

ОЦЕНКА АССИМИЛЯЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА И АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЕМКОСТИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

Соколова В.В., Светашева Д.Р., Держинская И. С., Курапов А.А., Монахов С.К.

Реакция экосистем на антропогенное воздействие может быть нормальной, т.е. укладывающейся в пределы естественных колебаний их состояния, или аномальной, выходящей за эти пределы. В последнем случае антропогенные изменения состояния экосистем могут быть обратимыми или необратимыми.

Различную реакцию экосистем на антропогенное воздействие (нагрузку) следует учитывать при его нормировании, что является основанием для установления трех категорий нагрузки: а) условно допустимой средней нагрузки (нормальная реакция экосистем); б) условно допустимой разовой нагрузки (обратимые изменения экосистем); в) недопустимой нагрузки (необратимые изменения экосистем). Об условности допустимой нагрузки здесь сказано потому, что нагрузка допустимая, исходя из реакции экосистем, может быть недопустима по другим основаниям (например, из-за нарушения санитарных или хозяйственных нормативов качества среды).

К чисто экологическим аргументам в пользу нескольких категорий нагрузки следует добавить технико-экологические и эколого-экономические аргументы. Так в техническом плане средней нагрузке соответствуют технологические сбросы и выбросы, а разовой нагрузке – аварийные сбросы и выбросы. Ущерб окружающей среде от различных видов нагрузки также различается в разы, если не на порядки.

Нормирование антропогенной нагрузки, под которой подразумевается комплексное воздействие на территорию (акваторию), предусмотрено федеральным законом «Об охране окружающей среды», но пока не проводится из-за неразработанности нормативно-методической базы. Видимо, по этой же причине в литературе нет однозначного определения предельно допустимой нагрузки, синонимом которой является экологическая емкость, а применительно к загрязнению окружающей среды – ассимиляционная емкость (или ассимиляционный потенциал).

В одних случаях говорится, что такая нагрузка не должна приводить к деградации окружающей среды [13], к необратимым изменениям ее жизнеобеспечивающих функций [15], в других, что она должна позволять экосистеме существовать без ущерба для

составляющих ее компонентов [14], в третьих, что она не должна вызывать потери устойчивости экосистем (см. статью «ассимиляционный потенциал в [12]) или нарушения ее нормального функционирования (см. статью «ассимиляционная емкость» [там же, стр. 35]. Причем этот перечень еще можно продолжить.

Эта неопределенность дает свободу в установлении различных категорий допустимой нагрузки, о которых говорилось выше. *Условно допустимой средней антропогенной нагрузкой (УДСАН)*, синонимом которой применительно к загрязнению окружающей среды является *ассимиляционная емкость*, предлагается считать нагрузку, не влекущую за собой изменения нормального состояния экосистем. *Условно-допустимой разовой антропогенной нагрузкой (УДРАН)*, синонимом которой применительно к загрязнению окружающей среды является *ассимиляционный потенциал*, предлагается считать нагрузку, выводящую экосистемы из нормального состояния, но лишь на определенный срок. В качестве аналогов УДСАН и УДРАН среди нормативов качества окружающей среды можно указать на максимально разовые и средние ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе.

В методическом плане для оценки ассимиляционного потенциала достаточно определить способность территории (акватории) к самоочищению. Если основной вклад в процесс самоочищения вносят микробиологические процессы, то за ориентировочную оценку ассимиляционного потенциала можно принять скорость микробной деградации загрязняющего вещества. Более сложно оценить ассимиляционную емкость, так как для этого следует определить максимальное значение скорости поступления (удаления) загрязняющего вещества, при котором его концентрация в среде не превышает ПДК (это гарантирует сохранение нормального состояния экосистемы [2, 11]).

Основная цель данной работы состояла в оценке ассимиляционного потенциала и ассимиляционной емкости Северного Каспия по отношению к нефтяному загрязнению. Исследование этой проблем является весьма актуальным в свете вступившего в активную фазу освоения нефтегазовых месторождений в этой части моря.

Оценку ассимиляционного потенциала морской воды по величине микробной деградации нефтяных углеводородов проводили применительно к акватории лицензионных участков нефтяных компаний ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» и ООО «Каспийская нефтяная компания», при этом концентрация нефтепродуктов в воде изменялась в пределах от 0,005 до 0,068 мг/л. На большей части станций не отмечено превышения ПДК (0,05 мг/л).

Исследования проводились в мелководной, приглубой зонах и свале глубин на двух горизонтах – поверхностном и придонном. Оценка микробной деградации нефтяных

углеводородов проводилась двумя методами, предложенными С.Е. ZoBell [16, 17]: а) по скорости потребления кислорода при микробиологическом окислении нефти, далее именуемой потенциальной окислительной способностью (ПОС, мгО₂/л в сутки); б) по скорости разложения нефти бактериопланктоном, далее именуемой бактериальной деструкцией (БД, гУВ/м³ в сутки).

Как известно, окисление углеводородов сопровождается значительным потреблением кислорода [5]. С.Е. ZoBell [16] считает, что 1 мг кислорода окисляет от 0,5 до 1,4 мг нефти. Потенциальную окислительную способность, как показатель активности углеводородоокисляющего бактериопланктона и, следовательно, интенсивности процесса минерализации нефтяных остатков в работе определяли по изменению концентрации растворенного кислорода в морской воде на 3-и сутки после внесения в нее нефти. Если допустить, что 1 мг кислорода окисляет в среднем 1 мг нефти [4, 6], то величина ПОС (мгО₂/л в сутки) соответствует скорости микробной деградации нефтяных углеводородов (выраженной в мгУВ/л в сутки или, что то же самое, гУВ/м³ в сутки).

С.Е. ZoBell [17] было рассчитано, что в среднем одна бактериальная клетка способна окислить $3,76 \cdot 10^{-8}$ мг углеводорода в сутки [8]. Исходя из этой оценки и учитывая численность углеводородоокисляющих клеток в единице объема морской воды (N, кл/мл), в ходе работы рассчитывалась величина бактериальной деструкции углеводородов (БД, гУВ/м³ в сутки), которая непосредственно характеризует скорость их микробной деградации.

Анализ полученных данных о численности бактериопланктона показал, что углеводородоокисляющие микроорганизмы присутствовали во всех исследуемых пробах воды и составляли от 4,4 до 11,5% от численности сапротрофов (табл. 1), что совпадает с данными М.А. Салманова [9, 10].

Таблица 1

Численность сапротрофных и углеводородоокисляющих микроорганизмов на исследуемом участке Северного Каспия (КОЕ/мл * 10²)

Зона исследования	Температура воды, °С		Сапротрофы, КОЕ/мл * 10 ²		Углеводородоокисляющие микроорганизмы			
					КОЕ/мл * 10 ²		в % от сапротрофов	
	Горизонт							
	Поверхностный	Придонный	Поверхностный	Придонный	Поверхностный	Придонный	Поверхностный	Придонный
Лето								
Мелководная	30,3	29,4	508	480	24,1	24,5	4,7	5,1
Свал глубин	29,1	27,9	486	443	22,7	20,4	4,7	4,6
Приглубая	29,1	25,4	442	434	21,1	19,0	4,8	4,4

Осень								
Мелководная	11,4	11,5	232	198	18,0	16,8	7,8	8,5
Свал глубин	14,1	14,2	225	167	17,5	12,5	7,8	7,5
Приглубая	17,4	17,4	191	173	16,5	14,2	8,6	8,2
Зима								
Мелководная	9,8	10,7	203	147	19,7	16,7	9,7	11,4
Свал глубин	11,4	11,4	185	127	18,2	14,6	9,8	11,5
Приглубая	13,6	13,9	175	115	15,5	13,5	8,9	10,9

Потенциальная окислительная способность углеводородокисляющих микроорганизмов на исследуемой акватории изменялась в пределах от 0,06 до 3,74 мгО₂/л в сутки (табл. 2) По данным Г.Л. Марголиной [6] суточное потребление кислорода на окисление нефтяных углеводородов в диапазоне 0,4-1,0 и более мгО₂/л в сутки характеризует воды с сильным хроническим нефтяным загрязнением, диапазон 0,1-0,4 мгО₂/л в сутки свидетельствует о слабом загрязнении, а значение ПОС менее 0,1 мгО₂/л в сутки указывает на отсутствие постоянного поступления нефтепродуктов. Если исходить из этой оценки, то уровень нефтяного загрязнения исследуемой акватории следует оценивать как слабый (за исключением мелководной зоны и поверхностного горизонта свала глубин в летний сезон).

Таблица 2

Потенциальная окислительная способность (ПОС) углеводородокисляющих микроорганизмов (мг О₂/л в сутки)

Исследуемая зона	Лето	Осень	Зима
Мелководная зона (поверхностный горизонт)	3,74	0,62	0,96
Мелководная зона (придонный горизонт)	2,27	0,42	0,81
Свал глубин (поверхностный горизонт)	2,92	0,29	0,65
Свал глубин (придонный горизонт)	0,15	0,06	1,28
Приглубая зона (поверхностный горизонт)	0,96	0,54	0,61
Приглубая зона (придонный горизонт)	0,76	0,10	0,65

Значение ПОС, как уже указывалось выше, прямо соответствует значению микробной деградации нефтяных углеводородов, выраженной в гУВ/м³ в сутки. Из этого следует, что скорость микробной деградации на исследуемой акватории находилась от в пределах от 0,06 до 3,74 гУВ/м³ в сутки. Летом наибольшая скорость микробной деградации была зарегистрирована в поверхностном горизонте мелководной зоны, при этом она снижалась в направлении от поверхности ко дну и от берега в море. Осенью скорость микробной деградации снижалась, но ее распределение в пространстве было аналогично летнему. Зимой скорость микробной деградации вновь возрастала, при этом ее максимальное значение наблюдалась в придонном слое свала глубин.

Данные о бактериальной деструкции нефтепродуктов, рассчитанной исходя из

численности нефтеокисляющих бактерий и скорости деструкции в расчете на одну бактериальную клетку, равной $3,76 \cdot 10^{-8}$ мг углеводорода в сутки (см. выше), приведены в табл. 3. Из их следует, что скорость бактериальной деструкции на исследуемой акватории Северного Каспия изменялась в пределах от 0,047 до 0,092 гУВ/м³ в сутки. Ранее А.М. Бутаевым [1] было установлено в водах Дагестанского шельфа (западное побережье Среднего Каспия) скорость бактериальной деструкции нефтепродуктов изменяется в пределах от 35 мкг/л в сутки (или 0,035 гУВ/м³ в сутки) зимой до 10 мкг/л в сутки (или 0,010 гУВ/м³ в сутки) летом. Расхождение между нашими данными и данными А.М. Бутаева объясняются высокой трофностью Северного Каспия по сравнению со Средним Каспием и, соответственно повышенной численностью нефтеокисляющей микрофлоры в северо-каспийских водах.

Таблица 3

Бактериальная деструкция нефтепродуктов (БД, гУВ/м³ в сутки)
в водах Северного Каспия по сезонам и зонам исследования

Исследуемая зона Северного Каспия	Поверхностный горизонт		Придонный горизонт	
	N (кл/мл)	БД (гУВ/м ³ в сутки)	N (кл/мл)	БД (гУВ/м ³ в сутки)
Лето				
Мелководная зона	2410	0,091	2450	0,092
Свал глубин	2270	0,085	2040	0,077
Приглубая зона	2110	0,079	1900	0,071
Осень				
Мелководная зона	1800	0,068	1680	0,063
Свал глубин	1750	0,067	1250	0,047
Приглубая зона	1650	0,062	1420	0,053
Зима				
Мелководная зона	1970	0,074	1670	0,062
Свал глубин	1820	0,068	1460	0,054
Приглубая зона	1550	0,058	1350	0,051

Микробная деградация нефтяных углеводородов в водах исследуемой акватории по данным, приведенным в табл. 3, среднем на порядок ниже, чем по данным, рассчитанным исходя из потенциальной окислительной способности. Это объясняется тем, что при определении ПОС кислород расходуется не только на окисление нефтепродуктов, но других органических веществ. Однако характер сезонной изменчивости и пространственного распределения микробной деградации нефтяных углеводородов в обоих случаях аналогичен. Бактериальная деструкция, рассчитанная по данным о численности микроорганизмов, также снижается от лета к осени, а затем возрастает (либо остается на том же уровне) зимой. Кроме того, она также снижается с поверхности ко дну и в направлении от берега в море.

Учитывая сказанное выше, данные, исходящие из численности микроорганизмов, более объективно отражают скорость микробной деградации, чем данные, исходящих из ПОС. Округляя значения, приведенные в табл. 3, можно сказать, что скорость микробной деградации нефтяных углеводородов в пределах исследуемой акватории равна 0,005-0,009 гУВ/м³ в сутки. Для экстраполяции этого значения на весь Северный Каспий умножим эти цифры на его среднюю глубину, равную 5 метрам. В результате получим, что скорость микробной деградации нефтяных углеводородов на Северном Каспии равна 0,025-0,045 г УВ/м² в сутки. Выше говорилось, что скорость микробной деградации можно считать ориентировочной оценкой *ассимиляционного потенциала* Северного Каспия по отношению к нефтяному загрязнению, который, судя по нашим данным равен 25-45 тоннам нефтепродуктов на 1 км² в сутки.

Оценка ассимиляционной емкости западной части Северного Каспия по отношению к нефтяному загрязнению с использованием балансового метода и данных многолетних наблюдений Росгидромета за загрязнением морских вод выполнена в [11]. Кстати, там же показано, что максимальное значение потенциала загрязнения акватории Северного Каспия нефтепродуктами составляет 3,0 тонн/км² в месяц (или 0,10 тонн/км² в сутки), а потенциала очищения акватории от нефтепродуктов равен 4,5 тонн/км² в месяц (или 0,15 тонн/км² в сутки). Это говорит о том, что в реальности максимальный поток нефтепродуктов через экосистему Северного Каспия на два порядка меньше его ассимиляционного потенциала.

С использованием тех же материалов и того же метода в работе [7] дана оценка ассимиляционной емкости акватории лицензионного участка ООО «Каспийская нефтяная компания» по отношению к нефтепродуктам, то есть той же акватории, наблюдения на которой использовались для оценки ассимиляционного потенциала. В табл. 4 эти данные приведены в пересчете на тоннУВ/ км²*сутки.

Таблица 4

Ассимиляционная емкость (тонн УВ/км²*сутки) лицензионного участка ООО «Каспийская нефтяная компания» по отношению к нефтепродуктам

Сезон	Район		
	Западный	Центральный	Восточный
Зимняя межень	0,0005	0,0007	0,0004
Половодье	0,0021	0,0021	0,0022
Летняя межень	0,0016	0,0023	0,0007
Осенняя межень	0,0048	0,0044	0,0048

Ассимиляционная емкость, как это видно из результатов расчетов, своего максимального значения во всех районах достигает осенью, когда, по-видимому, активизируются гидродинамические процессы очищения вод. Если округлить значения

приведенные в табл. 4, то можно сказать, что ассимиляционная емкость данной акватории по отношению к нефтепродуктам находится в пределах от 0,0005 до 0,0050 тонн УВ/км²*сутки. Для экстраполяции полученных значений на весь Северный Каспий примем во внимание, что средняя глубина на данном участке примерно в 2 раза меньше, чем на Северном Каспии в целом. Тогда его ассимиляционная емкость составит от 0,001 до 0,01 тонн УВ/км²*сутки. Таким образом, ассимиляционная емкость Северного Каспия (равная массе нефтепродуктов, которую его экосистема может принять и утилизировать без нарушения своего нормального состояния) оказалась в 10 000 раз меньше ее ассимиляционного потенциала.

В настоящее время нами разработан новый «синоптический» метод оценки ассимиляционной емкости. Для него не требуется длительных, даже повторных наблюдений, достаточно использовать данные одной океанографической съемки. В основе метода лежит предположение, что обнаруженное по результатам съемки неоднородное распределение загрязняющих веществ в однородной по физическим параметрам водной массе является следствием протекающих в ней процессов самоочищения, точкой отсчета времени для которых является прохождение последнего шторма на акватории (поэтому данный метод назван «синоптическим» методом).

В данном методе скорость потока загрязняющих веществ, проходящего через единицу объема воды определяется как отношение $(C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}})/T$, где T – время в сутках, прошедшее с дня последнего шторма. Как было установлено ранее [3, 11], для того, чтобы установить скорость потока загрязняющего вещества, которая не приносит вреда экосистеме (это значение, собственно, и является ассимиляционной емкостью) данное отношение должно быть умножено на $C_{\text{пдж}}/C_{\text{макс}}$, где $C_{\text{пдж}}$ – предельно-допустимая концентрация загрязняющих веществ в воде. Таким образом, расчет ассимиляционной емкости проводится по формуле:

$$A = [(C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}})/T] \times C_{\text{пдж}}/C_{\text{макс}}$$

Размерность A в данном случае соответствует размерности концентрации загрязняющего вещества в воде. Например, в случае если концентрация выражена в мкг/л, то размерность A , соответственно, будет мкг/л*сут. Основная трудность в применении данного метода состоит в выделении водной массы, однородной в гидрологическом отношении. Особенно трудно это сделать на Северном Каспии, большая часть акватории которого относится к зоне смешения речных и морских вод.

Несмотря на эти трудности, синоптический метод был впервые апробирован нами применительно к акватории лицензионного участка ООО «Каспийская нефтяная компания», где по данным двух съемок (осенью 2005 г. и весной 2006 г.) были выделены

относительно однородные водные массы. Результаты расчетов ассимиляционной емкости с использованием «синоптического» метода показали, что она равна 0,004-0,005 гУВ/м³, что на несколько порядков превышает величину ассимиляционной емкости, установленную с использованием балансового метода. По нашему мнению, «синоптический» метод применительно к акватории Северного Каспия дает завышенные результаты из-за гидрологической неоднородности. Это подтверждается тем, что значения ассимиляционной емкости, рассчитанные для различных водных масс, находились в прямо пропорциональной зависимости от коэффициента вариации солености. И все же следует отметить, что значение ассимиляционной емкости, рассчитанное с использованием «синоптического метода» очень близко к значению ассимиляционного потенциала, определенного по скорости микробной деградации нефтяных углеводородов на акватории лицензионного участка ООО «Каспийская нефтяная компания».

Подводя итоги данной работы, отметим, что допустимую антропогенную нагрузку по нашему мнению следует разделить на две категории: условно допустимую *среднюю* нагрузку и условно допустимую *разовую* нагрузку. Синонимом последней можно считать *ассимиляционный потенциал*, показывающий сколько загрязняющих веществ может переработать экосистема, перейдя при этом в аномальное, но обратимое состояние. Синонимом условно допустимой средней нагрузки можно считать *ассимиляционную емкость*, показывающую сколько загрязняющих веществ может переработать экосистема, не выходя из своего нормального состояния. Ассимиляционный потенциал Северного Каспия по отношению к нефтяному загрязнению, определенный по скорости микробной деградации нефтяных углеводородов, составляет 25-45 тонн нефтепродуктов на 1 км² в сутки. Ассимиляционная емкость Северного Каспия по отношению к нефтяному загрязнению, рассчитанная с использованием балансового метода составляет 0,01-0,001 тонн нефтепродуктов на 1 км² в сутки, что в среднем в 10 000 раз меньше ассимиляционного потенциала. Новый «синоптический» метод определения ассимиляционной емкости для Северного Каспия дает завышенные результаты из-за гидрологической неоднородности его акватории.

Литература

1. Бутаев А.М., Кабыш Н.Ф. О роли нефтеокисляющих микроорганизмов в процессах самоочищения прибрежных вод Дагестанского побережья Каспийского моря от нефтяного загрязнения / А.М. Бутаев, Н.Ф. Кабыш // Вестник Дагестанского научного центра РАН. - 2002. - № 11. - С.56-69.

2. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Об ассимиляционной емкости Мирового океана. – ДАН СССР, 1983, т. 272, № 3. – С. 702-704
3. 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
4. Куликова И.Ю. Микроорганизмы в процессе самоочищения шельфовых вод Северного Каспия от нефтяного загрязнения: автореф. дис. ... канд. Биол. наук / Куликова Ирина Юрьевна. – М., 2004. – 24 с.
5. Копытов Ю.П. Распространение, состав и деструкция липофильных веществ в морской воде. Биологические аспекты загрязнения морской среды. / Ю.П. Копытов. - Киев: Наук. думка, 1988. - С. 5 - 52.
6. Марголина Г.Л. Микробиологические процессы продукции и деструкции в пресных водоемах / Г.Л. Марголина. - М.: Наука, 1989. - 120 с.
7. Монахов С.К., Курапов А.А., Попова Н.В. Оценка ассимиляционной емкости акватории и экологическое нормирование сброса загрязняющих веществ в море // Вестник ДНЦ РАН, т. 20, 2005 – С. 58-65
8. Рубцова С.И. Оценка бактериального самоочищения вод от нефтяных углеводородов в прибойной зоне акватории Севастополя (Черное море) / С.И. Рубцова // Экология моря. - 2003. - Вып. 64. - С.95-98.
9. Салманов М.А. Роль микрофлоры и фитопланктона в продукционных процессах Каспийского моря / М.А. Салманов. – М.: Наука, 1987. – 216 с.
10. Салманов М.А. Экология и биологическая продуктивность Каспийского моря / М.А. Салманов. - Баку: "Исмаил", 1999. - 400 с.
11. Экологическая оценка загрязнения западной части Северного Каспия нефтяными углеводородами. Атлас. / Отв. ред. Монахов С.К.. – Астрахань, 2005 – 50 с.
12. Экологический энциклопедический словарь. – М: Издательский дом «Ноосфера», 1999 – 930 с.
13. Экология. Юридический энциклопедический словарь / Под ред. проф. С.А. Боголюбова.-М., 2001
14. Словарь терминов по физической географии / Институт географии РАН . <http://www.igras.ru/index.php?r=56&id=1013>
15. Словарь по прикладной экологии, рациональному природопользованию и природообустройству/Московский государственный университет природообустройства, проф. Шабанов В.В. http://www.msuee.ru/PL_lab/HTMLS/BIBL/DICT/
16. Zo Bell С.Е. The occurrence, effects and fate of oil polluting the sea / С.Е. Zo Bell

// Adv. Wat. Pollut. Res. - 1964. - № 3. - P. 85-118.

17. Zo Bell C.E. Microbial degradation of oil: present status, problems and perspectives / C.E. Zo Bell // Microbial Degradation of Oil Pollutants. Center for Wetland Resources. Louisiana State University. - 1973. - №. 3 - P. 153-162.