

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ГУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр»

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ НЕФТЯНЫМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ

АТЛАС

Проект «Моря»

Астрахань 2005

Экологическая оценка загрязнения западной части Северного Каспия нефтяными углеводородами. Атлас. / Отв. ред. С.К. Монахов; Каспийский морской научно-исследовательский центр. — Астрахань, 2005. — 50 с.

Дано описание методов, предлагаемых для экологической оценки загрязнения морской среды. Приведены составленные по данным многолетних наблюдений карты пространственного распределения нефтяных углеводородов в западной части Северного Каспия, а также карты пространственного распределения параметров экологической оценки загрязнения морской среды: средней и максимальной нагрузки, потенциалов загрязнения и очищения, ассимиляционной емкости и экологической нормы загрязнения.

Для специалистов в области мониторинга и охраны морской среды.

- © ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскиефть»
- © ООО «Каспийская нефтяная компания»
- © ГУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр»

#### Введение

Регулярные наблюдения за загрязнением морской среды на отечественных морях начались в 70-е годы прошлого века, когда в составе Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды была создана Общегосударственная служба наблюдений и контроля загрязнения природной среды.

Научные и методические основы мониторинга загрязнения морей были разработаны в Государственном океанографическом институте под руководством профессора Анатолия Ильича Симонова, которому авторы посвящают эту книгу.

Первая попытка обобщения данных наблюдений за загрязнением морской среды была сделана в 80-е годы рамках проекта «Моря» Государственного комитета СССР по науке и технике, однако результаты этой работы не были опубликованы.

Следует отметить, что подготовленные в рамках этого проекта научно-справочные пособия по гидрометеорологии и гидрохимии шельфа и морей СССР, в общем насчитывающие 23 тома, являются главными настольными книгами для всех, кто интересуется морской тематикой.

Сегодня с сожалением приходится признать, что данные многолетних наблюдений за загрязнением морей практически не востребованы учеными и специалистами. Более того, существует мнение, что они не подходят для решения современных задач в области охраны морской среды.

Считая эту точку зрения глубоко ошибочной, нельзя не признать, что у нее есть объективные предпосылки. Одна из них — это ощутимый недостаток в подходах, позволяющих представить данные наблюдений или результаты их анализа в форме, в которой они могут быть использованы для решения прикладных задач морской экологии.

Стремление восполнить этот недостаток послужило стимулом исследований, одним из результатов которых является данный атлас. Наверно, не случайно, что их объектом стал Северный Каспий, сохранение экосистемы которого приобрело особую актуальность в связи с освоением открытых здесь богатых месторождений углеводородного сырья

В качестве связующего звена между мониторингом и охраной морей авторы предлагают использовать экологическую оценку загрязнения морской среды, под которой подразумевается комплекс методов, применяемых для определения потока загрязняющих веществ, проходящего через морскую экосистему, и его критического значения, превышение которого вызывает нарушение ее жизнедеятельности

В практической плоскости речь идет о количественной оценке допустимого сброса загрязняющих веществ, учитывающей не только индивидуальные особенности экосистем, но и изменения их состояния во времени. Эта оценка открывает возможность для перехода от унифицированных нормативов качества морских вод к экологическому нормированию нагрузки на морские водоемы, что является одной из актуальных задач морской экологии

В основу разработанных в Каспийском морском научно-исследовательском центре по поручению ООО «Каспийская нефтяная компания» и ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» методов экологической оценки загрязнения морской среды положены представления об ассимиляционной емкости морских экосистем, развитые академиком РАН Ю.А. Израэлем и член-корреспондентом РАН А.В.Цыбань на основе анализа экологических последствий загрязнения Мирового океана.

Проведение исследований стало возможным благодаря финансовой помощи со стороны названных выше нефтяных компаний. Но не меньшее значение имела оказанная ими

идейная поддержка и четкие формулировки задач, использованные авторами для строительства «моста» между теоретической и прикладной экологией моря.

В связи с прикладным характером работы в качестве формы представления ее результатов выбран атлас, придающий им максимальную наглядность. По этой же причине в работе отсутствует анализ факторов, которыми обусловлены изменения состояния загрязнения морской среды в западной части Северного Каспия. Все карты приведены в заключительной части работы. В первой части дана характеристика использованных материалов, терминов и сокращений, а во второй части приведено описание методов, в совокупности составляющих экологическую оценку загрязнения морской среды.

В подготовке атласа принимали участие: С.К. Монахов (ответственный редактор), С.В. Делия, А.А. Курапов, О.И. Зорникова (ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»), А.П. Порохнин, Н.В. Попова (ООО «Каспийская нефтяная компания»), Ф.С. Терзиев, И.Г. Матвейчук, Т.И. Плотникова (Государственный океанографический институт) Е.В. Островская, В.О. Татарников, Д.А. Ныров, Е.В. Гаврилова, Е.С. Беляева (Каспийский морской научно-исследовательский центр), В.И.Ревякин, Л.Ф. Непоменко (ООО «Научно-исследовательский центр «КаспНИЦ»), Ф.Ш. Ильзова (Астраханский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды), Г.А. Монахова (Дагестанский государственный университет)

### 1. Характеристика материалов, использованных для экологической оценки загрязнения морской среды западной части Северного Каспия

Материалами для исследования послужили данные измерений концентрации нефтяных углеводородов в морской воде, выполнявшихся в соответствии с программой Общегосударственной службы наблюдений и контроля загрязнения природной среды в период 1978-1992 гг. на так называемых «вековых» разрезах Северного Каспия.

Следует отметить, что под нефтяными углеводородами (НУ) далее подразумевается сумма входящих в состав нефти и нефтепродуктов неполярных и малополярных углеводородов, экстрагируемых четыреххлористым углеродом ( $CCl_4$ ) и не сорбируемых активированной окисью алюминия ( $Al_2O_3$ ).

Выбор указанного периода обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, в предшествующее ему время для определения НУ в воде использовался весовой метод, результаты которого плохо сопоставимы с данными, полученными с помощью применявшегося далее метода инфракрасной спектрофотометрии.

Во-вторых, после 1992 года в связи с недостатком средств резко сократился объем экспедиционных работ. Если в период 1978-1992 гг. на акватории Северного Каспия наблюдения за загрязненностью морской среды по программе ОГСНК проводились 4-6 раз в год, то в последующее время — один раз в 2-3 года.

В период 1978-1992 гг. программа наблюдений за загрязненностью морских вод Северного Каспия время от времени подвергалась незначительной корректировке. С целью обеспечения однородности материалов в работе использовались данные, полученные на станциях, где наблюдения проводились в течение всего рассматриваемого периода (рис. 1). Из тех же соображений были выбраны 4 месяца (апрель, июнь, август, октябрь), для которых ряды наблюдений практически не имели пропусков.

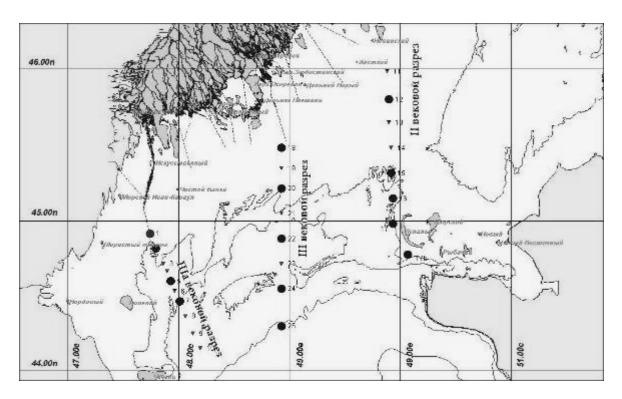


Рис. 1 Карта-схема «вековых» разрезов Северного Каспия. Станции, где наблюдения за загрязнением морских вод в период 1978-1992 гг. проводились постоянно, выделены синим цветом

В работе использовались архивные материалы, собранные и систематизированные в рамках проекта «Моря». Сделанная из них выборка была сверена с первоисточниками – ежемесячниками и ежегодниками Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей природной среды. В результате был сформирован исходный массив данных, содержащий 2092 записи измерений концентрации нефтяных углеводородов в водах Северного Каспия.

В ходе предварительного анализа исходного массива данных была установлена его неоднородность. Примерно половина записей приходится на диапазон концентраций менее или равных  $0.10 \, \text{мг/л}$  (рис.2). Относительно высокие значения концентрации НУ воде (более  $0.50 \, \text{мг/л}$ ) в исходном массиве данных распределялись случайным образом, т.е. не были привязаны конкретно к какой-либо станции, району или году.

Это дало основание предполагать, что повышенные значения концентрации НУ воде являются либо ошибкой измерений, либо характеризуют локальное загрязнение той или иной акватории. По-видимому, второе предположение более оправдано, поскольку повышенные значения концентрации НУ в воде чаще наблюдались в апреле и августе, чем в июне и октябре (рис. 2), тогда как ошибкам свойственно равномерное распределение.

Следует принять во внимание, что именно в апреле и августе, т.е. непосредственно перед половодьем на р. Волге и сразу после его завершения, на акватории Северного Каспия наблюдается наибольшее уплотнение изогалин [9, 10]. Возможно, что с ним каким-то образом связано увеличение частоты относительно высоких значений концентрации НУ в воде, характерное для этих месяцев года.

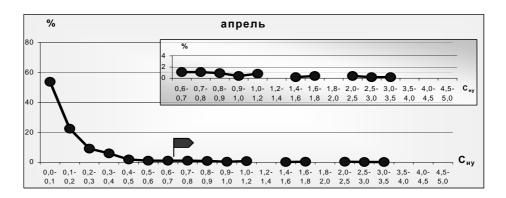
Повышенная концентрация загрязняющего вещества в какой-либо точке акватории является помехой для характеристики ее загрязнения в целом. То же самое можно сказать о «выбросах» во временных рядах наблюдений. При решении задач общего плана, к каковым относится экологическая оценка загрязнения морской среды, встает вопрос об «очистке» исходных материалов от данных, искажающих общую картину.

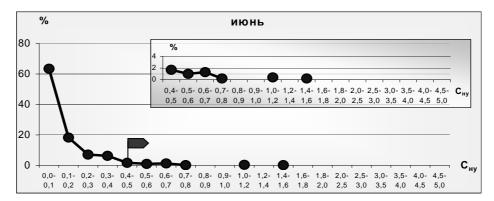
Общепринятых рецептов решения этого вопроса не существует. В данной работе в качестве критерия локального загрязнения используется 5% порог значимости (рис. 2). Значения концентрации НУ в воде, превышающие этот порог, были удалены из массива данных. Предварительно с целью учета отмеченных выше сезонных изменений в характере статистического распределения данных исходный массив был разбит на сезонные массивы. Модифицированные массивы данных использовались для экологической оценки загрязнения морской среды.

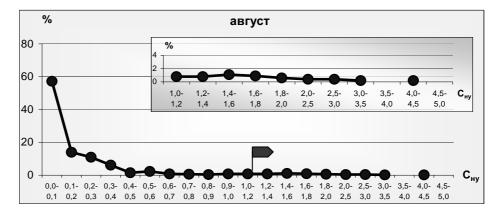
Для того чтобы избежать обвинений в субъективизме в табл. 1 приведены сведения о содержании нефтяных углеводородов в морской воде, полученные при обработке как модифицированных, так исходных массивов данных. Кроме того, оба массива данных использовались для создания карт, характеризующих пространственное распределение нефтяных углеводородов на акватории западной части Северного Каспия.

Таблица 1 Средняя и максимальная концентрация нефтяных углеводородов в морской воде (мг/л) на «вековых» разрезах Северного Каспия в период 1978-1992 гг.

Разрез	Апр	ель	Ин	Июнь Август		Октябрь		Год		
	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.
	Исходные массивы данных									
I	0,22	2,64	0,15	1,03	0,18	1,75	0,10	1,65	0,16	2,64
II	0,13	0,90	0,09	0,55	0,26	4,25	0,11	0,82	0,15	4,25
III	0,15	1,18	0,11	1,05	0,22	2,00	0,11	0,81	0,15	2,00
IIIa	0,21	2,38	0,13	1,52	0,22	3,15	0,17	3,78	0,18	3,78
	Модифицированные массивы данных									
I	0,10	0,53	0,12	0,38	0,14	1,04	0,07	0,45	0,11	1,04
II	0,12	0,65	0,08	0,40	0,14	0,88	0,09	0,45	0,11	0,88
III	0,13	0,49	0,10	0,39	0,12	1,02	0,10	0,47	0,11	1,02
IIIa	0,14	0,64	0,09	0,40	0,12	0,92	0,10	0,47	0,11	0,92







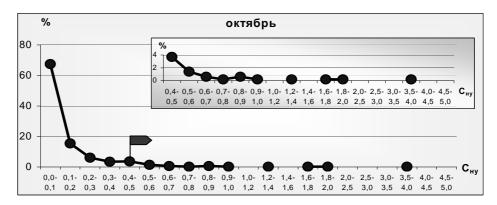


Рис. 2 Повторяемость (%) концентрации нефтяных углеводородов в морской воде ( $C_{\rm Hy}$ , мг/л) по диапазонам значений. Справа от флажка расположены значения концентрации 5% обеспеченности (на врезке эта часть графика дана в увеличенном масштабе). Вверху расположен график за апрель, ниже идут графики за июнь, август, октябрь

В данной работе авторы стремились придерживаться общепринятого толкования использованных терминов и понятий. Однако, учитывая новизну подхода к экологической оценке загрязнения морской среды, сделать это полностью не удалось. Кроме того, в литературе, особенно научной, до сих пор нет однозначного толкования того, какие из терминов, используемых при анализе и оценке загрязнения морской среды, следует применять для обозначения массы загрязняющего вещества, а какие для ее изменений во времени. Определения, предложенные авторами (табл. 2), нельзя считать ни окончательными, ни идеальными, они просто призваны облегчить восприятие данной работы.

Таблица 2 Обозначения, термины и определения, использованные в работе

Обозна-	Термины и определения	Размер-	
чение			
$C_i$	Средняя для водоема в целом или его части концентрация загрязняющего вещества воде	мг/л	
$C_{ti}$	Мгновенная концентрация загрязняющего вещества в воде, равная $C_i$ в момент наблюдения	мг/л	
$\overline{C_i}$	Средняя по времени концентрация загрязняющего вещества в воде, равная $C_i$ за период наблюдений	мг/л	
$C_{maxi}$	Максимальная концентрация загрязняющего вещества в воде, равная максимальному значению $C_i$ за период наблюдений		
$CL_{50}$	Установленная для вида-«мишени», чувствительного к загрязнению и играющего важную роль в жизнедеятельности сообществ, концентрация загрязняющего вещества в воде, вызывающая гибель 50% особей	мг/л	
$CL_0$	Концентрация загрязняющего вещества воде, не оказывающая токсического воздействия на вид-«мишень»	мг/л	
$C_{0i}$	Критическая концентрация загрязняющего вещества воде, равная $C_i$ при условии, что $C_i = CL_{50}$	мг/л	
$C_{li}$	Допустимая концентрация загрязняющего вещества воде, равная $C_i$ при условии, что $C_i = CL_0$	мг/л	
$L_i$	Нагрузка по загрязняющему веществу (далее – нагрузка) – масса загрязняющего вещества в водоеме или его части, отнесенная к площади акватории	тонн/км <sup>2</sup>	
$L_{ti}$	Мгновенная нагрузка, равная $L_i$ в момент наблюдения	тонн/км2	
$\frac{L_{ti}}{L_i}$	Средняя нагрузка, равная среднему значению $L_i$ за период наблюдений	тонн/км2	
$L_{maxi}$	Максимальная нагрузка, равная максимальному значению $L_{ti}$ за период наблюдений	тонн/км2	
$L_{0i}$	Критическая нагрузка, равная $L_i$ при условии, что $C_i = CL_{50}$	тонн/км2	
$L_{li}$	Допустимая нагрузка, равная $L_i$ при условии, что $C_i = CL_0$	тонн/км2	
$R_i$	Скорость изменения нагрузки – разность между мгновенной нагрузкой в данный и предыдущий моменты времени, отнесенная к продолжительности интервала между ними	тонн/ км <sup>2.</sup> мес	
$D_i$	Скорость поступления загрязняющего вещества в водоем или его часть из всех возможных источников	тонн/ км <sup>2.</sup> мес	
$F_i$	Скорость удаления загрязняющего вещества из водоема или его части за счет внутриводоемных процессов и водообмена с другими водоемами	тонн/ км <sup>2.</sup> мес	
$M_{pi}$	Масса вещества, поступающего в водоем или его часть за период времени $T$	тонн/км2	
$P_{mi}$	Масса вещества, удаляемого из водоема или его части за период времени $T$	тонн/км2	
$P_{pi}$	Потенциал загрязнения – максимальная скорость поступления загрязняющего вещества в водоем или его часть	тонн/ км <sup>2.</sup> мес	
$P_{mi}$	Потенциал очищения – максимальная скорость удаления загрязняющего вещества из водоема или его части	тонн/ км <sup>2.</sup> мес	

$A_{mi}$	Ассимиляционная емкость – значение скорости удаления загрязняющего	тонн/		
	вещества, превышение которого влечет за собой нарушение структурной и	км <sup>2.</sup> мес		
	функциональной целостности экосистемы водоема или его части			
$N_i$	Экологическая норма загрязнения – исходная нагрузка и скорость поступ-	тонн/		
	ления загрязняющего вещества в водоем, соотнесенные с его ассимиляци-	км <sup>2.</sup> мес		
	онной емкостью (в том же смысле применимо к части водоема)			

В сущности, экологическая оценка загрязнения морской среды представляет собой комплекс методов, используемых для определения параметров, приведенных в табл. 2. При этом значение большей части этих параметров может быть определено на основе данных многолетних наблюдений за загрязнением морей. Специальные исследования требуются только для выявления видов-«мишеней» и допустимой для них концентрации загрязняющих веществ. Сохранение и продолжение наблюдений за загрязнением морей является обязательным условием регулирования сбросов загрязняющих веществ.

## 2. Методы и технология экологической оценки загрязнения морской среды западной части Северного Каспия

Теоретической основой экологической оценки загрязнения морской среды является концепция ассимиляционной емкости морских экосистем, разработанная на основе анализа экологических последствий загрязнения Мирового океана [3, 4, 5, 6]. Эту концепцию, к сожалению не нашедшую пока широкого применения, предложено использовать для экологического нормирования сброса загрязняющих веществ в морские водоемы.

Согласно определению, данному в [3], «ассимиляционная емкость морской экосистемы по данному загрязняющему веществу — это максимальная динамическая вместимость такого количества этого вещества, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за счет процессов седиментации, диффузии или любого другого процесса переноса за пределы экосистемы без нарушения ее нормального функционирования».

В соответствии с [6] «совокупность большого числа природных явлений, за счет которых происходит «самоочищение» морской среды, может быть сведена к немногим наиболее важным процессам, а именно гидродинамический перенос, микробиологическое окисление, биологическая трансформация, биохимическое окисление, химические и физические превращения, седиментация абиогенных частиц, биоседиментация».

Практически оценка ассимиляционной емкости ( $A_{mi}$ ) сводится к определению потока вещества, проходящего через экосистему ( $F_i$ ), и его порогового значения ( $F_{0i}$ ), превышение которого влечет за собой нарушение биотического баланса экосистемы [5]. При этом

$$F_i = \frac{V}{\tau_i} C_i \tag{1}$$

$$F_{0i} = \frac{V}{\tau_i} C_{0i} \tag{2}$$

откуда

$$F_{0i} = \frac{C_{0i}}{C_i} F_i, (3)$$

где V – объем экосистемы,  $\tau_i$  – время пребывания загрязняющего вещества в экосистеме,  $C_i$  – средняя концентрация загрязняющего вещества в морской воде,  $C_{0i}$  – критическая концентрация загрязняющего вещества в морской воде.

За  $C_{0i}$  принимается полулетальная ( $CL_{50}$ ) концентрация загрязняющего вещества, установленная для вида-«мишени», наиболее чувствительного к загрязнению и играющего важную роль в жизнедеятельности морских сообществ [6]. Экспериментально установленное для вида-«мишени» отношение пороговой концентрации загрязняющего вещества ( $CL_0$ ) к полулетальной концентрации ( $CL_{50}$ ) называется коэффициентом запаса –  $k_i$  [4]. Произведение  $k_i$  на  $F_{0i}$  рекомендуется использовать для расчета ассимиляционной емкости морской экосистемы [5].

В работе [6] с целью учета пространственно-временной неоднородности распределения загрязняющего вещества в экосистеме вводится понятие общего коэффициента запаса ( $K_i$ ), представляющего собой произведение  $k_i$  (обозначаемого как  $k_{Ii}$ ) на  $k_{2i}$ , равный отношению средней концентрации ( $C_i$ ) загрязняющего вещества к максимальной ( $C_{maxi}$ ). Если, учитывая формулу (3), ввести  $k_{3i}$  для обозначения отношения  $C_{0i}/C_i$ , то ассимиляционную емкость можно рассчитать по формуле:

$$A_{mi} = K_i F_i, (4)$$

$$K_i = k_{1i} k_{2i} k_{3i}$$
 (5)

Изучение физических, химических и биологических процессов, определяющих «судьбу» загрязняющих веществ в морской среде, требует длительных и трудоемких исследований. В данной работе предложена упрощенная процедура оценки ассимиляционной емкости морских водоемов с использованием данных наблюдений за загрязнением морских вод, проводимых в рамках мониторинга морской среды. Предусматривается, что эта процедура должна быть применима не только водоему в целом, но и к отдельным участкам акватории, имеющим произвольно установленные границы.

Предлагаемый метод оценки ассимиляционной емкости основан на определении конечного результата процессов, влияющих на динамику загрязнения морских вод, благодаря чему отпадает необходимость в их детальном анализе. Таковым результатом для участка акватории произвольной площади являются изменения массы загрязняющего вещества в расположенном под ним столбе воды. В частности, снижение этой массы представляет собой итоговую сумму различных процессов, вносящих вклад в «самоочищение» морских вод.

В работе [11] установленная по данным наблюдений максимальная скорость снижения массы загрязняющего вещества в столбе воды за определенный промежуток времени названа потенциалом очищения морских вод ( $P_{mi}$ ). Очевидно, что  $P_{mi}$  можно рассматривать как эмпирическую оценку потока вещества ( $F_i$ ), проходящего через данный объем воды, и, следовательно, использовать для расчета ассимиляционной емкости. Объективность этой оценки возрастает, если ряды наблюдений, использованных для расчета  $P_{mi}$ , охватывают весь спектр условий, влияющих на уровень загрязнения морских вод и их способность к «самоочищению». При соблюдении этих условий для оценки ассимиляционной емкости акватории можно использовать формулу:

$$A_{mi} = K_i P_{mi} \tag{6}$$

с оговоркой, конечно, что данная оценка носит эмпирический характер и периодически должна пересматриваться.

Прежде чем перейти к технологии оценки ассимиляционной емкости акватории, необходимо уточнить некоторые используемые далее термины и понятия. Дело в том, что сегодня нет полной определенности в том, какие из параметров, характеризующих состояние загрязнения морской среды, имеют размерность массы, а какие – потока вещества (т.е. изменения массы во времени). По нашему мнению, параметры, характеризующие процессы поступления и удаления загрязняющих веществ, должны иметь размерность потока. Этим параметрам соответствуют такие понятия, как «загрязнение», «очищение», «ассимиляционная емкость». Для характеристики содержания загрязняющих веществ в морской воде лучше использовать термин «загрязненность» и соответствующие ему параметры, имеющие размерность массы.

В исследованиях жизнедеятельности водных экосистем давно принято относить функциональные параметры не к единице объема водоема, а к единице площади его поверхности [2, 12]. К сожалению, это пока не стало традицией антропогенной гидроэкологии, где этот подход более обоснован, так как ее предметом является изучение внешнего воздействия на водные экосистемы. В данной работе все параметры, имеющие размерность массы и потока загрязняющего вещества, относятся к единице площади поверхности моря. Для их обозначения целесообразно использовать специальные термины. Так, нагрузкой по загрязняющему веществу i на акваторию моря далее называется масса i в столбе воды под данной акваторией, отнесенная к ее площади. Расчет нагрузки по загрязняющему веществу ( $L_i$ ) производится по формуле:

$$L_i = \frac{V}{S}C_i, \tag{7}$$

где S — площадь рассматриваемой акватории, V — объем находящегося под ней столба воды,  $C_i$  — средняя концентрация загрязняющего вещества в столбе воды.

Понятие нагрузки по загрязняющему веществу играет конструктивную роль в подходе авторов к оценке ассимиляционной емкости, поскольку оно придает логическую завершенность используемому в нем понятийному аппарату. В его контексте  $L_i$  рассматривается как:

- мгновенная нагрузка ( $L_{ti}$ ) при  $C_i = C_{ti}$ , где t любой, произвольный момент времени;
- средняя нагрузка ( $\overline{L_i}$ ) при  $C_i = \overline{C_i}$ , где  $\overline{C_i}$  среднее за весь период наблюдений значение  $C_i$ :
- максимальная нагрузка ( $L_{maxi}$ ) при  $C_i = C_{maxi}$ , где  $C_{maxi}$  максимальное за весь период наблюдений значение  $C_i$ ;
- критическая нагрузка ( $L_{0i}$ ) при  $C_i = CL_{50}$ , где  $C_{0i}$  критическая (см. выше) концентрация загрязняющего вещества;
- допустимая нагрузка ( $L_{li}$ ) при  $C_i = C_{li} = CL_0$ , где  $C_{li}$  допустимая или пороговая (см. выше) концентрация загрязняющего вещества.

В свою очередь загрязнение морских вод можно рассматривать как повышение нагрузки, обусловленное поступлением загрязняющего вещества i из внешних источников, а очищение морских вод — как снижение нагрузки на рассматриваемую акваторию, обусловленное внутриводоемными процессами. Расчет скорости изменения нагрузки ( $R_i$ ) проводится по формуле:

$$R_{i} = \frac{L_{it} - L_{i(t-1)}}{T}, (8)$$

где  $L_{it}$  – нагрузка в данный момент времени;  $L_{i(t-1)}$  – нагрузка в предыдущий момент времени; T – продолжительность интервала времени между двумя этими моментами.

Очевидно, что при повышении нагрузки (загрязнении)  $R_i$  принимает положительное, а при снижении нагрузки (очищении) — отрицательное значение. Максимальное (положительное) за весь период наблюдений значение  $R_i$  названо в [11] потенциалом загрязнения морских вод ( $P_{pi}$ ), так как оно является показателем наибольшего (по данным мониторинга) загрязнения рассматриваемой акватории. Соответственно, взятое по модулю минимальное (отрицательное) значение  $R_i$  названо потенциалом очищения морских вод ( $P_{mi}$ ). Потенциал очищения вод характеризует собой высшую степень способности экосистемы моря к удалению загрязняющего вещества из произвольно ограниченного объема воды с помощью физических, химических и биологических процессов. Проявление этой способности в максимальном выражении связано с нарушением биотического баланса, условием сохранения которого является соответствие проходящего через экосистему потока загрязняющего вещества ее ассимиляционной емкости. Потенциал очищения и ассимиляционная емкость связаны между собой отношением (б).

В нашем подходе при определении входящего в (6) общего коэффициента запаса учитывается пересчет массы загрязняющего вещества с единицы объема воды на единицу площади акватории (см. выше). Для расчета этого коэффициента по-прежнему используется формула (5), но при этом:

$$k_{Ii} = \frac{L_{li}}{L_{0i}} \tag{9}$$

$$k_{2i} = \frac{\overline{L_i}}{L_{\max i}} \tag{10}$$

$$k_{3i} = \frac{L_{0i}}{\overline{L_i}} \tag{11}$$

С учетом (9, 10, 11) из (5) следует:

$$K_i = \frac{L_{li}}{L_{\max i}} \tag{12}$$

Таким образом, для расчета ассимиляционной емкости по формуле (6) достаточно определить три показателя: потенциал очищения ( $P_{mi}$ ), максимальную нагрузку ( $L_{maxi}$ ) и допустимую нагрузку ( $L_{li}$ ). При этом для определения двух первых показателей используются данные многолетних наблюдений за загрязнением морских вод.

Определение допустимой нагрузки по-прежнему предполагает поведение трудоемких полевых и лабораторных исследований, связанных с выявлением вида или видов-«мишеней» и установлением порога их чувствительности к загрязняющему веществу. Однако, при необходимости этими исследованиями можно пренебречь, приняв за допустимую нагрузку значение  $L_{li}$ , соответствующее установленной для рыбохозяйственных водоемов предельно-допустимой концентрации загрязняющего вещества в воде (ПДК). В этом случае допустимая нагрузка ( $L_{\Pi Д K i}$ ) рассчитывается по формуле (7), где  $C_i = C_{\Pi Д K i}$ . Конечно, установленная с учетом данного упрощения ассимиляционная емкость не будет учитывать индивидуальную реакцию данной экосистемы на загрязнение i-веществом. Но она будет учитывать, что уже важно, индивидуальную способность экосистемы к очищению морских вод от данного вида загрязнения. Принимая во внимание названные обстоятельства, ассимиляционную емкость, рассчитанную исходя из  $L_{li} = L_{\Pi Д K i}$ , можно назвать условной ассимиляционной емкостью ( $\tilde{A}_{mi}$ ).

Выше указывалось, что для эмпирической оценки ассимиляционной емкости акватории лучше использовать длинные ряды наблюдений, охватывающие широкий спектр антропогенных и природных условий. Для демонстрации метода в данной работе использовались данные многолетних наблюдений за загрязненностью вод западной части Северного Каспия. Описание исходных материалов дано в первом разделе работы.

Технологический цикл оценки ассимиляционной емкости акватории включает в себя несколько стадий (рис. 3). На первой стадии осуществляется подготовка исходных данных наблюдений за концентрацией загрязняющих веществ в морской воде (см. раздел 1). Эта стадия включала в себя группировку данных по дате наблюдений с учетом характера исходных материалов и природной цикличности процессов, происходящих в морской среде. Например, для западной части Северного Каспия, представляющей собой устьевое взморье Волги, были выбраны данные наблюдений за апрель (конец зимней межени – начало половодья), июнь (конец половодья – начало летней межени), август (конец летней – начало осенней межени) и октябрь (конец осенней – начало зимней межени).

Если участок моря, выбранный для оценки ассимиляционной емкости, отличается однородными условиями и освещен небольшим количеством станций, то данные наблюдений на этом участке могут быть объединены в один массив, используемый для дальнейших расчетов. В пределах исследуемой акватории может быть выделено несколько таких участков, — в этом случае на подготовительной стадии исходные данные объединяются в соответствующие массивы. Если акватория достаточно широка, неоднородна по природным условиям, освещена большим количеством станций, то формирование объединенных массивов данных нецелесообразно. Оптимальным в этом случае является осуществление расчетов по каждой отдельной станции, построение карт пространственного распределения расчетных параметров и их использование для интегральной оценки. Этот способ, исполь-

зованный в данной работе, основывается на предположении о равномерном распределении загрязняющего вещества в столбе воды, в центре которого отбирались пробы для химического анализа.



Рис. З Схема технологического цикла оценки ассимиляционной емкости акватории

На второй стадии технологического цикла проводится расчет нагрузки по загрязняющему веществу. При расчете массы загрязняющего вещества в мелководном Северном Каспии необходимо учитывать изменения объема воды, обусловленные сезонными и многолетними колебаниями уровня моря, что и сделано в данной работе. Расчет мгновенной нагрузки по загрязняющему веществу ( $L_{ti}$ ) проводился по формуле (7), затем рассчитывалась средняя нагрузка ( $\overline{L_i}$ ).

На третьей стадии технологического цикла проводится расчет скорости изменения нагрузки ( $R_i$ ) с использованием формулы (8), где за T принимается продолжительность времени в месяцах между датами наблюдений. Например, продолжительность периода между наблюдениями в апреле и июне, на который приходится половодье в дельте р. Волги, считалась равной 2 месяцам. Аналогичным образом определялась продолжительность летней, осенней и зимней межени. Далее для каждого сезона из полученных рядов  $R_i$  были выбраны максимальные и минимальные значения, первое из которых является потенциалом загрязнения вод ( $P_{pi}$ ), а второе (взятое по модулю) соответствует потенциалу очищения вод ( $P_{mi}$ ).

На четвертой, заключительной стадии технологического цикла с использованием формул (6, 12) определяется ассимиляционная емкость  $(A_{mi})$ . При этом значение  $L_{maxi}$  выбирается из рядов  $L_{ti}$  за месяцы, приходящиеся на начало сезонов, для которых рассчитывается  $A_{mi}$ . Например, для расчета ассимиляционной емкости исследуемой акватории в период половодья значение  $L_{maxi}$  было выбрано из ряда  $L_{ti}$  за апрель.

Для определения  $L_{li}$  необходимо установить допустимую концентрацию загрязняющего вещества в морской воде ( $C_{li}$ ), если состояние изученности данного водоема позволяет это сделать. В противном случае, как это отмечалось выше, для этого можно использовать значение ПДК. Биологической «мишенью» Северного Каспия, наиболее уязвимой по отношению к нефтяному загрязнению, предложено считать зоопланктон, для которого  $CL_{0HV} = 0,001$ -0,01 мг/л [7]. При этом учитывалось, что зоопланктон составляет основу пищевого рациона рыбной молоди.

По нашему мнению на роль «мишени» в экосистеме Северного Каспия больше подходит зообентос, продукция которого в несколько раз превышает продукцию зоопланктона [8]. Зообентос, в большинстве своем состоящий из организмов-фильтраторов, активно участвует в самоочищении вод и является основным объектом питания наиболее массовых и ценных видов рыб Северного Каспия. При этом донные организмы менее чувствительны к

нефтяному загрязнению, пороговая концентрация ( $CL_0$ ) нефтяных углеводородов для них составляет 0.01-0.50 мг/л [1, 7].

Для расчета ассимиляционной емкости исследуемой акватории было принято  $C_{IHV}=0.05$  мг/л. Принято во внимание, что данное значение близко к нижнему пределу  $CL_0$  для зообентоса Северного Каспия и соответствует ПДК нефтяных углеводородов в морской воде [13]. Учитывая многолетние и сезонные изменения объема вод в пределах рассматриваемой акватории, значение  $L_{IHV}$ , рассчитанное по формуле (7) является, в отличие от  $C_{IHV}$ , варьирующей величиной. Для оценки ассимиляционной емкости мы взяли среднее значение  $L_{IHV}$  из временных рядов, соответствующих рядам  $L_{maxHV}$  (см. выше).

Экологическая оценка загрязнения морской среды не ограничивается определением ассимиляционной емкости. Она включает в себя также оценку экологического благополучия и экологической нормы загрязнения.

Для оценки экологического благополучия в [4] предложен подход, основанный на сравнении потоков загрязняющего вещества на входе  $(D_i)$  и выходе  $(F_i)$  экосистемы, а также его реальной  $(C_{ti})$  и допустимой  $(C_{li})$  концентрации. При сочетании всех факторов, обеспечивающем  $C_{ti} < C_{li}$ , состояние экосистемы оценивается как благополучное или относительно благополучное; в противном случае оно оценивается как неблагополучное.

Для анализа экологического благополучия можно использовать аппарат, примененный выше для оценки ассимиляционной емкости акватории. Так как конечным критерием экологического благополучия является допустимая нагрузка, имеющая размерность массы вещества, а сравнению подвергаются величины, имеющие размерность потоков вещества, то возникает необходимость в дополнении этого аппарата еще несколькими параметрами:

- интервалом оценки (T), используемым для перевода  $F_{pi}$  и  $A_{mi}$  из размерности потока в размерность массы вещества;
- массой поступающего за время T' загрязняющего вещества  $(M_{pi})$ , равной произведению T' на  $D_i$ ;
- массой удаляемого за время T' загрязняющего вещества ( $M_{ai}$ ), равной произведению T' на  $A_{mi}$ .

Допустим, что в течение T' значение допустимой нагрузки ( $L_{li}$ ) остается постоянным, а исходная для T' нагрузка равна  $L_{ti}$ . При соблюдении этих условий для оценки экологического благополучия согласно подходу [4] рекомендуется применять критерии, приведенные в табл. 3 (графа «Полная оценка»). Однако, используемый при этом параметр  $M_{pi}$  с трудом поддается определению. В этом случае для оценки экологического благополучия предлагается использовать сокращенную процедуру (табл. 4, графа «Сокращенная оценка»).

Таблица 3 Критерии оценки экологического благополучия акватории с учетом ее ассимиляционной емкости

Ранг оценки	Процедура оценки			
	Полная оценка	Сокращенная оценка		
Благополучие	$L_{ti} + M_{pi} < L_{li}$	$L_{ti} < L_{li}$		
Относительное благополучие	$L_{ti} + M_{pi} - M_{ai} < L_{li}$	$L_{ti} - M_{ai} < L_{li}$		
Неблагополучие	$L_{ti} + M_{pi} - M_{ai} > L_{li}$	$L_{ti} - M_{ai} > L_{li}$		

Естественно, что экологическое благополучие той или акватории подвержено изменениям, поэтому для его оценки должна использоваться мгновенная нагрузка по загрязняющему веществу. При создании данного атласа в связи ретроспективным характером экологической оценки загрязнения морской среды вместо мгновенной нагрузки взята ее средняя величина за период 1978-1992 гг. Авторы полагали, что это будет лучшей иллюстрацией предложенного метода, чем его применение к данным одной из 60 экспедиций, материалы которых положены в основу этой работы.

Основным предназначением концепции ассимиляционной емкости является, по мнению ее разработчиков [6], экологическое нормирование антропогенной нагрузки, направленное на сохранение целостности и жизнеспособности экосистем. Предложенный в данной работе методический аппарат позволяет приблизиться к этой цели, если за экологическую норму  $(N_i)$  загрязнения принять значение  $D_i$ , при котором суммарная (т.е. исходная и добавочная) нагрузка по загрязняющему веществу i благодаря процессам очищения нивелируется до уровня допустимой нагрузки, т.е. соблюдается равенство:

$$L_{ti} + M_{pi} - M_{ai} = L_{li}, (13)$$

из которого с учетом приведенных выше определений  $M_{pi}$  и  $M_{ai}$  следует:

$$N_{i} = \frac{L_{li} - L_{ti}}{T'} + A_{mi}$$
 (14)

Формулу (14) предлагается использовать для определения экологической нормы загрязнения, имеющей размерность потока вещества (в нашем случае, тонн/км $^2$ \*месяц). При этом следует иметь в виду, что  $N_i$  может принимать как положительное, так отрицательное значение. В первом случае  $N_i$  указывает, какое количество загрязняющего вещества может быть сброшено в море в единицу времени без ущерба для его экосистемы (при соблюдении, конечно, определенных условий рассеивания сброса). Тем самым  $N_i$  представляет собой количественную оценку экологического резерва рассматриваемой акватории. Во втором случае  $N_i$  указывает, на какую величину должен быть снижен сброс загрязняющего вещества в море для того, чтобы в полной мере были восстановлены функции его экосистемы, то есть является количественной оценкой сверхнормативного загрязнения. Количественная оценка экологического резерва и сверхнормативного загрязнения открывает широкий простор для применения экономических механизмов охраны морской среды от загрязнения (например, «торговли квотами»).

Непостоянство  $N_i$  является важным обстоятельством. Из него следует, что экологическое нормирование может осуществляться только в комплексе с экологическим мониторингом, когда данные наблюдений за загрязненностью морской среды непосредственно используются для корректировки сброса загрязняющих веществ в море. Предложенный подход к экологическому нормированию загрязнения среды можно рассматривать как научнометодическую основу интеграции разобщенных пока систем экологического мониторинга, экологического контроля и экологического менеджмента.

#### Литература

- 1. Артюхова В.И., Носов В.Н. Особенности и пороги токсического воздействия нефтепродуктов на гидробионтов Северного Каспия // Теоретическая экология. М: Изд-во МГУ, 1987. C.70-80
- 2. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л: Гидрометеоиздат, 1989. 151 с.
- 3. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Об ассимиляционной емкости Мирового океана. ДАН СССР, 1983, т. 272, № 3. С. 702-704
- 4. Израэль Ю.А. Экология и контроль природной среды. М: Гидрометеоиздат, 1984.  $560 \, \mathrm{c}$ .
- 5. Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Вентцель М.В., Шигаев В.В. Обобщенная модель ассимиляционной емкости морской экосистемы. ДАН СССР, 1988, т. 272, № 2. С. 459-462
- 6. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л: Гидрометеоиздат, 1989. 530 с.

- 7. Карпюк М.И., Катунин Д.Н. Проблемы сохранения экосистемы Северного Каспия в условиях масштабного развития нефтедобычи // Материалы первой международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений». Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2005. С. 93-98
- 8. Каспийское море. Фауна и биологическая продуктивность. М: Наука, 1985. 276 с.
- 9. Катунин Д.Н., Хрипунов И.А. Многолетнее распределение температуры, солености и прозрачности вод Северного Каспия М: Пищевая промышленность, 1976. 231 с.
- 10. Косарев А.Н., Тужилкин В.С. Климатические термохалинные поля Каспийского моря M, 1995. 95 с.
- 11. Монахов С.К., Курапов А.А., Попова Н.В., Ныров Д.А., Татарников В.О. Новые методы и технологии оценки состояния морской среды для экологического обоснования нефтегазодобывающей деятельности на акватории Каспийского моря // Материалы первой международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений». Астрахань: Изд-во КаспНИРХ, 2005. С. 150-154
- 12. Мусатов А.П. Оценка параметров экосистем внутренних водоемов. М: Научный мир, 2001. 192 с.
- 13. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М: Изд-во ВНИРО, 1999. 304 с.

# 3. Карты экологической оценки загрязнения морской среды западной части Северного Каспия

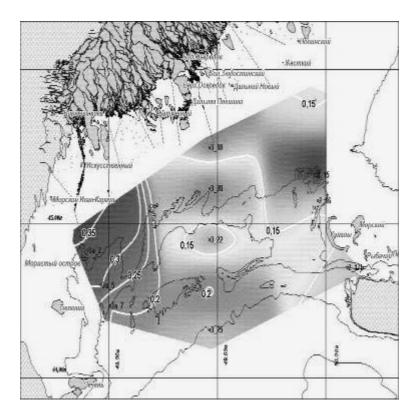


Рис. 4 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Апрель. Исходные ряды наблюдений

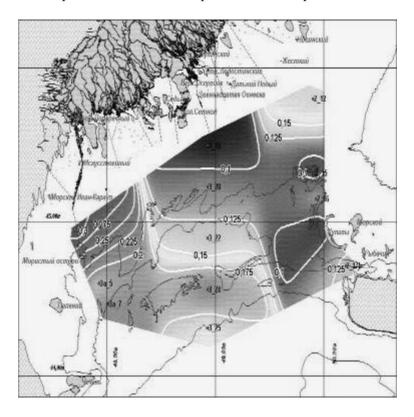


Рис. 5 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Апрель. Исходные ряды наблюдений

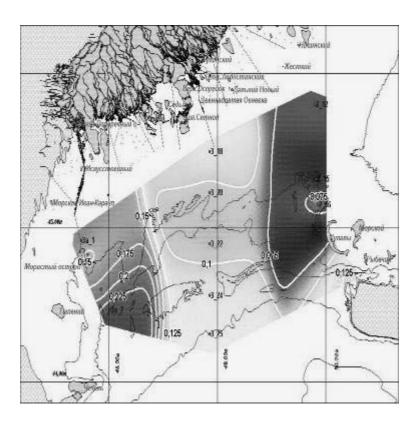


Рис. 6 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Июнь. Исходные ряды наблюдений

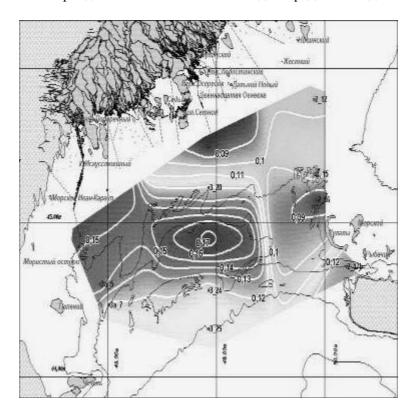


Рис. 7 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Июнь. Исходные ряды наблюдений

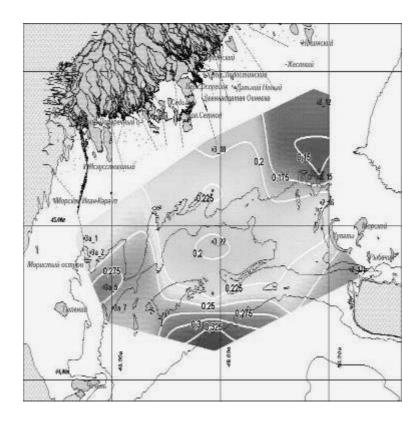


Рис. 8 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Август. Исходные ряды наблюдений

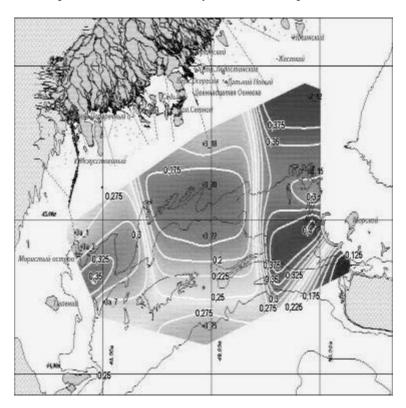


Рис. 9 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Август. Исходные ряды наблюдений

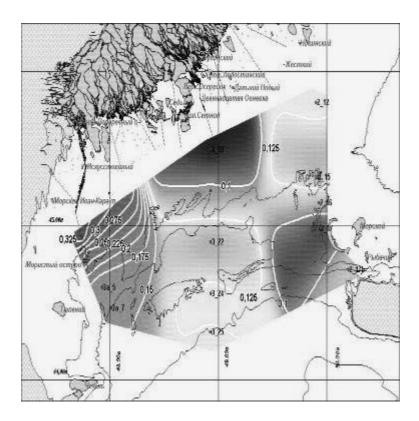


Рис. 10 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Октябрь. Исходные ряды наблюдений

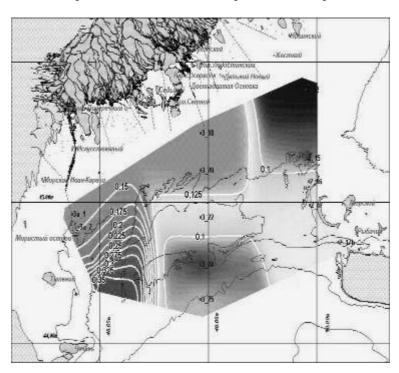


Рис. 11 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Октябрь. Исходные ряды наблюдений

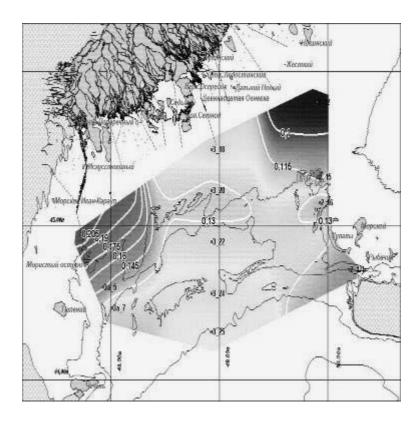


Рис. 12 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Апрель. Модифицированные ряды наблюдений

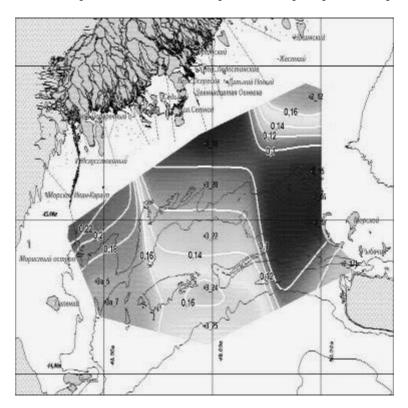


Рис. 13 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Апрель. Модифицированные ряды наблюдений

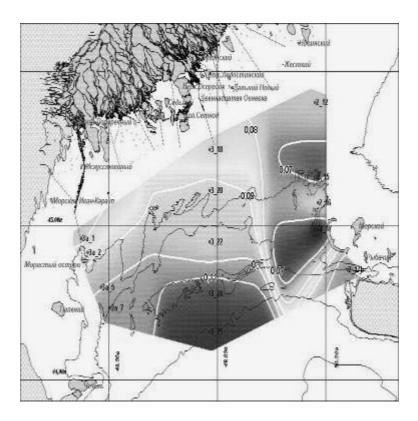


Рис. 14 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Июнь. Модифицированные ряды наблюдений

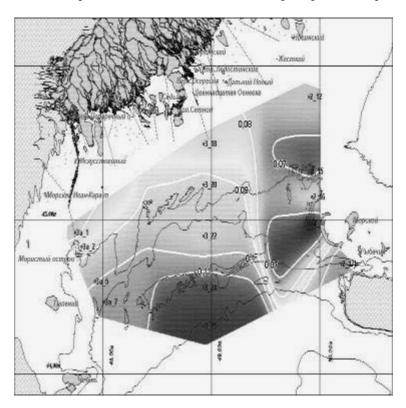


Рис. 15 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Июнь. Модифицированные ряды наблюдений

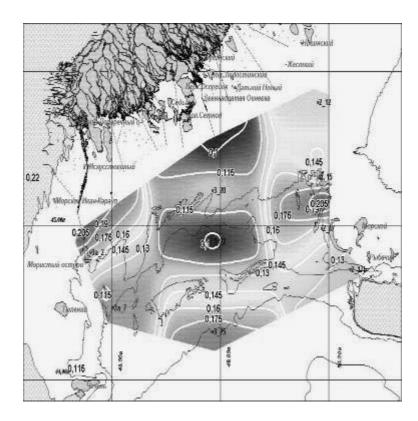


Рис. 16 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Август. Модифицированные ряды наблюдений

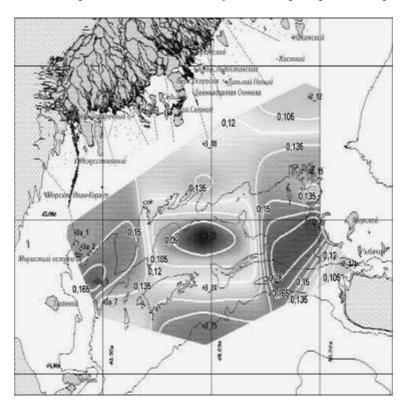


Рис. 17 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Август. Модифицированные ряды наблюдений

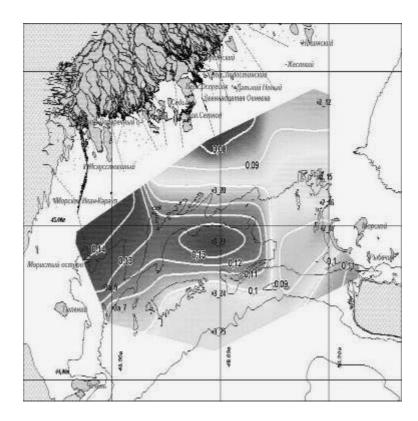


Рис. 18 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в поверхностном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Октябрь. Модифицированные ряды наблюдений

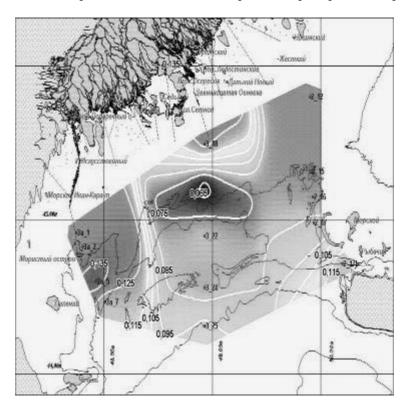


Рис. 19 Средняя концентрация нефтяных углеводородов (мг/л) в придонном слое западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Октябрь. Модифицированные ряды наблюдений

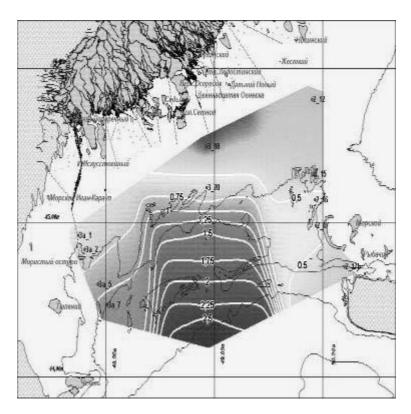


Рис. 20 Средняя нагрузка по нефтяным углеводородам (тонн/км $^2$ ) на акваторию западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Апрель.

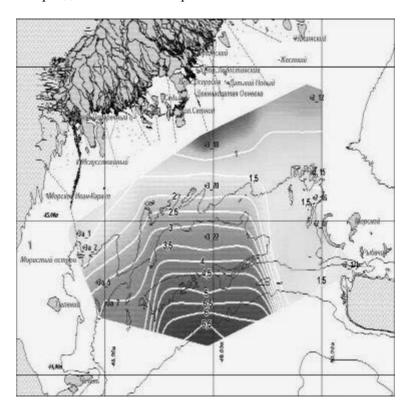


Рис. 21 Максимальная нагрузка по нефтяным углеводородам (тонн/км $^2$ ) на акваторию западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Апрель.

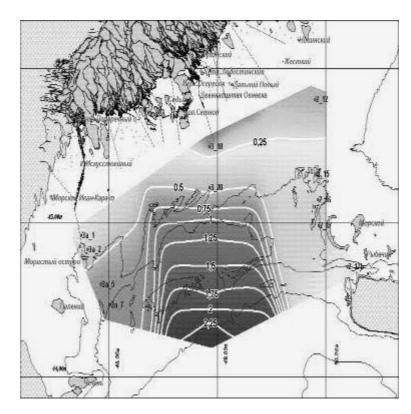


Рис. 22 Средняя нагрузка по нефтяным углеводородам (тонн/км $^2$ ) на акваторию западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Июнь.

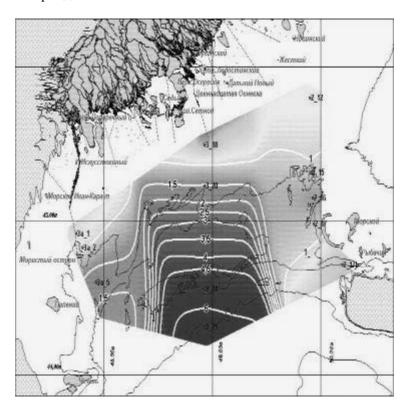


Рис. 23 Максимальная нагрузка по нефтяным углеводородам (тонн/км $^2$ ) на акваторию западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Июнь.

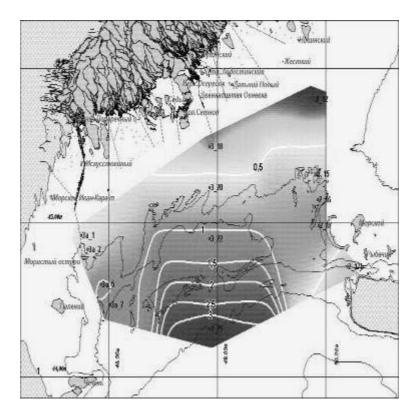


Рис. 24 Средняя нагрузка по нефтяным углеводородам (тонн/км $^2$ ) на акваторию западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Август.

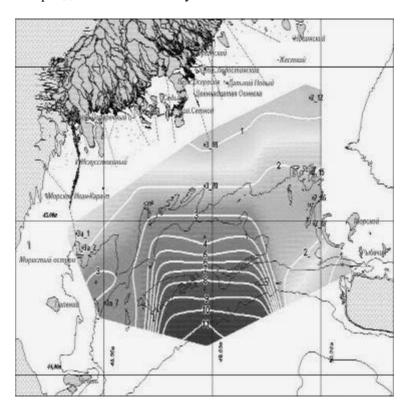


Рис. 25 Максимальная нагрузка по нефтяным углеводородам (тонн/км²) на акваторию западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Август.

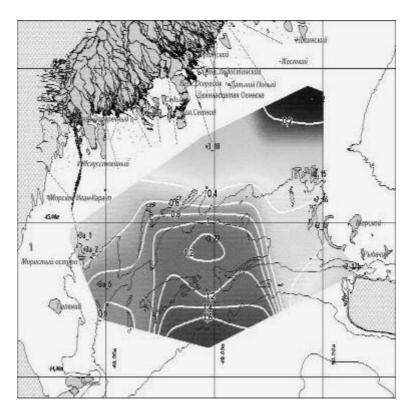


Рис. 26 Средняя нагрузка по нефтяным углеводородам (тонн/км $^2$ ) на акваторию западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Октябрь.

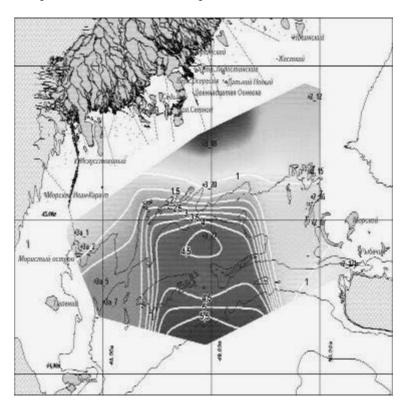


Рис. 27 Максимальная нагрузка по нефтяным углеводородам (тонн/км²) на акваторию западной части Северного Каспия за период 1978-1992 гг. Октябрь.

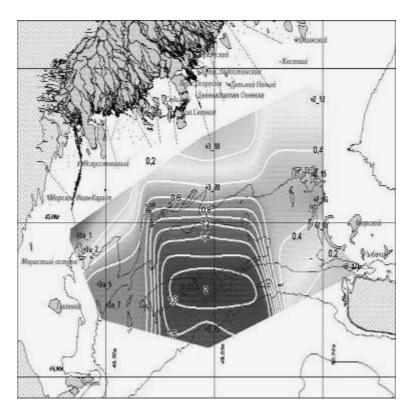


Рис. 29 Потенциал загрязнения нефтяными углеводородами (тонн/км²-мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Половодье.

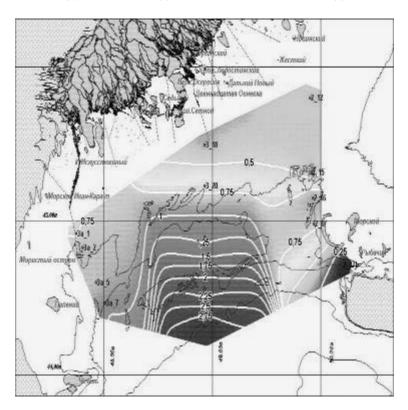


Рис. 30 Потенциал загрязнения нефтяными углеводородами (тонн/км $^2$ -мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Летняя межень.

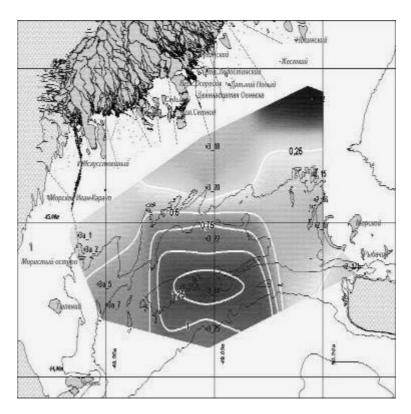


Рис. 30 Потенциал загрязнения нефтяными углеводородами (тонн/км²-мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Осенняя межень.

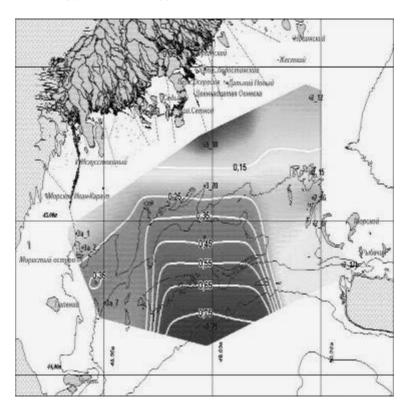


Рис. 31 Потенциал загрязнения нефтяными углеводородами (тонн/км²-мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Зимняя межень.

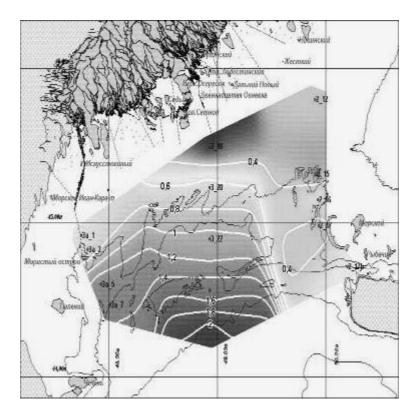


Рис. 32 Потенциал очищения от нефтяных углеводородов (тонн/км<sup>2</sup>мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Половодье.

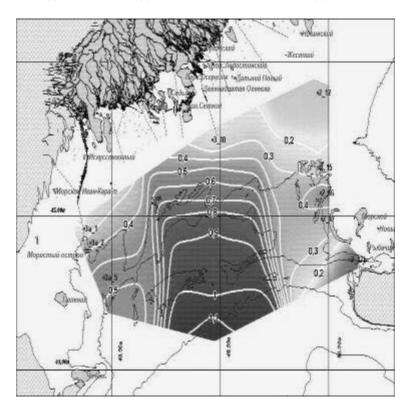


Рис. 33 Потенциал очищения от нефтяных углеводородов (тонн/км $^2$ -мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Летняя межень.

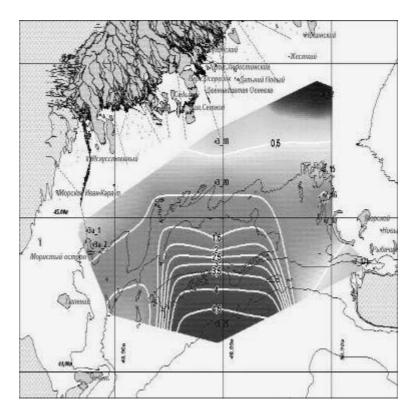


Рис. 34 Потенциал очищения от нефтяных углеводородов (тонн/км<sup>2</sup>мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Осенняя межень.

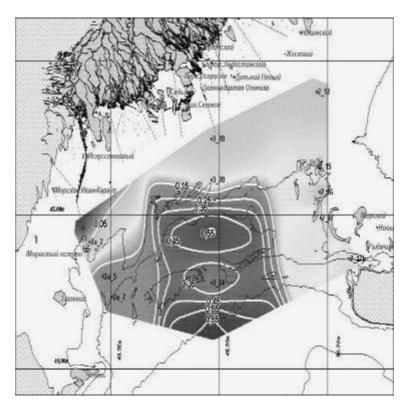


Рис. 35 Потенциал очищения от нефтяных углеводородов (тонн/км $^2$ -мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Зимняя межень.

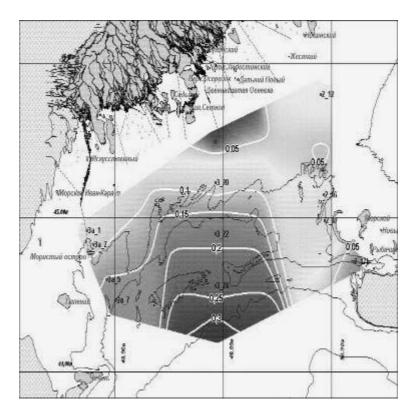


Рис. 36 Ассимиляционная емкость в отношении нефтяных углеводородов (тонн/км<sup>2</sup>мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Половодье.

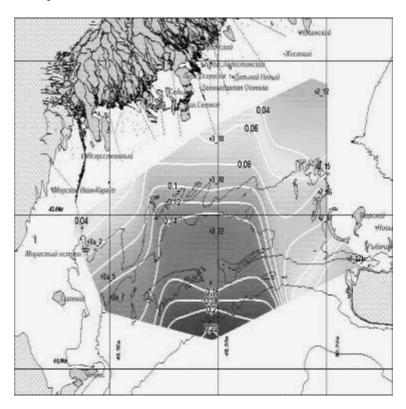


Рис. 37 Ассимиляционная емкость в отношении нефтяных углеводородов (тонн/км $^2$ -мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Летняя межень.

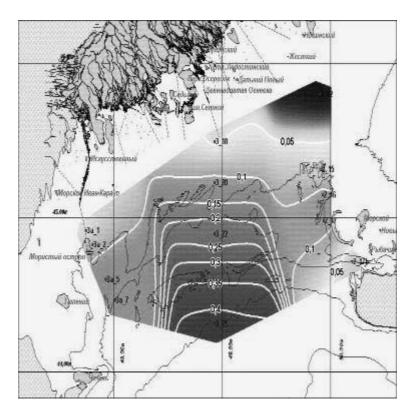


Рис. 38 Ассимиляционная емкость в отношении нефтяных углеводородов (тонн/км<sup>2</sup>мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Осенняя межень.

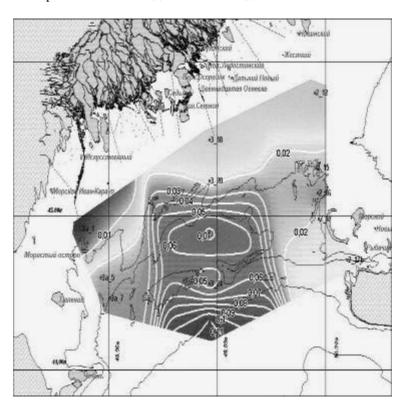


Рис. 39 Ассимиляционная емкость в отношении нефтяных углеводородов (тонн/км²-мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Зимняя межень.

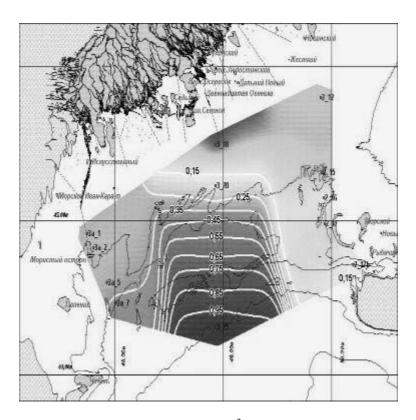


Рис. 40 Экологическое благополучие (EWB, тонн/км $^2$ ) акватории западной части Северного Каспия по загрязнению нефтяными углеводородами в период 1978-1992 гг. Апрель. ( $EWB = L_{ti} - M_{ai} - L_{ti}$ ;.«плюс» – неблагополучие; «минус» – относительное благополучие)

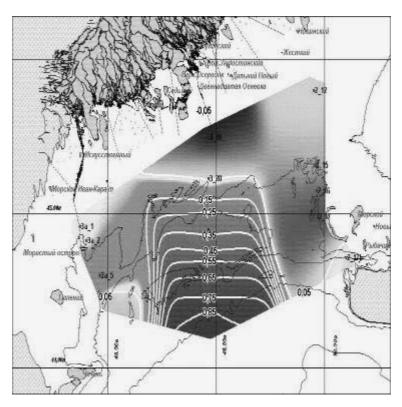


Рис. 41 Экологическое благополучие (EWB, тонн/км $^2$ ) акватории западной части Северного Каспия по загрязнению нефтяными углеводородами в период 1978-1992 гг. Июнь. ( $EWB = L_{ti} - M_{ai} - L_{li}$ ;.«плюс» – неблагополучие; «минус» – относительное благополучие)

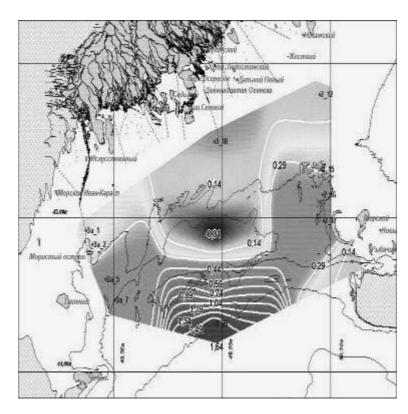


Рис. 42 Экологическое благополучие (EWB, тонн/км²) акватории западной части Северного Каспия по загрязнению нефтяными углеводородами в период 1978-1992 гг. Август. ( $EWB = L_{ti} - M_{ai} - L_{ti}$ ;.«плюс» – неблагополучие; «минус» – относительное благополучие)

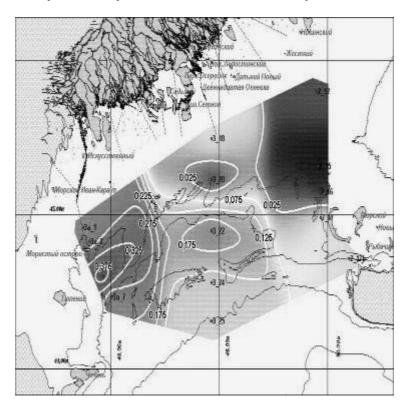


Рис. 43 Экологическое благополучие (EWB, тонн/км $^2$ ) акватории западной части Северного Каспия по загрязнению нефтяными углеводородами в период 1978-1992 гг. Октябрь. ( $EWB = L_{ti} - M_{ai} - L_{li}$ ; «плюс» – неблагополучие; «минус» – относительное благополучие)

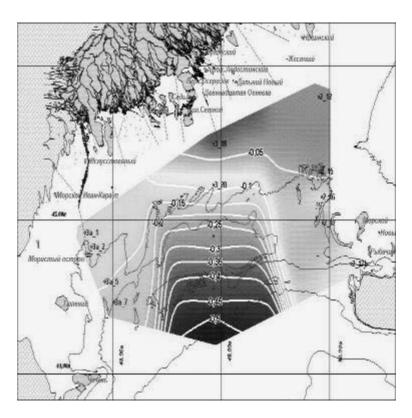


Рис. 44 Экологическая норма загрязнения нефтяными углеводородами (тонн/км²-мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Апрель («плюс» – экологический резерв; «минус» – сверхнормативное загрязнение)

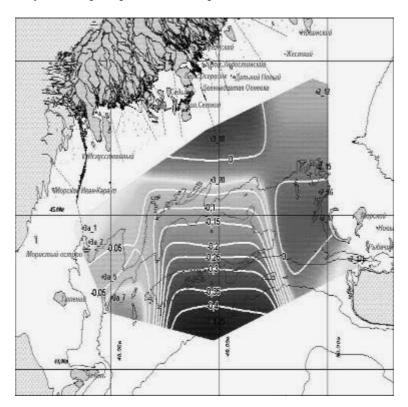


Рис. 45 Экологическая норма загрязнения нефтяными углеводородами (тонн/км²-мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Июнь («плюс» – экологический резерв; «минус» – сверхнормативное загрязнение).

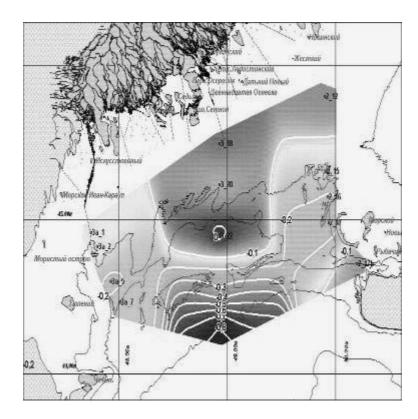


Рис. 46 Экологическая норма загрязнения нефтяными углеводородами (тонн/км²-мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Август («плюс» – экологический резерв; «минус» – сверхнормативное загрязнение).

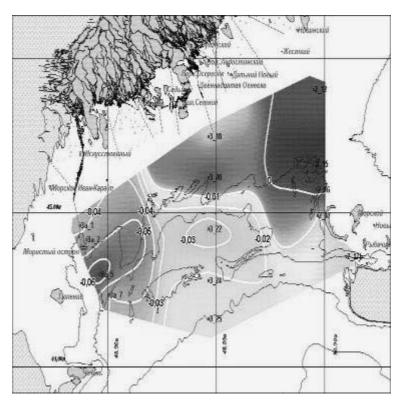


Рис. 47 Экологическая норма загрязнения нефтяными углеводородами (тонн/км²-мес) акватории западной части Северного Каспия по данным наблюдений 1978-1992 гг. Октябрь («плюс» – экологический резерв; «минус» – сверхнормативное загрязнение).

Государственное учреждение «Каспийский морской научно-исследовательский центр» Россия, 414045, г. Астрахань, ул. Ширяева 14 тел. +8512-303-470 факс. +8512-301-163 kaspmniz@astranet.ru