

УДК 574.6:004.9(262.81)
Половозрелые

© Коллектив авторов

Т.В. Дедова, Д.К. Ким, С.С. Кобегенова, К.Б.Адырбекова, К.А. Бостанбеков

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И УЯЗВИМОСТИ БИОТЫ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Введение

Чрезвычайные ситуации, в особенности техногенного характера, могут оказывать весьма существенное влияние на окружающую среду и нанести огромный вред животному и растительному миру. Особенно это относится к Каспийскому морю – уникальному объекту с неповторимой природой. В связи с этим построение моделей биоразнообразия с разработкой количественных методов экологической оценки состояния природной среды приобретает все большую актуальность.

В данной работе мы предлагаем математический подход для построения карт уязвимости и биоразнообразия биоты [1] и реализуем его на примере Северного Каспия. На первом этапе на основе биологического описания объектов биоразнообразия создается ГИС в виде набора векторных карт, содержащих атрибутивную информацию об экосистемах, местах обитания, сезонности, возрастном поведении биоты и т.д. Далее мы строго определяем понятия карты биоразнообразия и карты уязвимости и, пользуясь методами геоинформатики, реализуем алгоритм их построения.

Данная работа инициирована практическими работами [2] по рисковому картированию нефтяного загрязнения Каспийского моря в случае возможной аварии на шельфовых месторождениях и является продолжением исследований, начатых в работе [3], где была предложена математическая модель для оценки экологических рисков, связанных с нефтяными разливами.

Математическая модель биоты, ее биоразнообразия и уязвимости

Для строгого описания алгоритма построения карт биоразнообразия и уязвимости биоты требуется описать математическую модель биоты на основании определенных предположений и выводов из них.

Прежде всего нам необходимо разбиение биоты на «неделимые объекты», каждый из которых имеет определенные свойства, общие для всех его особей. Поэтому под «неделимым» объектом биоразнообразия будем понимать биологический вид или элемент его разбиения, все особи которого имеют

одинаковое распределение географических мест обитания в каждый момент времени. Исходя из этого, в данной работе мы используем разбиение вида по возрастному признаку на половозрелых и неполовозрелых особей, где под последними объединяем личинок, раннюю молодь, сеголеток биологического вида для упрощения выводов.

Далее мы рассматриваем единую географическую область и под биотой понимаем множество объектов биоразнообразия. Отметим, что разбиение биоты на объекты биоразнообразия позволит создавать карты для различных ее подмножеств, например, помимо общей карты биоразнообразия, можно рассматривать подобную карту только для половозрелых рыб или моллюсков и т.д.

Предположим, что биота состоит из b объектов биоразнообразия, каждый из которых имеет свой идентификатор $j = 1, 2, \dots, b$.

В данной работе мы не касаемся количественных вопросов распределения особей – численности или биомассы, а описываем только их места обитания. Для учета сезонной составляющей при изучении биоты мы предполагаем, что распределение географических мест обитания каждого объекта биоразнообразия повторяется из года в год и постоянно в течение каждого месяца.

Выбранная географическая область рассматривается как конечное множество точек N , с непересекающимися окрестностями (ячейками), которые покрывают всю рассматриваемую территорию. Пусть Ω – множество всех векторов размерности N , таких, что любой элемент $\omega \in \Omega$ представим в виде

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N), \omega_i = 0, 1.$$

Тогда точки $\{i: \omega_i = 1\}$ каждого вектора ω можно рассматривать как некоторую географическую подобласть выбранной экосистемы. Определим вероятностное распределение географического места обитания j -го объекта биоразнообразия, сопоставив каждому $\omega \in \Omega$ число $p^{(j)}(\omega) \geq 0$ таким образом, что

$$\sum_{\omega \in \Omega} p^{(j)}(\omega) = 1.$$

Определение 1. Случайный вектор $S^{(j)} = (s_1^{(j)}, s_2^{(j)}, \dots, s_N^{(j)})$ с распределением

$$P(S^{(j)} = \omega) = p^{(j)}(\omega), \omega \in \Omega$$

будем называть местом обитания j -го объекта биоразнообразия.

Для простоты изложения мы опускаем здесь зависимость от временной составляющей, полагая, что наши рассуждения приводятся в какой-либо фиксированный момент времени. В таком случае, когда говорим, что биологические особи одного объекта биоразнообразия имеют одинаковое распределение мест обитания в течение года, то имеем в виду совпадение их вероятностных распределений мест обитания в каждый момент года. Вероятностный подход, на наш взгляд, позволяет учитывать неопределенность мест обитания биоты и избежать несовпадения экспертных мнений.

Если присвоить каждой географической точке определенное число, то все их множество можно интерпретировать как *цифровую карту* или просто карту выбранной области.

Определение 2. *Картой места обитания j -го объекта биоразнообразия назовем*

$$ES^{(j)} = (ES_1^{(j)}, ES_2^{(j)}, \dots, ES_N^{(j)}), \quad (1)$$

где

$$ES_i^{(j)} = \sum_{\omega \in \Omega} p^{(j)}(\omega) I(\omega_i = 1)$$

математическое ожидание i -й координаты вектора $S^{(j)}$ и $I(\cdot)$ – индикаторная функция, равная 1, если $\omega_i = 1$, и 0 – в противном случае, ω_i – i -я координата ω .

Определение 3. *Картой биоразнообразия выбранной географической области назовем (имеется в виду покоординатная сумма)*

$$ES^{(1)} + ES^{(2)} + \dots + ES^{(b)}. \quad (2)$$

Таким образом, мы строго и однозначно определили карту биоразнообразия, которая описывает изучаемую область и может быть получена на основе экспертных оценок. Как отмечалось ранее, при таком подходе сорная рыба и редкий эндемик имеют одинаковый «вес», и для того, чтобы они отличались, требуется присвоение различных «весов» каждому из них. Мы предлагаем рассматривать «вес» или «уязвимость» каждого элемента биоты как период восстановления $E\tau^{(j)}$, где под последним понимаем время наступления половой зрелости, т.е. способности к воспроизводству и сохранению популяции, для животных, и период вегетации – для растений. Для неполовозрелых особей период восстановления положим уменьшенным в два раза. При формализации такого общего понятия как уязвимость, предлагаемый период восстановления, на наш взгляд, простой, ясный и однозначный показатель, характерный для каждого вида и легко применимый на практике.

Например, севрюга с периодом восстановления 7 лет имеет большую «ценность» в случае гибели по сравнению с каспийским бычком, у которого половая зрелость наступает через 2-3 года.

Следует отметить, что данное определение уязвимости не включает непосредственно признак численности какого-либо вида и поэтому редкие и исчезающие виды, занесенные в Красную книгу, «равнозначны» другим видам. Вместе с тем, последние, как правило, имеют в среднем больший период восстановления, чем «некраснокнижные», и поэтому более уязвимы, что опосредованно согласуется с нашим подходом. Далее, при таком подходе неполовозрелые особи менее уязвимы нежели половозрелые, что объясняется отсутствием связи определения уязвимости с каким-либо антропогенным воздействием на биоту, т.е. период восстановления не зависит от типа и величины загрязнения. В случае конкретного загрязнителя, на наш взгляд, следует говорить уже о понятии чувствительности к данному воздействию, при котором молодые особи могут быть более «чувствительны». Кроме того, такой подход для расчета «веса» или уязвимости объекта биоразнообразия не учитывает таких факторов, как узкоареальность и стенобионтность.

Определение 4. *Картой уязвимости j -го объекта биоразнообразия назовем*

$$EP^{(j)} = E\tau^{(j)} \cdot ES^{(j)**} \quad (3)$$

(* – имеется в виду умножение вектора на число), а интегральной картой уязвимости биоты выбранной географической области назовем покоординатную сумму

$$EP^{(1)} + EP^{(2)} + \dots + EP^{(b)}.$$

Вполне естественно значения в точках карты уязвимости называть *коэффициентами (интегральной) уязвимости биоты* географической области. Кроме того, если значения карты уязвимости разделить на максимальное значение коэффициента уязвимости в течение всего года, то полученную карту будем называть *интегральной картой относительной уязвимости* выбранной области.

Очевидно, что на практике цифровые карты мест обитания могут быть получены на основе экспертных оценок $S^{(j)*}(1)$, $S^{(j)*}(2)$, $S^{(j)*}(n)$, неизвестного $S^{(j)}$. В таком случае возникает вопрос об итоговой оценке, например, для $ES^{(j)}$, ее «близости» к $ES^{(j)}$, а также «устойчивости» к случайным выбросам. Для ответа на него вполне естественно воспользоваться стандартными методами математической статистики оценки неизвестного $ES^{(j)}$ как среднего арифметического

$$\overline{S^{(j)}} = n^{-1} (S^{(j)*}(1) + S^{(j)*}(2) + \dots + S^{(j)*}(n)).$$

Данная оценка является несмещенной, т.е. $ES^{(j)} = E S^{(j)}$, и согласно усиленному закону больших чисел сходится почти наверное по координатам к $ES^{(j)}$ с ростом n . Кроме того, такая оценка робастна [4], т.е. «грубая» ошибка одного из экспертов не оказывает сильного влияния на итоговую оценку. Другими словами, под «близостью» мы понимаем несмещенность и состоятельность оценки [4], а под «устойчивостью» статистическое свойство робастности. Оценка для карты биоразнообразия строится подобным образом. Для получения карты уязвимости дополнительно требуется получить экспертные оценки для каждого $E\tau^{(j)}$.

Биологическое описание биоты Северного Каспия в виде ГИС

Для применения разработанных математических методов нами был проведен анализ видового разнообразия Северного Каспия. Отметим, что исследования по биологическому разнообразию Каспийского моря и прикаспийскому региону регулярно проводятся различными организациями в рамках национальных и международных программ, а также научно-исследовательскими и академическими институтами прикаспийских стран и нефтегазовыми компаниями. На сегодняшний день нам известна всего одна сводная база данных по биологическому разнообразию Каспия, созданная в рамках Каспийской экологической программы Зоологическим институтом РАН в 2006 году [5, 6]. Карты биоразнообразия каспийской фауны и флоры не разработаны, только в Красной книге Казахстана [7] приведены карты видового распространения для редких и исчезающих видов рыб, в частности, каспийской миноги, волжской многотычинковой сельди, каспийского лосося (кумжи), белорыбицы и кутума. Сведения о состоянии береговых экосистем Северного Каспия имеются в работах [8, 9].

В настоящей работе проанализированы особенности географического и сезонного распространения животных, обитающих в водной и прибрежной зонах Северного Каспия. Оговоримся сразу, что из-за отсутствия полной информации по видовому разнообразию наш анализ не претендует на завершенность и окончательность выводов, но является статистической оценкой состояния всей экосистемы. Мы описывали основные виды гидробионтов и околоводных позвоночных (птицы и млекопитающие), но, например, разнообразие многих групп беспозвоночных нами либо не затрагивалось, либо рассмотрено фрагментарно. Не имея натуральных данных, мы использовали всю известную литературу [10-21].

Нами учитывались места обитания видов, как совокупность разновозрастных особей, которые

включали общее распространение в море и в прибрежной зоне, перемещение нерестовых стад, места нагула, кочевку птиц после гнездования и т.д.

Например, половозрелая часть популяции эндемика каспийского бассейна большеглазого пузанка (*Alosa saposchnikowii*, Grimm, 1885) в весенне-летнее время встречается большей частью у западных и восточных берегов, в реки не заходит, хотя и предпочитает сильно опресненную воду [6]. В зимнее время держится в Среднем и Южном Каспии над глубинами от 200 до 600 м. Весной вдоль западных и восточных берегов мигрирует в Северный Каспий на нерест. Основные миграционные пути расположены вдоль свалов волжского предустьевое пространства, у полуострова Мангышлак и острова Кулалы, откуда косяки передвигаются на восток и северо-восток к полуострову Бузачи и в приуральские воды (рис. 1а) [6]. Икрометание проходит в двух изолированных местах в северной части моря по обе стороны от дельты Волги и в дельте Урала (рис. 1б) [22]. В то же время молодь летом и ранней осенью нагуливается в местах нереста, при этом наибольшая ее концентрация отмечается в июле (рис. 1с). В конце лета молодь начинает мигрировать на юг, главным образом, вдоль западного берега (рис. 1д). Поздней осенью пузанок в Северном Каспии не встречается [12, 14, 23].

В свою очередь, нерестовое стадо (половозрелые особи) такого вида, как сельдь-черноспинка (*Alosa kessleri kessleri*) в весенне-летнее время в море может встречаться повсеместно, но держится преимущественно у западных берегов. В мае-июне черноспинка заходит в Волгу на нерест, где погибает порядка 60% особей, а остальные возвращаются в июле в средний и южный Каспий. Молодь сельди-черноспинки в предустьевом пространстве дельты Волги появляется в августе-сентябре, а в ноябре уходит в Южный Каспий, где проводит зиму у иранских берегов [6, 14] (рис. 2).

Таким образом, в настоящей работе картированы места обитания для 132 видов животных, включая морских (24 вида), проходных и полупроходных (31 вид), двустворчатых (17 видов и подвидов) и брюхоногих (8 видов) моллюсков, ракообразных (18 видов), червей (5 вида), мшанок (1 вид) и околоводных наземных позвоночных – рептилий (3 вида), птиц (22 вида), млекопитающих (каспийский тюлень, ондатра и водяная полевка). Так как некоторые виды были разделены нами на половозрелых и неполовозрелых особей, то общее количество объектов биоразнообразия составило 175, картирование каждого из которых проводилось ежемесячно для учета годовой динамики. Видовое разнообразие морской и прибрежной растительности нами не учитывалось.

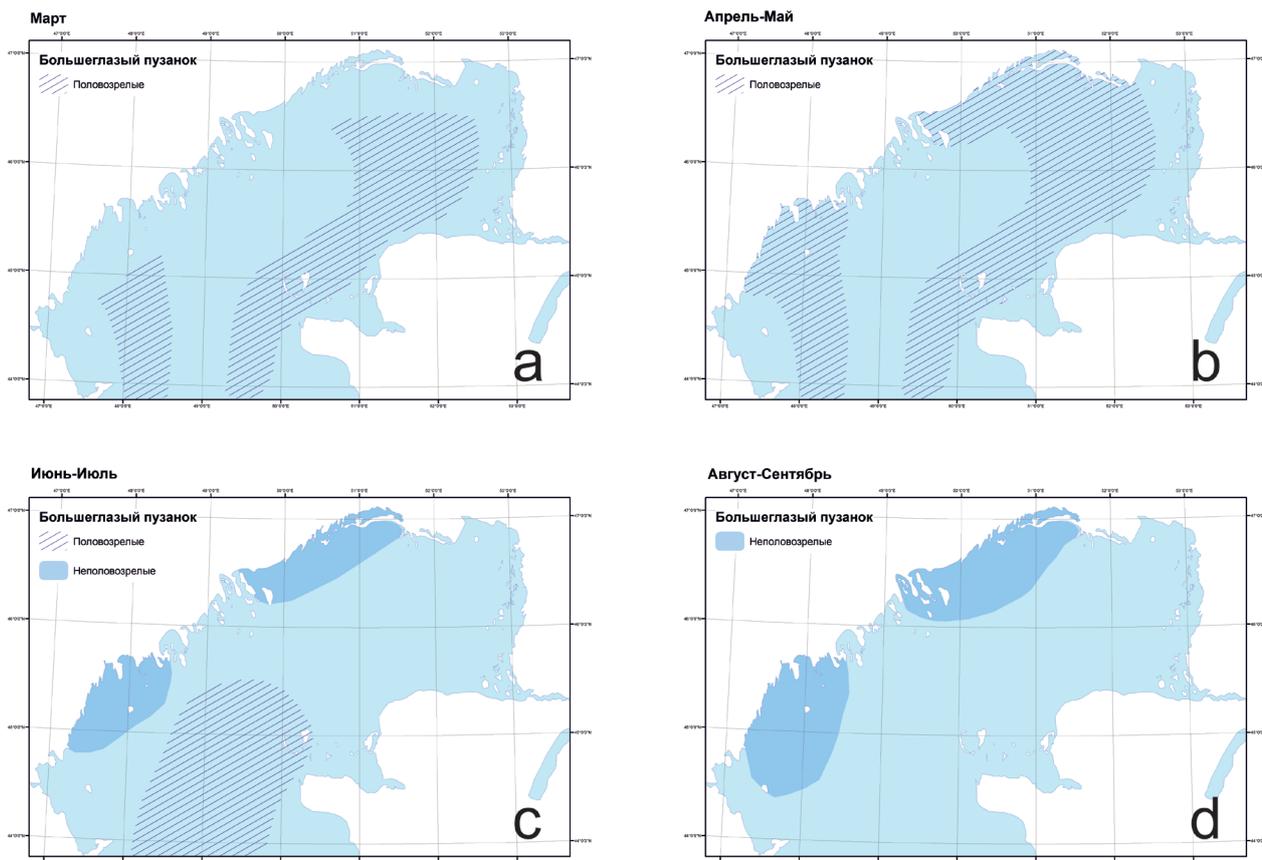


Рис. 1. Места обитания большеглазого пузанка

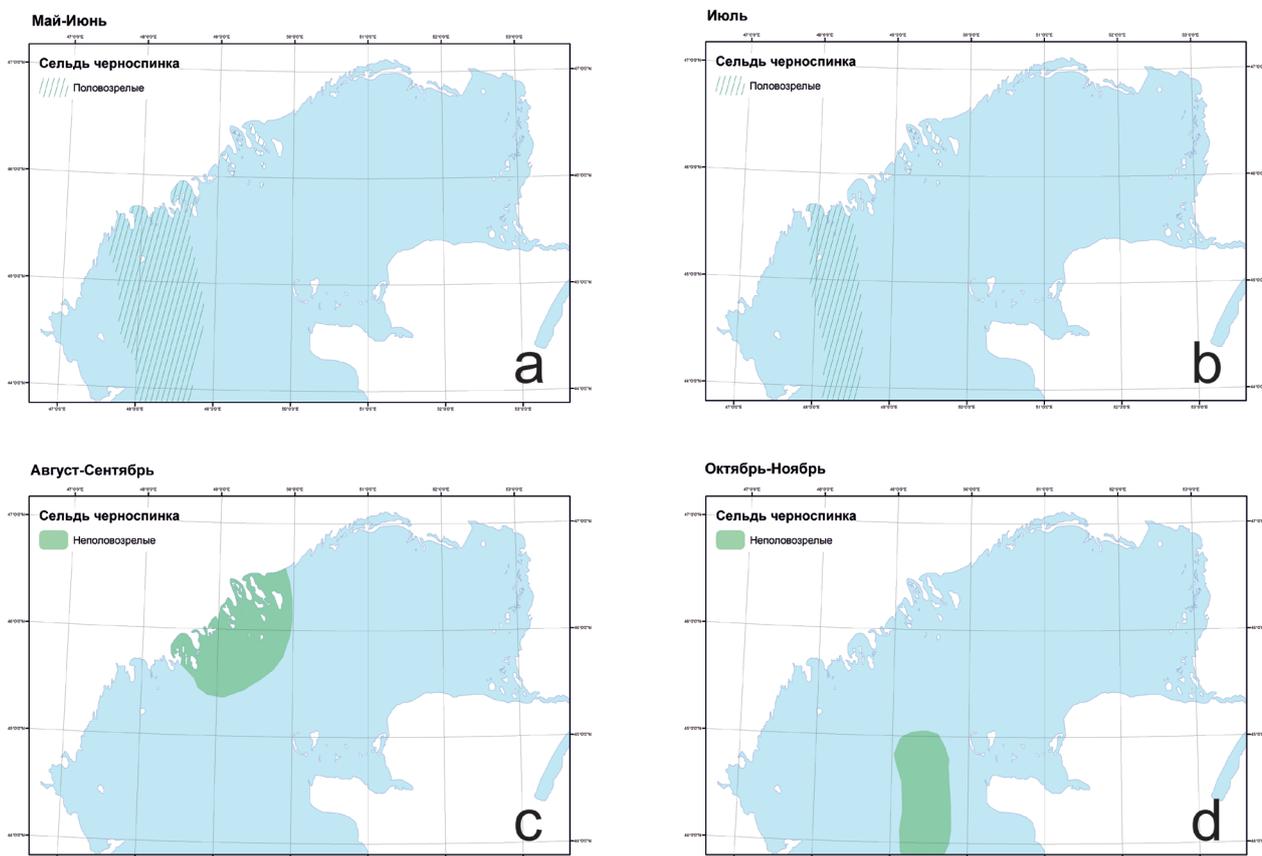


Рис. 2. Места обитания сельди-черноспинки

Использование инструментов геоинформатики для построения карт биоразнообразия и уязвимости

Видовое картирование биоты, а также описанный выше математический алгоритм построения карт биоразнообразия и уязвимости, реализовывались с использованием современных инструментов геоинформатики – ПО ArcGIS for Desktop.

На первом этапе вся информация о местах обитания выбранных объектов биоразнообразия заносилась в виде векторной цифровой карты, используя методы оцифровки и редактирования приложения ArcMap. Каждая векторная карта создавалась для отдельного объекта биоразнообразия в виде отдельного слоя т.е. шейп-файла, содержащего атрибутивную (вспомогательную) информацию о наличии объекта на данной территории в определенный месяц, периоде восстановления и пр. Таким образом была создана ГИС биоты Северного Каспия как множество описанных векторных карт.

На следующем шаге векторная информация инструментами ArcToolbox преобразовывалась в растровые географически привязанные файлы (грид-файлы). При растровой форме представления геоинформации элементарными пространственными объектами являются ячейки растра, всегда имеющие некоторую площадь. Другими словами, выбранная область представляется в виде множества непересекающихся ячеек, снабженных атрибутивной информацией.

Используя встроенный инструментарий Spatial Analyst Tools, а именно, инструменты MapAlgebra, согласно формуле (2) были построены карты биоразнообразия Северного Каспия для каждого месяца (рис. 3) путем сложения соответствующих растровых цифровых карт мест обитания объектов биоразнообразия. Данная серия карт через интенсивность цветового решения наглядно отражает сезонное географическое распределение биоразнообразия Северного Каспия. Светло-зеленый оттенок соответствует минимальному биоразнообразию, и с усилением интенсивности цвета биоразнообразие возрастает к максимуму, который достигается в августе. Кроме того, используя весовые коэффициенты для каждого объекта биоразнообразия в виде периода восстановления, согласно формуле (3) были построены карты уязвимости для каждого объекта биоразнообразия на каждый месяц года. Далее были также рассчитаны интегральные карты относительной уязвимости биоты Северного Каспия в разрезе каждого месяца (рис. 4). В данной серии карт максимальная уязвимость показана красным цветом, и по мере снижения уязвимости – желтым, и наконец, зеленым цветом. Как и в случае карт биоразнообразия, максимальная уязвимость достигается в конце лета.

Максимальные значения и легенды цветовой схемы для карт биоразнообразия и уязвимости приведены в табл. 1. Отметим, что полученные карты могут быть дополнены при дальнейшем картировании объектов биоразнообразия Северного Каспия.

Заключение

В работе получены карты биоразнообразия и уязвимости биоты Северного Каспия на основе описания и картирования мест обитания 132 видов водных и околотовных животных. При этом учитывались биологические характеристики видов – нагульные, нерестовые, зимовальные миграции, а также места нереста половозрелых особей и концентрации личинок и молоди (например, если это рыбы), что составило 175 объектов биоразнообразия, картирование каждого из которых проводилось ежемесячно для учета годовой динамики.

Описание экосистем в виде карт биоразнообразия дополняется нами понятием «уязвимость», где уязвимость каждого объекта биоразнообразия рассчитывается в виде периода восстановления как некоторого «весового коэффициента значимости». Так, например, период восстановления у севрюги в случае ее гибели более длительный, чем у каспийского бычка, и севрюга получается «более значимой» по сравнению с каспийским бычком.

Предложенные нами подходы были теоретически обоснованы в рамках строгих определений, математических предположений и выводов из них и реализованы на практике с помощью инструментов геоинформатики. Такой подход оказался весьма информативным, так как позволил продемонстрировать различия между картами биоразнообразия и картами уязвимости биоты. Так, в районе дельты Урала, Уральской бороздины и Тюленьих островов зимой биоразнообразие составляет 10-25% от максимального значения в течение года, в то время как относительная уязвимость уже достигает 45%, что обусловлено местом обитания каспийского тюленя и зимовкой многих видов ценных промысловых рыб. Тем самым, карты уязвимости в количественном виде более тонко отражают общее состояние экосистемы. Разработанные нами карты биоразнообразия и уязвимости биоты могут быть использованы для оценки экологических рисков при проведении нефтяных или иных операций, сопряженных с возможностью загрязнения, а также при мониторинговых исследованиях состояния окружающей среды Северного Каспия.

Данная работа выполнена в рамках гранта «Коммерциализация технологий» Министерства образования и науки Республики Казахстан, соглашение № 200 от 5 марта 2014.

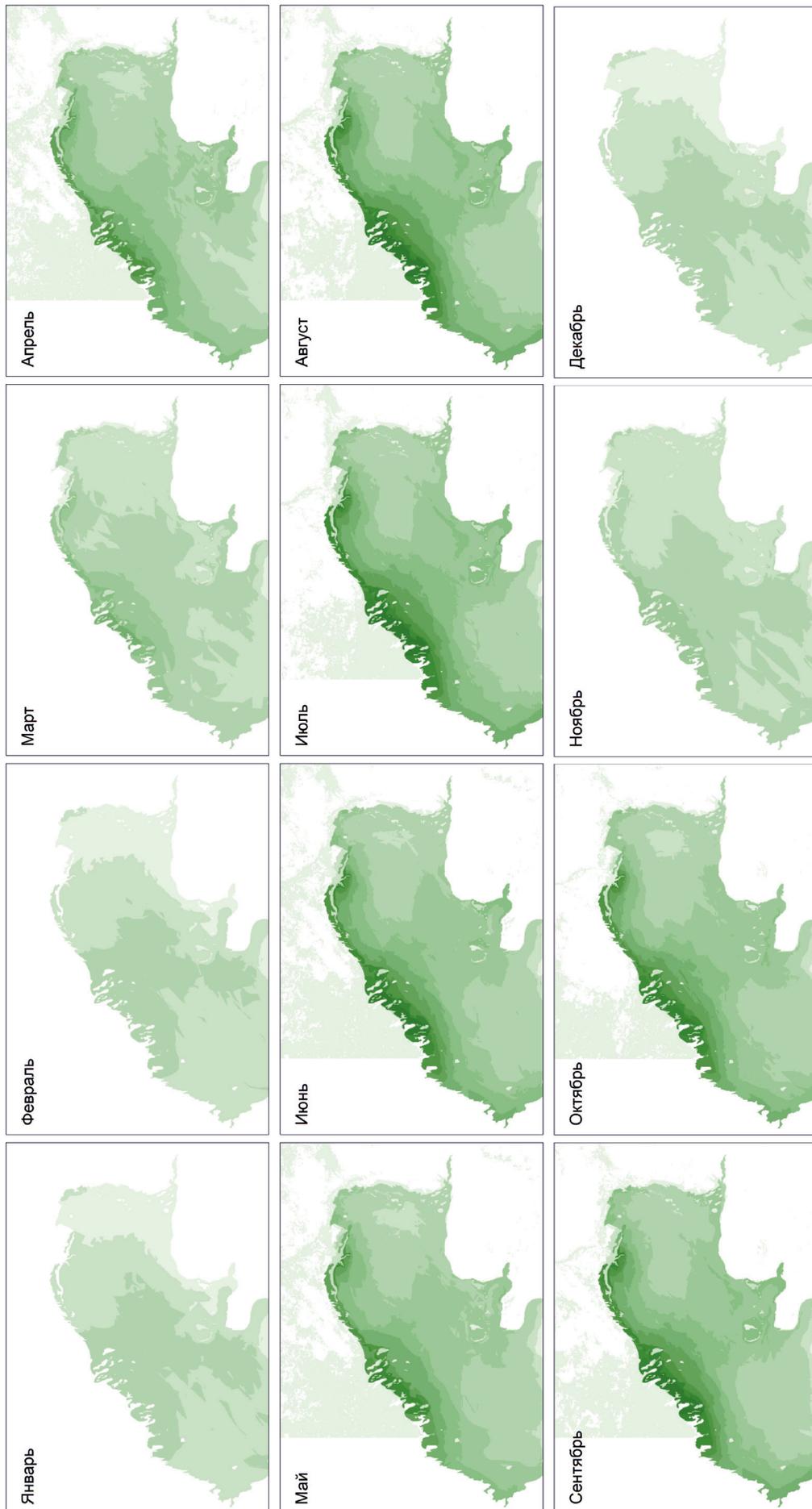


Рис. 3. Карты биогеографии Северного Каспия

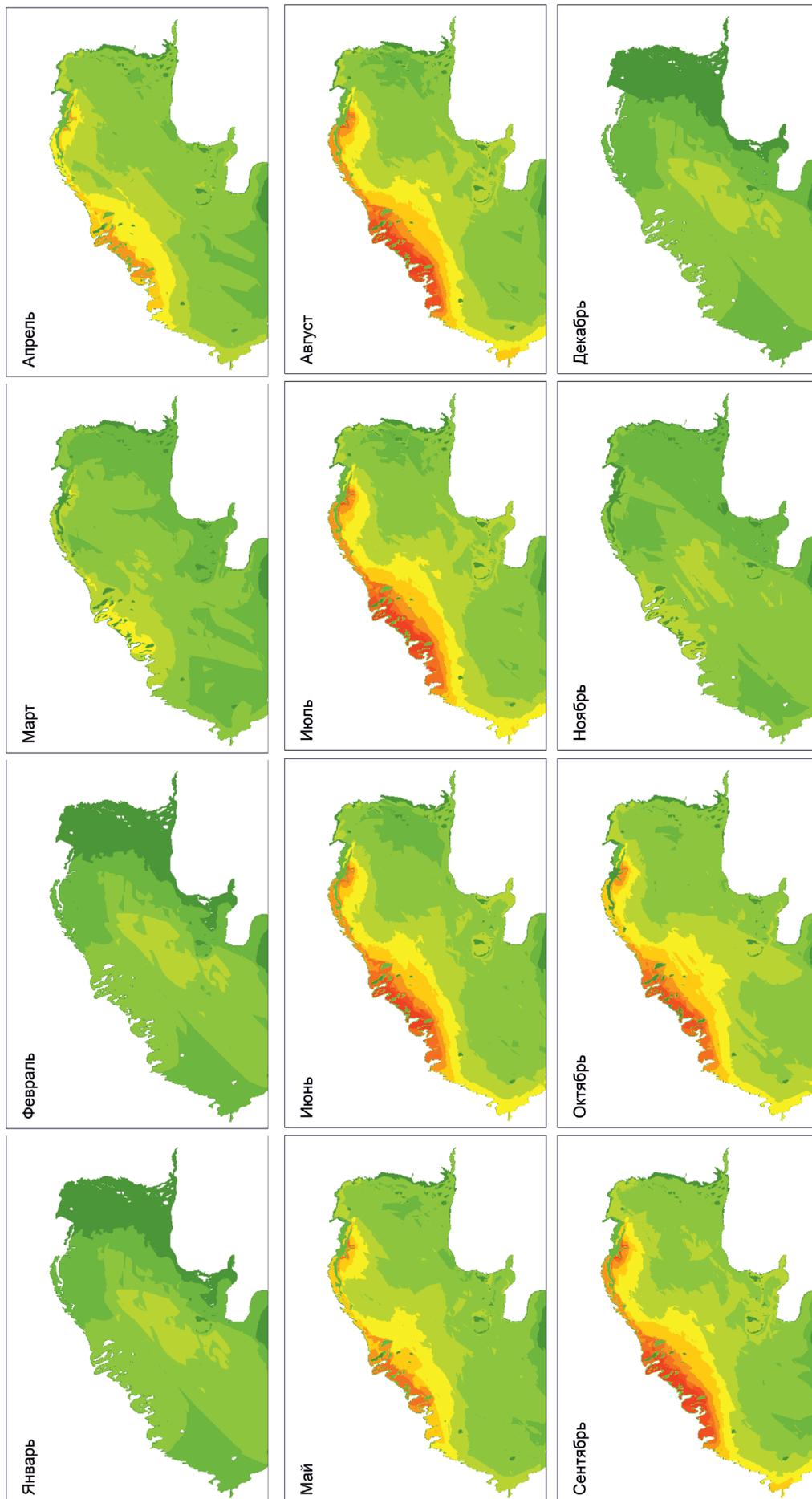
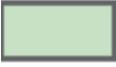
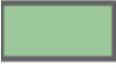


Рис. 4. Интегральные карты относительной уязвимости биоты Северного Каспия

Таблица 1

Максимальные значения и легенды цветовой схемы для карт биоразнообразия и уязвимости

| Месяц | Биоразнообразие | | Относительная уязвимость | |
|----------|-----------------------|--|--------------------------|---|
| | максимальное значение | | максимальное значение | |
| Январь | 30 |  0 | 0,391 |  0 |
| Февраль | 29 |  0-10 | 0,387 |  0-0,1 |
| Март | 52 |  11-20 | 0,484 |  0,1-0,2 |
| Апрель | 79 |  21-30 | 0,672 |  0,2-0,3 |
| Май | 91 |  31-40 | 0,780 |  0,3-0,4 |
| Июнь | 108 |  41-50 | 0,936 |  0,4-0,5 |
| Июль | 116 |  51-60 | 0,992 |  0,5-0,6 |
| Август | 116 |  61-70 | 1 |  0,6-0,7 |
| Сентябрь | 114 |  71-80 | 0,997 |  0,7-0,8 |
| Октябрь | 101 |  81-90 | 0,845 |  0,8-0,9 |
| Ноябрь | 40 |  91-100 | 0,367 |  0,9-1 |
| Декабрь | 30 |  >100 | 0,391 |  0,9-1 |

Ключевые слова: геоинформатика, биоразнообразие, уязвимость, биота, Северный Каспий, математическая модель, экологические риски.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sensitivity mapping for oil spill response. – London : IMO ; IPIECA ; OGP, 2012. – URL: <http://www.ipieca.org/publication/sensitivity-mapping-oil-spill-response-0> (дата обращения 12.04.2016)
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 (СЕМЕРЕ), Greece, Skiathos island, 2007. – Vol. 1. – P. 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. Боровков А.А. Математическая статистика. М. : Физматлит, 1984. – 472 с.
5. Aladin N.V., Bolshov A.A., Pichugin A.A. Final Regional Biodiversity Report on the Caspian Sea (in Russian and English), 2001. – 275 p. – URL: http://www.zin.ru/projects/caspdiv/biodiversity_report.html (дата обращения 12.04.2016).
6. Богущая, Н.Г., Кияшко, П.В., Насека, А.М., Орлова, М.И. Определитель рыб и беспозвоночных Каспийского моря. Т. 1: Рыбы и моллюски. – СПб. ; М. : Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 543 с.

7. Красная книга Казахстана. Т. 1: Животные : Часть 1: Позвоночные / колл. авторов). – Изд. 3-е, переработанное и дополненное. – Алматы : «Конжык», 1996. – 327 с. – ISBN 5-7667-3315-1, ISBN 5-7667-3894-3.
8. Погребов В.Б., Дмитриев Н.В., Кийко О.А., Филиппов А.А., Сулейманов М., Виноградова М., Бабаев А. Экологическое состояние береговой зоны стран Каспийского моря в условиях добычи и транспортировки нефти // Сборник аннотаций докладов 8-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore-2007). – СПб. : ХИМИЗДАТ. – С. 179.
9. Погребов В.Б., Дмитриев Н.В., Кийко О.А., Усенков С.М., Филиппов А.А. Современное состояние береговых экосистем Каспийского моря на региональном уровне // Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений : мат-лы III Межд.научно-практ. конф. – Астрахань : Изд-во КаспНИРХ, 2009. – С. 162-166.
10. Птицы Казахстана / ред. И.А. Долгушина. – Алма-Ата : Наука КазССР. – Т. 1, 1960. – 468 с. ; Т. 2, 1962. – 778 с.
11. Бирштейн Я.А., Виноградов Л.Г., Кондаков Н.Н. и др (ред.), Атлас беспозвоночных Каспийского моря. – М. : Пищевая промышленность, 1968. – 415 с.
12. Казанчиев Е.Н. Рыбы Каспийского моря (определитель). – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 168 с.
13. Касымов А.Г. Каспийское море. – М. : Гидрометеопиздат, 1987. – 152 с.
14. Рыбы Казахстана / В.П. Митрофанов, Г.М. Дукравец, Н.Е. Песериди и др. – Алма-Ата : Наука КазССР. – Т. 1, 1986. – 272 с. ; Т. 2, 1987. – 200 с. ; Т. 3, 1988. – 304 с. ; Т. 4, 1989. – 312 с.
15. Млекопитающие Казахстана / А.А. Слудский, Б.И. Бадамшин и др. – Алма-Ата : Наука КазССР, 1981. – 244 с.
16. Рагимов Д.Б., Бычковые рыбы Каспийского моря (систематика, экология, значение) : автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Ленинград : ЛГУ, 1988. – 32 с.
17. Березовиков Н.Н., Гисцов А.П. Птицы дельты реки Урал // Русский орнитологический журнал. – 2001. – Экспресс-выпуск 153. – С. 635-649.
18. Степанова Т.Г. Формирование биоразнообразия и численности бычковых рыб в Северном Каспии // Рыбохозяйственные исследования на Каспии : результаты НИР за 2003 г. / М.И. Карпюк, Д.Н. Катунин, А.И. Кушнаренко и др. – Астрахань : КаспНИРХ, 2004. – С. 268-273.
19. Архипов В.Ю., Русанов Г.М., ван Стейнис М. К авифауне северо-западного Прикаспия: новые находки и уточнения статуса видов // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 2003. – Т. 108, № 2. – С. 17-24.
20. Никитин Э.В. Распределение и численность годовиков синца в северной части Каспийского моря // Вестн. Астраханск. гос. техн. ун-та. – 2006. – № 4 (33). – С. 276-280.
21. Коноплева И.В., Ходоровская Р.П., Романов А.А. Распределение и качественная структура популяции русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* в Каспийском море // Вопросы рыболовства. – 2007. – Т. 8, № 4 (32). – С. 641-652.
22. Андрианова С.Б., Барабанов В.В. Динамика уловов, численности и запасов большеглазого пузанка *Alosa saposhnikovii* (Grimm) в Северном Каспии // Вестн. Астраханск. гос. технич. ун-та. Сер. Рыбное хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 13-18.
23. Андрианова С.Б. Биология и запасы большеглазого пузанка в Каспийском море // Состояние запасов промысловых объектов на Каспии и их использование / под ред. В.П. Иванова. – Астрахань : КаспНИРХ, 2001. – С. 225-238.