ, посвященных биологическим основам кормления рыб, в том числе молоди тихоокеанских лососей [Гамыгин, 1987; Валова, 1999; Пономарев и др., 2010; Остроумова, 2012; Грозеску, 2016; Марковцев и др., 2016], не существует единого технологического подхода к составу, способам получения, а также обеспечению безопасности и эффективности стартовых комбикормов. Дополнительно к этому проявляется влияние и различных факторов биотехники выращивания: технического оснащения, освещенности, качества и температуры воды. Поскольку рыбопроизводные заводы Дальнего Востока находятся в разных климатических зонах, можно полагать, что при подращивании молоди лососей это может влиять на их рыбоводно-биологические показатели.

Целью настоящей работы является оценка эффективности применения стартовых комбикормов производства ТИНРО при подращивании молоди кеты в условиях низкой температуры воды на лососевом рыбоводном заводе (ЛРЗ) «Савушкина» (г. Северо-Курильск).

Материалы и методы

Исследования проводились в выростных бассейнах в период с 7 мая по 22 июня 2022 г.

Объектом исследований являлась молодь кеты, выращенная на разных кормах. Использовали комбикорм ТИНРО (экспериментальный), изготовленный по ТУ 10.91.10-388-35313404-2021, и смесь комбикормов «Aller Aqua futura ex gr» и «Aller Aqua infa ex gr» (контрольный). Эксперимент проводили на кете *Oncorhynchus keta* после поднятия личинок «на плав».

Комбикорм ТИНРО включает в себя следующие компоненты: мука рыбная, мука пшеничная, сухое молоко, дрожжи кормовые, масло растительное, премикс, витамины. Компоненты комбикорма Aller Aqua: рыбная и крилевая мука, пшеничный глютен, пшеница и пшеничная клейковина, рыбный жир, витамины, премиксы и минералы, иммуностимулятор.

Кормление личинок начинали при резорбции желточного мешка на 30–50 %.

Личинок кеты после поднятия «на плав» рассаживали в три выростных бассейна, водоподачу осуществляли из руслового потока р. Савушкина с применением оксигенации.

В варианте с экспериментальным кормом общее количество личинок на начало кормления в двух бассейнах составляло 938,1 тыс. шт., в контрольном — 469,1 тыс. шт.

Суточный рацион кормления рассчитывали с учетом 2 % отхода (до 190 шт./сут) за период подращивания. Отход молоди фиксировали ежедневно перед утренним кормлением.

Для поддержания необходимого содержания кислорода в воде (80–95 %) [Тарасюк, Тарасюк, 2010] с 7 мая уровень воды в бассейнах был установлен на отметке 45 см, скорость водообмена составила 180 л/мин, плотность посадки 17,4 тыс. шт./м³.

С 11 мая уровень воды в бассейнах установлен на отметке 90 см, скорость водообмена составила 200–220 л/мин, плотность посадки 8,7 тыс. шт./м³.

При проведении экспериментальных работ по кормлению молоди кеты ежедневно (утром, днем, вечером) измеряли температуру воды и содержание кислорода.

Перед началом работ проведено контрольное взвешивание по 100 экз. личинок кеты из использованных для эксперимента партий.

Для биохимического анализа молодь (50–100 шт.) замораживали при температуре не выше минус 18 °С до кормления и после завершения кормления экспериментальным и контрольным комбикормами.

Морфометрические анализы делали один раз в 5 дней, используя 100 шт. мальков кеты (табл. 1).

Кормовой коэффициент определяли путем деления количества вносимого корма за весь период подращивания на прирост молоди с учетом ее отхода [Щербина, Гамыгин, 2006] по формуле

$$KK = \frac{\sum \text{корма_за_период}}{(W_n - W_o) + W_o_отхода},$$

где W_n — конечная масса молоди, г; W_o — начальная масса молоди, г; $W_o_отхода$ — масса отхода за период, высчитывается по начальной средней массе, г.

Среднесуточный прирост (удельная скорость роста), выраженный в процентах к средней массе за расчетный период, показывает изменение массы рыб за каждые сутки периода кормления [Щербина, Гамыгин, 2006]. Для этого в формулу вводят его продолжительность (n) в сутках:

$$C = \frac{2(W_n - W_o)}{n(W_n + W_o)} \cdot 100.$$

Таблица 1

Схема проведения рыбоводно-биологических испытаний комбикормов для молоди кеты

Table 1

Scheme of fish-breeding and biological tests of compound feeds for chum juveniles

Объект и условия проведения экспериментов		
Комбикорм	Экспериментальный	Контрольный (смесь кормов)
Объект исследования	Молодь кеты	
Средняя начальная масса, г	0,343	
Плотность посадки, шт./м ³ ,		
– начальная	17400	
– конечная	8700	
Условия содержания молоди:		
– водообмен, л/мин	Проточный	
– начальный	180	
– конечный	200–220	
– размер емкостей, см	150 x 2000 x 90	
– количество емкостей для каждого варианта опыта	2	1
Нормы кормления	Рассчитываются в зависимости от массы тела рыб и температуры воды [Щербина, Гамыгин, 2006]	
Способ кормления	Ручной	
Условия выращивания (кормления):		
– температура воды, °С	1,2–8,3	
– содержание кислорода в воде, %	Не менее 80	
– периодичность контроля	Ежедневно	
Периодичность контроля биологических показателей:		
– масса тела	1 раз в 2–5 дней	
– отход	Ежедневно	
Рыбоводные показатели, по которым будет проведена оценка воздействия	Выживаемость (отход), коэффициент изменения массы, среднесуточный прирост, абсолютный прирост, кормовой коэффициент	
Дополнительные исследования	Определение химического состава тканей тела рыб на содержание воды, белка, липидов, минеральных веществ по стандартным методам	

Коэффициент изменения массы (абсолютная скорость прироста массы, г %/сут) рассчитывают по формуле [Щербина, Гамыгин, 2006]:

$$C = \frac{W_n - W_0}{n} \cdot 100.$$

В образцах комбикормов и тканей молоди кеты (рыба целиком) определяли мас-совую долю воды [ГОСТ Р 54951-2012], липидов [ГОСТ 13496.15-97] и минеральных веществ [ГОСТ 32933-2014]. Содержание общего азота (N_{общ}) — по методу Кьельдаля на приборе «Kjeltec 2300» (Foss, Швеция) [ГОСТ 13496.4-93].

Экстракцию липидов проводили по методу Блайя и Дайера [Bligh, Dyer, 1959], массовую долю липидов определяли гравиметрически.

Для определения состава жирных кислот в комбикормах липиды конвертировали в метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) по известной методике [Cagreau, Dubacq, 1978], затем очищали методом препаративной тонкослойной хроматографии на стек-лянных пластинках с силикагелем (Merck Co. Ltd, Германия, 5 мкм) с использованием системы растворителей бензол : гексан — 7 : 3 в качестве элюента. Газожидкостную хроматографию МЭЖК проводили на хроматографе GC-14B (Shimadzu, Япония) с ис-пользованием капиллярной колонки SupelcowaxTM 10 (30,0 м x 0,32 мм, толщина плен-ки 0,25 мкм, Supelco, США) и пламенно-ионизационного детектора при температуре колонки 190 °С, температуре инжектора и детектора 240 °С. В качестве газа-носителя

применяли гелий со скоростью потока 1 мл/мин и делителем потока 1/60. Идентификацию проводили с использованием индексов удерживания ECL [Christie, 1988].

Содержание отдельных классов липидов определяли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на аналитических пластинах «Sorbfil» (ПТСХ-АФ-А-УФ) с использованием системы растворителей гексан : диэтиловый эфир : уксусная кислота — 70 : 30 : 2 (по объему). Хроматограммы проявляли опрыскиванием 10 %-ным спиртовым раствором фосфорно-молибденовой кислоты с последующим нагреванием при 110 °С. Для определения количества отдельных классов липидов отсканированные изображения проявленных хроматограмм обрабатывали с помощью пакета программного обеспечения ImageJ v.1.47 [Laggai et al., 2013].

Общую токсичность определяли по ГОСТ 31674-2012. Перекисное число (ПЧ) жира в комбикормах — по методике, основанной на взаимодействии перекисей, содержащихся в жире, с йодидом калия в присутствии уксусной кислоты с выделением йода, с последующим титрованием раствором тиосульфата натрия [ГОСТ 7636-85; ГОСТ Р 53024-2008; Лазаревский, 1955].

Кислотное число (КЧ) жира в комбикормах устанавливали по известному методу [ГОСТ 7636-85; Лазаревский, 1955].

Содержание токсичных металлов и элементов в образцах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «Nippon Jarell Ach» модель AA-885 [ГОСТ 26927-86, 26929-94, 26930-86, 26932-86, 26933-86, 30178-96, 30538-97]. В качестве атомизатора использовали однощелевую горелку и пламя ацетилен-воздух.

Результаты исследований обрабатывали статистическими методами [Урбах, 1963, 1975; Кенуй, 1979]. Достоверность данных достигали планированием экспериментов, необходимых и достаточных для достижения точности результатов ($P = 0,90-0,95$), при доверительном интервале $\Delta \pm 3-10$ % среднеарифметических значений.

Результаты и их обсуждение

Важным показателем качества искусственных кормов является их химический состав, который позволяет судить о потенциальной биологической ценности рационов. Особое внимание уделяется содержанию в них белка, липидов, углеводов, минеральных компонентов.

Сравнительные исследования показывают (табл. 2), что в производственно-экспериментальном и контрольном комбикормах заявленное и фактическое содержание основных макронутриентов в целом совпадает. Экспериментальный и контрольный комбикорма значительно различаются, особенно по доле белков и углеводов, количество последних почти в три раза выше в образце, изготовленном в ТИНРО.

Химический состав комбикормов, %

Таблица 2

Table 2

Chemical composition of compound feeds, %

Показатель	Комбикорм					
	ТИНРО		Контроль («Aller Aqua»)			
			futura		infa	
	Заявлено	Фактически	Заявлено	Фактически	Заявлено	Фактически
Вода	5,5	5,9	5,0	5,8	5,0	5,3
Белок	40,0	39,3	60,0	60,1	64,0	63,9
Липиды	9,5	9,4	15,0	16,0	8,0	8,3
Минеральные вещества	12,5	12,2	12,6	12,1	12,1	12,0
Углеводы	32,5	33,2	7,4	6,0	10,9	10,5

По литературным данным известно, что с понижением температуры воды интенсивность энергетического обмена у рыб опережает пластический [Эколого-физио-

логические основы..., 1986; Скляр, 2008]; при этом увеличивается их потребность в жире и уменьшается — в белке [Козлов и др., 2004].

Липиды искусственных кормов являются важным источником энергии для рыб, поэтому при оценке состава таких кормов необходимо обращать внимание на содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) ω -3 и ω -6, влияющих на рост и физиологическое состояние молоди лососей. Основными источниками ПНЖК ω -3 (особенно эйкозапентаеновой и докозагексаеновой) в лососевых комбикормах являются такие компоненты, как рыбная мука и рыбный жир, а ω -6 (особенно линолевой) — растительные масла [Сидоров, 1983].

Эффективность использования энергии рациона на рост молоди лососей зависит от соотношения в нем сумм ПНЖК ω -3 и ω -6 ($\Sigma\omega$ -3/ $\Sigma\omega$ -6), которое рекомендуется устанавливать в определенных пределах и учитывать при разработке липидных добавок в искусственные диеты. По литературным данным соотношение $\Sigma\omega$ -3/ $\Sigma\omega$ -6 кислот в отечественных кормах, разработанных для молоди тихоокеанских лососей, составляет 2,2–2,4 [Пономарев, Пономарева, 2003; Баштовой и др., 2017]. Анализируемый показатель в комбикорме ТИНРО — 1,44, «Aller Aqua» — 2,38.

Известно, что насыщенные и мононенасыщенные жирные кислоты могут синтезироваться в организме рыб, источником же полиненасыщенных кислот является только корм [Остроумова, 2012], причем для эффективного роста важно, чтобы сумма ПНЖК линоленового ряда (ω -3) превосходила сумму линолевого (ω -6) [Кальченко и др., 2009]. Согласно полученным результатам (табл. 3) в обоих вариантах кормов это условие соблюдается, однако сумма ЭПК и ДГК несколько ниже в экспериментальном корме.

Таблица 3
Состав жирных кислот липидов комбикормов, % от суммы жирных кислот
Table 3
Composition of fatty acids in lipids from compound feeds, % of total fatty acids

Жирные кислоты	Комбикорм	
	ТИНРО (эксперимент)	«Aller Aqua» (контроль)
Насыщенные	24,9	27,0
Мононенасыщенные	38,8	36,4
Полиненасыщенные (ПНЖК)	34,7	34,1
Сумма ω -3	18,9	22,4
Сумма ω -6	13,1	9,4
Сумма ЭПК и ДГК	14,9	18,0
ω -3/ ω -6	1,44	2,38

Триглицериды содержат больше насыщенных ЖК и являются энергетическим источником для рыб. Фосфолипиды содержат полиненасыщенные ЖК, являются структурными липидами и участвуют в адаптационных процессах рыб. Источником энергии у рыб являются в основном насыщенные и мононенасыщенные ЖК [Кальченко, 2010; Махутова, Гладышев, 2020].

Как следует из данных табл. 4, качественный и количественный состав липидов комбикормов ТИНРО и «Aller Aqua» характеризуется высоким содержанием триацилглицеридов и фосфолипидов, причем в контрольном корме используются преимущественно фосфолипиды криля*.

* Фосфолипиды для быстрого роста и здоровья мальков: [Электронный ресурс]. URL: https://www.magazine.fish/news/akvakultura/fosfolipidy_dlya_bystrogo_rosta_i_zdorovya_malkov/ (Дата обращения 28.10.2020).; A good start is the key to success in fry production: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aller-aqua.com/press/articles/granulates> (Дата обращения 07.10.2022).

Таблица 4

Фракционный состав липидов кормов, % от общего содержания липидов

Table 4

Fractional composition of lipids from compound feeds, % of total lipid content

Класс липидов	Комбикорм	
	ТИНРО (эксперимент)	«Aller Aqua» (контроль)
Эфиры стеринов	3,7	8,5
Триацилглицериды	65,2	57,1
Свободные жирные кислоты	6,8	15,1
Стерины	8,3	9,5
Фосфолипиды	16,0	9,8

По показателям безопасности, представленным в табл. 5, оба варианта комбикормов соответствуют регламентируемым значениям [ГОСТ 2116-2000; Единые ветеринарные требования..., 2022*].

Таблица 5

Показатели безопасности комбикормов

Table 5

Safety indices for compound feeds

Показатель	ТИНРО	Контроль («Aller Aqua»)	Единые ветеринарные требования, гл. 34, 35
Кислотное число, мг КОН/1 г жира	8,77	7,20	30,0*
Перекиси, % I ₂	0,06	0,03	0,10
Общая токсичность	Нетоксично	Нетоксично	Не допускается*
Токсич. элементы, не более, мг/кг:			
Cd	0,009	0,098	1,0
As	0,081	0,912	2,0
Pb	0,204	0,195	5,0
Hg	0,076	0,067	0,5

* ТР ТС «О безопасности кормов и кормовых добавок»**.

Таким образом, есть основания полагать, что оба варианта кормов, несмотря на некоторые отмеченные различия, будут эффективны при кормлении молоди лососевых.

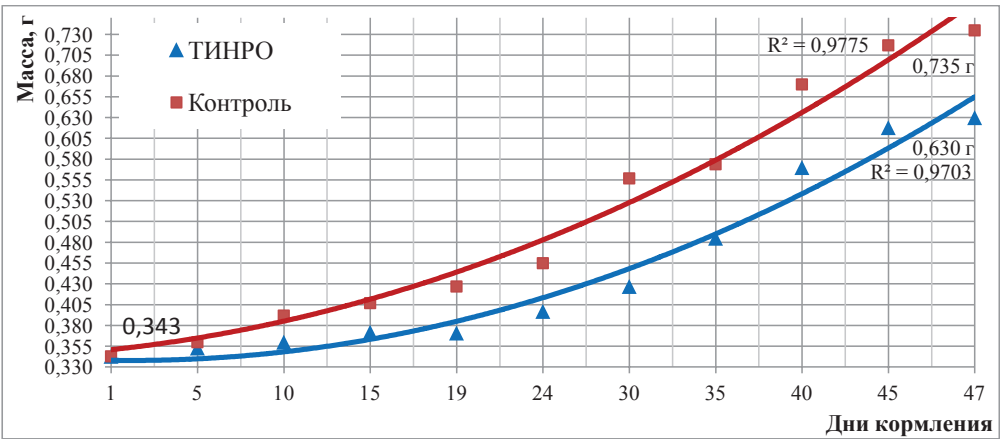
На экспериментальном комбикорме молодь стабильно набирала массу, но при этом средняя масса тела рыб в контроле была выше (см. рисунок). К концу подращивания масса кеты в эксперименте и контроле составляла соответственно 0,630 и 0,735 г.

Поскольку начальная температура в бассейнах была ниже, чем при проведении экспериментов в 2016–2019 гг. на территории Приморского края (ЛРЗ «Вербное») [Баштовой и др., 2021], где подращивание молоди продолжается в среднем 40 сут, имело смысл сравнить рыбоводные показатели экспериментальных кормов с учетом этого фактора, так как работы по подращиванию молоди кеты на комбикорме ТИНРО в холодноводных районах Сахалинской области проводились впервые.

Данные табл. 6 показывают, что при использовании одинаковых по составу кормов низкая температура в среде обитания оказывает заметное влияние на рост и жизнедеятельность объектов наблюдения, что выражается в более низких показателях прироста и конечной массы.

* Единые ветеринарные требования, предъявляемые к товарам, подлежащим ветеринарному контролю (надзору). Утверждены Решением комиссии Таможенного союза от 18 июня 2010 г., № 317 (с изменениями от 23.05.2022).

** Технический регламент Таможенного союза «О безопасности кормов и кормовых добавок» (проект, 2-я редакция) (ТР 201_/00_/ТС). М., Минск, Астана, 2012: [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200083875> (Дата обращения: 19.07.2022).



Изменение массы молоди кеты при кормлении на ЛРЗ «Савушкина»
Weight growth of chum juveniles during rearing at the salmon hatchery Savushkina

Рыбоводно-биологические показатели при испытании комбикормов
на ЛРЗ «Савушкина» и ЛРЗ «Вербное»
Fish-breeding and biological indices when testing of compound feeds
at the salmon hatcheries Savushkina and Verboynoe

Показатель	ЛРЗ «Савушкина»	ЛРЗ «Вербное»*
Период подращивания, сут	40	40
Температура воды, °С	1,2–6,3	4,5–6,5
Средняя начальная масса, г	0,343	0,370
Средняя конечная масса, г	0,570	0,630
Абсолютный прирост, г	0,23	0,27
Среднесуточный прирост, %	1,24	1,44
Отход молоди, %	0,382	0,750
Кормовой коэффициент, г корма/г прироста	0,65	0,72

* ЛРЗ «Вербное», 2018–2019 гг. Данные из работы А.Н. Баштового с соавторами [2021].

Результаты, представленные в табл. 7, показывают, что такие важные показатели, как среднесуточный прирост, а также средняя конечная масса, в экспериментальном варианте (ТИНРО) несколько ниже, чем в контрольном («Aller Aqua»). В то же время данные по отходу рыб при выращивании на обоих вариантах кормов сопоставимы и составляли 0,499 и 0,477 %.

Рыбоводно-биологические показатели при испытании комбикормов на ЛРЗ «Савушкина»
Fish-breeding and biological indices when testing of compound feeds
at the salmon hatchery Savushkina

Показатель	Комбикорм	
	ТИНРО (эксперимент)	«Aller Aqua» (контроль)
Период подращивания, сут	47	47
Температура воды, °С	1,2–8,3	1,2–8,3
Средняя конечная масса, г	0,630	0,735
Отход молоди, %	0,499	0,477
Абсолютный прирост, г	0,287	0,392
Среднесуточный прирост, %	1,255	1,547
Кормовой коэффициент, г корма/г прироста	0,670	0,467

В ходе исследований проведено сравнение химического состава молоди кеты до и после кормления (табл. 8). Ткани молоди, для кормления которой использовался экспериментальный корм, содержат более высокое количество белка и меньше воды, чем контрольные образцы. Возможно, у кеты, выращенной на импортном корме, из-за более высокой скорости роста, возможно — за счет наличия стимуляторов в корме, меньше содержание белков в тканях. Воды в тканях мальков в контрольном варианте существенно больше, чем в тканях экспериментальной молоди. При этом заметно выше минерализация тканей экспериментальных образцов, что может указывать на укрепление скелета молоди. Таким образом, наращивание массы у контрольных образцов, судя по данным табл. 8, происходит не за счет белковой или минеральной составляющей, а за счет повышения степени обводненности мышечной ткани.

Таблица 8

Химический состав тканей молоди кеты до и после кормления на ЛРЗ «Савушкина», %

Table 8

Chemical composition for tissues of juvenile chum salmon before and after the testing of fodders at the salmon hatchery Savushkina, %

Показатель	До кормления	После кормления	
	Исходная молодь	ТИНРО (эксперимент)	«Aller Aqua» (контроль)
Вода	82,68	83,51	86,27
Белок	12,81	12,76	10,26
Липиды	4,18	2,85	2,95
Минеральные вещества	0,32	0,87	0,52

Согласно данным литературы, посвященной биологическим вопросам выращивания рыб в искусственных условиях, химический состав тканей конечного продукта, а именно — молоди, имеет существенное значение при обосновании процессов воспроизводства тихоокеанских лососей. Так, известно, что жизнестойкость выпускаемой молоди напрямую зависит от количества белков и минеральных веществ в их тканях [Остроумова, 2012; Грозеску, 2016].

Несмотря на то что стартовые корма фирмы «Aller Aqua» используются в широких масштабах во многих хозяйствах как за рубежом, так и у нас в стране, имеются некоторые, пока немногочисленные, сведения о неоднозначном их влиянии на объекты разведения. Так, у большей части (70 %) исследованной молоди кеты (корм «Aller Aqua») отмечены признаки липоидной дегенерации печени тяжелой степени, а также развитие патологических изменений в желудке и кишечнике [Марковцев и др., 2016]. Сходные результаты получены при экспериментальном кормлении форели, которое привело к патологическому увеличению размеров, изменению цвета и формы печени, а также повышению в ее составе насыщенных липидов [Остроумова, 2009]. Возможной причиной этого может являться состав корма, который содержит не только заявленные добавки (например, комплексные соединения магния, цинка, меди) и высокие концентрации витаминов, каротиноидов, антиоксидантов, а также иммуностимуляторы*. Этим можно объяснить установленную заметную разницу в химическом составе мальков; также это показывает необходимость проведения специальных исследований, позволяющих определить сравнительную жизнестойкость молоди в зависимости от количественного содержания в ней воды, белков, липидов, минеральных веществ.

* Лечебно-профилактические корма. Борьба с болезнями рыб с помощью лечебно-профилактических кормов: [Электронный ресурс]. URL: www.aquafeed.ru/statie/o_kormah/94 (Дата обращения 20.07.2022).

Заключение

Установлено, что по показателям качества и безопасности производственно-экспериментальный комбикорм ТИНРО и комбикорма «Aller Aqua» (контроль) соответствуют регламентируемым значениям Единых ветеринарных (ветеринарно-санитарных) требований.

В ходе проведения рыбоводно-биологических испытаний производственно-экспериментальной партии комбикорма ТИНРО, в сравнении с контрольным комбикормом, применяемым на ЛРЗ «Савушкина», проведена оценка эффективности комбикормов при выращивании молоди кеты.

Определены основные рыбоводные показатели (эксперимент/контроль) после кормления в течение 47 сут:

- кормовой коэффициент — 0,670/0,467;
- среднесуточный прирост, % — 1,255/1,547;
- абсолютный прирост, г — 0,287/0,392;
- отход (выживаемость), % — 0,499 (99,501)/0,477 (99,523).

Проведен сравнительный биохимический анализ тканей молоди кеты (рыба целиком) до и после кормления, который показал в контрольном образце увеличение доли воды и минеральных веществ при заметном снижении доли белка и жира. В то же время в экспериментальных образцах установлено более высокое содержание белка и минеральных веществ.

Таким образом, на основании анализа комплекса рыбоводных и биохимических показателей можно заключить, что производственно-экспериментальный комбикорм, разработанный в ТИНРО, пригоден для подращивания молоди кеты в условиях низкой температуры воды 1,2–8,3 °С.

В настоящее время в ТИНРО ведутся работы по корректировке рецептуры экспериментальных образцов комбикорма для кормления молоди кеты в холодноводных условиях. При этом основополагающим является отсутствие в разрабатываемых комбикормах стимуляторов роста (гормонов). Полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности применения стартовых комбикормов, разработанных в ТИНРО, для подращивания молоди кеты.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают свою признательность руководству и персоналу ЛРЗ «Савушкина» за возможность проведения экспериментальных работ, оказанную помощь и полезные предложения при подготовке и проведении работ, а также коллективу Аналитической научно-испытательной лаборатории отдела безопасности и технологии переработки сырья и разработок (ТИНРО).

The authors are grateful to management and staff of the salmon hatchery Savushkina for providing opportunity for the experiment, their kind assistance, and useful suggestions in the work, as well as to the team of the Analytical scientific-testing laboratory of TINRO who made some analyses important for the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Основанием для проведения научно-исследовательской работы является договор № 113-21 от 11 октября 2021 г. между Тихоокеанским филиалом ВНИРО (ТИНРО) и ООО «Азимут».

The study was funded by contract No. 113-21 on October 11, 2021 between TINRO and Azimut LLC.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены. Библиографические ссылки на все

использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals have been complied with. Bibliographic references to all data of other authors used in the work are formatted in accordance with the rules of this publication.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Авторам в равной мере принадлежит участие в постановке цели, планировании и организации работы, получении экспериментальных данных, их обработке и анализе, составлении макета статьи, формулировании выводов.

The authors were equally involved in the study targeting, planning and organizing, in the experimental data collecting, processing and analyzing, as well as in writing the manuscript formulating conclusions.

Список литературы

Баштовой А.Н., Тимчишина Г.Н., Ярочкин А.П. и др. Результаты испытаний стартовых комбикормов для промышленного выращивания лососевых рыб (кеты) // Рыб. хоз-во. — 2021. — № 6. — С. 91–96.

Баштовой А.Н., Ярочкин А.П., Валова В.Н. и др. Сравнительная оценка стартовых традиционных и ферментированных комбикормов для молоди тихоокеанских лососей // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 223–234. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-223-234.

Валова В.Н. Характеристика физиологического состояния молоди тихоокеанских лососей при выращивании на искусственных кормах : дис. ... канд. биол. наук. — М. : ВНИИПРХ, 1999. — 170 с.

Гамыгин Е.А. Корма и кормление рыб : ОИ / ЦНИИТЭИРХ. — 1987. — Вып. 1. — 82 с.

Грозеску Ю.Н. Инновационные методы повышения эффективности кормления осетровых рыб на основе использования в рационах нетрадиционного кормового сырья и биологически активных препаратов : дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук. — Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2016. — 307 с.

Кальченко Е.И. Оценка физиолого-биохимических показателей молоди кеты и чавычи при искусственном воспроизводстве : дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2010. — 167 с.

Кальченко Е.И., Гаврюсева Т.В., Юрьева М.И. Физиолого-биохимические показатели молоди кеты при выращивании на импортных комбикормах // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2009. — Вып. 12. — С. 58–71.

Кенуй М.Г. Быстрые статистические вычисления : справочник / пер. с англ. — М. : Статистика, 1979. — 70 с.

Козлов В.И., Никифоров-Никишин А.Л., Бородин А.Л. Аквакультура : моногр. — М. : МГУТУ, 2004. — 433 с.

Лазаревский А.А. Техничко-химический контроль в рыбообрабатывающей промышленности : пособие для работников заводских и исслед. лабораторий. — М. : Пищепромиздат, 1955. — 520 с.

Марковцев В.Г., Валова В.П., Баштовой А.Н. и др. Испытание новых рецептур кормов для молоди кеты // Бюл. № 11 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — С. 144–149.

Махутова О.Н., Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты в физиологии и метаболизме рыб и человека: значение, потребности, источники // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. — 2020. — Т. 106, № 5. — С. 601–621. DOI: 10.31857/S0869813920050040.

Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. 2-е изд., испр. и доп. : моногр. — СПб. : ГосНИОРХ, 2012. — 564 с.

Остроумова И.Н. Вызывает ли избыток углеводов в кормах жировую дегенерацию печени рыб? // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. — 2009. — Вып. 338. — С. 141–149.

Пономарев С.В., Гамыгин Е.А., Канидьев А.Н. Физиологические основы создания полноценных комбинированных кормов с учетом этапности развития организма лососевых и осетровых рыб // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2010. — № 1. — С. 132–139.

Пономарев С.В., Пономарева Е.Н. Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в промышленных условиях : моногр. — Астрахань : АГТУ, 2003. — 186 с.

- Сидоров В.С.** Экологическая биохимия рыб: липиды : моногр. — Л. : Наука, 1983. — 240 с.
- Скляр В.Я.** Корма и кормление рыб в аквакультуре : моногр. — М. : ВНИРО, 2008. — 149 с.
- Тарасюк Е.В., Тарасюк С.Н.** Влияние плотности посадки и содержания кислорода на рост молоди кеты // Тр. ВНИРО. — 2010. — Т. 148. — С. 158–169.
- Урбах В.Ю.** Математическая статистика для биологов и медиков : моногр. — М. : АН СССР, 1963. — 323 с.
- Урбах В.Ю.** Статистический анализ в биологических и медицинских исследованиях : моногр. — М. : Медицина, 1975. — 296 с.
- Щербина М.А., Гамыгин Е.А.** Кормление рыб в пресноводной аквакультуре : моногр. — М. : ВНИРО, 2006. — 360 с.
- Эколого-физиологические основы повышения эффективности кормления рыб в промышленном рыбоводстве** : сб. науч. тр. / под ред. И.Н. Остроумовой. — Л. : Промрыбвод, 1986. — 162 с.
- Bligh E.G., Dyer W.J.** A rapid method of total lipid extraction and purification // *Can. J. Biochem. Physiol.* — 1959. — Vol. 37, № 8. — P. 911–917. DOI: 10.1139/o59-099.
- Carreau J.P., Dubacq J.P.** Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // *J. Chromatogr.* — 1978. — Vol. 151, Iss. 3. — P. 384–390. DOI: 10.1016/S0021-9673(00)88356-9.
- Christie W.W.** Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography A reappraisal // *J. Chromatogr.* — 1988. — Vol. 447, Iss. 2. — P. 305–314. DOI: 10.1016/0021-9673(88)90040-4.
- Laggai S., Simon Y., Ransweiler T. et al.** Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH // *World J. Hepatol.* — 2013. — Vol. 5, Iss. 10. — P. 558–567. DOI: 10.4254/wjh.v5.i10.558.

References

- Bashtovoy, A.N., Timchishina, G.N., Yarochkin, A.P., Pavel, K.G., Pasechnik, P.L., and Kotsyuk, D.V.**, Test results of starting compound feeds for industrial cultivation of salmonids (Chum salmon), *Rybn. Khoz.*, 2021, no. 6, pp. 91–96.
- Bashtovoy, A.N., Yarochkin A.P., Valova, V.N., Timchishina, G.N., Pavel, K.G., Yakush, E.V., and Pavlovsky, A.M.**, Comparative evaluation of starting traditional and fermented mixed fodders for juveniles of pacific salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 223–234. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-223-234
- Valova, V.N.**, Characteristics of the physiological state of juvenile Pacific salmon when grown on artificial feed, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIIPRKh, 1999.
- Gamygin, E.A.**, *Korma i kormleniye ryb* (Fish feed and feeding), Moscow: TsNIITEIRKh, 1987, vol. 1.
- Grosescu, Yu.N.**, Innovative methods to increase the feeding efficiency of sturgeon fish based on the use of unconventional feed raw materials and biologically active preparations in diets, *Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Astrahan': AGTU, 2016.
- Kalchenko, E.I.**, Evaluation of the physiological and biochemical parameters of juvenile chum salmon and chinook during artificial reproduction, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2010.
- Kalchenko, E.I., Gavruseva, T.V., and Yuryeva, M.I.**, Physiological and biochemical indexes of juvenile chum salmon when rearing the fishes on the imported artificial feedstuff, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2009, vol. 12, pp. 58–71.
- Kenuy, M.G.**, *Bystryye statisticheskiye vychisleniya* (Fast statistical calculations), Moscow: Statistics, 1979.
- Kozlov, V.I., Nikiforov-Nikishin, A.L., and Borodin, A.L.**, *Akvakul'tura* (Aquaculture), Moscow: MGUTU, 2004.
- Lazarevsky, A.A.**, *Tekhniko-khimicheskii kontrol' v ryboobrabatvyayushchey promyshlennosti: posobiye dlya rabotnikov zavodskikh i issled. laboratoriy* (Technical and chemical control in the fish processing industry: a manual for factory workers and research. laboratories), Moscow: Pishchepromizdat, 1955.
- Markovtsev, V.G., Valova, V.P., Bashtovoy, A.N., Timchishina, G.N., Yakush, E.V., Yarochkin, A.P., and Marchenko, V.A.**, Testing new feed formulations for juvenile chum salmon, in *Byull. N 11 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. no. 11 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, pp. 144–149.
- Makhutova, O.N. and Gladyshev, M.I.**, Essential pufa in physiology and metabolism of fish and human: functions, needs, sources, *Russian physiological journal im. I.M. Sechenov*, 2020, vol. 106, no. 5, pp. 601–621.

Ostroumova, I.N., *Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb* (Biological basis of fish feeding), St. Petersburg: GosNIORKh, 2012. 2nd ed.

Ostroumova, I.N., Does the abundance of carbohydrate in the feed cause fatty liver degeneration in fish?, in *Sbornik nauchnykh trudov GosNIORKh*, 2009, vol. 338, pp. 141–149.

Ponomarev, S.V., Gamygin, E.A., and Canidiev, A.N., Physiological statement of creation of the valuable combined diets taking into consideration the stages of development of salmon and sturgeon, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2010, no. 1, pp. 132–139.

Ponomarev, S.V. and Ponomareva, E.N., *Tekhnologicheskiye osnovy razvedeniya i kormleniya lososevykh ryb v industrial'nykh usloviyakh* (Technological foundations of breeding and feeding salmon fish in an industrial environment), Astrakhan: Astrakh. Gos. Tekh. Univ., 2003.

Sidorov, V.S., *Ekologicheskaya biokhimiya ryb: lipidy* (Ecological biochemistry of fish: lipids), Leningrad: Nauka, 1983.

Sklyarov, V.Ya., *Korma i kormleniye ryb v akvakul'ture* (Feeds and fish feeding in aquaculture), Moscow: VNIRO, 2008.

Tarasyuk, E.V. and Tarasyuk, S.N., Influence of stocking density and oxygen content on growth of chum salmon juveniles, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 148, pp. 158–169.

Urbakh, V.Yu., *Matematicheskaya statistika dlya biologov i medikov* (Mathematical statistics for biologists and physicians), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1963.

Urbakh, V.Yu., *Statisticheskii analiz v biologicheskikh i meditsinskikh issledovaniyakh* (Statistical analysis in biological and medical research), Moscow: Medicine, 1975.

Shcherbina, M.A. and Gamygin, E.A., *Kormleniye ryb v presnovodnoy akvakul'ture* (Feeding fish in freshwater aquaculture), Moscow: VNIRO, 2006.

Ekologo-fiziologicheskiye osnovy povysheniya effektivnosti kormleniya ryb v industrial'nom rybovodstve (Ecological and physiological bases for increasing the efficiency of fish feeding in industrial fish farming), Ostroumova, I.N., ed., Leningrad: Promrybvod, 1986.

Bligh, E.G. and Dyer, W.J., A rapid method of total lipid extraction and purification, *Can. J. Biochem. Physiol.*, 1959, vol. 37, no. 8, pp. 911–917. doi 10.1139/o59-099

Carreau, J.P. and Dubacq, J.P., Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts, *J. Chromatogr.*, 1978, vol. 151, no. 3, pp. 384–390. doi 10.1016/S0021-9673(00)88356-9

Christie, W.W., Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography A reappraisal, *J. Chromatogr.*, 1988, vol. 447, no. 2, pp. 305–314. doi 10.1016/0021-9673(88)90040-4

Laggai, S., Simon, Y., Ransweiler, T., Kiemer, A.K., and Kessler, S.M., Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH, *World J. Hepatol.*, 2013, vol. 5, no. 10, pp. 558–567. doi 10.4254/wjh.v5.i10.558

Fosfolipidy dlya bystrogo rosta i zdorov'ya mal'kov (Phospholipids for the rapid growth and health of fry), URL: https://www.magazine.fish/news/akvakultura/fosfolipidy_dlya_bystrogo_rosta_i_zdorovya_malkov/. Cited October 28, 2020.

A good start is the key to success in fry production, URL: <https://www.aller-aqua.com/press/articles/granulates>. Cited October 07, 2022.

Yedinyye veterinarnyye trebovaniya, pred'yavlyayemye k tovaram, podlezhashchim veterinarnomu kontrolyu (nadzoru) (Uniform veterinary requirements for goods subject to veterinary control (supervision)). Approved by the Decision of the Commission of the Customs Union dated June 18, 2010, no. 317 (as amended on May 23, 2022).

Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti kormov i kormovykh dobavok» (Technical Regulations of the Customs Union “On the safety of feed and feed additives”) (draft, 2nd edition) (TR 201_/00_/TS). Moscow, Minsk, Astana, 2012, URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200083875>. Cited July 19, 2022.

Lechebno-profilakticheskiye korma. Bor'ba s boleznyami ryb s pomoshch'yu lechebno-profilakticheskikh kormov (Therapeutic and prophylactic feed. Fighting fish diseases with therapeutic and preventive feeds), URL: www.aquafeed.ru/statie/o_kormah/94. Cited July 20, 2022.

Поступила в редакцию 25.10.2022 г.

После доработки 21.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 21.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022