

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ**УДК 504.5(556.54)****Н.В. Колпаков***

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

**АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЭСТУАРИЕВ
ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ: ОБЗОР**

Кратко проанализированы имеющиеся оценки уровня антропогенного загрязнения эстуариев южного Приморья (северо-западная часть Японского моря). Показано, что наиболее адекватно позволяют ранжировать эстуарии по качеству среды данные о концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих в реки, а также интегральный абиотический индекс (сумма степени токсичности грунтов и концентрации нефтеуглеводородов в воде и грунтах). Максимальные уровни загрязнения характерны для олигогалинных эстуариев крупных рек (Раздольная, Артемовка), промежуточная величина антропогенного воздействия свойственна мезогалинным эстуариям (реки Тесная, Гладкая, Киевка), а минимальное загрязнение отмечается в небольших полигалинных внутренних эстуариях (реки Суходол, Шкотовка, Барабашевка, Рязановка). Сделан вывод, что эстуарные экосистемы, адаптированные к высокой изменчивости факторов среды, характеризуются высоким запасом прочности по отношению к антропогенному загрязнению. Несмотря на значительный уровень последнего, определяющими динамику численности промысловых гидробионтов эстуариев Приморья остаются естественные факторы, и в первую очередь динамика пресного стока. Выводы о нормальном функционировании эстуарных экосистем и об удовлетворительном состоянии биологических ресурсов играют важную роль в организации их рационального использования. Сделано заключение, что на современном этапе в Приморье существуют определенные перспективы развития рыболовства, марикультуры, рекреационной и другой хозяйственной деятельности (строительство различных гидротехнических сооружений, дорог, мостов, трубопроводов и т.п.) в нижнем течении рек и морском побережье при условии выполнения норм природоохранного законодательства и организации экологического мониторинга происходящих изменений. Мировой и отечественный опыт показывает, что вопреки утверждениям многих пессимистов научно-технический прогресс и рост хозяйственного освоения территорий могут совмещаться с сохранением живой природы.

Ключевые слова: эстуарии, Приморье, антропогенное загрязнение, отклик биоты, биологические ресурсы.

Kolpakov N.V. Anthropogenic pollution of estuaries in south Primorye: a review // *Izv. TINRO*. — 2016. — Vol. 187. — P. 3–18.

Cited data on anthropogenic pollution of the estuaries in south Primorye (northwestern coast of the Japan Sea) are briefly reviewed and analyzed. The estuaries are ranked by concentration of pollutants in the sewage disposed to the rivers and by integrated abiotic index calculated as the sum of toxicity in the bottom sediments and concentration of petrohydrocarbons in water and grounds. By these parameters, the oligohaline estuaries of big rivers as the Razdolnaya and Artemovka have the highest level of pollution, the mesohaline estuaries as the

* Колпаков Николай Викторович, кандидат биологических наук, заведующий отделом, e-mail: kolpakov_nv@mail.ru.

Kolpakov Nickolay V., Ph.D., head of department, e-mail: kolpakov_nv@mail.ru.

Tesnaya, Gladkaya, and Kievka have the intermediate rank of anthropogenic impact, and the polyhaline estuaries of small rivers as the Sukhodol, Shkotovka, Barabashevka, and Ryazanovka are low polluted. The estuarine ecosystems are generally well-adapted to high variability of environmental factors, and therefore are highly resistant to anthropogenic pollution. There is concluded that, despite of considerable pollution in some cases, dynamics of the estuaries dwellers abundance is determined mainly by natural factors, first of all by the volume of freshwater discharge, the estuarine ecosystems in Primorye function normally, and the state of their biological resources is sufficient. Thus, fishery, aquaculture, and recreations have at present good prospects in the estuaries and adjacent marine and river waters, in parallel with other economic activity, as hydraulic constructions, certainly under condition of all requirements of the nature protection legislation and with ecological monitoring. For these water bodies, technological and economic development can successively coexist with traditional nature management and wildlife preserving.

Key words: estuary, Primorye, anthropogenic pollution, biological resources.

Введение

Глобальные изменения климата, изменения в озоновом экране планеты, деградация почв и лесов, а также загрязнение окружающей среды принято связывать с антропогенным воздействием. Это дает определенные основания для того, чтобы говорить о наступившем глобальном экологическом кризисе и даже о начале «конца света», резко отзываться о деятельности человека и даже использовать термин «какосфера» для измененной человеком биосферы (Заварзин, 2003). Однако данные объективных исследований говорят о том, что для распространившегося после работ Римского клуба алармизма нет достаточных оснований в глобальном смысле (Снакин, 2013а, б). Неприятие необоснованного экологического пессимизма вовсе не является призывом к покорению природы любой ценой, однако деятельность по охране природы и восстановлению деградировавших в результате хозяйственной деятельности экосистем должна основываться на глубоких знаниях особенностей их функционирования и умения прогнозировать тенденции их изменчивости.

В связи с интенсификацией экономического развития Приморья в последние годы (строительство и реконструкция портов, промышленных предприятий, мостов, дорог, прокладка газовых и нефтяных трубопроводов и т.д.) на страницах научной печати, а также в СМИ широко дискутируется современный статус прибрежных экосистем зал. Петра Великого и тенденции в их динамике. Очевидно, что в результате хозяйственной деятельности биоресурсы прибрежных вод Приморья, и в первую очередь зал. Петра Великого, подвержены антропогенному воздействию, в том числе загрязнению различными поллютантами (Огородникова и др., 1997; Огородникова, 2001). Вместе с тем существует широкая палитра мнений о величине этого воздействия и отклика на него биоты:

— экосистемы зал. Петра Великого испытывают интенсивное антропогенное загрязнение (Лутаенко, Ващенко, 2008; Ecological studies..., 2008, 2009*; Адрианов, 2011; Шулькин, Семькина, 2012; Adrianov, 2014), в результате которого регистрируются гистопатологические и физиологические нарушения у животных (Ващенко и др., 2006; Дуркина, Черкасова, 2007; Лукьянова, Ирейкина, 2012), негативные изменения в сообществах гидробионтов (Belan, 2003; Pavlyuk, Trebukhova, 2005; Levenets, Skriptsova, 2008; Маркина, Айздайчер, 2011) и прогрессирующая деградация его прибрежных экосистем в целом, ведущая (или уже приведшая) к утрате его хозяйственного и рекреационного значения (Чернышева, 2005; Наумов, 2008; Доклад..., 2013**) (рис. 1).

* Ecological studies and the state of the ecosystem of Amursky Bay and the estuarine zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan). Vladivostok: Dalnauka, 2008. Vol. 1. 302 p.; Ecological studies and the state of the ecosystem of Amursky Bay and the estuarine zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan). Vladivostok: Dalnauka, 2009. Vol. 2. 332 p.

** Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2012 году // Приморская газета. Официальное издание органов государственной власти Приморского края. 21 июня 2013 года. Спецвыпуск № 54(785). www.primgazeta.ru.

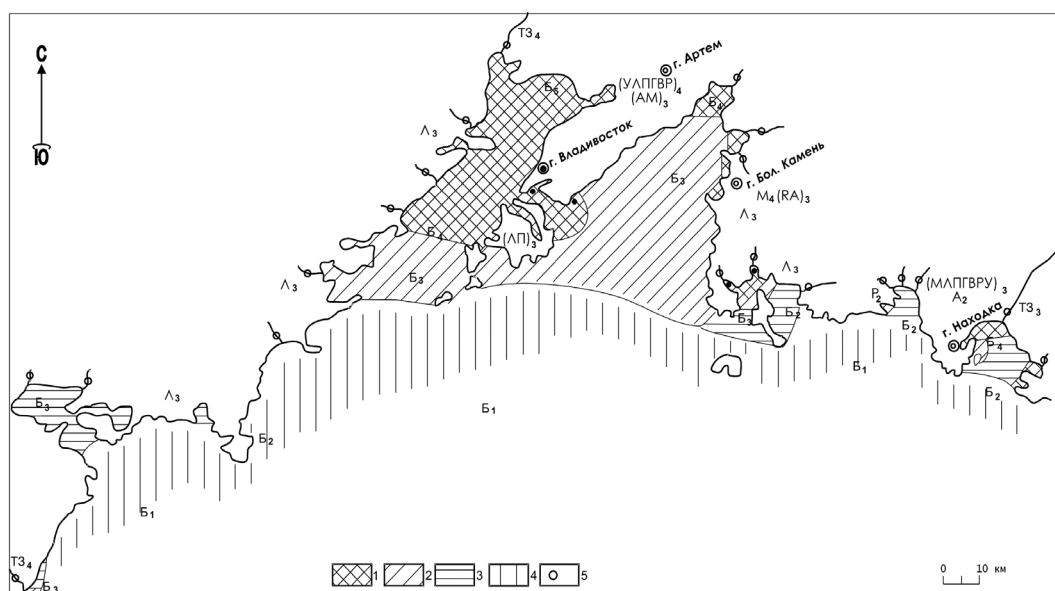


Рис. 1. Схема зал. Петра Великого с районированием по степени экологического напряжения и указанием (в баллах) экологических проблем: 1 — катастрофическое — B_5 и критическое — B_4 (с указанием точечной локальности); 2 — кризисное (B_3); 3 — напряженное (B_2); 4 — переходное от удовлетворительного к напряженному (B_1); 5 — участки рек с уровнем загрязнения B_3 и выше. Экологические проблемы с индексом балльности: А — атмосферная, Б — биотическая, В — водная, Г — геолого-геоморфологическая, Л — лесная, П — почвенная, Р — рекреационная, М — медико-географическая (антропо-экологическая), R — радиационная, V — урбанистическая, T3 — трансграничного загрязнения через реки (по: Наумов, 2008)

Fig. 1. Scheme of Peter the Great Bay with division by ecological tension and rank of environmental problems: 1 — catastrophic (B_5) or critical (B_4); 2 — crisis (B_3); 3 — stress (B_2); 4 — transitional from sufficient to stress (B_1); 5 — sites of the rivers with the level of pollution B_3 and higher. Types of environmental problems (ranks are shown): A — atmospheric, Б — biotic, В — water, Г — geological and geomorphological, Л — forest, П — soil, Р — recreational, М — medical (anthropo-ecological), R — radioactive, V — urbanistic, T3 — cross-border pollution by rivers (by: Наумов, 2008)

Особенно категоричны в своих оценках представители СМИ (Бондаренко, 2007*: «мертвое море»; Рогов, 2015**: «зона экологического бедствия»; Ангарская, 2015***: «из грязи в порто-франко» и т.д.);

— высокий уровень загрязнения пока характерен лишь для локальных районов и бухт залива (бухта Золотой Рог, зал. Находка, кутовая часть Амурского залива), на остальной акватории его уровень невелик и экосистема залива функционирует нормально (Огородникова, 2001; Шунтов, 2001);

— отмечается тенденция к стабилизации экологической обстановки в связи со снижением антропогенного воздействия в результате спада промышленного производства (Лукиянова и др., 2012а), при этом биоресурсы зал. Петра Великого находятся в удовлетворительном состоянии, их динамика определяется преимущественно естественными факторами, а экосистемные услуги его прибрежных вод весьма высоки (Огородникова, Нигмагулина, 2002; Вдовин и др., 2004; Седова и др., 2005; Борисовец, Седова, 2010; Лукиянова и др., 2010а; Головащенко, Лукиянова, 2012; Кручинин и др., 2012; Вдовин,

* Бондаренко А. Мертвое море. Состояние залива Петра Великого и воздуха в краевом центре близко к катастрофическому // Российская газета (Приморский край). № 4536. 6 декабря 2007 г. <http://www.rg.ru/2007/12/06/reg-primorie/mertvoemore.html>.

** Рогов Ю. Во Владивостоке Амурский залив остается зоной экологического бедствия // Дальневосточная газета «Золотой Рог». 2015. № 19. <http://www.zrpress.ru/zr/2015/19/>.

*** Ангарская И. Из грязи в порто-франко // Далекая окraina. 31.07.2015. http://www.dalekayaokraina.ru/lenta/obwestvo/iz_gryazi_-_v_porto-franko/.

Соломатов, 2013; Большаков, 2014; Калчугин и др., 2015); качественные и количественные показатели макробентосных сообществ зал. Петра Великого на протяжении многих лет демонстрируют стабильность (Надточий и др., 2005), их продукционные показатели остаются высокими (Дулепова и др., 2008), прибрежное мелководье Приморья, благодаря высокой продуктивности своих вод, является перспективным районом для развития марикультуры (Гаврилова, 2012). Так, общий допустимый улов и возможный вылов в водах Приморья (южнее мыса Золотого) на 2015 г. составляли около 60 тыс. т (без южных мигрантов), в том числе рыбы — 41,3 тыс. т, крабы и креветки — 10,5 тыс. т, прочие беспозвоночные — 4,6 тыс. т, водоросли и травы — 3,0 тыс. т*. Кроме того, в зал. Петра Великого около 30 марикультурных хозяйств ежегодно культивируют 2–3 тыс. т гидробионтов, при этом считается возможным увеличение объема выпуска товарной продукции до 100 тыс. т (Гаврилова, 2012; Гайван и др., 2012) и даже до 628 тыс. т (Масленников, 2012).

Адекватная оценка текущего состояния как экосистемы в целом, так и биоресурсов в частности — весьма важный вопрос с далеко идущими практическими следствиями. Альтернативные оценки ведут к принятию взаимоисключающих управленческих решений: при удовлетворительном состоянии залива это организация масштабного хозяйства, в котором есть место промыслу, рекреации и марикультуре; при неудовлетворительном — необходимость прекратить промысел и развитие марикультуры, расширить заповедные и охраняемые акватории и тем самым сохранить биоразнообразие залива для благодарного человечества (Соколовский, Соколовская, 2007).

В результате активной хозяйственной деятельности также подвергаются загрязнению токсичными химическими веществами (поступление промышленных и бытовых стоков, смыв с полей пестицидов и т.д.) и эстуарии Приморья. Эстуарии — переходные зоны между морскими и пресноводными местообитаниями с выраженным градиентом солености и изменчивым гидрологическим режимом. Они являются нагульными биотопами и убежищами для многих морских и проходных гидробионтов (в первую очередь их молоди), многие из которых имеют промысловое значение. Эстуарные экосистемы характеризуются высоким уровнем продуцирования органического вещества (Уиттекер, 1980; Одум, 1986). Эстуарии часто имеют важное экономическое и социальное значение, прилегают к густонаселенным районам и находятся под неблагоприятным воздействием антропогенного пресса (Howarth et al., 2000, 2002; McLusky, Elliott, 2004; Zonta et al., 2007; Алимов, Голубков, 2008). С одной стороны, они играют важнейшую роль в обмене информацией и энергией между пресными водами суши и морем, с другой, благодаря работе маргинального фильтра (Лисицын, 1994), становятся мощным барьером на пути поступления загрязнений в прибрежную зону моря. Благодаря работе маргинального фильтра в этих зонах задерживается 90–95 % взвешенных и 30–40 % растворенных веществ, включая поллютанты (например, до 80 % алифатических углеводородов) (Лисицын, 2004; Немировская, 2008). В связи с этим уровень загрязнения эстуариев может быть существенно выше по сравнению с речными водами и прилегающими участками моря, что должно негативно сказываться на состоянии их биоты.

До начала 2000-х гг. данные о загрязнении эстуарных зон Приморья в основном исчерпывались оценками поступления сточных вод из рек в побережье зал. Петра Великого (Огородникова и др., 1997; Нигматулина, 2005) и состояния среды нижнего течения рек Туманной и Раздольной (Экологическое состояние..., 2000*; Состояние морских экосистем..., 2005; Шулькин, 2007). Также имелись сведения о массовой гибели красноперок и пиленгаса во время зимних заморозов, вызванных промышленными и коммунально-бытовыми стоками г. Уссурийск (Мизюркина, 1982а, б), и результаты санитарного исследования корбикулы р. Раздольной (Явнов, Раков, 2002; Симакова, 2009).

* Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по Дальневосточному рыбохозяйственному бассейну на 2015 г. (краткая версия). Владивосток: ТИПРО-центр, 2015. 373 с.

** Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. Владивосток: Дальнаука, 2000. Т. 1. 206 с.

Этих данных совершенно недостаточно для оценки современного уровня антропогенного загрязнения эстуарных зон и его влияния на биоту, а также для организации рационального использования эстуарных биоресурсов. Для вынесения обоснованных суждений о статусе экосистем нужны не эмоции, а достоверные знания и количественные оценки (Шунтов, 2009). Поэтому в 2007–2011 гг. сотрудниками ТИНРО-центра предприняты попытки оценки качества донных осадков и воды в эстуариях Приморья с помощью ряда методов и подходов (определение содержания тяжелых металлов, нефтеуглеводородов, хлорорганических соединений, биотестирование, оценка объема загрязняющих веществ, поступающих со сточными водами) (Лукьянова и др., 2008, 2009, 2010б, 2012б; Chernyaev, Lukyanova, 2008; Lukyanova et al., 2008, 2009a, b; Важдова и др., 2009, 2011; Коведковдова, Симоконо, 2010; Колпаков и др., 2010). Для измерения уровня воздействия антропогенного загрязнения на метаболизм гидробионтов определены молекулярные биомаркеры окислительного стресса и биотрансформации поллютантов у японского мохнаторукого краба *Eriocheir japonica*, а также у пиленгаса *Liza haematocheilus* в ряде эстуариев (Даниленко, Лукьянова, 2014а, б).

В настоящем обзоре кратко проанализированы полученные результаты для оценки текущего уровня загрязнения эстуариев Приморья, а также подбора критериев для их ранжирования по величине отклика биоты на воздействие поллютантов.

Результаты и их обсуждение

Количество загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих в реки, прямо пропорционально величине их водосборных бассейнов (табл. 1) и объему пресного стока (Будаева и др., 2010; Важдова и др., 2011). Например, в 2005 г. количество ЗВ, поступивших в реки со сточными водами, снижалось в ряду Раздольная — Барабашевка — Артемовка — Шкотовка — Суходол с 20173 до 5 т/год (от более крупных рек к мелким). Концентрация ЗВ была максимальной в р. Раздольной (1,4 кг/м³), а минимальной в р. Барабашевка (0,3 кг/м³) (Важдова и др., 2011).

Таблица 1

Некоторые характеристики обследованных рек

Table 1

Some features of investigated rivers

Река	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Длина внутр. эстуария, км	Тип внутр. эстуария
Раздольная	191	6820	25,0 (42)	О
Артемовка	73	1460	8,0 (10)	О
Партизанская	142	4140	8,0	М
Киевка	105	3120	11,0	М
Аввакумовка	67	3170	11,0	М
Гладкая	44	458	4,0	М
Тесная	22	339	1,2	М
Барабашевка	61	576	1,5	П
Шкотовка	59	714	0,5	П
Суходол	45	617	2,0	П
Нарва	39	340	0,8	П
Рязановка	34	155	0,2	П

Примечание. Тип эстуария: О — олигогалинный, М — мезогалинный, П — полигалинный; (42) — максимальная протяженность участка проникновения морских вод в прошлом; (10) — с учетом р. Кневичанка.

Оценки концентраций металлов (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) и мышьяка As в донных отложениях ряда эстуариев зал. Петра Великого (Коведковдова, Симоконо, 2010) показывают их современный уровень, но не позволяют комплексно оценить состояние эстуариев. В отношении одних веществ состояние среды может быть удовлетворительным, а концентрации других могут многократно превышать ПДК, при этом в биологическом отношении степень загрязнения варьирует от уровня, при котором изменения в сообществах не наблюдаются, до уровня, при котором происходит

их полная деградация (Мощенко, Шайхлисламова, 2010). Кроме того, известно много случаев, когда содержание токсикантов было ниже ПДК, а среда проявляла значительную токсичность вследствие синергического эффекта или присутствия неучтенных веществ (Флеров, 1983; Черняев и др., 2006).

Оценка общей токсичности грунтов с помощью биотестирования (тест-объекты — мизиды) показала (Лукиянова и др., 2010а): 1 — более высокую токсичность грунтов внутренних эстуариев по сравнению с внешними, что подтверждает эффективный захват ЗВ на границе река-море; 2 — более высокую токсичность грунтов в олигогалинных и мезогалинных* эстуариях (Раздольная, Артемовка, Гладкая, Киевка) по сравнению с внутренними полигалинными (Рязановка, Барабашевка, Суходол).

Среди ЗВ, накапливающихся в осадках, нефтяные углеводороды (НУ) относятся к группе наиболее токсичных соединений (Патин, 2008). Результаты оценки содержания НУ в воде и донных отложениях рек (Раздольная, Гладкая, Барабашевка, Рязановка, Артемовка, Суходол) показали общий невысокий уровень нефтяного загрязнения эстуарных зон Приморья (Лукиянова и др., 2010а). Повышенные концентрации НУ обнаруживаются в устьях тех рек, бассейны которых наиболее заселены людьми (р. Артемовка (г. Артем), р. Раздольная (г. Уссурийск)), причем превышение ПДК в воде может достигать 4 раз. Наибольшее содержание НУ определено в грунтах внутренних эстуариев.

Другой группой поллютантов, попадающих в прибрежно-эстуарные зоны, являются стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) — хлорорганические соединения, отличающиеся высокой токсичностью, чрезвычайной биологической активностью, необычайной устойчивостью к действию природных факторов и способностью накапливаться в различных звеньях пищевой цепи. Они воздействуют на все компоненты природных экосистем, в том числе и на человека. Среди СОЗ наиболее часто встречаются полихлорированные бифенилы и хлорорганические пестициды — гексахлорбензол, смесь изомеров α , β и γ гексахлорциклогексана и дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) с его метаболитами. Несмотря на постепенное сокращение применения СОЗ в хозяйственной деятельности, они продолжают загрязнять окружающую среду и в настоящее время присутствуют практически по всему миру во всех объектах окружающей среды, включая живые организмы. Исследование донных отложений из эстуариев рек Раздольная, Суходол и Гладкая позволило выявить различные группы СОЗ во всех исследованных образцах (Лукиянова и др., 2012б). Самые высокие уровни всех СОЗ зарегистрированы в р. Раздольной, где их содержание выше международных экологически безопасных норм**. При этом в наибольших количествах обнаруживаются ДДТ и его метаболиты и полихлорированные бифенилы, меньше всего выявляется гексахлорбензол. Для рек Суходол и Гладкая отмечено превышение норм только по содержанию в донных осадках ДДТ.

Содержание хлорорганических пестицидов (изомеры гексахлорциклогексана, ДДТ и его метаболиты) оценено в мышцах мелкочешуйной красноперки из рек Раздольная и Артемовка, в бассейнах которых наиболее развито сельское хозяйство***. Сумма хлорорганических пестицидов в мышцах рыб составила в среднем 69,4 нг/г для р. Раздольной и 57,2 нг/г для р. Артемовка, что во много раз ниже норматива СанПиН 2.3.2.1078-01 (200 мг/кг сырой массы) (Лукиянова и др., 2010а).

В эстуариях рек Тесная, Раздольная, Артемовка, Шкотовка и Суходол бассейна зал. Петра Великого выполнено сравнительное исследование функционального со-

* По преобладающей величине солености поверхностных вод эстуарии Приморья (естественно, с некоторыми допущениями) разделяются на три группы: полигалинные (18,0–30,0 ‰), мезогалинные (5,0–18,0 ‰), олигогалинные (0,5–5,0 ‰). Полигалинные эстуарии включают две подгруппы: внешние (т.е. прилегающие опресненные участки моря) — 24–30 ‰ — и внутренние (сильно осолоненные речные зоны) — 18–24 ‰ (Колпаков, 2016).

** Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Polychlorinated biphenyls (PCBs). Updated. Winnipeg: Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002. 7 p.

*** Regional overview on river and direct inputs of contaminants into the marine and coastal environment in NOWPAP region : NOWPAP POMRAC. Tech. Rep. № 4. Vladivostok, 2006. 64 p.

стояния водных организмов с помощью молекулярных биомаркеров — биохимических показателей, которые свидетельствуют как о воздействии токсиканта, так и об ответной реакции организма. Для биохимического мониторинга в качестве вида-индикатора использован японский мохнаторукий краб (Даниленко, Лукьянова, 2014б). В гепатопанкреасе и жабрах определены показатели окислительного стресса и биотрансформации: активность ферментов глутатион-S-трансферазы, каталазы, супероксиддисмутазы, концентрация восстановленного глутатиона и уровень перекисного окисления липидов. Кроме анализа изменчивости этих показателей по отдельности, использован и более продвинутый подход — объединение их значений в одну цифру интегрального биохимического индекса, при этом предполагается ухудшение физиологического состояния крабов при увеличении этого индекса. На основе рассчитанных значений индекса исследованные эстуарии ранжированы (в порядке ухудшения качества среды обитания) следующим образом: Шкотовка — Суходол — Артемовка — Раздольная — Тесная (рис. 2).

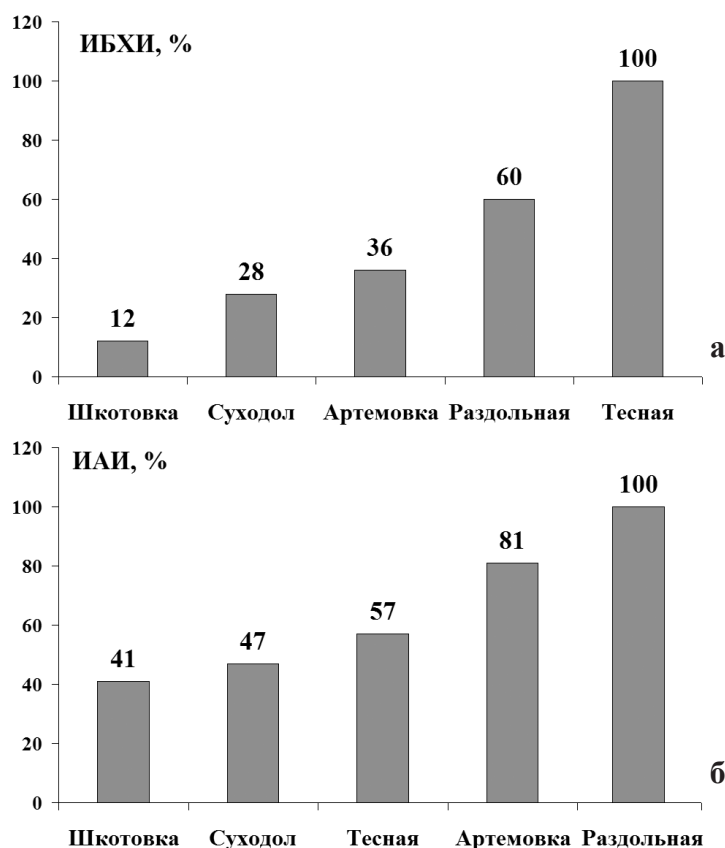


Рис. 2. Значения интегрального биохимического индекса (ИБХИ, % от максимального) в жабрах мохнаторукого краба (а) и значения интегрального абиотического индекса (ИАИ, % от максимального) (б) для ряда эстуариев зал. Петра Великого (по данным из: Даниленко, Лукьянова, 2014б)

Fig. 2. Integral biochemical index (ИБХИ, % of maximum level) values for gills of Japanese mitten crab (а) and integral abiotic index (ИАИ, % of maximum level) for some estuaries of Peter the Great Bay (б) (by the data from: Даниленко, Лукьянова, 2014б)

Следует отметить, что, несмотря на ряд преимуществ биомаркеров и их интегральных индексов над химическими показателями (Лукьянова, Ирейкина, 2012; Лукьянова, 2014), интерпретация данных биохимического мониторинга связана с существенными трудностями. Во-первых, при действии поллютантов активность конкретного фермента, как правило, возрастает, однако при хроническом загрязнении может наступать ингибирование его активности (Кесельман и др., 1997; Борвинская и

др., 2009). В рамках теории возмущений «*perturbation theory*» такая зависимость соответствует градиенту субсидии-стресса (Odum et al., 1979; Одум, 1986) (рис. 3). При этом в каждом конкретном случае неясно, с каким уровнем активности фермента мы имеем дело — с повышенным или ингибированным. Во-вторых, в эстуариях преобладают изначально морские и пресноводные эврибионтные всеядные формы (оппортунисты), адаптированные к высокой изменчивости факторов среды и устойчивые к различным воздействиям, включая присутствие неорганических и органических загрязнителей (Elliott, Quintino, 2007). Для речных экосистем Приморья экстремальные события (паводки) вообще признаются необходимым условием стабильного существования (Богатов, 2003, 2012). При этом затруднительно разделение изменений, вызванных антропогенным воздействием и природным стрессом.

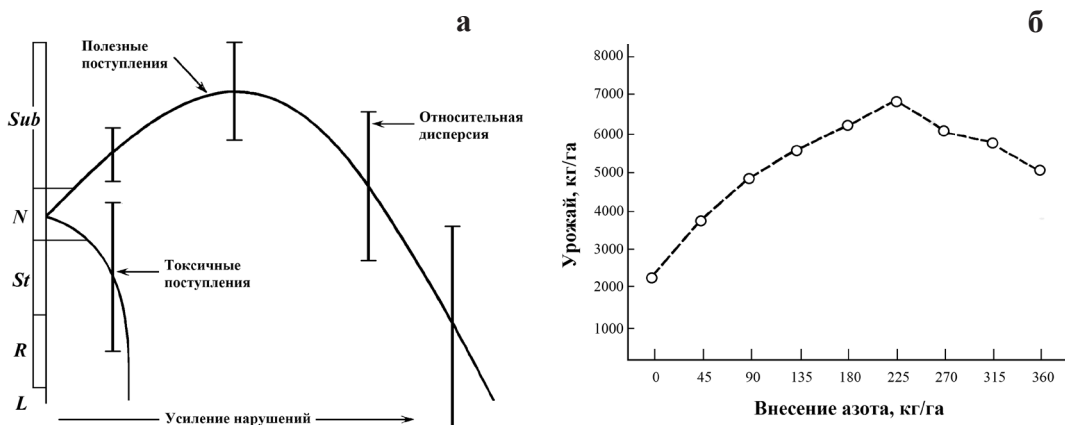


Рис. 3. Кривые субсидии-стресса: **а** — обобщенная кривая, показывающая, как увеличение поступления энергии или вещества может вывести систему из диапазона обычного функционирования (*N*) (если система может использовать этот излишек, то ее основные функции, например продуктивность, при умеренных уровнях повышения притока могут усиливаться (эффект субсидии — *Sub*), но при дальнейшем увеличении притока эти функции начинают подавляться (эффект стресса — *St*); если поступают ядовитые вещества, функции подавляются и высока вероятность того, что сообщество заменится другим, более толерантным, или экосистема вообще погибнет. *R* — замещение, *L* — гибель.); **б** — эффекты субсидии и стресса от увеличения внесения азотных удобрений под кукурузу (при неизменном количестве фосфорных удобрений) (Одум, 1986: рис. 3.5 с изменениями)

Fig. 3. Curves of subsidy-stress gradient: **a** — generalized curve showing how and increasing of energy or matter input can move a system out of the range of its normal functioning (*N*) (If a system is able to use this surplus, then its main functions, as productivity, can amplify in case of moderate levels of the input increasing, that is known as the effect of subsidy — *Sub*, but further increasing suppresses these functions, that is known as the effect of stress — *St*. Toxic agents suppress the ecosystem functions and either its community is replaced by more tolerant one, or the ecosystem dies: *R* — replacement, *L* — elimination); **б** — effects of subsidy and stress on example of the corn fertilized by nitrogen with constant fertilization by phosphoric (Одум, 1986: Fig. 3.5 with changes)

Например, данные о физиологическом состоянии японского мохнаторукого краба из работы С.А. Даниленко и О.Н. Лукьяновой (2014а) свидетельствуют, что наибольший стресс испытывают крабы из эстуария р. Тесной, где отмечены высокий уровень перекисного окисления липидов, повышенная активность глутатион-S-трансферазы и минимальная активность каталазы, т.е. имеются признаки подавления антиоксидантного потенциала. Но, на наш взгляд, эти данные нельзя однозначно трактовать как отражение уровня загрязнения. Трудно представить, что величина загрязнения эстуария небольшой р. Тесной (табл. 1), в бассейне которой нет масштабной хозяйственной деятельности и крупных населенных пунктов, существенно выше, чем загрязнение крупной трансграничной р. Раздольной. Так как эстуарий р. Тесной является мезо-галинным (т.е. соленость воды в нем часто приближается к критической — 5–8 ‰) (Колпаков, 2016), можно полагать, что здесь физиологический стресс мохнаторукого

краба в значительной степени вызван естественными причинами, связанными с особенностями осморегуляции.

Рассчитанный на основе данных по степени токсичности грунтов и содержанию нефтяных углеводородов в воде и донных отложениях эстуариев (Лукьянова и др., 2010а) индекс загрязнения, или интегральный абиотический индекс (сумма степени токсичности и концентрации НУ в воде и грунтах эстуария), позволил ранжировать исследованные эстуарии в несколько ином порядке (Даниленко, Лукьянова, 2014а) (см. рис. 2). Учитывая весь комплекс приведенных выше данных, промежуточное положение эстуария р. Тесной между наименее загрязненными эстуариями рек Шкотовка и Суходол и наиболее загрязненными рек Артемовка и Раздольная представляется более соответствующим реальности.

Еще одним из подходов к оценке качества среды является оценка деструктивных изменений в геноме двусторчатых моллюсков под воздействием загрязнений. Генотоксический анализ методом ДНК-комет японской корбикулы *Corbicula japonica* из ряда эстуарных местообитаний зал. Петра Великого позволил ранжировать последние по степени загрязнения от самых «грязных» до самых «чистых» в следующий ряд: эстуарий р. Раздольной (включая лагуну Тихую), лагуна Лебяжья (бухта Нарва, Амурский залив), эстуарии рек Партизанская и Артемовка (Слободскова, 2012).

Кроме того, позднее генотоксический анализ клеток жабр корбикулы из эстуария р. Аввакумовка показал (Колпаков и др., наст. том), что молекула ДНК животных здесь практически не имеет деструктивных изменений, так как ДНК образует симметричное яркое ядро с незначительным количеством повреждений. Значения индекса генетического повреждения и доля ДНК в хвосте комет у корбикул р. Аввакумовка самые минимальные из исследованных. В то же время в клетках жабр моллюсков, отобранных в эстуарии р. Раздольной, молекула ДНК образует хорошо выраженные кометы, а величины индекса генетического повреждения и доля ДНК в хвосте комет — максимальные (Колпаков и др., наст. том: рис. 5, табл. 5). Таким образом, японская корбикула р. Аввакумовка обитает в благоприятных условиях и не подвергается генотоксическому воздействию, а сам эстуарий можно охарактеризовать как чистый, в минимальной степени подверженный антропогенному загрязнению.

Анализируя представленные выше результаты исследований, можно сделать следующие выводы.

- Множество данных показывает наличие загрязнений эстуариев Приморья различными поллютантами (тяжелые металлы, нефтеуглеводороды, хлорорганические соединения). В целом максимальные уровни загрязнения характерны для олигогалинных эстуариев относительно крупных рек (Раздольная, Артемовка), характеризующихся большой площадью водосборного бассейна, хорошо выраженной поймой и, соответственно, интенсивной хозяйственной деятельностью и высокой плотностью населения (табл. 1). Промежуточная величина антропогенного воздействия свойственна мезогалинным эстуариям (реки Тесная, Гладкая, Киевка). И наконец, минимальное загрязнение отмечается в небольших полигалинных внутренних эстуариях горных рек Суходол, Шкотовка, Барабашевка, Рязановка.

- В условиях растущего антропогенного пресса актуальна отработка оперативных методов комплексной оценки качества среды и изменений состава и продукционных показателей сообществ в импактных районах для принятия своевременных управленческих решений. Определение содержания ЗВ (тяжелые металлы, нефтеуглеводороды, пестициды и т.д.) в грунте и воде и сопоставление этих цифр с содержанием поллютантов в организме животных в этом плане мало что дает. Современный уровень развития экотоксикологии (набор эмпирических данных, существующие методические подходы) пока не позволяет с помощью понятных показателей ранжировать эстуарии по величине антропогенного воздействия и отклика на него биоты (например, через количественно выраженное снижение продуктивности биоценозов). Дальнейший прогресс в этом направлении, по-видимому, будет связан с разработкой различных интегральных индексов (Мощенко, Белан, 2008; Журавель, Подгурская, 2014; Лукьянова, 2014).

За рубежом в настоящее время также популярны многомерные индексы изменений структуры и функции экосистемы, включающие несколько характеристик среды и биотической составляющей. Особенно активизировалось развитие таких индексов после принятия Европейским Союзом Водной Рамочной Директивы (European Water Framework Directive (EWFD)) № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г., главная цель которой — предотвращение ухудшения состояния всех поверхностных водных объектов для достижения ими «хорошего» состояния. Многомерные индексы применяются менеджерами ресурсов и экологами, так как они объединяют разнородные данные о структуре и функции экосистемы и позволяют более целостно определить ее состояние. Разработаны такие индексы и для оценки антропогенной деградации эстуарных сообществ рыб (Hughes et al., 2002; Harrison, Whitfield, 2004, 2006). Например, индекс эстуарной биотической интегрированности включает 8 показателей: общее число видов рыб, выраженность доминирования в сообществе рыб, обилие (численность или биомасса), число нагуливающих видов, число видов, нерестящихся в эстуарии, число видов-резидентов, доля ассоциированных с дном видов и доля аномальных или больных особей (Deegan et al., 1997). Вместе с тем до настоящего времени все эти индексы далеко не совершенны и требуют дальнейшего развития, в частности улучшения корреляций между величиной антропогенного пресса и значением индекса (т.е. отклика биоты) (Perez-Dominguez et al., 2012).

В этой ситуации помочь определиться с текущим состоянием эстуарных биоценозов, на наш взгляд, может состояние сырьевой базы рыболовства и биологических ресурсов в целом, которые, как известно, являются важными показателями состояния природных сообществ, в том числе их продукционных характеристик (Шунтов, 2009).

У прибрежно-эстуарных видов в водах Приморья регистрируются отдельные морфологически и физиологически аномальные или просто больные особи (рис. 4), что считается результатом воздействия поллютантов (Сяпина, Соколовский, 1997, 2001; Дуркина, Черкасова, 2007). Однако в общем биологические ресурсы эстуариев находятся в удовлетворительном состоянии. Об этом свидетельствуют следующие факты: относительно высокое обилие и разнообразие прибрежно-эстуарных биоресурсов (Борисовец, Седова, 2010; Большаков, 2014) (табл. 2); длительная история поставок на внешние рынки (в основном в Японию) двустворчатых моллюсков японской корбикулы (из р. Раздольной) и анадары *Anadara broughtonii* (вылов в куту Амурского

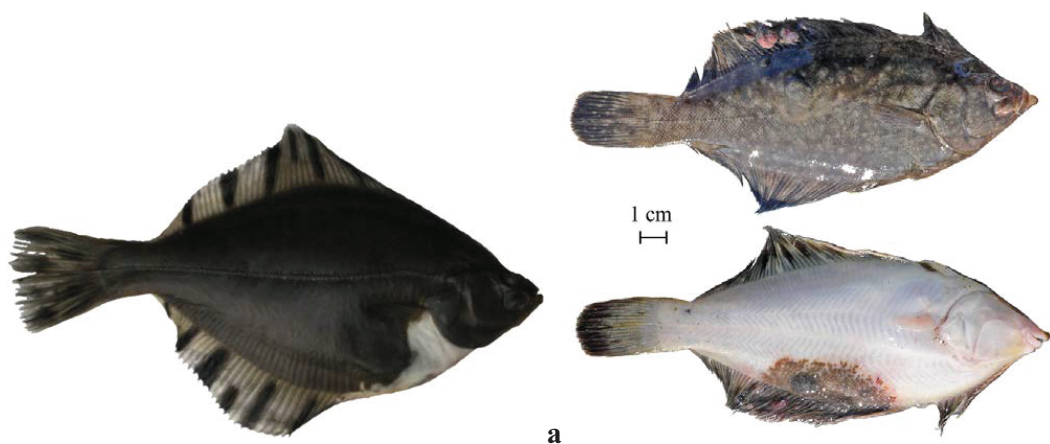


Рис. 4. Аномальные особи камбал: **а** — полосатая камбала *Liopsetta pinnifasciata* с необычной окраской (Тавричанский лиман, 24.04.2006, фото А.Ю. Семенченко); **б** — темная камбала *Liopsetta obscura* с опухольми кожи (внешний эстуарий безымянного ключа в бухте Перевозной, западное побережье Амурского залива, 21.11.2008, фото П.Г. Милованкина)

Fig. 4. Abnormal individuals of flatfish: **a** — striped flounder *Liopsetta pinnifasciata* with unusual coloring (Tavrichansky Liman, April 24, 2006, photo by A. Yu. Semenchenko); **b** — dark flounder *Liopsetta obscura* with skin tumors (external estuary of the nameless spring in the Perevoznaya Bay, the western Amur Bay, November 21, 2008, photo by P.G. Milovankin)

и Уссурийского заливов) без санитарных рекламаций; не превышающее предельно допустимых уровней содержание токсичных элементов в мышцах красноперок рода *Tribolodon*, пиленгаса *Liza haematocheilus*, серебряного карася *Carassius gibelio* (Ковкевича, Симонов, 2010; Лукьянова и др., 2010а); появление высокоурожайных поколений у ряда эстуарных видов (красноперки, пиленгас, корюшки (сем. *Osmeridae*), японский мохнаторукий краб) начиная с 2006 г. (Колпаков и др., 2010; Шунтов и др., 2010; Колпаков, Семенова, 2012; Большаков, 2014). При этом динамика численности промысловых объектов определяется преимущественно естественными причинами, в частности многолетней изменчивостью водности рек (Вдовин и др., 2015). Все перечисленное свидетельствует о нормальном функционировании эстуарных экосистем и подтверждает высокий запас их прочности. Присоединяясь к наиболее взвешенным оценкам (Огородникова, 2001; Шунтов, 2001, 2009; Лукьянова, Христофорова, 2013; Майоров и др., 2013), можно считать, что, несмотря на значительное антропогенное воздействие, ведущими в распределении и развитии эстуарной биоты Приморья в настоящее время остаются естественные факторы.

Таблица 2

Прогноз промыслового запаса прибрежно-эстуарных видов гидробионтов в южной части подзоны Приморье (к югу от мыса Золотого) на 2015 г.*

Table 2

Forecast of coastal-estuarine commercial stocks (10^3 t) in the southern part of the fishery subzone Primorye (southward from Cape Zolotoy) for 2015*

Объект	Промзапас, тыс. т
Азиатская зубастая корюшка	1,26
Морская малоротая корюшка	1,27
Японская малоротая корюшка	0,50
Красноперки-угаи дальневосточные	13,60
Кефаль (лобан)	1,00
Пиленгас	0,60
Пресноводные виды рыб (амурский сазан, серебряный карась и др.)	0,16
Японский мохнаторукий краб	1,0–2,0*
Травяная креветка	0,02
Мизиды	0,37
Анадара	9,95
Японская корбикула	9,94
Медуза-корнерот	29,00
Всего	67,93

* При повышенной численности в 2008–2009 гг. (Колпаков, Семенова, 2012).

Таким образом, на современном этапе воды Приморья являются, как и ранее, перспективными для развития рыболовства, марикультуры и рекреационной деятельности при условии выполнения норм природоохранного законодательства и организации экологического мониторинга происходящих изменений. Мировой и отечественный опыт показывает, что, вопреки утверждениям многих пессимистов, научно-технический прогресс и рост хозяйственного освоения территорий могут совмещаться с сохранением живой природы (Гульбин и др., 2003; Адрианов, 2011), которая, к тому же, приносит значительную экономическую выгоду (например, охота, рыболовство и рекреация в США) (Дежкин, Сафонов, 2004).

Заключение

Анализ результатов оценки уровня антропогенного загрязнения эстуариев Приморья и отклики на него биоты показывает, что наиболее адекватно позволяют ранжировать эстуарии по качеству среды данные по концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, а также интегральный абиотический индекс (сумма степени

* Состояние промысловых ресурсов... (2015).

токсичности грунтов и концентрации НУ в воде и грунтах эстуария). Максимальные уровни загрязнения характерны для олигогалинных эстуариев крупных рек (Раздольная, Артемовка), промежуточная величина антропогенного воздействия свойственна мезогалинным эстуариям (реки Тесная, Гладкая, Киевка), а минимальное загрязнение отмечается в небольших полигалинных внутренних эстуариях горных рек (Суходол, Шкотовка, Барабашевка, Рязановка).

Важным с прикладной точки зрения является вывод, что эстуарные экосистемы, адаптированные к высокой изменчивости факторов среды, характеризуются высоким запасом прочности по отношению к антропогенному загрязнению. Несмотря на его значительный уровень, определяющими динамику численности промысловых гидробионтов эстуариев Приморья все еще остаются естественные факторы, и в первую очередь динамика пресного стока. Выводы о нормальном функционировании эстуарных экосистем и об удовлетворительном состоянии биологических ресурсов играют важную роль в организации их рационального использования.

Список литературы

- Адрианов А.В.** Экологическая безопасность дальневосточных морей России // Вестн. РАН. — 2011. — Т. 81, № 2. — С. 111–121.
- Алимов А.Ф., Голубков С.М.** Изменения в экосистемах восточной части Финского залива // Вестн. РАН. — 2008. — Т. 78, № 3. — С. 223–230.
- Богатов В.В.** Основные итоги изучения структурно-функциональной организации пресноводных экосистем Дальнего Востока России // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2003. — Вып. 2. — С. 5–11.
- Богатов В.В.** Функционирование речных экосистем Дальнего Востока России в условиях мусонного климата // Мат-лы Междунар. конф. Любичевские чтения. — Ульяновск : УлГПУ, 2012. — С. 81–88.
- Большаков С.Г.** Некоторые черты биологии и географическая изменчивость дальневосточных красноперок и пиленгаса южного Приморья : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 145 с.
- Борвинская Е.В., Смирнов Л.П., Немова Н.Н.** Глутатион-S-трансферазы рыб — потенциальные эколого-биохимические индикаторы антропогенного воздействия на водную среду (обзор) // Тр. Карельского научного центра РАН. — 2009. — № 3. — С. 8–19.
- Борисовец Е.Э., Седова Л.Г.** Ресурсы промысловых беспозвоночных в прибрежных водах Приморья // ТИНРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 129–140.
- Будаева В.Д., Зуенко Ю.И., Макаров В.Г.** Структура и динамика вод залива Петра Великого в условиях сильного летнего распреснения (2008–2009 гг.) // Юбилейный выпуск. ДВНИГМИ — 60 лет. — Владивосток : Дальнаука, 2010. — С. 158–172.
- Важова А.С., Лукьянова О.Н., Черняев А.П. и др.** Мониторинг экологического состояния эстуарных зон залива Петра Великого (Японское море) // Бюл. МОИП. Отд. биол. — 2009. — Т. 114, вып. 3, прил. 1, ч. 1. — С. 122–127.
- Важова А.С., Нигматулина Л.В., Лукьянова О.Н.** Поступление загрязняющих веществ со сточными водами через эстуарии в залив Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 167. — С. 128–134.
- Вашенко М.А., Жадан П.М., Альмяшова Т.Н.** Состояние репродуктивной функции донных беспозвоночных животных в условиях хронического антропогенного загрязнения (Амурский залив Японского моря) // Экологические проблемы использования прибрежных морских акваторий : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. — Владивосток : ДВГУ, 2006. — С. 36–40.
- Вдовин А.Н., Зуенко Ю.И., Соломатов С.Ф., Большаков С.Г.** Динамика численности мелкочешуйной красноперки *Tribolodon brandtii* в Амурском заливе (залив Петра Великого, Японское море) // Вопр. рыб-ва. — 2015. — Т. 16, № 1. — С. 107–117.
- Вдовин А.Н., Измятинский Д.В., Соломатов С.Ф.** Основные результаты исследований рыб морского прибрежного комплекса Приморья // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 168–190.
- Вдовин А.Н., Соломатов С.Ф.** Состояние и динамика запасов рыб в морских водах Приморья (Японское море) в 1983–2011 гг. // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2013. — № 29. — С. 92–103.
- Гаврилова Г.С.** Приемная емкость аквакультурной зоны залива Петра Великого (Японское море) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2012. — 38 с.

Гайван Е.А., Земцов С.П., Мазурова А.А. Марикультура Приморского края. Потенциал развития отрасли в рамках акваториальных систем региона : моногр. — Saarbrücken, Germany : Lap Lambert Publishing, 2012. — 157 с.

Головащенко Е.В., Лукьянова О.Н. Экосистемные услуги залива Петра Великого: классификация и экономическая ценность // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток, 2012. — С. 191–199.

Гульбин В.В., Арзамасцев И.С., Шулькин В.М. Экологический мониторинг акватории порта Восточный (бухта Врангеля) Японского моря (1995–2002 гг.) // Биол. моря. — 2003. — Т. 29, № 5. — С. 320–330.

Даниленко С.А., Лукьянова О.Н. Биохимические маркеры адаптации у промысловых рыб эстуариев залива Петра Великого (Японское море) // Вопр. ихтиол. — 2014а. — Т. 54, № 1. — С. 87–96.

Даниленко С.А., Лукьянова О.Н. Молекулярные биомаркеры физиологического состояния японского мохнаторукого краба *Eriocheir japonica* (de Naan, 1835) в эстуариях рек залива Петра Великого (Японское море) // Биология внутренних вод. — 2014б. — № 3. — С. 69–78.

Дежкин В.В., Сафонов В.Г. Живая природа как источник экономических ценностей // Использование и охрана природных ресурсов в России. — 2004. — № 2. — С. 75–88.

Дулупова Е.П., Надточий В.А., Будникова Л.Л. Динамика продукционных показателей макрозообентоса на шельфе дальневосточных морей в 2000-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 154. — С. 90–102.

Дуркина В.Б., Черкасова К.В. Аномалии оогенеза у полосатой камбалы *Pleuronectes pinnifasciatus* из Амурского залива Японского моря // Изв. РАН. Сер. биол. — 2007. — № 5. — С. 591–597.

Журавель Е.В., Подгурская О.В. Раннее развитие плоского морского ежа *Scaphehinus mirabilis* в воде из различных районов залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 178. — С. 206–216.

Заварзин Г.А. Антипод ноосферы // Вестн. РАН. — 2003. — Т. 73, № 7. — С. 627–636.

Калчугин П.В., Соломатов С.Ф., Кобликов В.Н. Современное состояние рыболовства в подзоне Приморье и его перспективы // Рыб. хоз-во. — 2015. — № 2. — С. 49–54.

Кесельман М.Л., Милютин Н.П., Кузнецова Л.Я., Ракитский В.Н. Свободнорадикальные процессы в механизме действия и диагностике пестицидной интоксикации ихтиофауны : моногр. — Ростов н/Д : Гефест, 1997. — 120 с.

Ковековдова Л.Т., Симоконов М.В. Оценка уровней содержания металлов и мышьяка в донных отложениях и рыбах рек бассейна зал. Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 160. — С. 223–235.

Колпаков Е.В., Колпаков Н.В., Слободскова В.В. Продукционно-биологические характеристики и генотоксический статус японской корбикулы *Corbicula japonica* (Bivalvia, Corbiculidae) эстуария реки Аввакумовка (залив Ольги, северо-западная часть Японского моря) // Наст. том.

Колпаков Н.В. Продукция рыб в эстуариях Приморья // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 184. — С. 3–22.

Колпаков Н.В., Долганова Н.Т., Надточий В.А. и др. Экосистемные исследования биоресурсов прибрежных и эстуарных вод южного Приморья // ТИНРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 103–128.

Колпаков Н.В., Семенькова Е.Г. Японский мохнаторукий краб Приморья : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2012. — 160 с.

Кручинин О.Н., Шевченко А.И., Чебов А.Ю. Современное состояние рыболовства в заливе Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 168. — С. 268–275.

Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанол. — 1994. — Т. 34, № 5. — С. 735–747.

Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы «живого океана» // Геология и геофизика. — 2004. — Т. 45, № 1. — С. 15–48.

Лукьянова О.Н. Интегральный биохимический индекс состояния морских организмов в условиях загрязнения // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы : мат-лы 5-й Всерос. конф. по водной экотоксикологии, посвящ. памяти Б.А. Флерова, с приглашением специалистов из стран ближнего зарубежья. — Ярославль : Филигрань, 2014. — Т. 2. — С. 75–78.

Лукьянова О.Н., Ирейкина С.А. Молекулярные биомаркеры в оценке реакции биоты на загрязнение среды залива Петра Великого // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток : ДВФУ, 2012. — С. 397–414.

Лукьянова О.Н., Ирейкина С.А., Черняев А.П. и др. Химический анализ, биотестирование и молекулярные биомаркеры в оценке экологического состояния эстуарных зон залива Петра Великого (Японское море) // Тез. докл. 10-го съезда Гидробиол. об-ва при РАН. — Владивосток : Дальнаука, 2009. — С. 243–244.

- Лукьянова О.Н., Ирейкина С.А., Черняев А.П. и др.** Экотоксикологическая оценка некоторых эстуарных зон южного Приморья // Изв. ТИНРО. — 2010а. — Т. 162. — С. 214–224.
- Лукьянова О.Н., Нигматулина Л.В., Головащенко Е.В.** Оценка потенциальной стоимости экосистемных услуг залива Петра Великого (Японское море) // Рыб. хоз-во. — 2010б. — № 6. — С. 34–38.
- Лукьянова О.Н., Колпаков Н.В., Ирейкина С.А.** Биоиндикаторы и биомаркеры состояния биоты в эстуарных зонах залива Петра Великого Японского моря // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы : мат-лы 3-й Всерос. конф. по водной токсикологии, посвящ. памяти Б.А. Флерова. — Борок: ИББВ, 2008. — С. 71–75.
- Лукьянова О.Н., Христофорова Н.К.** Экологические проблемы и биоресурсы российского побережья Японского моря // Использование и охрана природных ресурсов в России. — 2013. — № 1. — С. 106–110.
- Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Симоконов М.В.** Обзор современного экологического состояния залива Петра Великого (2000–2010 гг.) // Вестн. ДВО РАН. — 2012а. — № 2. — С. 55–63.
- Лукьянова О.Н., Бродский Е.С., Чуйко Г.М.** Стойкие органические загрязняющие вещества в донных отложениях эстуарных зон трех рек залива Петра Великого (Японское море) // Вестн. Тюменского гос. ун-та. — 2012б. — № 12. — С. 119–126.
- Лугасенко К.А., Ващенко М.А.** Амурский залив — экосистема в состоянии стресса // Экологические исследования и состояние экосистемы Амурского залива и эстуарной зоны реки Раздольной (Японское море). — Владивосток : Дальнаука, 2008. — Т. 1. — С. 7–29.
- Майоров И.С., Урусов В.М., Варченко Л.И.** Природопользование на юге Дальнего Востока России (история, перспективы, уроки экологических просчетов) // Географ. вестн. — 2013. — № 1(24). — С. 96–109.
- Маркина Ж.В., Айзайчер Н.А.** Оценка качества вод Амурского залива Японского моря на основе биотестирования с применением одноклеточной водоросли *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin. // Сиб. экологич. журн. — 2011. — № 1. — С. 99–105.
- Масленников С.И.** Морские биотехнопарки — стратегическая линия развития прибрежных территорий Дальнего Востока // Вестн. биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. — 2012. — Т. 8, № 1. — С. 42–45.
- Мизюркина А.В.** Влияние условий зимовки в реке Раздольной на численность красноперки *Tribolodon hakonensis*, *T. brandti* и пиленгаса *Mugil so-iuy* // Экология и условия воспроизводства рыб и беспозвоночных дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1982а. — С. 125–128.
- Мизюркина А.В.** Колебания численности пиленгаса и красноперок в р. Раздольной // Рыб. хоз-во. — 1982б. — № 3. — С. 32.
- Мощенко А.В., Белан Т.А.** Метод оценки антропогенного нарушения сообществ макрозообентоса рыхлых грунтов // Биол. моря. — 2008. — Т. 34, № 4. — С. 279–292.
- Мощенко А.В., Шайхлисламова Л.Е.** Экологическое состояние восточной части пролива Босфор Восточный (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 161. — С. 199–211.
- Надточий В.А., Будникова Л.Л., Безруков Р.Г.** Макрозообентос залива Петра Великого (Японское море): состав, распределение, ресурсы // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 140. — С. 170–195.
- Наумов Ю.А.** Антропогенная трансформация прибрежно-шельфовых геосистем окраинных морей Дальнего Востока России : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. — Томск, 2008. — 38 с.
- Немировская И.А.** Нефтяные углеводороды в океане // Природа. — 2008. — № 3. — С. 17–27.
- Нигматулина Л.В.** Воздействие сточных вод контролируемых выпусков на экологическое состояние Амурского залива : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2005. — 20 с.
- Огородникова А.А.** Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — 194 с.
- Огородникова А.А., Вейдеман Е.Л., Силина Э.И., Нигматулина Л.В.** Воздействие береговых источников загрязнения на биоресурсы залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 1997. — Т. 122. — С. 430–450.
- Огородникова А.А., Нигматулина Л.В.** Стоимостная оценка биоресурсов Амурского залива // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 653–659.
- Одум Ю.** Экология : моногр. — М. : Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с. (Пер. с англ.)
- Патин С.А.** Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду : моногр. — М. : ВНИРО, 2008. — 507 с.

Седова Л.Г., Борисенко Г.С., Ковековдова Л.Т. и др. Состояние экосистемы залива Стрелок (Японское море) в условиях антропогенного воздействия // Соврем. наукоем. технологии. — 2005. — № 7. — С. 38–39.

Симакова М.Г. Санитарно-гигиеническая оценка двустворчатого моллюска *Corbicula japonica* реки Раздольная Приморского края // Вестн. Алтайского гос. аграр. ун-та. — 2009. — № 6(56). — С. 42–44.

Слободскова В.В. Оценка воздействия неблагоприятных факторов среды на морских двустворчатых моллюсков с помощью метода ДНК-комет : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТОИ ДВО РАН, 2012. — 19 с.

Снакин В.В. Живое вещество биосферы: эволюционный аспект // Бюл. «Использование и охрана природных ресурсов в России». — 2013а. — № 1(127). — С. 3–6.

Снакин В.В. Живое вещество биосферы: эволюционный аспект // Бюл. «Использование и охрана природных ресурсов в России». — 2013б. — № 3(129). — С. 97–100.

Соколовский А.С., Соколовская Т.Г. Многолетняя динамика ихтиофауны залива Петра Великого как отражение природных и антропогенных воздействий на морскую биоту // Реакция морской биоты на изменения природной среды и климата : мат-лы комплексного регионального проекта ДВО РАН по программе Президиума РАН. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — С. 170–212.

Состояние морских экосистем, находящихся под влиянием речного стока : моногр. / под ред. Л.М. Грамм-Осипова. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — 261 с.

Сякина И.Г., Соколовский А.С. Опухоли кожи у темной камбалы *Pleuronectes obscurus* из Амурского залива Японского моря // Биол. моря. — 1997. — Т. 23, № 3. — С. 182–185.

Сякина И.Г., Соколовский А.С. Оценка состояния камбал из бухты Сивучья залива Петра Великого Японского моря по гистопатологическим показателям // Биол. моря. — 2001. — Т. 27, № 2. — С. 102–109.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы : моногр. — М. : Прогресс, 1980. — 328 с.

Флеров Б.А. Биотестирование: терминология, задачи, перспективы // Теоретические вопросы биотестирования. — Волгоград : ИБВВ АН СССР, 1983. — С. 13–20.

Чернышева Л.Б. Загрязнение прибрежных вод дальневосточной России // Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. «Морская экология — 2005». — Владивосток : МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2005. — Т. 1. — С. 179–185.

Черняев А.П., Лукьянова О.Н., Черкашин С.А. Распределение нефтяных углеводородов и оценка состояния биоты в Амурском заливе (Японское море) // Экол. химия. — 2006. — Т. 15, № 1. — С. 28–38.

Шулькин В.М. Тяжелые металлы в речных и прибрежно-морских экосистемах : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. — Владивосток : ТИГ ДВО РАН, 2007. — 37 с.

Шулькин В.М., Семькина Г.И. Поступление загрязняющих веществ в залив Петра Великого и оценка их вклада в создание экологических проблем // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток : ДВФУ, 2012. — С. 252–287.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Шунтов В.П. Состояние биоты и биоресурсов морских макроэкосистем дальневосточной экономической зоны России // Вестн. ДВО РАН. — 2009. — № 3. — С. 15–22.

Шунтов В.П., Бочаров Л.Н., Волвенко И.В. и др. Экосистемное изучение биологических ресурсов дальневосточных морских вод России: некоторые результаты исследований в конце 20 — начале 21-го столетия // ТИНРО—85. Итоги десятилетней деятельности. 2000–2010 гг. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 25–78.

Явнов С.В., Раков В.А. Корбикула : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2002. — 145 с.

Adrianov A.V. Chapter 3. Modern problems of environmental safety of the Far Eastern seas of Russian Federatuion : Marine biodiversity amd ecosystem dynamics of the Northwest Pacific Ocean. — Beijing : Science Press, 2014. — 228 p.

Belan T.A. Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky Bay (Peter the Great Bay, the Sea of Japan) // Mar. Pollut. Bull. — 2003. — Vol. 46. — P. 1111–1119.

Chernyaev A.P., Lukyanova O.N. Petroleum hydrocarbons in estuary ecosystems of Amursky Bay (Japan/East Sea), Russia // 7th IOC/WESTPAC Intern. Sci. Symp. — Malaysia, 2008. — P. 136.

Deegan L.A., Finn J.Th., Ayzasian S.G., Buonaccorsi J. Development and validation of an estuarine biotic integrity index // Estuaries and Coasts. — 1997. — Vol. 20, Iss. 3. — P. 601–617.

Elliott M., Quintino V. The estuary quality paradox, environmental homeostasis and the difficulty of detecting antropogenic stress in naturally stressed areas // Mar. Poll. Bull. — 2007. — Vol. 54. — P. 640–645.

- Harrison T.D., Whitfield A.K.** A multi-metric fish index to assess the environmental condition of estuaries // J. Fish Biol. — 2004. — Vol. 65. — P. 683–710.
- Harrison T.D., Whitfield A.K.** Application of a multi-metric fish index to assess the environmental condition of South African estuaries // Estuaries and Coasts. — 2006. — Vol. 29, № 6B. — P. 1108–1120.
- Howarth R.W., Jaworski N., Swaney D. et al.** Some approaches for assessing human influences on fluxes of nitrogen and organic carbon to estuaries // Estuarine Science: A Synthetic Approach to Research and Practice. — Washington : Island Press, 2000. — P. 17–42.
- Howarth R.W., Sharpley A., Walker D.** Sources of nutrient pollution to coastal waters in the United States: Implications for achieving coastal water quality goals // Estuaries. — 2002. — Vol. 25. — P. 656–676.
- Hughes J.E., Deegan L.A., Weaver M.J., Costa J.E.** Regional Application of an Index of Estuarine Biotic Integrity Based on Fish Communities // Estuaries. — 2002. — Vol. 25, № 2. — P. 250–263.
- Levenets L.R., Skriptsova A.V.** Benthic flora of the inner part of Amursky Bay (Sea of Japan) // Ecological studies and state of the ecosystem of Amursky Bay and estuarine zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan). — Vladivostok : Dalnauka, 2008. — Vol. 1. — P. 284–301.
- Lukyanova O.N., Chernyaev A.P., Vazhova A.S., Kolpakov N.V.** Environmental impact assessment in the estuarine ecosystems of Peter the Great Bay (Japan/East Sea) // PICES 18th Annual Meeting : program and abstracts. — Cheju, Korea, 2009a. — P. 16.
- Lukyanova O.N., Ireykina S.A., Chernyaev A.P., Vazhova A.S.** Chemical analysis, biotesting and molecular biomarkers in ecological state assessment of estuarine zones of the Peter the Great Bay (Japan/East Sea) // Proc. 17th Intern. Environ. Bioindicators Conference. — M., 2009b. — P. 32.
- Lukyanova O.N., Ireykina S.A., Chernyaev A.P.** An integrated approach to the pollution assessment in the estuarine ecosystems of the Peter the Great Bay (Japan/East Sea) // PICES 17th Annual Meeting : abstracts. — Dalian, China, 2008. — P. 146.
- McLusky D.S., Elliott M.** The Estuarine ecosystem ecology, threats and management. — N.Y. : Oxford Univ. Press Inc., 2004. — 214 p.
- Odum E.P., Finn J.T., Franz E.H.** Perturbation theory and the subsidy-stress gradient // BioScience. — 1979. — Vol. 29, № 6. — P. 349–352.
- Pavlyuk O.N., Trebukhova J.A.** Composition and distribution of meiobenthos in Amursky Bay (Peter the Great Bay, the East Sea) // Ocean Science J. — 2005. — Vol. 40. — P. 119–125.
- Perez-Dominguez R., Maci S., Courrat A. et al.** Current developments on fish-based indices to assess ecological-quality status of estuaries and lagoons // Ecological Indicators. — 2012. — Vol. 23. — P. 34–45.
- Zonta R., Guerzoni S., Peres-Ruzafa A., de Jonge V.** Measuring and managing changes in estuaries and lagoons: Morphological and eco-toxicological aspects // Mar. Pollut. Bull. — 2007. — Vol. 55. — P. 403–406.

Поступила в редакцию 3.10.16 г.