



УДК 551.5:574.5

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БАЛАНСНОГО И СИНОПТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АССИМИЛЯЦИОННОЙ ЁМКОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

© 2018 г. **Х.Г. Асадов, С.А. Аскерова**

Национальное аэрокосмическое агентство, Баку, Азербайджанская Республика

E-mail: asadzade@rambler.ru

Поступила в редакцию 20.10.2017. Принята к публикации 05.03.2018.

Известно, что ассимиляционная ёмкость (АЕ) водной акватории определяется как максимальная динамическая вместимость такого количества загрязняющих веществ определённого вида, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за пределы экосистемы при условии отсутствия нарушения её нормального функционирования. Статья посвящена сравнительному исследованию показателей АЕ, рассчитанных по балансному и синоптическому методам. Предложено геометрическое представление указанных сравниваемых методов в трёхмерном пространстве $\{T, V, C\}$, где T — временной интервал, V — объём водной массы, C — концентрация загрязняющих веществ. Приведены количественные соотношения между двумя рассмотренными показателями АЕ. Полученные результаты применены к выбранным зонам акватории северной части прибрежной зоны азербайджанского сектора Каспийского моря. Показано, что для зимнего сезона значения ассимиляционной ёмкости, рассчитанные по синоптическому методу (A_c), несколько ниже, чем аналогичные показатели, рассчитанные по балансному методу (A_p), и составляют $(0,6 \div 0,8)$ от A_p . Такой результат можно считать лучше известных результатов, в которых разница в оценках достигает одного порядка.

Ключевые слова: ассимиляционная ёмкость, морские акватории, синоптический метод, балансный метод, загрязнение моря

Согласно определению Ю. А. Израэля и А. В. Цыбань [4], ассимиляционная ёмкость (АЕ) водной экосистемы по загрязняющему веществу определяется как максимальная динамическая вместимость такого количества загрязняющего вещества, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано и выведено за счёт процессов седиментации, диффузии или любого другого переноса за пределы экосистемы без нарушения её нормального функционирования [1]. Согласно [2], уравнение динамики загрязняющего вещества в водной среде имеет вид:

$$V \frac{d\bar{C}_i}{dt} = \int_{S_a} (P_{ai} \pm P'_{ai}) dS + \int_L (P_{Li} \pm P'_{Li}) dL + \int_{S_b} (P_{bi} \pm P'_{bi}) dS + \int_{S_a} \int_0^{Z_b} B_{chi} k_{(z)} dz dS, \quad (1)$$

где V — объём водной экосистемы; \bar{C}_i — усреднённая величина концентрации загрязняющего вещества; S_a — площадь поверхности водного объекта; S_b — площадь дна; L — длина береговой линии; Z_b — глубина; P_i — параметр, характеризующий процессы обмена загрязняющего вещества через границу (например, атмосферное осаждение, седиментационный вынос и т. д.); B_{chi} — скорость микробиологического и химического разрушения загрязняющего вещества; $k_{(z)}$ — коэффициент, указывающий

на зависимость V_{chi} от освещённости и температуры. Штрихи обозначают те источники, которые характеризуют химическую и биологическую трансформацию в пограничной области.

В данной работе проводится сравнительное исследование показателей ассимиляционной ёмкости, рассчитанных по синоптическому (A_c) и балансному (A_p) методам.

Согласно [2], из уравнения (1), используя метод теории размерностей, можно получить следующее уравнение для вычисления суммарного удаления A_p загрязняющего вещества из водной экосистемы:

$$A_p = k \cdot \frac{V}{\tau} C_i, \quad (2)$$

где k — коэффициент запаса, отражающий экологические условия протекания процесса загрязнения в различных зонах экосистемы; τ — время пребывания загрязняющего вещества в экосистеме; C — концентрация загрязняющего вещества, $C \leq C_0$ (C_0 — критическая концентрация загрязняющего вещества в воде).

Ассимиляционная ёмкость может быть оценена по формуле (2) при $C = C_0$.

Кроме вышеуказанного метода определения ассимиляционной ёмкости А. М. Владимирова, существуют биогеохимический метод С. А. Патина [7], эколого-географический метод В. В. Дмитриева [3] и др.

Применительно к условиям загрязнения Каспийского моря наиболее целесообразным для использования является, на наш взгляд, «синоптический метод», разработанный специалистами Дагестанского государственного университета, ООО «Каспийская нефтяная компания» и ГУ «КаспМНИЦ» [5]. Согласно этому методу, ассимиляционная ёмкость водной экосистемы определяется как:

$$A_c = \left[\frac{(C_{max} - C_{min})}{T} \right] \cdot \frac{C_{пдк}}{C_{max}}, \quad (3)$$

где C_{max} — максимальная концентрация загрязняющих веществ; C_{min} — минимальная концентрация загрязняющих веществ, вычисленная для каждого загрязняющего вещества и каждой водной массы (C_{max} и C_{min} характеризуют неоднородное распределение загрязняющих веществ); T — длительность интервала между последними штормами; $C_{пдк}$ — предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воде.

Показатель A_c рассчитывается отдельно для отдельных участков и далее экстраполируется на весь участок рассматриваемой площади моря.

Настоящая статья посвящена исследованию соотношения показателей АЕ, рассчитанных по формулам (2) и (3). Прежде всего, рассмотрим предлагаемое геометрическое представление вышеуказанных сравниваемых методов в трёхмерном пространстве $\{T, V, C\}$, где T — временной интервал; V — объём водной массы; C — концентрация загрязняющих веществ (рис. 1).

Как ясно из формул (2) и (3), показатель A_p , согласно геометрической интерпретации, изображённой на рис. 1, определяется как:

$$A_p = \frac{\text{Площадь}(OCiDV_1)}{T_1}, \quad (4)$$

а показатель A_c в случае $C_{min} = 0$ определится как:

$$A_c = tg\alpha = \frac{C_{пдк}}{T_1}. \quad (5)$$

Таким образом, как видно из представленной геометрической интерпретации A_p и A_c , геометрический смысл этих показателей является совершенно разным: A_c — фактически двухмерный, а A_p — трёхмерный показатель, применительно к одному конкретному участку моря.

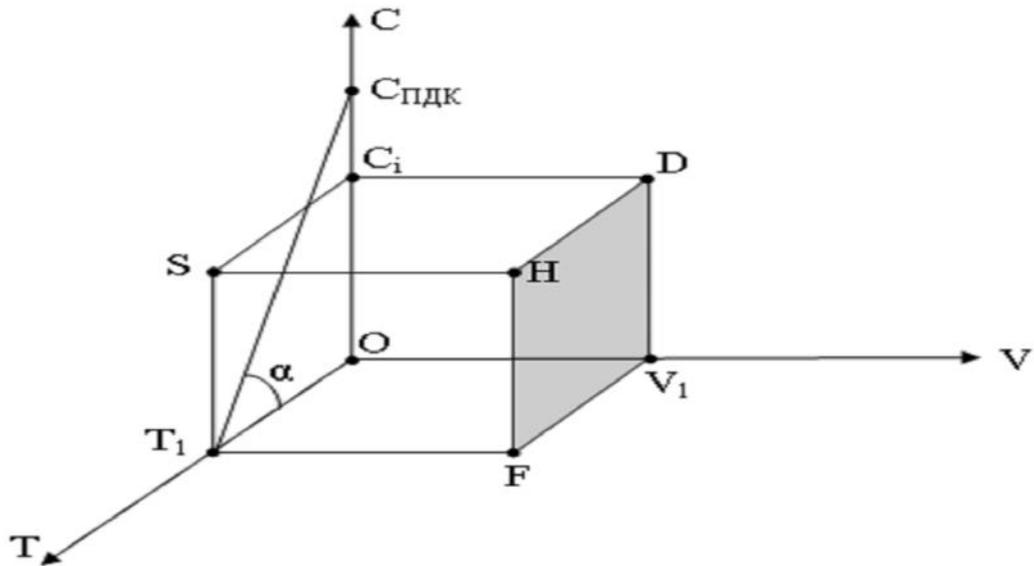


Рис. 1. Геометрическая интерпретация вычисляемых показателей A_i и A_1 по формулам (2) и (3)

Fig. 1. The geometric interpretation of the calculated indices A_i and A_1 by formulas (2) and (3)

Рассмотрим количественные соотношения между двумя обсуждаемыми показателями АЕ, которые могли бы быть полезными при проведении сравнительных или взаимосвязанных вычислений ассимиляционной ёмкости.

Введём на рассмотрение коэффициент отношения γ , определяемый как:

$$\gamma = \frac{A_c}{A_p} = \frac{\left[\frac{(C_{max} - C_{min})}{T} \right] \cdot \frac{C_{ПДК}}{C_{max}}}{k \cdot \frac{C_0 \cdot V}{\tau}} \quad (6)$$

Примем следующее соотношение:

$$\tau = k_1 \cdot T \quad (7)$$

Заметим, что условие (7) допускает наличие жёсткой связи между τ и T .

Примем:

$$C_0 = k_2 \cdot C_{max} \quad (8)$$

Заметим, что при условии (6), (7), (8) получаем:

$$\gamma = \frac{(C_{max} - C_{min}) \cdot C_{ПДК} \cdot k_1 \cdot T}{T \cdot C_{max}^2 \cdot k \cdot k_2 \cdot V} = \frac{k_3 (C_{max} - C_{min})}{C_{max}^2} \quad (9)$$

где:

$$k_3 = \frac{C_{ПДК} \cdot k_1}{k \cdot k_2 \cdot V} \quad (10)$$

Исследуем выражение (9) на экстремум от C_{max} . Имеем:

$$\frac{d\gamma}{dC_{max}} = k_3 \cdot C_{max}^2 - 2C_{max} \cdot k_3(C_{max} - C_{min}), \quad (11)$$

при условии:

$$\frac{d\gamma}{dC_{max}} = 0. \quad (12)$$

Из выражения (11) находим:

$$C_{max} = 2(C_{max} - C_{min}). \quad (13)$$

Из равенства (13) окончательно получаем:

$$C_{max} = 2C_{min}. \quad (14)$$

Таким образом, при условии (14) показатель γ достигает экстремального значения.

Для проверки типа экстремума вычислим $\frac{d^2\gamma}{dC_{max}^2}$. Имеем:

$$\frac{d^2\gamma}{dC_{max}^2} = -2k_3 \cdot C_{max} + 2C_{min} \cdot k_3. \quad (15)$$

Очевидно, что в реальном случае имеем $C_{max} > C_{min}$. Следовательно, показатель γ при условии (14) достигает максимального значения. Вычислим γ_{max} . С учётом выражений (7) и (14) получим:

$$\gamma_{max} = \frac{k_3 \cdot (2C_{min} - C_{min})}{4C_{min}^2} = \frac{k_3}{4 \cdot C_{min}}. \quad (16)$$

С учётом выражений (9) и (16) имеем:

$$\gamma_{max} = \frac{C_{ПДК} \cdot k_1}{4 \cdot k \cdot k_2 \cdot V \cdot C_{min}}. \quad (17)$$

При сравнительных вычислениях можно принять следующие условия:

$$k_1 = 0,15 \cdot k_2. \quad (18)$$

В этом случае имеем:

$$\gamma_{max} = \frac{0,15 \cdot C_{ПДК}}{4 \cdot k \cdot V \cdot C_{min}}. \quad (19)$$

Таким образом, если для определённого участка вычислен показатель A_p , то, согласно (6) и (19), при $\gamma = \gamma_{max}$ получим:

$$A_c = \frac{0,15 \cdot C_{ПДК} \cdot A_{p.в}}{4 \cdot k \cdot V \cdot C_{min}}, \quad (20)$$

где $A_{p.в}$ — ранее вычисленная величина A_p .

В практических вычислениях достаточным можно считать условие:

$$C_{ПДК} = 10C_{min}. \quad (21)$$

Следовательно, из (20) и (21) получаем:

$$A_c = \frac{1,5 \cdot A_{p.в}}{4 \cdot k \cdot V} \quad (22)$$

Для проведения практических расчётов воспользуемся результатами вычислений A_p из [5].

Эти результаты приведены в табл. 1, применительно к ассимиляционной ёмкости по отношению к фенолу в зонах северной части Азербайджанского побережья Каспия.

Таблица 1. Расчётные данные выбранной зоны для зимнего сезона

Table 1. Calculated data of the selected zone for the winter season

Зона А							
Сезон	V_a	$C_{ср}$, мг/л	C_{max} , мг/л	k	1/ τ	A_p/A_c (тон)	
						I полоса	II полоса
Зима	2,73 км ³	0,005	0,0238	0,210	0,07692	0,0373 (A_p)	0,180 (A_p)
						0,0289 (A_c)	0,118 (A_c)
Весна	2,73 км ³	0,005	0,0215	0,232	0,09960	0,0317 (A_p)	0,153 (A_p)
						0,0186 (A_c)	0,090 (A_c)

Как видно из данных выбранной зоны, приведённых в табл. 1, для обоих сезонов значения A_c несколько ниже, чем таковы A_p . При этом отношение указанных величин для весны одинаково для обеих полос и составляет 0,6. Однако для зимы указанное отношение для первой полосы, равное 0,775, несколько выше аналогичного показателя для второй полосы, составляющего 0,660. Очевидно, что такой результат можно считать лучше полученного в [6], где разница в оценках достигала одного порядка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Адаптационные характеристики водных экосистем* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://megalektsii.ru/s29592t4.html> [дата обращения 19.10.2017]. [*Adaptatsionnye kharakteristiki vodnykh ekosistem* [Electronic resource]. Available at: <https://megalektsii.ru/s29592t4.html> [accessed 19.10.2017]. (in Russ.)].
2. Владимирова А. М., Ляхин Ю. И., Матвеев Л. Т., Орлов В. Г. *Охрана окружающей среды*. Ленинград : Гидрометеоздат, 1991. 423 с. [Vladimirova A. M., Lyakhin Yu. I., Matveev L. T., Orlov V. G. *Okhrana okruzhayushchej sredy*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991, 423 p. (in Russ.)].
3. Дмитриев В. В. Интегральная оценка экологического благополучия водного объекта: новый подход, результаты // *Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности* : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Астрахань, РФ, 16–17 окт. 2015 г.). Астрахань, 2015. С. 43–45. [Dmitriev V. V. Integralnaya otsenka ekologicheskogo blagopoluchiya vodnogo ob'ekta: novyj podkhod, rezul'taty. In: *Hydrometeorological and environmental security of marine activity: Proc. Intern. applied sci. conf. (Astrakhan, RF, 16–17 Oct. 2015)*. Astrakhan, 2015, pp. 43–45. [in Russ.]].
4. Израэль Ю. А., Цыбань А. В. Об ассимиляционной емкости Мирового океана // *Доклады Академии наук СССР*. 1983. Т. 272, № 3. С. 702–704. [Izrael Yu. A., Tsyban A. V. On the assimilation capacity of the World Ocean. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1983, vol. 272, no. 3, pp. 702–704. (in Russ.)].
5. Мехтиева А. Ш., Гюль А. К., Омарова Г. Д. *Исследование загрязнения северной части Азербайджанского побережья Каспия (по данным контактных и аэрокосмических измерений)*. Баку, 2009. 154 с. [Mekhtieva A. Sh., Gyul A. K., Omarova G. D. *Issledovanie*

zagryazneniya severnoi chasti Azerbaidzhanskogo poberezh'ya Kaspiya (po dannym kontaktnykh i aerokosmicheskikh izmerenii). Baku, 2009, 154 p. (in Russ.).

6. Монахова Г. А., Абдурахманов Г. М., Ахмедова Г. А., Магомедбеков У. Г., Попова Н. В., Есина О. И. Оценка ассимиляционной емкости акватории лицензионного участка «Северо-Каспийская площадь» в отношении углеводородов с использованием нового «синоптического» метода // *Юг России: экология, развитие*. 2011. Т. 6, № 4. С. 207–212. [Monakhova G. A., Abdurakhmanov G. M., Akhmedova G. A., Magomedbekov U. G., Popova N. V., Esina O. I. Assessment of assimilative capacity of the license area “North Caspian area” in relation to hydrocarbons using the new “synoptic” method. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*, 2011, vol. 6, no. 4, pp. 207–212. (in Russ.)]. doi: 10.18470/1992-1098-2011-4-207-212.
7. Патин С. А. *Нефть и экология континентального шельфа. В 2-х т. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия* / 2-е изд., перераб., доп. Москва: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с. [Patin S. A. *Oil and continental shelf ecology. In 2 vol. Vol. 1: Offshore oil and gas industry: actual situation, prospects, factors of impact* / 2nd edit. revised, extended. Moscow: VNIRO Publ., 2017, 326 p. (in Russ.)].

COMPARATIVE EVALUATION OF THE BALANCE AND SYNOPTIC METHODS OF DETERMINATION OF THE ASSIMILATION VOLUME OF WATER ECOSYSTEMS

H. H. Asadov, S. A. Askerova

National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic

E-mail: asadzade@rambler.ru

The assimilation capacity of sea waters is known to be defined as a maximum dynamic volume of such content of pollutants which can be accumulated, destructed, transformed and excluded out of the limits of the ecosystem during a curtain time period if normal condition functioning of the ecosystem is not disturbed. The paper focuses on comparative analysis of assimilation capacity calculated using balance and synoptic methods. Geometrical representation of the compared methods in 3-D space {T, V, C} is suggested, where T is time interval, V is water mass volume, C is concentration of pollutants. Quantitative correlation between two considered values of assimilation capacity is given. The results obtained are applied for some areas of coastal northern zones of Azerbaijan sector of the Caspian Sea. It is shown that in winter season the value of assimilation capacity calculated using synoptic method is somewhat lower in comparison with the same parameter calculated by balance method and equal to 0.6–0.8 share of the latter. Such a result can be considered as much better in comparison with the known results where the difference reaches one order.

Keywords: assimilation capacity, sea waters, synoptic method, balance method, sea pollution