

«ПОРТРЕТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ» НЕФТЕПРОДУКТАМИ МОРСКОЙ СРЕДЫ НА ЛИЦЕНЗИОННОМ УЧАСТКЕ «СЕВЕРО-КАСПИЙСКАЯ ПЛОЩАДЬ»

О.И. Есина, Н.В. Попова, В.О. Татарников, И.Г. Радованова, Н.С. Чернышова, А.В. Суслов

В развитие идеи об экологическом мониторинге, как многофункциональной системе [1], нами разработан комплекс методов диагноза и оценки загрязнения морской среды для морских акваторий, испытывающих антропогенное воздействие, в т.ч. со стороны морского нефтегазового комплекса [4-6]. Конечной целью данного направления исследований является расширение использования данных мониторинга для регулирования антропогенной нагрузки на морские акватории [2, 3], а промежуточным результатом – разносторонняя экологическая характеристика, которую мы назвали «портретом загрязнения» морской среды.

В настоящее время в «портрет загрязнения» морской среды нефтегазоносных акваторий российского сектора недропользования Каспийского моря мы включаем:

- характеристику пространственно-временной изменчивости концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) в морской воде и донных отложениях;
- диагноз масштаба (соотношения локального и фонового) загрязнения;
- диагноз градиента (происхождения) загрязнения;
- диагноз и оценку биогеохимической активности ЗВ.

Основной целью данной работы состояла в подготовке «портрета загрязнения» нефтепродуктами (НП) морской среды на лицензионном участке «Северо-Каспийская площадь» по данным производственного экологического мониторинга проводившегося в 2001-2009 гг.

Пространственно-временная изменчивость концентрации НП в морской воде и донных отложениях

В рассматриваемый период времени концентрация нефтепродуктов в поверхностном слое морской воды на участке «Северо-Каспийская площадь» изменялась в пределах от нуля до 427 мкг/л. Средняя концентрация на базовых станциях изменялась в пределах от 21,4 до 81,3 мкг/л, фоновая концентрация – в пределах от 8,4 до 52,0 мкг/л. Наиболее высокий уровень загрязненности нефтепродуктами поверхностного слоя морской воды, судя по средней и фоновой концентрации, был зафиксирован на станциях 1, 2 и 1-2 в западном районе, наиболее низкий – на станциях 7 и 12 в восточном районе участка «Северо-Каспийская площадь» (рис. 1).

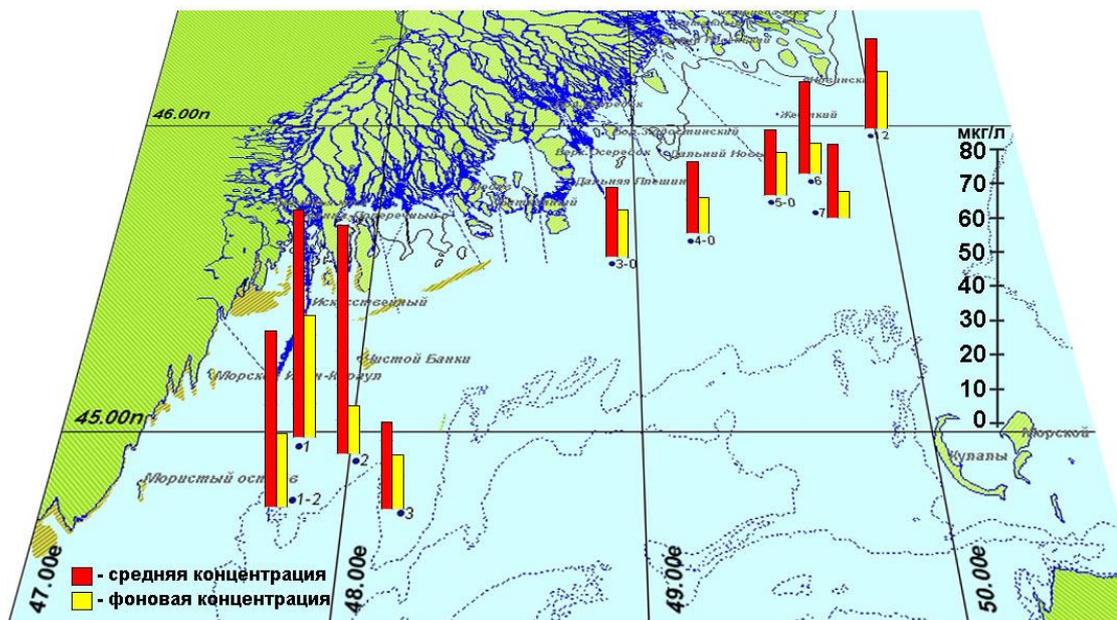


Рис. 2 Пространственное распределение нефтепродуктов в придонном слое воды (мкг/л) на участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг.

В рассматриваемый период времени концентрация нефтепродуктов в донных отложениях на участке «Северо-Каспийская площадь» изменялась в пределах от нуля до 56,8 мг/кг. Средняя концентрация на базовых станциях изменялась в пределах от 5,0 до 11,8 мг/кг, а фоновая концентрация – в пределах от 5,1 до 8,7 мг/кг.

Наиболее высокий уровень загрязненности нефтепродуктами донных отложений, судя по средней и фоновой концентрации, был зафиксирован на станции 2, наиболее низкий – на станции 3. При этом обе эти станции находятся в западном районе, что указывает на свойственное ему неравномерное распределение нефтепродуктов в донных отложениях (рис. 3).

Вариабельность концентрации нефтепродуктов в донных отложениях на всех базовых станциях оценивалась как очень высокая. Вклад локальных факторов в общее загрязнение оценивался как высокий только на одной станции, расположенной в западном районе. На большинстве станций вклад был средним, а на трех пунктах, расположенных в центральном и восточном районах (6, 3-0 и 4-0) – очень низким (табл. 3). На отдельных станциях (например, 5-0 и 1) этот вклад выражался в обеднении донных отложений нефтепродуктами.

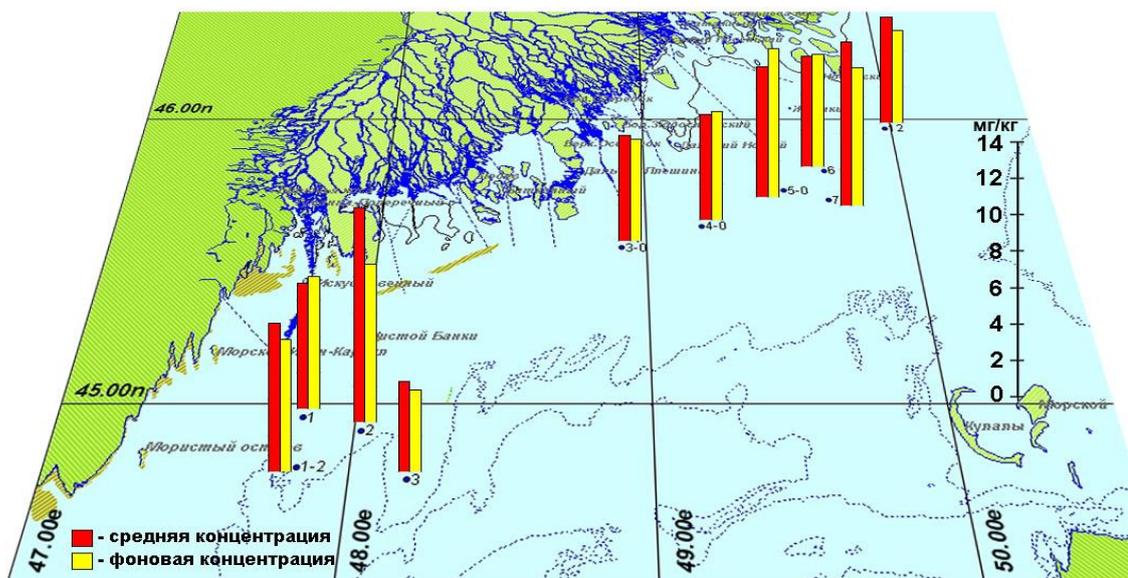


Рис. 3 Пространственное распределение нефтепродуктов в донных отложениях (мг/кг) на участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг.

По данным многолетних наблюдений концентрация нефтепродуктов в придонном слое воды в среднем ниже, чем в поверхностном слое в 0,6 раза, а в донных отложениях – в среднем в 300 раз выше, чем в придонном слое воды (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика загрязненности нефтепродуктами поверхностного и придонного слоев воды (мкг/л), а также донных отложений (мг/кг) на участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг.

Статистические параметры	Морская вода		Донные отложения, С3	С2/С1	С3/С2 x 10 ³
	Поверхностный слой, С1	Придонный слой, С2			
Сm	35.8	29.0	6.4	0.6	0.3
Max	427.0	371.0	56.8	24.0	7.9
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Me	19.1	14.5	6.0	0.6	0.1
Em	2.8	2.5	0.3	0.1	0.0
Rm	33.0	28.1	3.2	0.5	0.4
S	54.7	48.5	5.0	1.3	0.6
Kv	152.6	167.4	78.0	202.0	211.6
As	3.5	3.9	4.1	14.5	5.8
Ex	15.8	19.8	35.6	261.4	51.8
K _{0.25}	5.5	0.0	3.4	0.0	0.0
K _{0.75}	43.8	35.0	8.2	0.9	0.3

Примечание: Сm – средняя концентрация; Em – ошибка средней; Max – максимум; Min – минимум; Me – медиана; Em – ошибка средней; Rm – среднее отклонение; S – стандартное отклонение; Kv – коэффициент вариации; As – коэффициент асимметрии; Ex – коэффициент эксцесса; K_{0.25} – квантиль 0,25; K_{0.75} – квантиль 0,75

Диагноз масштаба (соотношения локального и фонового) загрязнения

Выше уже шла речь о вкладе локальных (*непостоянных*) факторов во *временную* изменчивость загрязнения нефтепродуктами морских вод на отдельных станциях участка «Северо-Каспийская площадь». Этот вклад, напомним, в основном оценивался как высокий и очень высокий.

Ниже в табл. 2 приведены данные о вкладе локальных (*местных*) факторов в *пространственную* изменчивость загрязнения нефтепродуктами морских вод. В среднем за период 2001-2009 гг. этот вклад также оценивается как высокий, при этом данная оценка применима как к поверхностному, так и придонному слою воды.

Таблица 2

Вклад местных факторов в загрязнение нефтепродуктами морской воды (E_s , %) на участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг.

Статистические параметры	Поверхностный слой	Придонный слой
Среднее	38,4	40,4
Максимум	100,0	100,0
Минимум	-21,6	-20,6
Медиана	30,2	25,6
Асимметрия	0,5	0,5
Квартиль 0,25	12,2	11,5
Квартиль 0,75	51,7	83,2

Из рис. 4 следует, что вклад местных факторов в загрязнение морских вод нефтепродуктам был относительно стабильным в период с осени 2004 г. по весну 2008 г. В остальное время он изменялся в широких пределах (от очень низкого до очень высокого). Там же видно, что от весны к осени вклад местных факторов в загрязнение поверхностного слоя воды снижался, а в загрязнение придонного слоя, наоборот, повышался.

Вклад местных факторов в загрязнение вод нефтепродуктами, как это следует из графиков, приведенных на рис. 5, в целом слабо зависит от их концентрации в воде (едва прослеживается отрицательная зависимость). Однако там же хорошо видно, что в диапазоне от 0 до 50 % данный вклад находится в положительной связи с концентрацией нефтепродуктов в воде, а в диапазоне, где этот вклад оценивается как очень высокий (> 50%), наблюдается отрицательная связь с концентрацией нефтепродуктов.

Особенности распределения нефтепродуктов в воде на участке «Северо-Каспийская площадь» прослеживаются на рис. 6, где четко зафиксирована положительная (и при этом практически линейная) зависимость вклада местных факторов в загрязнение акватории нефтепродуктами от солености воды. Из этого следует, что при повышении солености распределение нефтепродуктов на участке «Северо-Каспийская площадь» принимает кон-

трастный характер, а на контрастных участках возрастают пространственные градиенты концентрации нефтепродуктов в воде.

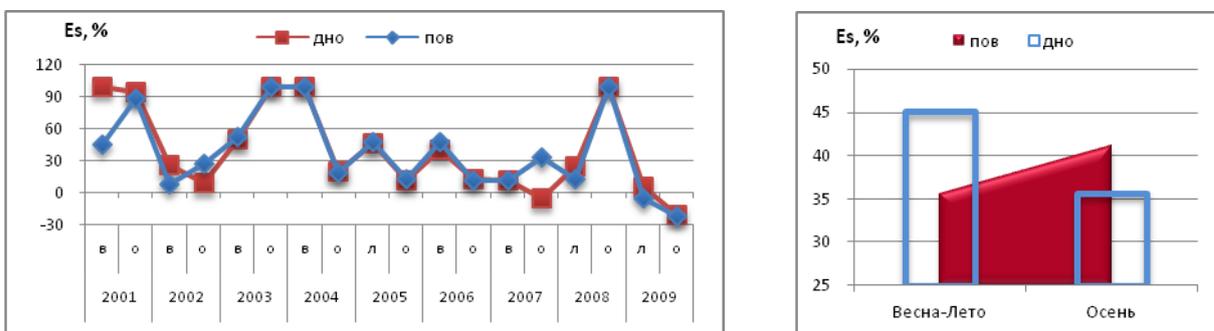


Рис. 4 Межгодовые (слева) и сезонные (справа) изменения вклада местных факторов в загрязнение нефтепродуктами морской воды ($E_s, \%$) на участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг. В – весна; Л – лето; О – осень.

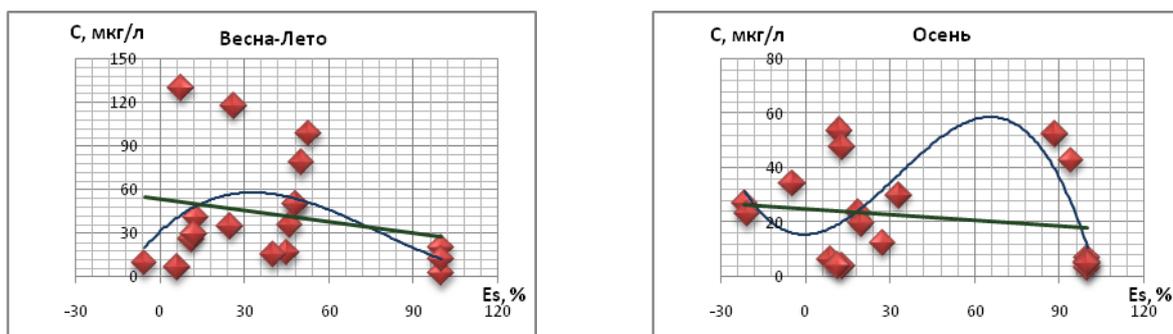


Рис. 5 Взаимосвязь изменений вклада местных факторов в загрязнение нефтепродуктами морской воды ($E_s, \%$) с изменениями средней концентрации нефтепродуктов в воде ($C, \text{мкг/л}$) на участке «Северо-Каспийская площадь» в весенне-летний и осенний сезоны 2001-2009 гг.

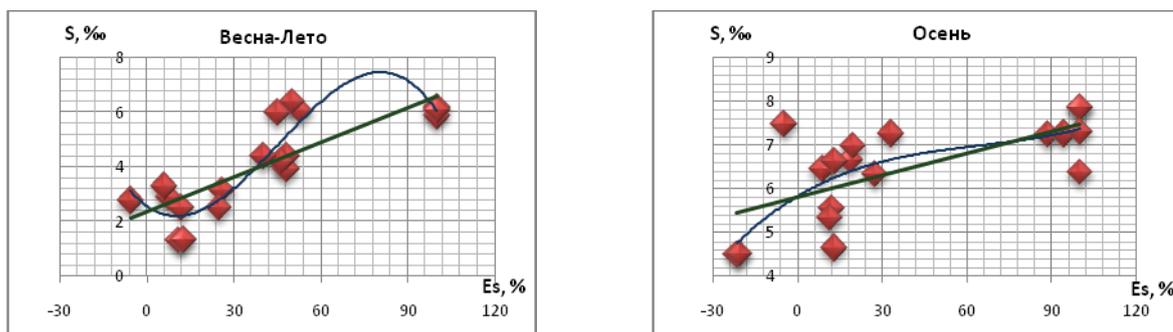


Рис. 6 Взаимосвязь изменений вклада местных факторов в загрязнение нефтепродуктами морской воды ($E_s, \%$) с изменениями солености воды ($S, \text{‰}$) на участке «Северо-Каспийская площадь» в весенне-летний и осенний сезоны 2001-2009 гг.

Диагноз градиента (определение происхождения) ЗВ

Судя по соотношению концентрации на морской и речной границах участка «Северо-Каспийская площадь» (табл.3), основным источником поступления нефтепродуктов на его акваторию является речной сток, при этом их содержание в воде снижается в направлении от реки к морю ($K < 0,90$).

Таблица 3

Соотношение (К) концентрации нефтепродуктов в воде на морской и речной границах участка «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг.

Статистические параметры	Поверхностный слой	Придонный слой
Среднее	0,80	0,73
Максимум	2,80	3,56
Минимум	0,06	0,00
Медиана	0,65	0,59
Асимметрия	1,63	2,82
Квартиль 0,25	0,35	0,19
Квартиль 0,75	1,20	0,95

Однако, как это следует из графика, приведенного на рис. 7, в отдельные годы и сезоны основным источником поступления нефтепродуктов выступает адвекция морских вод ($K > 1,10$). На этом же рисунке видно, что снижение концентрации нефтепродуктов в воде с ростом солёности (т.е. в направлении от речной к морской границе лицензионного участка) более ярко выражено осенью.

Как следует из данных, приведенных на рис. 8, значение коэффициента К в общем практически не зависит от средней по всему участку концентрации нефтепродуктов в воде. Но обращает на себя внимание, что при повышенных значениях концентрации значение коэффициента К близко либо к нулю, либо к единице. Первому случаю соответствует резкое снижение концентрации нефтепродуктов в направлении от речной к морской границе участка, а второму – их равномерное распределение по его акватории.

Как следует из данных, приведенных на рис. 9, зависимость коэффициента К от солёности носит нелинейный характер и лучше всего аппроксимируется параболой, фокус которой находится в области низких значений солёности, а также в области значений К, близких к единице. Это означает, что при заполнении акватории лицензионного участка речными водами распределение нефтепродуктов вдоль градиента солёности становится более равномерным, чем при его заполнении морскими водами. При этом в последнем случае содержание нефтепродуктов в воде может либо снижаться в направлении от реки к морю (левая ветвь параболы), либо, наоборот, повышаться (правая ветвь параболы).

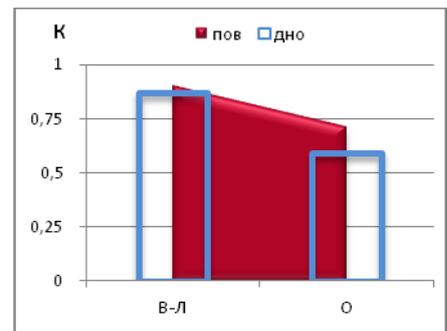
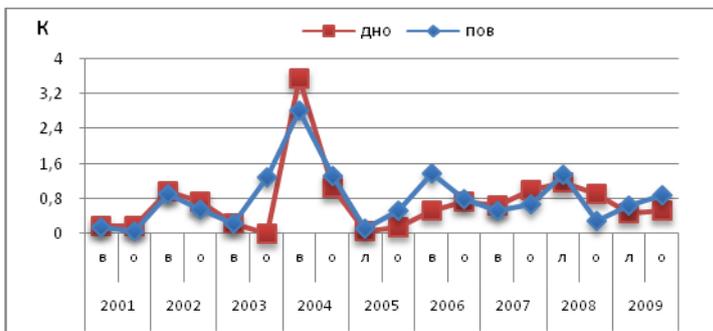


Рис. 7 Межгодовые (слева) и сезонные (справа) изменения соотношения концентрации нефтепродуктов в воде на морской и речной границах (K) участка «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг. В – весна; Л – лето; О – осень.

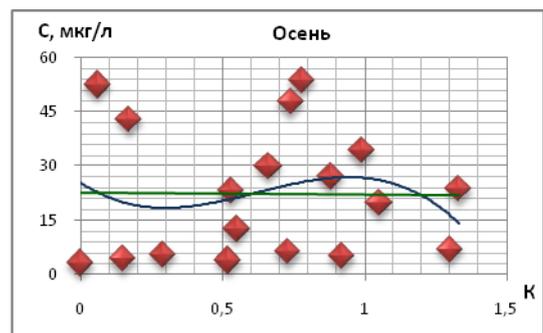
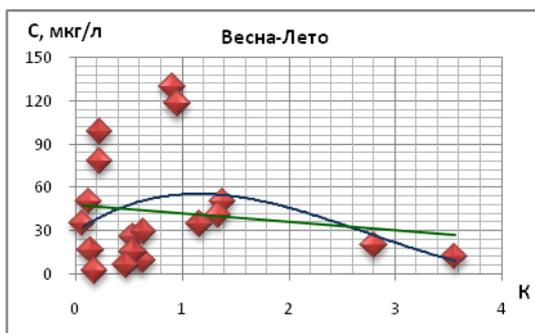


Рис. 8 Взаимосвязь изменений соотношения концентрации нефтепродуктов в воде на морской и речной границах (K) участка «Северо-Каспийская площадь» с изменениями средней концентрации нефтепродуктов в воде (C , мкг/л) в весенне-летний и осенний сезоны 2001-2009 гг.

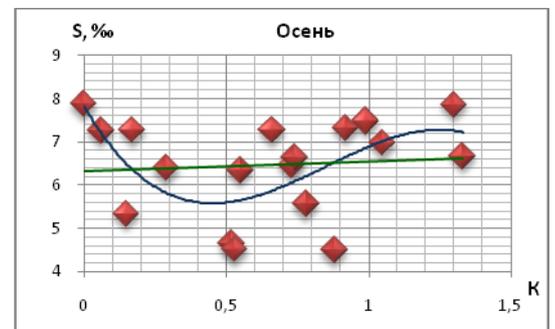
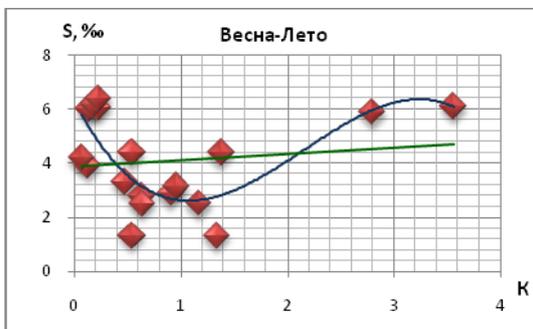


Рис. 9 Взаимосвязь изменений соотношения концентрации нефтепродуктов в воде на морской и речной границах (K) участка «Северо-Каспийская площадь» с изменениями солёности воды (S , ‰) в весенне-летний и осенний сезоны 2001-2009 гг.

На рис. 10 приведены наиболее характерные виды распределения нефтепродуктов в поле солёности. Из приведенных данных следует, что при минимальных и максимальных значениях коэффициента K распределение нефтепродуктов в градиенте солёности носит нелинейный (скачкообразный) характер. При K , близких к среднему значению, распределение повышение нефтепродуктов принимает более или менее равномерный характер.

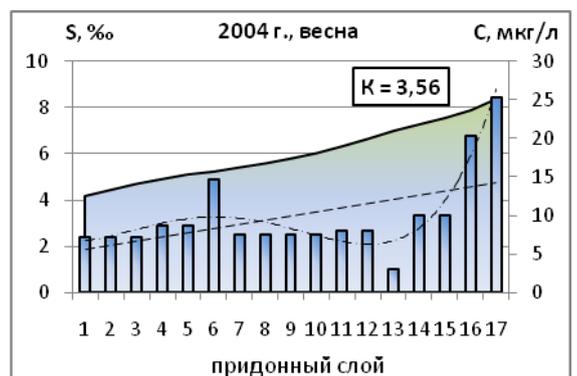
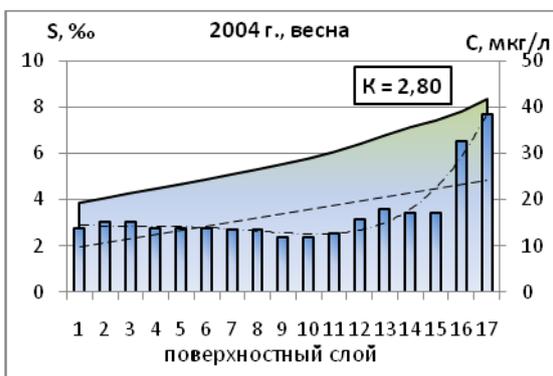
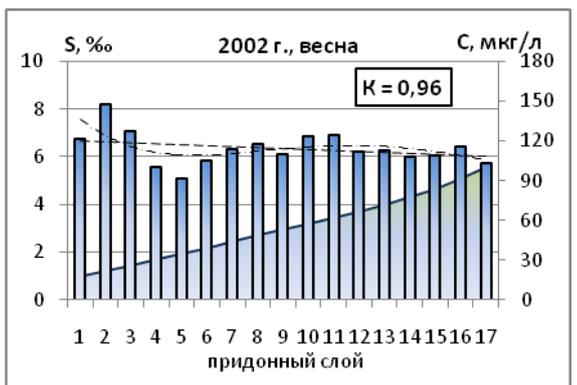
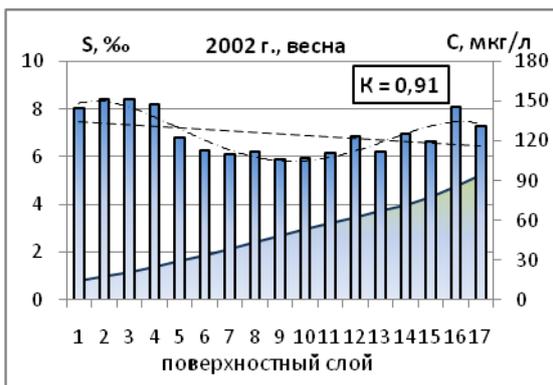
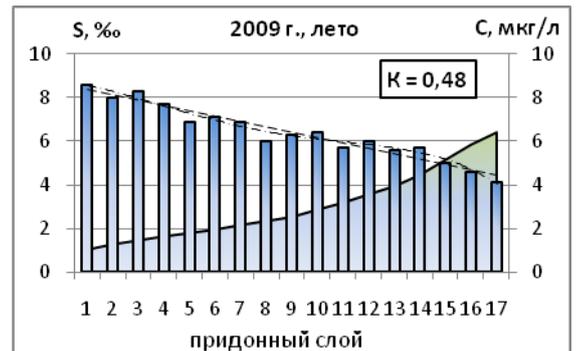
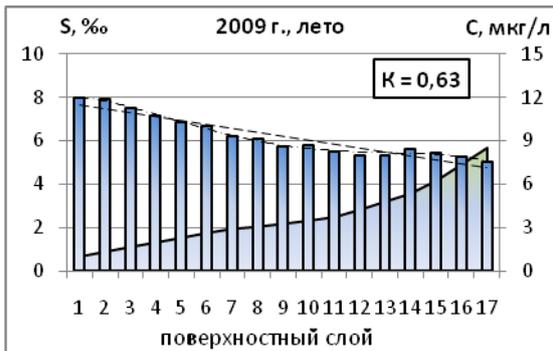
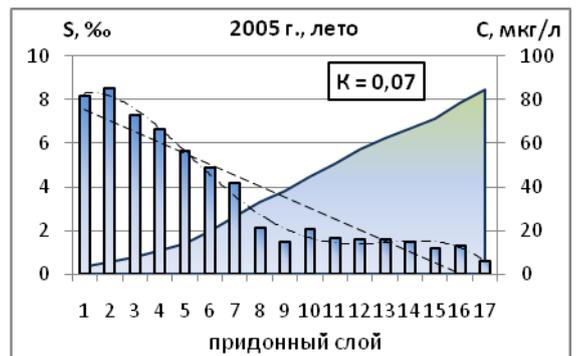
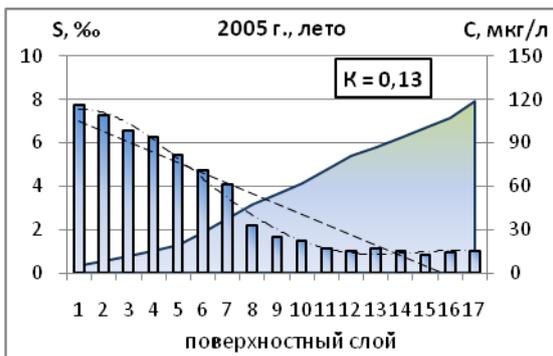


Рис. 10 Характерные виды распределения нефтепродуктов (C , мг/л, столбчатая диаграмма) в поле солёности (S , ‰, сплошная диаграмма) на участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг. K – коэффициент, характеризующий отношение концентрации нефтепродуктов в воде на морской границе участка (при наибольшей солёности) к их концентрации на речной границе участка (при наименьшей солёности). Распределение нефтепродуктов аппроксимировано линейным (штрих) и нелинейным (штрих-пунктир) трендами

Диагноз биогеохимической активности ЗВ

По данным наблюдений и расчетов уровень биогеохимической активности нефтепродуктов в водах лицензионного участка «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг. изменялся в пределах от среднего до очень высокого (табл. 4). При этом активность, судя по среднему значению IFs, была направлена на обогащение вод нефтепродуктами. Это направление активности характеризуется как неустойчивое, потому что уже медиана имеет отрицательный знак, указывающий на обеднение.

Таблица 4

Индексы уровня (IFm) и направления (IFs) активности нефтепродуктов в водах участка «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг.

Статистические параметры	IFm	IFs
Среднее	0,91	0,24
Максимум	1,45	6,24
Минимум	0,58	-3,20
Медиана	0,91	-0,50
Асимметрия	0,93	1,32
Квартиль 0,25	0,73	-1,28
Квартиль 0,75	0,97	0,73

Действительно, как следует из графиков, изображенных на рис. 11, и уровень, и направление активности заметно колеблется год от года, причем в этих колебаниях прослеживается двухлетняя периодичность. Осенью уровень активности повышается по сравнению с весной-летом, при этом средние значения активности в оба сезона характеризуют ее как высокую. Весной-летом преобладает обеднение, а осенью обогащение вод нефтепродуктами на участке «Северо-Каспийская площадь».

Уровень активности нефтепродуктов, судя по графикам, приведенным на рис. 12, находится в положительной связи с их концентрацией в воде. Весной-летом эта связь прослеживается во всем диапазоне активности, а осенью - только при средней и высокой активности нефтепродуктов в воде. Весной-летом процессы обеднения вод нефтепродуктами преобладают на фоне их повышенной концентрации в воде, а процессы обогащения – на фоне пониженной концентрации (рис. 13). Осенью направление активности нефтепродуктов не зависит от концентрации.

Во все сезоны года, но особенно ярко осенью, прослеживается обратно пропорциональная зависимость между уровнем активности нефтепродуктов в воде и соленостью (рис. 14). Активность нефтепродуктов характеризуется как очень высокая весной-летом при солености менее 4 ‰, а осенью при солености менее 6 ‰. Во все сезоны года, но особенно ярко весной-летом, прослеживается прямо пропорциональная зависимость меж-

ду направлением активности нефтепродуктов в воде и ее соленостью (рис. 15). Процессы обеднения вод нефтепродуктами преобладают при солености менее 5‰.

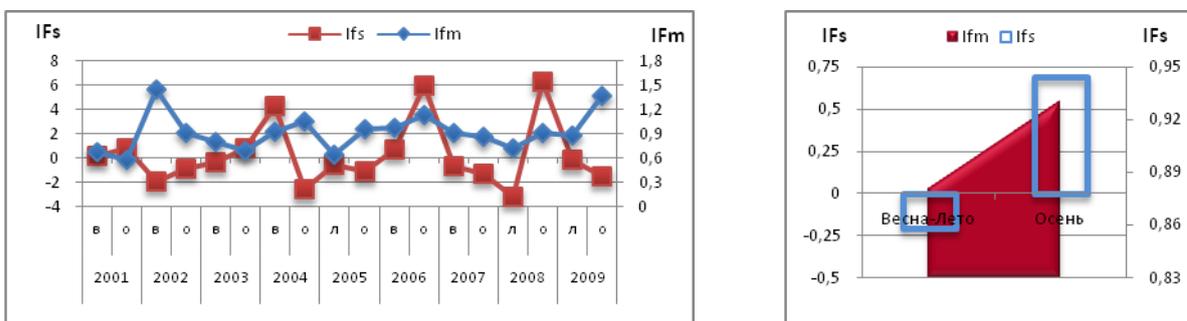


Рис. 11 Межгодовые (слева) и сезонные (справа) изменения уровня (IFm) и направления (IFs) активности нефтепродуктов в водах участка «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг. В – весна; Л – лето; О – осень.

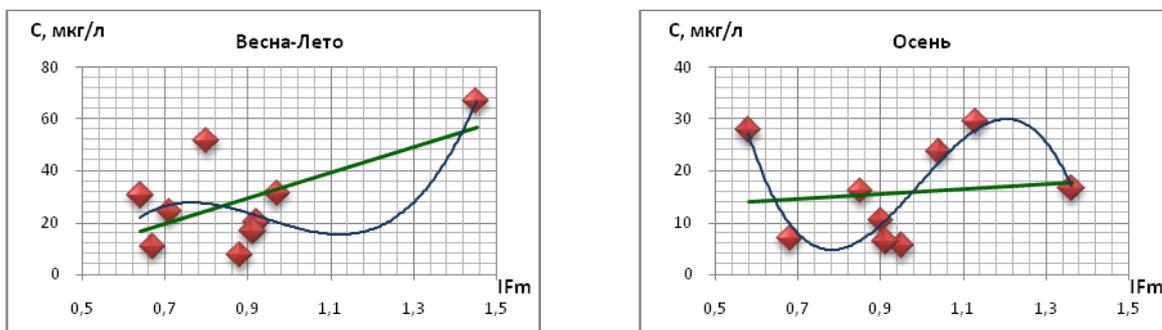


Рис. 12 Взаимосвязь изменений уровня активности нефтепродуктов (IFm) с изменениями их средней концентрации (С, мкг/л) в водах участка «Северо-Каспийская площадь» в весенне-летний и осенний сезоны 2001-2009 гг.

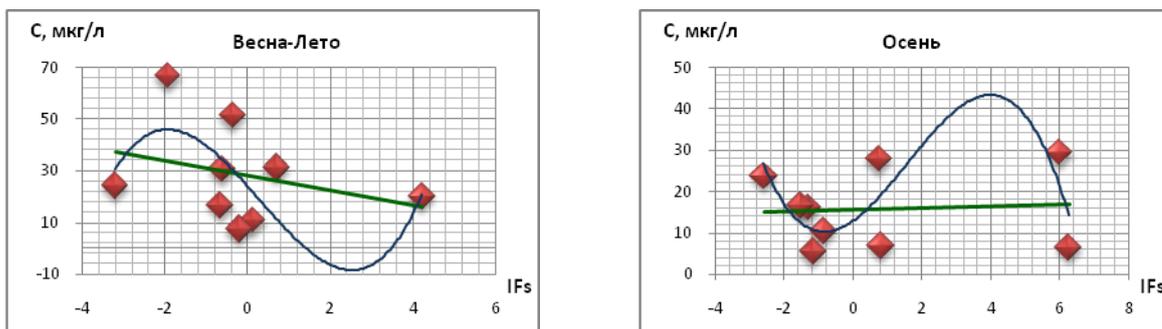


Рис. 13 Взаимосвязь изменений направления активности нефтепродуктов (IFs) с изменениями их средней концентрации (С, мкг/л) в водах участка «Северо-Каспийская площадь» в весенне-летний и осенний сезоны 2001-2009 гг.

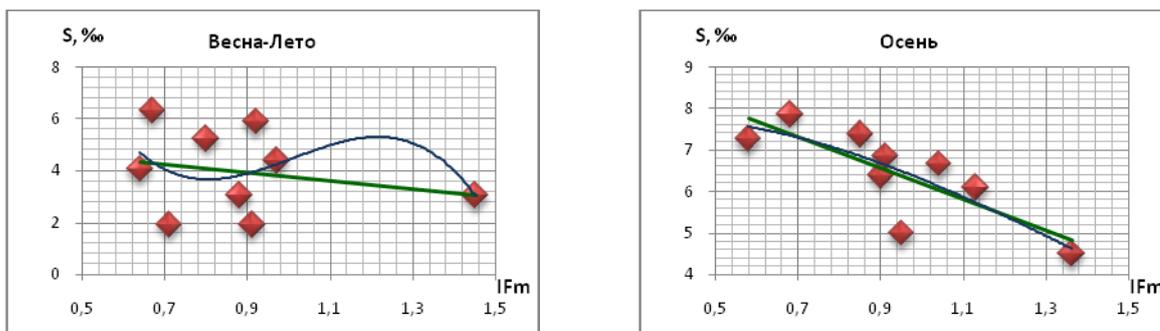


Рис. 14 Взаимосвязь изменений уровня активности нефтепродуктов (IF_m) с изменениями солености воды (S , ‰) на участке «Северо-Каспийская площадь» в весенне-летний и осенний сезоны 2001-2009 гг.

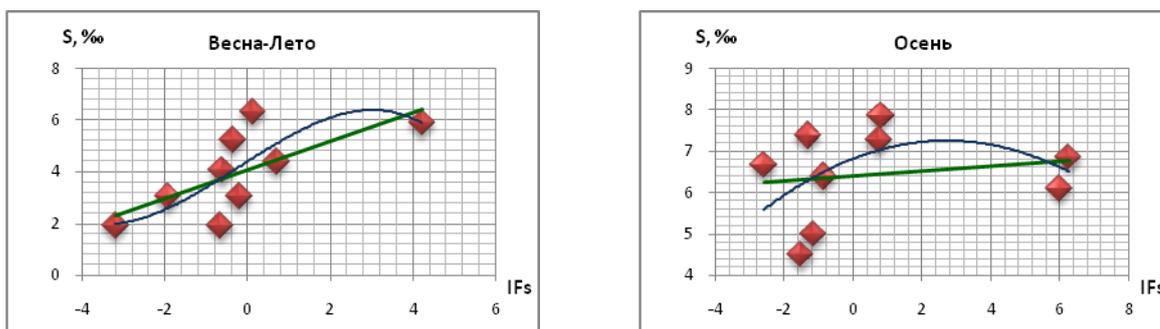


Рис. 15 Взаимосвязь изменений направления активности нефтепродуктов (IF_s) с изменениями солености воды (S , ‰) на участке «Северо-Каспийская площадь» в весенне-летний и осенний сезоны 2001-2009 гг.

Как следует из данных, приведенных на рис. 16, в водах соленостью менее 2 ‰, которые на данном участке появляются только весной-летом, средняя концентрация нефтепродуктов выше, чем в других типах вод. Здесь же зафиксировано четко выраженное обеднение вод нефтепродуктами, сопряженное с очень высоким уровнем их активности. В следующем типе вод ($2‰ < S < 7‰$) концентрация нефтепродуктов снизилась по сравнению с первым типом, вместе с тем уменьшилась правда ненамного их активность, зато направление активности поменялось на прямо противоположное. В водах соленостью от 7 до 9 ‰ концентрация нефтепродуктов еще более снизилась по сравнению с первыми двумя типами вод, но уровень их активности повысился (весной-летом). При этом направление приобрело неустойчивый характер. В водах соленостью более 9 ‰, которые на данном участке появляются только осенью, средняя концентрация нефтепродуктов ниже, чем в других типах вод. Здесь же зафиксировано четко выраженное обогащение вод нефтепродуктами, сопряженное с очень высоким уровнем их активности.

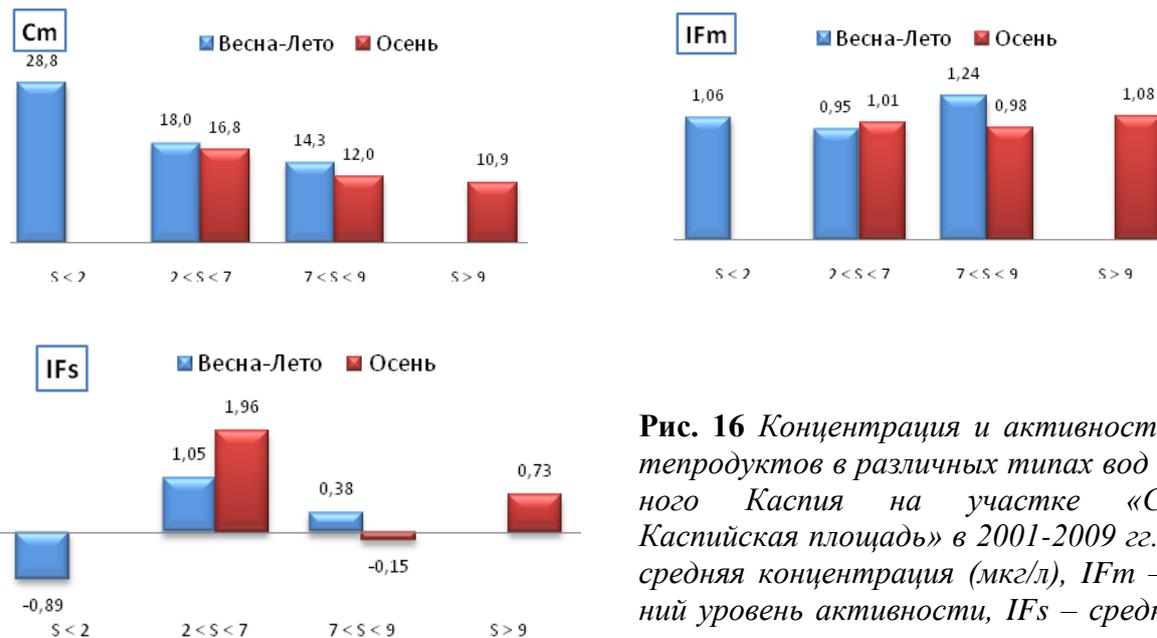


Рис. 16 Концентрация и активность нефтепродуктов в различных типах вод Северного Каспия на участке «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг. Cm – средняя концентрация (мкг/л), IFm – средний уровень активности, IFs – среднее направление активности

Итак, нефтепродуктам, загрязнявшим лицензионный участок «Северо-Каспийская площадь» в 2001-2009 гг., было свойственно неоднородное распределение в пространстве и времени. Высокий вклад непостоянных и местных факторов в загрязнение морской среды нефтепродуктами объяснялся непостоянством гидрологических условий, принадлежностью данной акватории к зоне смешения речных и морских вод. Основным источником поступления нефтепродуктов на лицензионный участок являлся речной сток, но при его ослаблении не первое место выходила адвекция нефтепродуктов со стороны моря. В зоне смешения речных и морских вод нефтепродукты легко переходили из воды в другие компоненты среды и обратно в воду. При солености менее 2‰ преобладали процессы обеднения, при солености от 2 до 7‰ и более 9‰ – процессы обогащения вод нефтепродуктами, а при солености от 7 до 9‰ эти процессы были сбалансированы, но при этом наиболее интенсивны.

Таким образом, в «портрете загрязнения» морской среды находят свое выражение основные особенности и закономерности распределения и поведения ЗВ в пределах рассматриваемой акватории и интервала времени. В связи с этим мы рекомендуем широко использовать данную технологию для оценки экологической обстановки на морских акваториях, подверженных антропогенной нагрузке.

Литература

1. Монахов С.К. Экологический мониторинг Каспийского моря. – Астрахань: Издатель Сорокин Р.В., -2012 г., 194 с.

2. Есина О., Монахов С. Современное состояние и перспективы развития системы нормирования и оценки загрязнения окружающей среды // Энергетический вестник, 2012, № 1 (13), С. 45-52.
3. Монахов С.К., Курапов А.А., Попова Н.В, Зорникова О.И. Нормирование, оценка и диагноз загрязнения нефтегазоносных акваторий российских морей (на примере Каспийского моря). // Материалы третьей международной научно-практической конференции «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений» (13-15 октября 2009 г., Астрахань). – Астрахань: Издательство КаспНИРХа, 2009. – С. 147 -151
4. Монахов С.К., Татарников В.О, Макарова Е.Н. Метод и технология идентификации загрязнения Северного Каспия // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2008.- № 5.- С. 10-12
5. Монахов С.К., Татарников В.О, Тарасова Р.И., Попова Н.В., Курапов А.А., Зайцев В.Ф., Мелякина Э.И. Диагноз основных источников загрязнения районов нефтегазодобычи, расположенных в зоне смешения речных и морских вод // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2009. - № 9,– С.46-50 .
6. Попова Н.В., Зорникова О.И., Радованова И.Г., Есина О.И., Монахов С.К., Бутаев А.М. Биогеохимическая активность загрязняющих веществ в водах устьевого взморья // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. - 2009. -№ 9 – С. 42-46