

УДК 574.3

¹Т.В. Дедова, ¹Д.К. Ким, ²С.С. Кобегенова *¹ТОО «EcoRisk», Республика Казахстан, г. Алматы² Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

*E-mail: kobegenova_s@mail.ru

Карта чувствительности биоты Северного Каспия к нефтяному загрязнению

В работе предлагается количественная методика построения карты чувствительности биоты к нефтяному загрязнению окружающей среды и приводится пример картирования для акватории Северного Каспия.

Ключевые слова: биота, чувствительность биоты к загрязнению, количественное картирование, экологические риски, биоразнообразие.

T.V. Dedova, D.K. Kim, S.S. Kobegenova

Map of sensitivity biota of the North Caspian to oil pollution

This paper proposes a quantitative method of mapping the sensitivity of biota to oil pollution of the environment and is an example of mapping for the Northern Caspian.

Key words: biota, sensitivity of biota to pollution, quantitative mapping, environmental risks, biodiversity.

Т.В. Дедова, Д.К. Ким, С.С. Кобегенова

Солтүстік Каспий биотасының мұнайлық ластануға сезімталдық картасы

Жұмыста қоршаған ортаның мұнайлық ластануға биотаның сезімталдық картасын құрудың сандық әдісі ұсынылады және Солтүстік Каспий акваториясына арналған карталау үлгісі көрсетілген.

Түйін сөздер: биота, биотаның ластануға сезімталдығы, сандық карталау, экологиялық қауіп, биоалуантүрлілік.

Введение

Каспийское море характеризуется уникальными экосистемами и большим разнообразием фауны. В море и нижних дельтах водится 110 местных видов рыб, входящие в 50 родов. Некоторые виды представлены двумя или более подвидами и многие из них являются эндемиками Каспийского моря. Всего в море обитает 37 эндемичных видов и 19 эндемичных подвигов рыб. Огромно также разнообразие фауны беспозвоночных (простейшие, губки, кишечнорастворимые, черви, ракообразные и др.) Каспийского моря, которые включают различные таксономические группы и также характеризуются большим процентом эндемизма.

В то же время на шельфе Каспийского моря с высокой интенсивностью ведутся работы по разведке и добыче нефти, что создает потенциальную угрозу для сохранения биоразнообразия уникальных экосистем. Таким образом, особую актуальность приобретают вопросы проведения широкого спектра подготовительных мер на случай аварийного разлива нефти, в рамках которых должны быть увязаны единое описание и мониторинг современного состояния экосистем, а также их уязвимость или чувствительность к нефтяному загрязнению с комплексной оценкой экологических рисков, связанных с аварийным разливом нефти. Если обратиться к мировому опыту реагирования на аварийные разливы нефти и их последствия, то в требо-

ваниях Международной морской организации (ИМО) [1] для районов акватории моря, где ведется разведка и добыча нефти перед запуском на акватории моря объектов разведки, добычи и транспортировки нефти должны быть составлены т.н. карты чувствительности биоты к нефтяному загрязнению. Отметим, что само понятие чувствительности биоты к нефтяному загрязнению используется в документах ИМО, но строго не определяется. В связи с этим возникает задача определения понятия чувствительности и разработки методики построения карты чувствительности к нефтяному загрязнению. Кроме того, так как данная методика используется для количественной оценки экологических рисков, то и сама карта чувствительности должна быть представлена в количественном, а не качественном виде. Отметим, что данный подход, помимо естественности определения, должен быть по возможности простым для его реализации, так как не всегда имеется возможность для проведения исследований и экспериментов для оценки большого числа входных данных алгоритма.

В настоящей работе излагается методика построения карты чувствительности и пример ее реализации для Северного Каспия. Полученный результат для Северного Каспия можно рассматривать как описание экосистемы Северного Каспия в виде карты чувствительности к нефтяному загрязнению, построенной на основе оценок сезонного распространения некоторых объектов (индикаторов) биоразнообразия исследуемой экосистемы.

Отметим также, что данная работа инициирована практическими работами [2] по рисковому картированию нефтяного загрязнения Каспийского моря в случае возможной аварии на шельфовых месторождениях и является логическим продолжением работы [3], где была построена математически строгая математическая модель для оценки экологических рисков, связанных с нефтяными разливами.

Материалы и методы

Так как Северный Каспий является временным или постоянным местом обитания для огромного числа различных биологических видов, полное описание которых потребует большого количества времени и средств, то для построения карт чувствительности рассматриваются лишь некоторые из них, которые будут называться индикативными [4]. Будем считать, что

они отражают горизонтальное и вертикальное распределение всего биологического разнообразия фауны (или биоты) Северного Каспия и их описание в виде интегральной карты чувствительности является современной (статистической) оценкой состояния экосистемы Северного Каспия и ее чувствительности к нефтяному загрязнению. Более того, в дальнейшем будем рассматривать не сами биологические виды, а выделять из них некоторые подмножества, называемые в дальнейшем «индикативными биосообществами». Данный подход предназначен для более полного описания «чувствительности» биоты Северного Каспия к нефтяному загрязнению, так как, например, степень влияния загрязнения на молодь русского осетра будет отличаться от влияния на половозрелую особь. Разбиение биоты Северного Каспия на индикативные подмножества позволит создавать карты чувствительности к нефтяному загрязнению для различных подмножеств множества биологических сообществ, например, помимо общей карты чувствительности, можно рассматривать карту чувствительности к нефтяному загрязнению для рыб или для эндемиков Северного Каспия. Для учета сезонной составляющей при изучении биоты рассматривается разбиение календарного года на 12 месяцев, в течение которых предполагается постоянное пребывание выбранных биосообществ в своих ареалах обитания. Для измерения «чувствительности» каждого биосообщества к нефтяному загрязнению будет использоваться характеристика «чувствительность к нефтяному загрязнению» под которой понимается время восстановления популяции после нефтяного загрязнения (см. также [3]).

Выбранная область одной экосистемы, например Северный Каспий, рассматривается как конечное множество точек с непересекающимися окрестностями, которые покрывают всю рассматриваемую территорию. Предполагается, что в каждой из выбранных окрестностей обитает некоторое число биосообществ в определенный месяц года, т.е. каждой точке присваивается вектор (i_1, i_2, \dots, i_n) , где n – количество биосообществ, обитающих в окрестности выбранной точки в выбранный месяц и $i_j, j=1, \dots, n$, идентификатор биосообщества. Всего рассматривается N биосообществ, причем для каждого из них определено значение чувствительности к нефтяному загрязнению $\pi_i, i=1, \dots, N$, и определен ареал обитания в течение 12 месяцев года. Отме-

тим, что значения π_i для каждого i -го биосообщества определяются экспертным путем и если предположить, что M экспертов дали оценки $\pi_i^*(j)$ $j=1, \dots, M$, которые можно рассмотреть как независимые случайные величины с конечным математическим ожиданием π_i и одинаковой дисперсией, то итоговая статистическая оценка

$$\frac{\pi_i^*(1) + \dots + \pi_i^*(M)}{M}$$

будет иметь дисперсию в M раз меньше и стремиться¹ к π_i при увеличении значения M .

Карта чувствительности биоты Северного Каспия к нефтяному загрязнению строится в виде присвоения каждой географической точки (ее окрестности) некоторого значения $f(\pi_{i_1}, \pi_{i_2}, \dots, \pi_{i_n})$, которое определяет интегральную чувствительность к нефтяному загрязнению всех биосообществ из окрестности точки. Выбор и уточнение наиболее простого и удобного для практических нужд функционала $f(\cdot)$, отражающего степень влияния загрязнения на биосообщества экосистемы также является задачей для дальнейших исследований.

Результаты и их обсуждение

Всего в данной работе рассматриваются $N=54$ объекта биоразнообразия Северного Каспия, относящихся к биосообществам зообентоса и зоопланктона. Дополнительно рассматриваются водные млекопитающие – 3 вида.

Зообентос представлен характеристиками (биологические особенности, нагульные и нерестовые миграции и др.) 36 видов бентических рыб. Рыб, относимых к бентическим формам, делятся на морских, проходных (нерестящихся в реках и нагуливающих в море), полупроходных (нерестящихся и зимующих в реках, спускающихся для нагула в дельтовые и прибрежные участки моря) и речных. Отметим, что последних трудно отнести к строго бентическим или морским. К типично проходным относятся ценные промысловые рыбы семейства осетровых (*Acipenseridae*) – русский осётр (*Acipenser gueldenstaedtii* Brandt et Ratzeburg, 1833), белуга (*Acipenser huso* Linnaeus, 1758), севрюга (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771) и др. Из полупроходных рыб в настоящей работе рассматри-

вается только один вид – европейский обыкновенный сом – *Silurus glanis* Linnaeus, 1758. К морским рыбам относятся каспийская рыба-игла – *Syngnathus caspius* Eichwald, 1831 и 12 видов рыб семейства бычковых (*Gobiidae*).

Из зоопланктонного сообщества также основное внимание было уделено пелагическим рыбам – сельдевым (*Clupeidae*) и атериновым (*Atherinidae*).

Все виды рыб были разбиты на две группы – 1) разновозрастные половозрелые особи и 2) личинки, молодь и сеголетки и изучено их распределение в море в различные сезоны года. На основании этих данных и биологических характеристик рыб для каждого вида были составлены соответствующие карты распространения. Так, например, большеглазый пузанок *Alosa saposchnikowii* (Grimm, 1885), эндемик бассейна Каспийского моря, в холодные зимы держится в южной части моря над глубинами от 400 до 600 м; в умеренные зимы образует скопления в Среднем Каспии над глубинами 200–250 м; весной мигрирует на север вдоль западных и восточных берегов, в приуральские воды. Для учета икрометания выбраны два изолированных места в северной части моря, по обе стороны от дельты Волги (Рисунок 1). Молодь пузанка летом и ранней осенью нагуливается в местах нереста (Рисунок 2) [5,6]. Аналогичные карты были составлены и для всех видов бентических рыб (Рисунок 3).

На основании распределения в море разных видов рыб в течение года были разработаны карты чувствительности рыб бентических и планктонных сообществ. На рисунках приведены полученные карты чувствительности для рыб (Рисунки 4, 5).

Карты чувствительности получены в виде Grid-файла на основе «суммирования» Grid-файлов карт для ареалов распространения каждого биосообщества, причем каждой точке карт присваивается свое значение чувствительности к нефтяному загрязнению. В итоговой карте чувствительности в каждой точке рассчитывается интегральная чувствительность как сумма значений чувствительности различных биосообществ. В результате в каждой точке получается статистическая оценка теоретической чувствительности всей рассматриваемой экосистемы к нефтяному загрязнению.

Полученные карты в количественном виде картируют наиболее чувствительные к нефтяному загрязнению области:

¹ Имеется в виду сходимость почти наверное.

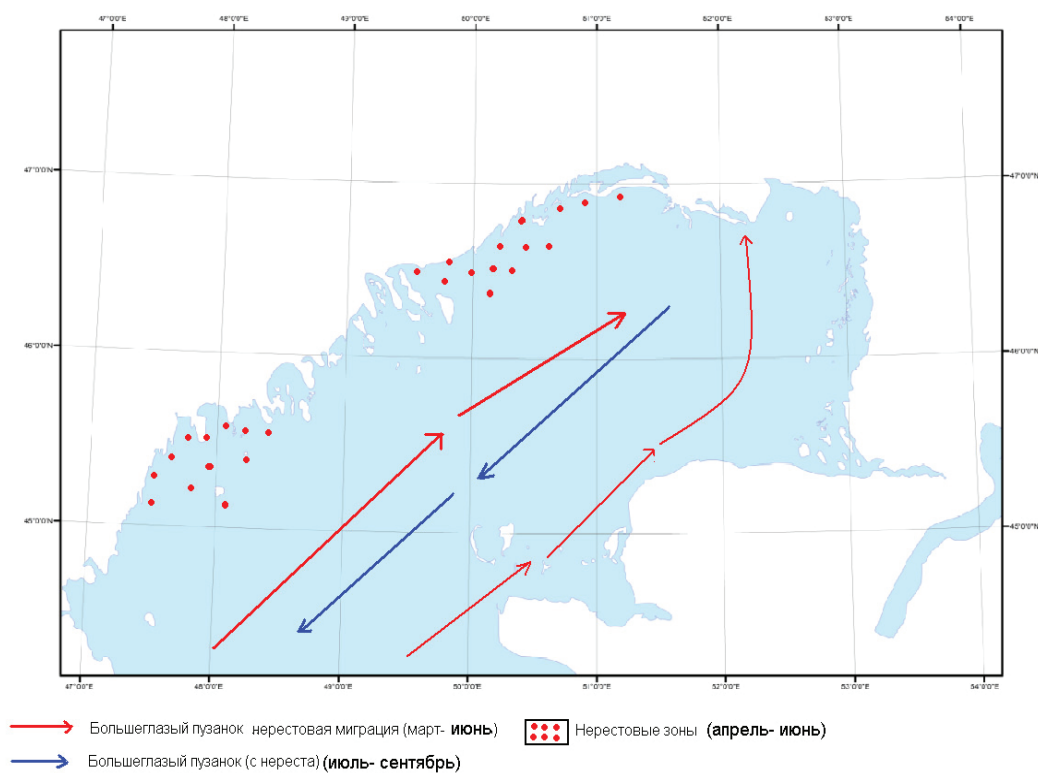


Рисунок 1 – Пути нерестовой миграции и нерестовые зоны большеглазого пузанка

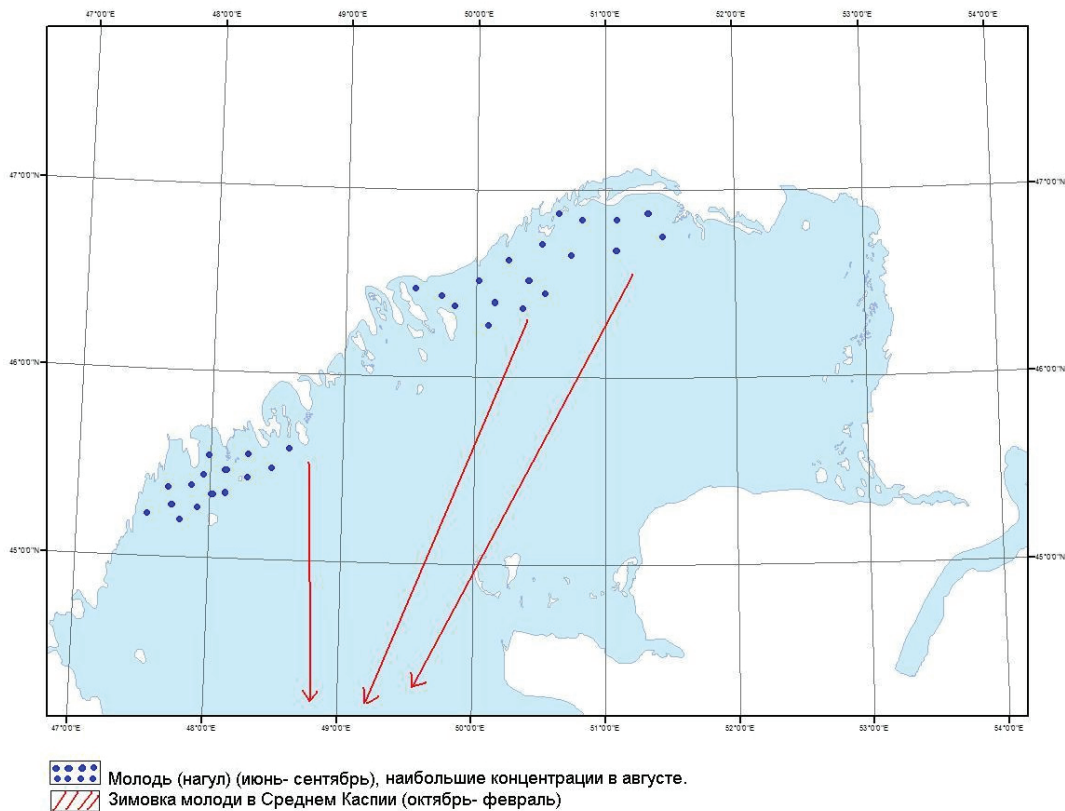


Рисунок 2 – Распространение и пути миграции на зимовку молоди большеглазого пузанка

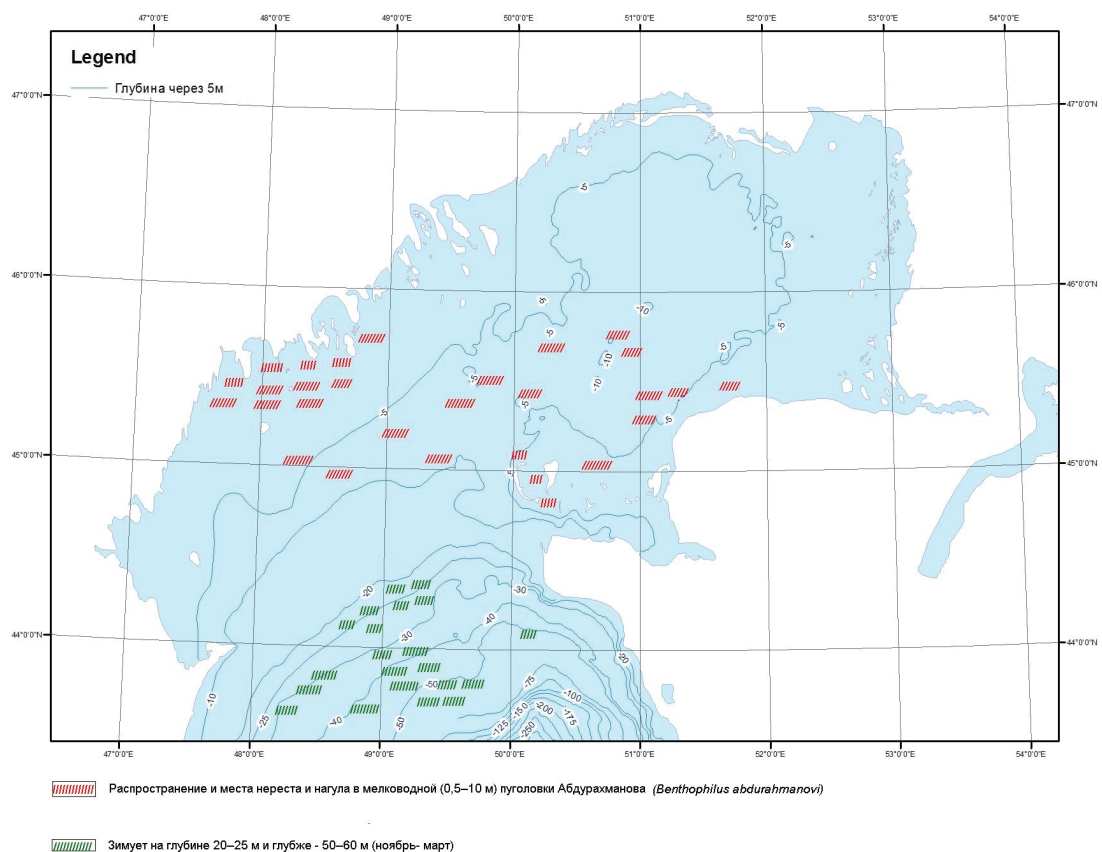


Рисунок 3 – Распространение (места нагула, нереста и зимовок) пуголовки Абдурахманова

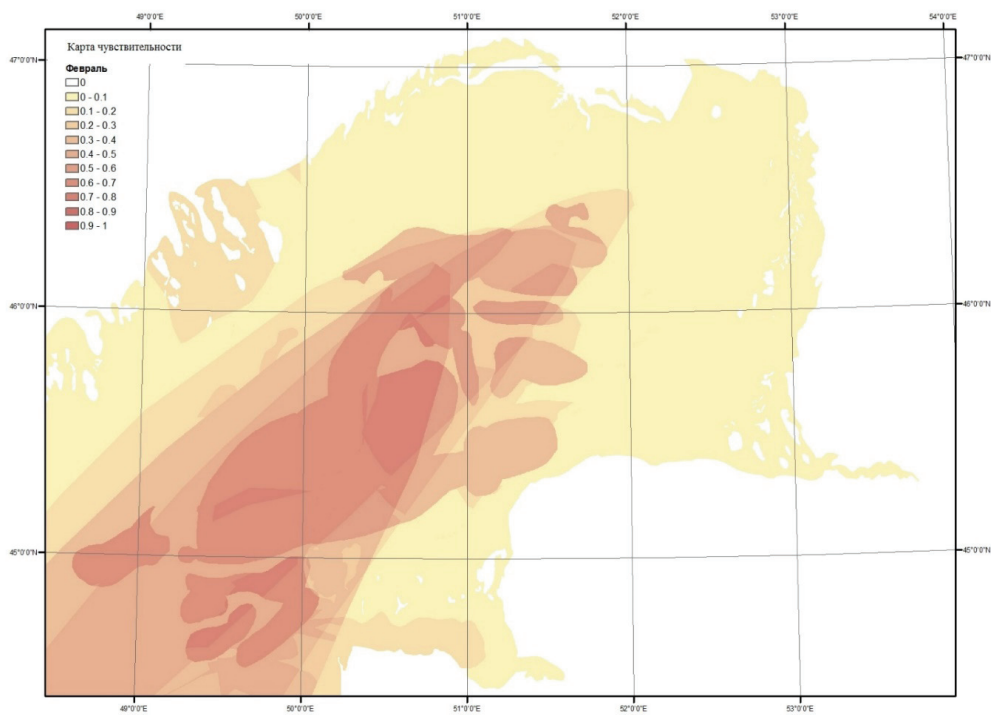


Рисунок 4 – Карта чувствительности в феврале.

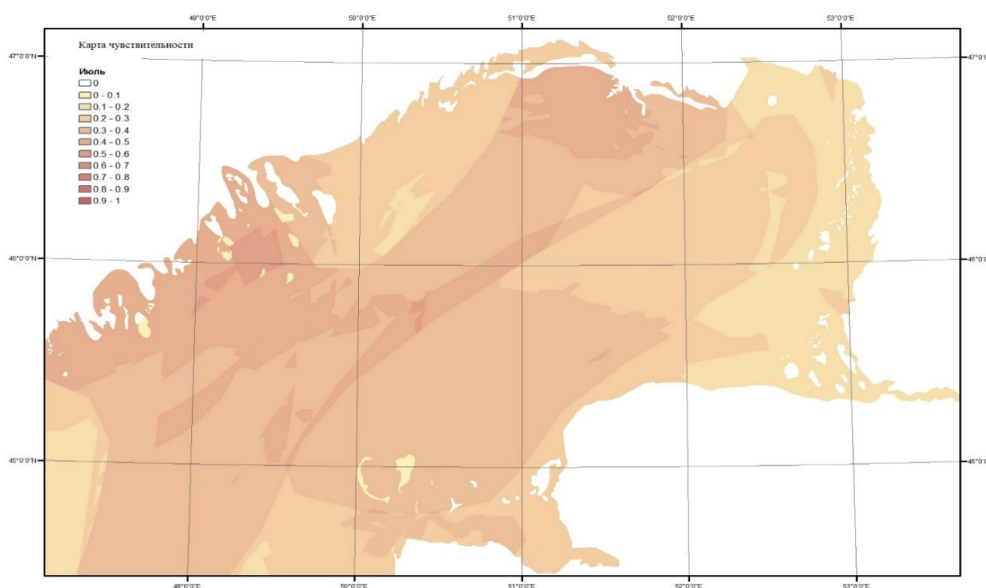


Рисунок 5 – Карта чувствительности в июле.

Уральская бороздина в феврале и дельта рек Волга и Урала в июле.

Заметим, что авторы планируют продолжить исследования и в дальнейшем значительно дополнить описание множества индикаторных биосообществ Северного Каспия и, соответственно, карты чувствительности.

Выводы

В ходе работы были выбраны индикативные биосообщества Северного Каспия, проведено их описание и на экспертном уровне проанализированы характеристики воздействия на них нефтяного загрязнения. В итоге была разработана методика построения карт чувствитель-

ности к нефтяному загрязнению как всей биоты, выбранной экосистемы, так и некоторых ее подмножеств. Результат работы иллюстрируют карты чувствительности биоты Северного Каспия к нефтяному загрязнению в феврале и июле. Новизной работы и отличием от других работ по созданию карт чувствительности к загрязнению является именно количественная, а не качественная оценка «чувствительности», а также что полученные карты являются частью общей модели (см. [3]) для описания риска поражения биоты в случае аварийного разлива нефти. Отметим также, что приведенная методика построения карт чувствительности может быть применена к любому внешнему воздействию (загрязнению) на экосистему.

Литература

- 1 IPIECA/IMO/OGP, Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. July 2012.
- 2 Zakarin E.A., Balakay L.A., Dedova T.V., Mirkarimova B.M. Risk mapping of adverse environmental impact on biota of north – west Caspian Sea region// Proceedings of First International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), Skiathos island, Greece, 2007. – Vol. 1. – Pp. 403-408.
- 3 Закарин Э.А., Ким Д.К., Вероятностная модель риска поражения биоты при аварийном загрязнении окружающей среды // Сибирский Журнал Индустриальной Математики. 2013. -Т.16. – № 3(55). – С.95-105.
- 4 Мелехова О.П., Егорова Е.И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – 1 изд. – Издательский центр «Академия», Москва, 2010. – 288 с.
- 5 Богуцкая Н.Г., Кияшко П.В., Насека А.М., Орлова М.И. Определитель рыб и беспозвоночных Каспийского моря. Т. 1. Рыбы и моллюски. – 1 изд. – СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 543 с.
- 6 Казанчеев Е.Н. Рыбы Каспийского моря (определитель). – 1 изд. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1981. – 168 с.

References

- 1 IPIECA/IMO/OGP, Sensitivity Mapping for Oil Spill Response. July 2012.
- 2 Zakarin E.A., Balakay L.A., Dedova T.V., Mirkarimova B.M. Risk mapping of adverse environmental impact on biota of north – west Caspian Sea region// Proceedings of First International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), Skiathos island, Greece, 2007. – Vol. 1. – Pp. 403-408.
- 3 Zakarin E.A., Kim D.K., Veroyatnostnaya model riska porazheniya bioty pri avariynom zagryaznenii okruzhayushey sredy // Sibirskiy Zhurnal Industrialnoy Matematiki. 2013. -T.16. – # 3(55). – S.95-105.
- 4 Melehova O.P., Egorova E.I. i dr. Biologicheskii kontrol okruzhayushey sredy: bioindikatsiya i biotestirovanie. – 1 izd. – Izdatelskiy tsentr «Akademiya», Moskva, 2010. – 288 s.
- 5 Bogutskaya N.G., Kiyashko P.V., Naseka A.M., Orlova M.I. Opredelitel ryib i bespozvonochnyih Kaspiyskogo morya. T. 1. Ryiby i mollyuski. – 1 izd. – SPb.; M.: Tovarishestvo nauchnyih izdaniy KMK, 2013. – 543 s.
- 6 Kazanchev E.N. Ryiby Kaspiyskogo morya (opredelitel). – 1 izd. – M.: LYogkaya i pischevaya promyshlennost, 1981. – 168 s.