

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ

NATURE MANAGEMENT AND ECOSYSTEM SAFETY

Научная статья
УДК 574.24
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-57-63>
EDN WJHBLO

Сезонные изменения кумуляции углеводородов в вобле дельты Волги

**Виктор Николаевич Крючков, Ирина Викторовна Мельник[✉],
Елизавета Владимировна Поцелуева**

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, irina_1melnik@mail.ru[✉]*

Аннотация. Актуальность исследований обусловлена возрастанием активности топливно-энергетического комплекса в Волго-Каспийском бассейне и, как следствие, возникновением угроз биоразнообразию водных экосистем. Проведена оценка многолетней и сезонной динамики накопления углеводородов в рыбе, на примере воблы, в дельтовой части реки Волга. Методом ИК-спектрофотометрии определено содержание углеводородов в мышцах и внутренних органах рыбы. Показано, что максимальный уровень кумуляции углеводородов в органах и тканях воблы отмечался с 2007 по 2013 гг. относительно более позднего периода – с 2014 по 2020 гг., исключая 2016 г. Отмечена выраженная закономерность увеличения концентрации содержания углеводородов в вобле от лета к осени в период с 2007 по 2012 гг. До 2013 г. включительно имело место наличие ряда условий, способствующих выраженному накоплению углеводородов в организме воблы от лета к осени (период ее летнего нагула), что обусловлено общим уровнем загрязнения экосистемы углеводородами, а также способностью кормовых объектов эффективно накапливать в себе самые разнообразные вещества. В дальнейшем процесс поступления углеводородов и процессы элиминации пришли в состояние динамического равновесия, что, скорее всего, связано со снижением общего уровня загрязнения среды.

Ключевые слова: углеводороды, кумуляция, вобла, мышцы, внутренние органы, экотоксикант, сезонная динамика

Для цитирования: Крючков В. Н., Мельник И. В., Поцелуева Е. В. Сезонные изменения кумуляции углеводородов в вобле дельты Волги // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 3. С. 57–63. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-57-63>. EDN WJHBLO.

Original article

Seasonal changes in hydrocarbons accumulation of the Volga Delta roach

Victor N. Kryuchkov, Irina V. Melnik[✉], Elizaveta V. Potselueva

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, irina_1melnik@mail.ru[✉]*

Abstract. The importance of the research is conditioned by the increasing activity of the fuel and energy complex in the Volga-Caspian basin and as a consequence by the emergence of threat to the biodiversity of aquatic ecosystems. The assessment of the long-term and seasonal dynamics of hydrocarbon accumulation in the Volga River delta fish was carried out using the example of a roach. IR spectrophotometry method revealed the hydrocarbon content in the muscles and internal organs of the fish. It is demonstrated that the maximum level of hydrocarbons accumulation in the organs and tissues of the roach was observed from 2007 to 2013, relative to the later period from 2014 to 2020, excluding 2016. The regularity of increasing hydrocarbons concentration in the roach from summer to autumn in the period from 2007 to 2012 is pronounced. Until 2013 (inclusive), there were a number of conditions that contribute to the pronounced hydrocarbons accumulation in the body of the roach in the period from summer to autumn (the period of its summer feeding), which is primarily due to the general level of ecosystem pollution as well as the ability of forage objects to effectively accumulate a wide variety of substances. Later the process of hydrocarbon intake and elimination processes came to a state of dynamic equilibrium which is probably due to a decrease in the overall level of environmental pollution.

Keywords: hydrocarbons, cumulation, roach, muscles, internal organs, ecotoxicant seasonal dynamics

For citation: Kryuchkov V. N., Melnik I. V., Potselueva E. V. Seasonal changes in hydrocarbons accumulation of the Volga Delta roach. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2023;3:57-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-57-63>. EDN WJHBLO.

Введение

Развитие топливно-энергетического комплекса как основы современного промышленного производства неизбежно связано с расширением номенклатуры используемых химических соединений. Увеличение объема добываемых углеводородов и возрастание интенсивности их транспортировки от мест добычи – характерная черта развития нефтяной промышленности в Прикаспии и на шельфе Северного Каспия. В этом заключается объективная причина возрастания опасности в результате освоения нефтегазовых месторождений для окружающей среды, в т. ч. и для водных экосистем. Эта опасность вытекает из самого рода деятельности, несмотря на принимаемые эффективные меры по предотвращению загрязнения окружающей среды.

Общепринятым мнением является то, что основными источниками загрязнения Каспийского моря нефтью и ее компонентами выступают речные стоки. Немалый вклад вносят технологические и аварийные утечки при транспортировке нефти, отходы промышленности, содержащие углеводороды, попадающие в поверхностные воды при недостаточной очистке, нефтеперерабатывающая индустрия, утечки с прибрежных нефтяных разработок, а также естественное просачивание углеводородов по геологическим разломам из близко залегающих нефтяных пластов. Не следует забывать и об углеводородах биотического происхождения. По разным оценкам, в 1986–1990 гг. отношение объемов нефтепродуктов, поступивших в море с речным стоком, сточными водами и при аварийных разливах в среднем составило 600 : 100 : 1 [1].

Углеводороды являются основными компонентами нефти, составляя до 90–95 % ее объема, однако для экологической токсикологии представляют интерес только те вещества, которые обладают таким свойством, как биодоступность. В данном контексте под этим понятием подразумевают способность к взаимодействию с живыми организмами немеханическим путем. Относительно нефтяных углеводо-

родов это будут преимущественно соединения, находящиеся в воде в растворенном виде или в виде эмульсии (нефть в воде или вода в нефти).

Углеводороды, входящие в водорастворимую фракцию нефти, проявляют себя как экотоксиканты, оказывая воздействие на жизнедеятельность рыб, причем в ряде публикаций однозначно указывается, что именно нефтяное загрязнение становится причиной негативных процессов в экосистемах, вплоть до исчезновения отдельных видов рыб [2].

Несмотря на то, что в последние 10 лет наметилась отчетливая тенденция снижения выявляемых концентраций углеводородов в воде реки Волги и в Каспийском море [3], исследования, касающиеся влияния нефтяного загрязнения на гидробионтов, не потеряли своей актуальности. Особенно это касается таких аспектов проблемы, как установление несомненных последствий для биоты от деятельности нефтяных компаний, в т. ч. и на шельфе морей. Этот вопрос является не академический, а имеет непосредственное практическое значение. Существует огромный массив исследований, авторы которых аргументировано доказывают вред тех или иных воздействий на биоту при попадании в окружающую среду нефти или ее компонентов. В частности, показывается ухудшение кормовой базы рыб, обеднение видового состава планктона и бентосных беспозвоночных, непосредственное влияние на личинки и молодь рыб [4], отмечаются патологические изменения и функциональные отклонения в организме рыб [5]. При этом доказательством вреда зачастую является сам факт выявления каких-либо изменений.

Однако необходимо принимать во внимание, что биологические системы очень чувствительны ко многим воздействиям, соответственно, на определенном уровне организации биосистемы в большинстве случаев можно обнаружить те или иные изменения, при условии, что уровень интенсивности воздействия выше порогового.

Одной из форм проявления взаимодействия организма с загрязняющим веществом является биоаккумуляция поллютанта. Водная среда наиболее благоприятна для биоаккумуляции токсикантов по сравнению с воздушной средой. В воде обитают множество организмов, пропускающих через себя массы воды, экстрагируя таким образом, способные к кумуляции вещества. Гидробионты способны накапливать вещества, в концентрациях на несколько порядков превышающие таковые в воде.

Целью работы является определение уровня кумуляции углеводородов в вобле в многолетнем и сезонном аспектах.

Материалы и методы исследований

Материалом для анализа послужил массив данных по содержанию углеводородов в мышцах и внутренних органах воблы (*Rutilus caspicus*), начиная с 2007 г. Для анализа использовались рыбы, отловленные в нижней части дельты Волги.

Углеводороды определяли методом ИК-спектрофотометрии, алифатические углеводороды считали нефтяными [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Вобла является многочисленным видом, важным компонентом ихтиофауны Нижней Волги и Северного Каспия. Основу пищевого рациона воблы составляют ракообразные, черви, моллюски, а также растительный детрит. Ведущая роль в питании рыб принадлежит ракообразным (порядка 70 %), наибольшее предпочтение отдается кумовым ракам – около 50 % и в меньшей степени – ракушковым (*Ostracoda*). Дополняют пищу черви, из моллюсков наиболее часто в разные годы в желудках присутствовали *Hydris agusticostata*. Как правило, распространение воблы ограничивается 14–15-метровой изобатой и 12 % изогалиной [7].

Как вид, совершающий ежегодные нерестовые миграции, вобла подвержена влиянию загрязнения как в реке, так и в море во время летнего нагула.

На рис. 1 представлено изменение величины накопления углеводородов в мышцах и внутренних органах воблы.

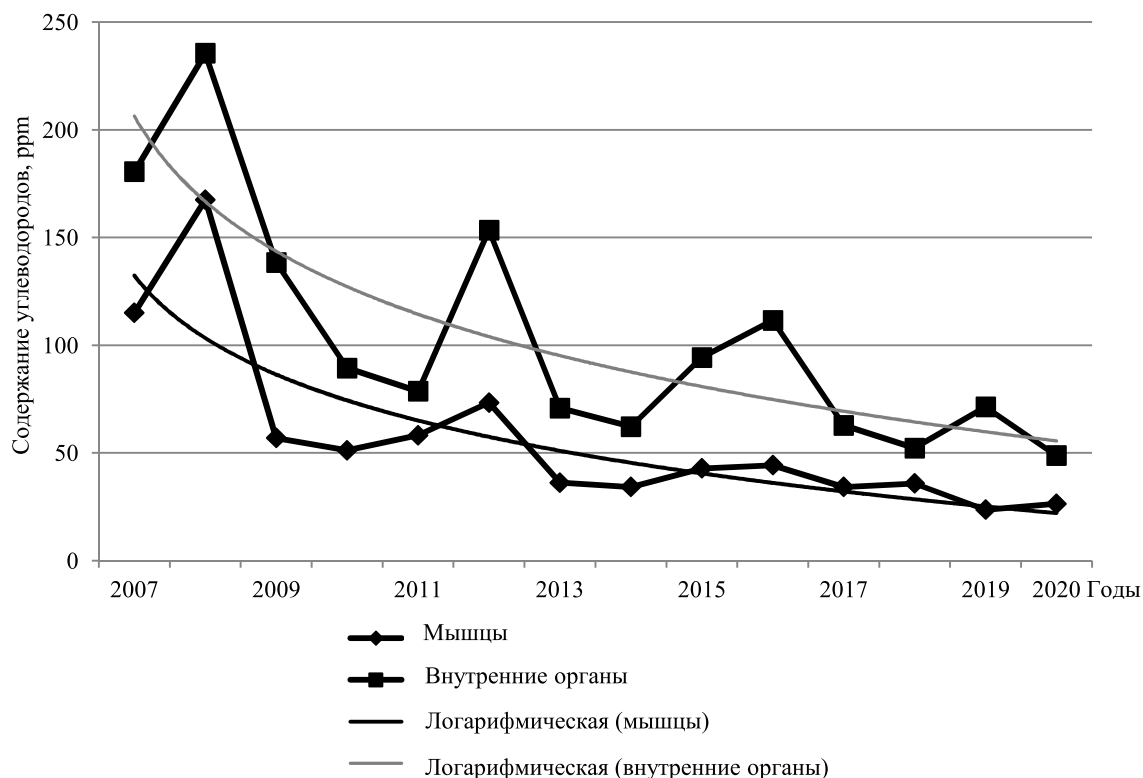


Рис. 1. Содержание углеводородов в вобле в 2007–2020 гг. в летний период

Fig. 1. The content of hydrocarbons in the roach in 2007-2020 in the summer period

Выявлено, что максимальное накопление нефтяных углеводородов в мышцах воблы приходилось на 2008 г. (167,5 ppm). В течение всего рассматриваемого периода наблюдалась выраженная тенденция

снижения данного показателя. Соответственно, минимальное значение отмечено в 2019 г. – 23,6 ppm.

Динамика накопления нефтяных углеводородов в печени и кишечнике (составляли объединенную

пробу «внутренние органы») в целом повторяет таковую в мышцах. Максимальная и минимальная отмеченные концентрации были соответственно 235,5 и 48,7 ppm сырой массы пробы.

Резорбция ксенобиотиков в организм рыб осмотическим путем через поверхности, контактирующие с водой, для многих веществ имеет определяющее значение. Это касается главным образом гидрофильных соединений, растворимых низкомолекулярных соединений, ионов (в частности, ионов тяжелых металлов). Что касается высокомолекулярных соединений и/или липофильных веществ, то основным путем проникновения в организм из окружающей среды будет, по всей видимости, алиментарный. Таким образом, те липофильные вещества, которые не будут выведены из организма посредством транспортных процессов, попадают в кровь через слизистые желудочно-кишечного тракта. Вещества, всосавшиеся в кишечнике, проходят через воротную систему печени. Следовательно, поступившие алиментарным путем углеводороды после резорбции будут в первую очередь поступать

в кишечник и печень и только затем перераспределены с током крови по организму, в т. ч. и в мышцы. При этом не следует забывать, что часть углеводов, попадая в печень, будет подвергнута метаболизму, и их концентрация в крови, отходящей от печени, ожидаемо будет ниже. Таким образом, меньший уровень накопления углеводов в мышцах по сравнению с печенью и кишечником определяется рядом факторов, такими, как анатомия и метаболическими процессами.

Поскольку нагульный период у рыб характеризуется, в частности, увеличением содержания в организме жира, вполне возможно ожидать, что к осени должно одновременно наблюдаться увеличение содержания ряда липофильных веществ экзогенного происхождения при условии их персистирования в окружающей среде.

В период 2007–2012 гг. была выявлена однозначно выраженная закономерность увеличения концентрации содержания углеводов в воле от лета к осени (рис. 2).

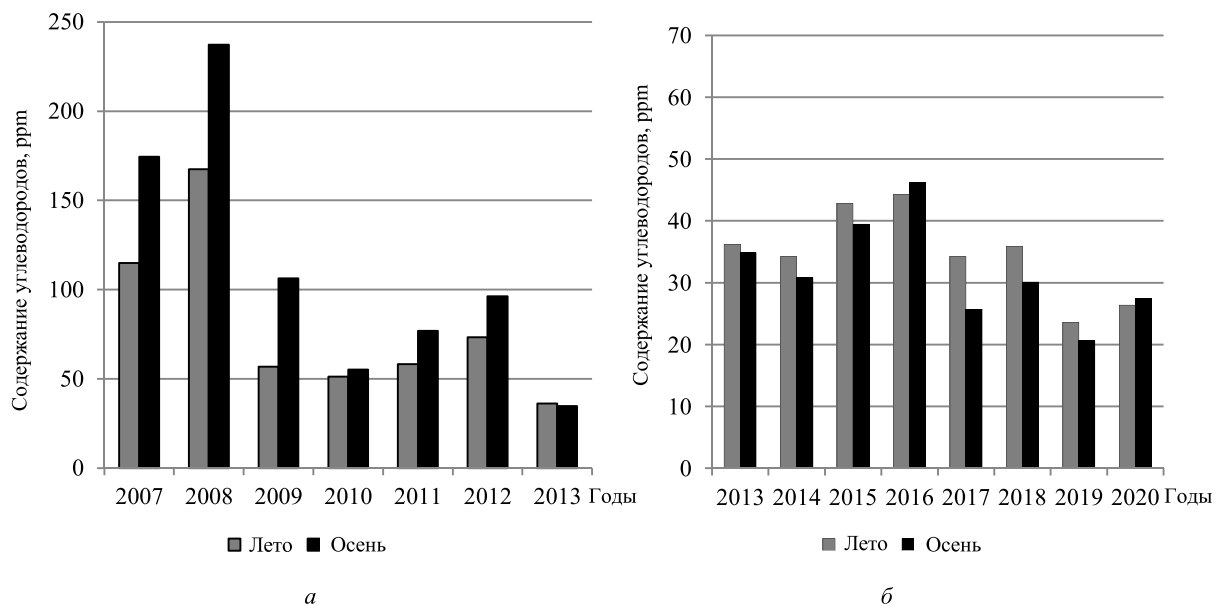


Рис. 2. Содержание углеводов в мышцах воли летом и осенью в 2007–2013 гг. (а) и 2013–2020 гг. (б)

Fig. 2. The content of hydrocarbons in the muscles of the roach in summer and autumn in 2007-2013 (a) and 2013-2020 (b)

На гистограммах видно, что осенние показатели накопления углеводов в мышцах воли чем больше превышают летние показатели того же года наблюдений, тем больше было выявлено углеводов летом. Так, в 2007–2008 гг. осенний уровень накопления превышал летние показатели соответ-

ственно на 41,6 и 51,7 %, а, например, в 2011 г. – только на 32,1 %.

Аналогично отмечается при накоплении углеводов во внутренних органах (печени, кишечнике) (рис. 3).

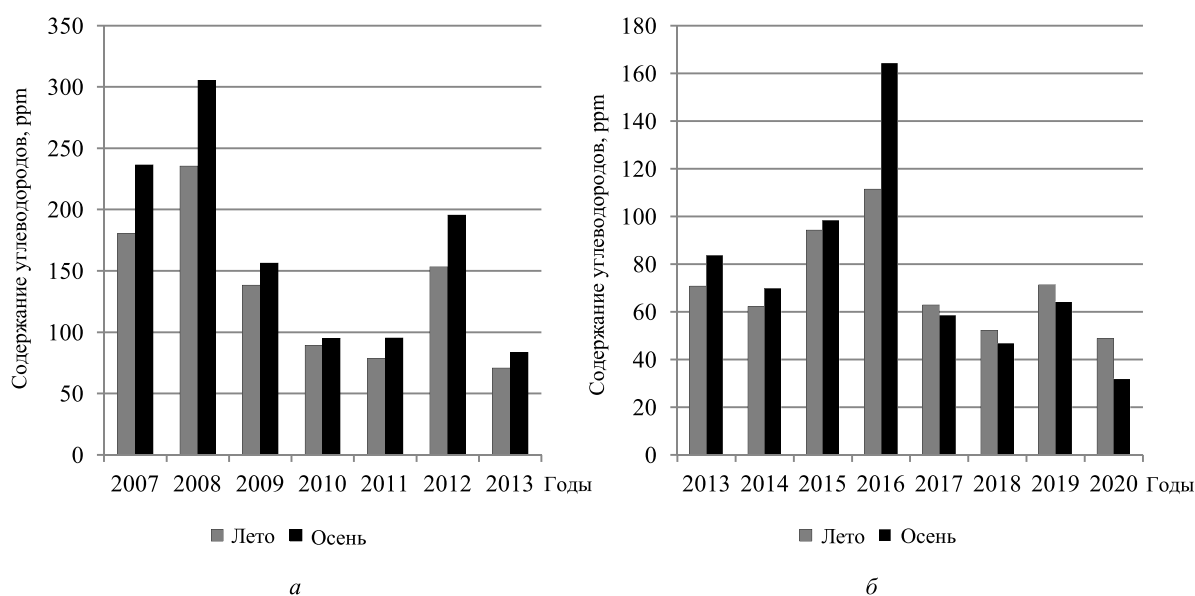


Рис. 3. Содержание углеводородов во внутренних органах воблы летом и осенью в 2007–2013 гг. (а) и 2013–2020 гг. (б)

Fig. 3. The content of hydrocarbons in the internal organs of the roach in summer and autumn in 2007-2013 (a) and 2013-2020 (b)

Биоаккумуляция углеводородов определяется их гидрофильными и липофильными свойствами. Гидрофильность определяет способность эффективно резорбировать через слизистые покровы в кровь, а липофильность – откладываться в жировом депо. При этом сочетание этих свойств позволяет углеводородам различных классов накапливаться в водных организмах в концентрациях, на 3–4 порядка превосходящих их концентрации в воде [8].

Одна из актуальных задач экологической токсикологии – установление условий, при которых экополлютант начинает выступать в роли экотоксиканта. Разнообразные ксенобиотики при попадании в воду наносят минимальный ущерб биосистемам в тех случаях, когда они либо обладают малой биодоступностью, либо воздействуют на экосистемы непродолжительное время вследствие их деградации или абиотической и биотической трансформации. Только вещества, длительное время персистирующие в экосистемах, являются опасными экотоксикантами. Продолжительность персистирования определяется, в свою очередь, резистентностью к процессам трансформации и/или вследствие постоянного поступления в окружающую среду.

Постоянный выброс в окружающую среду персистирующих поллютантов приводит к их накоплению, превращению в экотоксиканты для наиболее уязвимого (чувствительного) звена биосистемы [9].

Эффективность биоаккумуляции определяется соотношением скорости двух процессов – поступления в организм вещества и его элиминацией

вследствие транспортных процессов и метаболизма. Можно постулировать, что накапливаться способен любой токсикант, скорость выведения которого меньше скорости поступления в организм.

Рыбы имеют достаточно эффективную систему метаболизма ксенобиотиков, основой которой является цитохром Р 450. Таким образом, можно достоверно утверждать, что они способны метаболизировать углеводороды не менее эффективно, чем теплокровные [10].

В рассматриваемый временной интервал с 2007 по 2013 гг. уровень кумуляции углеводородов в органах и тканях воблы достоверно превышал таковой в более поздний период с 2014 по 2020 гг., исключая только 2016 г.

Принимая во внимание сезонную динамику и численные значения накопления углеводородов в вобле, можно заключить, что вплоть до 2013 г. имело место наличие ряда условий, которые способствовали выраженному накоплению углеводородов в организме воблы от лета к осени, т. е. в период ее летнего нагула. По нашему мнению, это, прежде всего, общий уровень загрязнения экосистемы углеводородами, начиная от абиотических компонентов (воды, донных осадков), до биотических, прежде всего, кормовых объектов, которые вследствие биологических особенностей способны эффективно накапливать в себе самые разнообразные вещества. При этом процессы выведения углеводородов из организма были менее эффективны.

В последующие годы процесс поступления углеводов и процессы элиминации пришли в состояние динамического равновесия. Вероятно, это связано со снижением общего уровня загрязнения среды.

Заключение

В течение рассматриваемого временного интервала произошло не просто уменьшение уровня накопления углеводов в органах и тканях воблы, а качественное изменение их динамики в рыбах. Начиная приблизительно с 2013 г. условия обитания воблы таковы, что они не способны накапливать углеводородов от весны к осени, таким образом, снижается токсическое воздействие на рыб.

Следствием биоаккумуляции являются негативные последствия организма, т. к. в критических тканях, наиболее чувствительных к повреждающе-

му действию, создаются концентрации выше пороговых, достаточных для инициации токсического процесса. Снижение уровня кумуляции углеводов осенью важно с точки зрения минимизации опасности отсроченных токсических эффектов.

Так, у полупроходных рыб при гаметогенезе и при снижении доступности корма в зимний период происходит мобилизация запасных липидов. При этом высвобождаются накопленные липофильные ксенобиотики, попадая в кровь, что также может вызывать инициацию токсического процесса.

Таким образом, отмеченные общее снижение уровня кумуляции углеводов в вобле и уменьшение сезонного накопления этих веществ является важным прогностическим признаком, который свидетельствует о благоприятных тенденциях, касающихся влияния углеводов на воблу.

Список источников

1. Иванов В. П., Сокольский А. Ф. Научные основы стратегии защиты биологических ресурсов Каспийского моря от нефтяного загрязнения. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2000. 181 с.
2. Гогмачадзе Г. Д., Гогмачадзе Т. М., Палавандишвили Н., Варшанидзе М., Лурсманашвили Н. Оценка воздействия нефтяного загрязнения на рыб // Достижения науки и техники АПК. 2004. № 8. С. 36–37.
3. Попова Э. С., Карыгина Н. В. Нефтяное загрязнение экосистемы Северного Каспия (вода, донные отложения, гидробионты) в современный период // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыб. хоз-во. 2016. № 1. С. 14–21.
4. Черкашин С. А. Отдельные аспекты влияния углеводов нефти на рыб и ракообразных // Вестн. Дальневосточ. отд-ния РАН. 2005. № 3 (121). С. 83–91.
5. Гераскин П. П., Металлов Г. Ф., Аksenov В. П., Галактионова М. Л. Нефтяное загрязнение Каспийского

моря как один из факторов негативного влияния на физиологическое состояние осетровых рыб // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений: материалы I Международ. науч.-практ. конф. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2005. С. 54–60.

6. Израэль Ю. А., Цыбань А. В. Антропогенная экология океана. М.: Гидрометеиздат, 1989. 527 с.
7. Казанчев Е. Н. Рыбы Каспийского моря. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1981. 167 с.
8. Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 247 с.
9. Куценко С. А. Основы токсикологии. СПб.: Фолиант, 2004. 715 с.
10. Карапетян О. Ш. Биомаркерная оценка состояния популяции бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* в прибрежных районах Азовского моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д., 2012. 24 с.

References

1. Ivanov V. P., Sokol'skii A. F. *Nauchnye osnovy strategii zashchity biologicheskikh resursov Kaspiiskogo moria ot nefyanogo zagriazneniia* [Scientific bases of the strategy of protection of biological resources of the Caspian Sea from oil pollution]. Astrakhan', Izd-vo KaspNIRKh, 2000. 181 p.
2. Gogmachadze G. D., Gogmachadze T. M., Palavandishvili N., Varshanidze M., Lursmanashvili N. Otsenka vozdeistviia nefyanogo zagriazneniia na ryb [Assessment of the impact of oil pollution on fish]. *Dostizheniia nauki i tekhniki APK*, 2004, no. 8. pp. 36-37.
3. Popova E. S., Karygina N. V. Neftianoe zagriaznenie ekosistemy Severnogo Kaspiia (voda, donnye otlozheniia, gidrobionty) v sovremennyi period [Oil pollution of the ecosystem of the Northern Caspian Sea (water, bottom sediments, hydrobionts) in the modern period]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seria: Rybnoe khoziaistvo*, 2016, no. 1. pp. 14–21.
4. Cherkashin S. A. Otdel'nye aspekty vliianiia uglevodorodov nefiti na ryb i rakoobraznykh [Some aspects of the influence of petroleum hydrocarbons on fish and

crustaceans]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniia RAN*, 2005, no. 3 (121). pp. 83-91.

5. Geraskin P. P., Metallov G. F., Aksenov V. P., Galaktionova M. L. Neftianoe zagriaznenie Kaspiiskogo moria kak odin iz faktorov negativnogo vliianiia na fiziologicheskoe sostoianie osetrovykh ryb [Oil pollution of the Caspian Sea as one of the factors of negative influence on the physiological state of sturgeon fish]. *Problemy sokhraneniia ekosistemy Kaspiia v usloviakh osvoeniia nefiegazovykh mestorozhdenii: materialy I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Astrakhan', Izd-vo KaspNIRKh, 2005. pp. 54-60.
6. Izrael' Iu. A., Tsyban' A. V. *Antropogennaia ekologiia okeana* [Anthropogenic ecology of the ocean]. Moscow, Gidrometeoizdat, 1989. 527 p.
7. Kazanchev E. N. *Ryby Kaspiiskogo moria* [Fishes of the Caspian Sea]. Moscow, Legkaia i pishchevaia promyshlennost', 1981. 167 p.
8. Patin S. A. *Neft' i ekologiia kontinental'nogo shelfa* [Oil and ecology of the continental shelf]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2001. 247 p.

9. Kutsenko S. A. *Osnovy toksikologii* [Fundamentals of toxicology]. Saint-Petersburg, Foliant Publ., 2004. 715 p.

10. Karapet'ian O. Sh. *Biomarkernaia otsenka sostoianiia populiatsii bychka-krugliaka Neogobius melanostomus v pribrezhnykh raionakh Azovskogo moria. Avtoreferat*

dissertatsii ... kand. biol. nauk [Biomarker assessment of the state of the population of the round goby *Neogobius melanostomus* in the coastal areas of the Sea of Azov. Diss. Abstr. ... Cand. Biol. Sci.]. Rostov-on-Don, 2012. 24 p.

Статья поступила в редакцию 26.07.2023; одобрена после рецензирования 22.08.2023; принята к публикации 06.09.2023
The article is submitted 26.07.2023; approved after reviewing 22.08.2023; accepted for publication 06.09.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Виктор Николаевич Крючков – доктор биологических наук; профессор кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; kvn394@rambler.ru

Victor N. Kryuchkov – Doctor of Biological Sciences; Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; kvn394@rambler.ru

Ирина Викторовна Мельник – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры гидробиологии и общей экологии; Астраханский государственный технический университет; irina_1melnik@mail.ru

Irina V. Melnik – Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Hydrobiology and General Ecology; Astrakhan State Technical University; irina_1melnik@mail.ru

Елизавета Владимировна Поцелуева – студент института рыбного хозяйства, биологии и природопользования; Астраханский государственный технический университет; liza.potselueva.2001@mail.ru

Elizaveta V. Potselueva – Student of the Institute of Fisheries, Biology and Environmental Management; Astrakhan State Technical University; liza.potselueva.2001@mail.ru

