



ГЕОЭКОЛОГИЯ

Геоэкология / Geoeology

Оригинальная статья / Original article

УДК 504.064.3:504.4.054(262.81)

DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-128-136

НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА БАЛАНСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА УЧАСТКЕ МОРСКОЙ АКВАТОРИИ, ОТВЕДЕННОМ ДЛЯ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

¹Галина А. Монахова*, ²Сергей К. Попов,

¹Карина И. Асаева, ¹Нурислам М. Рахимбирдиев

¹лаборатория гидрометеорологии и климата, Каспийский морской
научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия, kaspnmiz@mail.ru

²лаборатория морских прикладных исследований, Гидрометеорологический
научно-исследовательский центр Российской Федерации, Москва, Россия

Резюме. Цель. Расчет баланса загрязняющих веществ на лицензионном участке «Северный» с использованием оперативной гидродинамической модели Каспийского моря и данных производственного экологического мониторинга. **Методы.** Применялся новый метод расчета баланса загрязняющих веществ на лицензионном участке, опирающийся на данные гидродинамической модели и экологического мониторинга. Указанный метод был разработан в Каспийском морском научно-исследовательском центре совместно с Гидрометцентром Российской Федерации в 2015 году. **Результаты.** Оценка баланса загрязняющих веществ производилась в отношении нефтепродуктов, тяжелых металлов (меди, свинца, кадмия, ртути, кобальта, железа, марганца, цинка и никеля) и суммы полициклических ароматических углеводородов. Установлено, что в период с 17 по 20 октября 2014 года сальдо баланса большинства загрязняющих веществ было отрицательным и составляло менее 1% от величины суммарного переноса. При этом в слоях 0-5 и 5-10 м отмечался отток, а в слоях 10-15 и 15-20 – приток загрязняющих веществ. **Заключение.** Новый подход, основанный на модифицированной технологии расчета водообмена и переноса загрязняющих веществ, хорошо зарекомендовал себя и позволит в дальнейшем дать оценку балансов и потоков загрязняющих веществ, проходящих через различные участки акватории Каспийского моря.

Ключевые слова: Северный Каспий, гидродинамическая модель, лицензионный участок, водообмен, баланс загрязняющих веществ.

Формат цитирования: Монахова Г.А., Попов С.К., Асаева К.И., Рахимбирдиев Н.М. Новый метод расчета баланса загрязняющих веществ на участке морской акватории, отведенном для разведки и добычи углеводородного сырья // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11, N1. С.128-136. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-128-136

NEW METHOD TO ESTIMATE POLLUTANTS BALANCE IN MARINE WATER AREA ALLOTTED FOR EXPLORATION AND PRODUCTION OF HYDROCARBONS

¹Galina A. Monakhova*, ²Sergey K. Popov,

¹Karina I. Asaeva, ¹Nurislam I. Rakhimbirdiev

¹Laboratory of Hydrometeorology and Climate, Caspian Marine Scientific Research Center,
Astrakhan, Russia, kaspnmiz@mail.ru

²Laboratory of Marine Applied Research, Hydrometeorological Research Center
of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract. Aim. Estimation of pollutants balance at the license area “Severnii” using the operational hydrodynamic model of the Caspian Sea and the data of industrial environmental monitoring. **Methods.** A new method was used to



estimate pollutants balance at the license area based on the data of the hydrodynamic model and environmental monitoring. The indicated method was developed by Caspian Marine Scientific Research Center jointly with Hydrometeorological Centre of Russia in 2015. **Results.** The pollutants balance was estimated for oil products, heavy metals (copper, lead, cadmium, mercury, cobalt, iron, manganese, zinc and nickel) and the total polycyclic aromatic hydrocarbons. It was discovered that from 17 to 20 October 2014 the balance of most pollutants was negative and amounted to less than 1% of the total transport. Pollutants outflow was registered 0-5 and 5-10 m layers, and the inflow was discovered in the layers of 10-15 and 15-20 m. **Conclusion.** The new approach based on the modified calculation technology of water exchange and pollutants transport has performed well and will make it possible to estimate the balance and flows of pollutants passing through different areas of the Caspian Sea.

Keywords: North Caspian, hydrodynamic model, license area, water exchange, pollutants balance.

For citation: Monakhova G.A., Popov S.K., Asaeva K.I., Rakhimbirdiev N.I. New method to estimate pollutants balance in marine water area allotted for exploration and production of hydrocarbons. *South of Russia: ecology, development*. 2016, vol. 11, no. 1, pp. 128-136. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-128-136

ВВЕДЕНИЕ

Применение балансового подхода к оценке загрязнения природных вод имеет достаточное количество теоретических предпосылок [1]. Безусловно, он является одним из перспективных в морских экологических исследованиях. Именно балансовые расчеты позволяют выявить «судьбу» отдельного загрязняющего вещества в конкретной экосистеме, а, значит, пролить свет на особенности функционирования ее защитных механизмов [2].

Последний факт особенно актуален для экосистемы Северного Каспия, которая, с одной стороны, является своего рода «мишенью» для бурно развивающегося нефтегазового комплекса, а с другой – представляет собой зону транзита загрязняющих веществ, поступающих со стоком р. Волга [3, 4]. Однако на практике применение балансового метода часто бывает сопряжено с рядом трудностей, отчасти связанных с необходимостью использования в расчетах модельных данных [5, 6]. Между тем для акватории

Северного Каспия они могут быть получены путем адаптации гидродинамической модели Каспийского моря [7] к расчетам водообмена и баланса загрязняющих веществ.

В настоящее время в Гидрометцентре РФ используется две оперативные гидродинамические модели Каспийского моря. Первая, с разрешением 3х3 морские мили, применяется ежедневно для расчетов гидрологических параметров в зависимости от меняющихся метеорологических условий, тогда как вторая, высокого разрешения (1х1) – проходит опытные испытания [8]. Потенциальная возможность использования последней модели для экологических исследований послужила толчком для выполнения настоящей работы.

Целью наших исследований явился расчет баланса загрязняющих веществ на лицензионном участке «Северный» с использованием гидродинамической модели Каспийского моря и данных производственного экологического мониторинга.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Метод расчета баланса загрязняющих веществ (ЗВ) на лицензионном участке, опирающийся на данные гидродинамической модели и экологического мониторинга, был разработан в КаспМНИЦ совместно с Гидрометцентром РФ в 2015 году (рис. 1). Адаптация модели высокого разрешения (рис. 2) к диагностическим расчетам водообмена на лицензионном участке «Северный» ОАО «ЛУКОЙЛ» была выполнена в компании «ИНФОМАРУС». Расчеты проводились применительно к четырехугольному участку, в пределах которого расположены

объекты обустройства месторождения им. Ю. Корчагина. Периметр участка был разбит на 18 контрольных секторов (рис. 3).

Расчет водообмена, предваряющий оценку баланса ЗВ, выполнялся для периода с 00 час. мск 17 октября по 21 час. мск 20 октября 2014 год с использованием гидродинамической модели Каспийского моря высокого разрешения. В указанный период на рассматриваемом участке проводились экспедиционные работы в рамках производственного экологического мониторинга. Базовыми результатами расчета явились ско-

рость и направление течения, а также компоненты X и Y скорости течения, рассчитанные для каждой ячейки модели (1852 x

1852 x 5), расположенной на границе участка, с временной дискретностью 1 час.

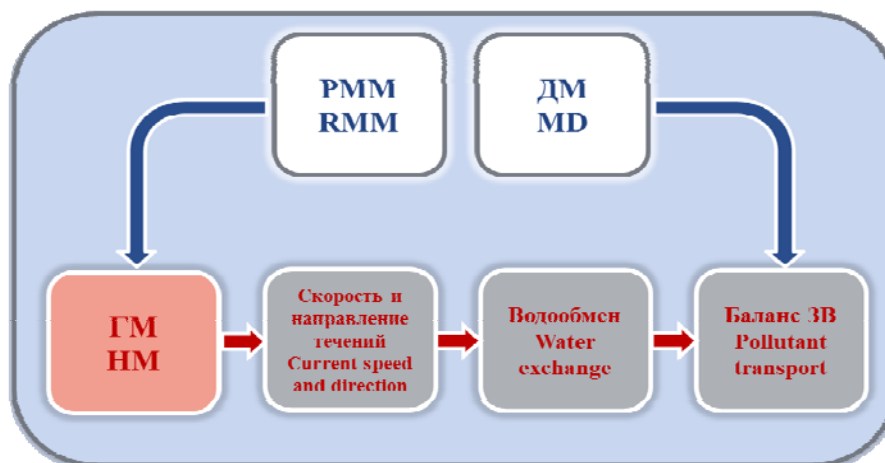


Рис. 1. Метод расчета баланса загрязняющих веществ на лицензионном участке.
PMM – региональная метеорологическая модель; ГМ – гидродинамическая модель;
ДМ – данные мониторинга; ЗВ – загрязняющие вещества

Fig. 1. Method used to estimate the balance of pollutants at the license area.

RMM – regional meteorological model; HM – hydrodynamic model;
MD – monitoring data; PS – pollutant substances

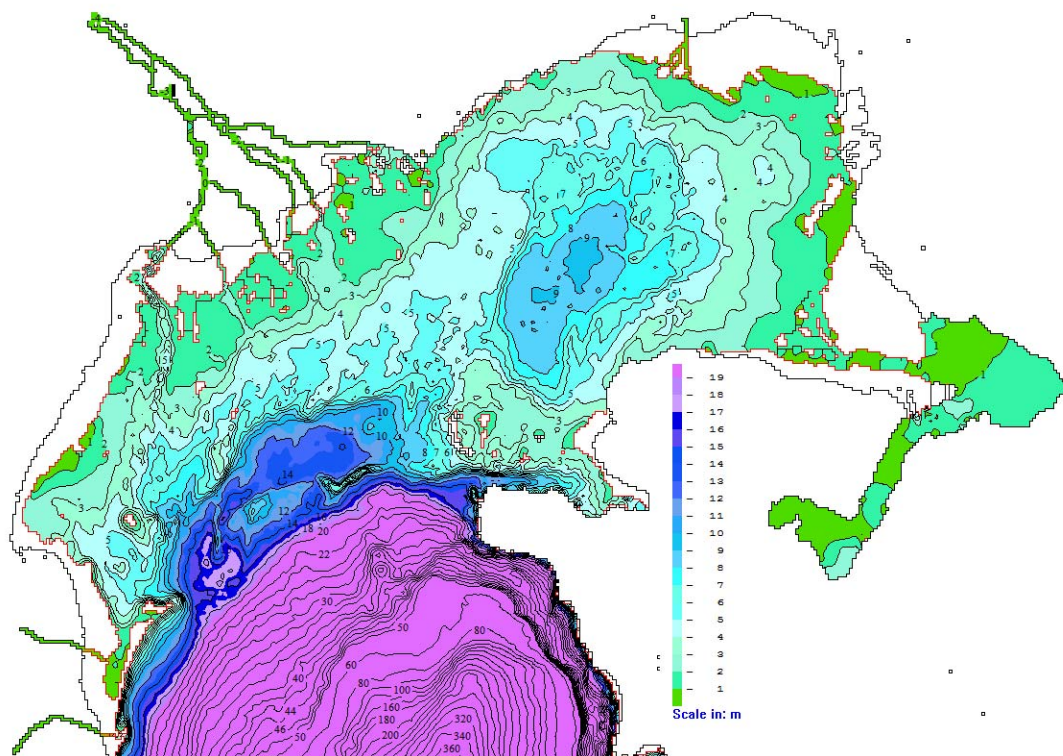


Рис. 2. Расчетная область 1-мильной модели с изобатами.
0 метров соответствует -27 м БС

Fig. 2. Computational domain of 1-mile model with isobath.
0 m corresponds to -27 m BS

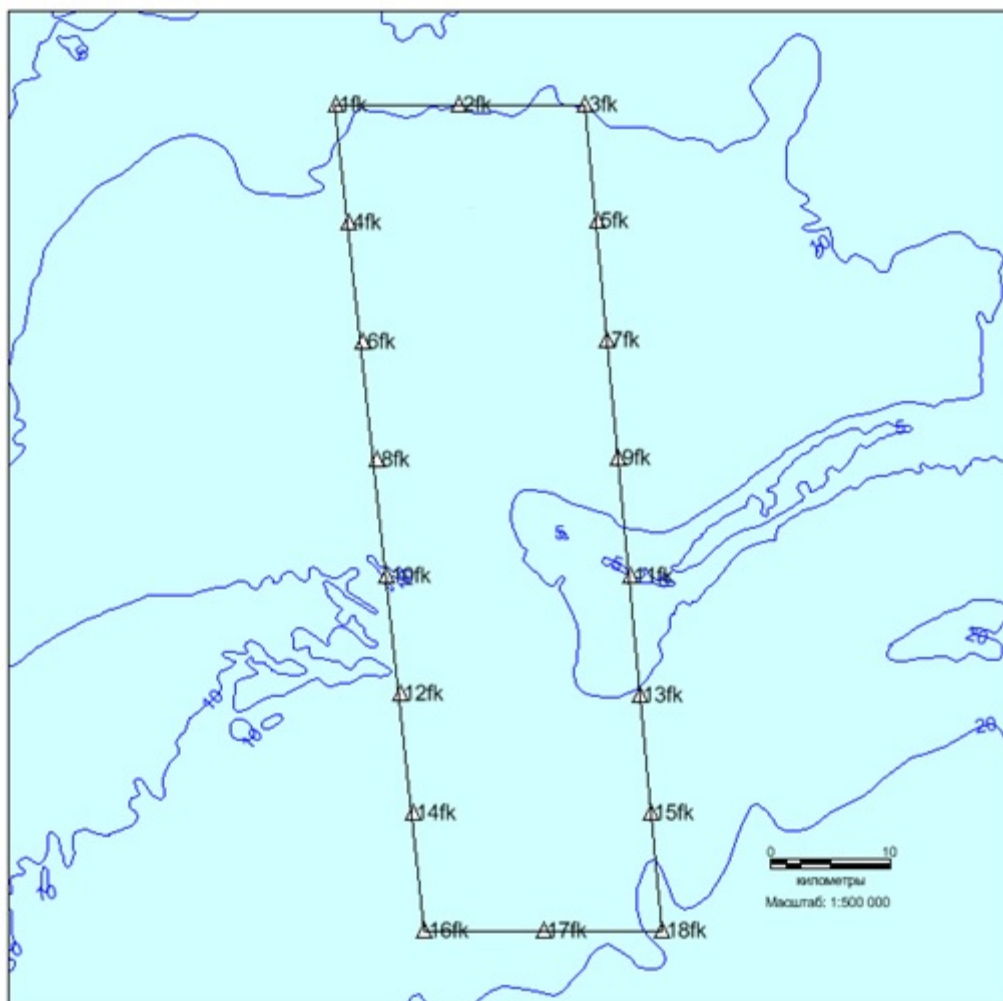


Рис. 3. Карта-схема расположения станций экологического мониторинга в районе месторождения им. Ю. Корчагина

Fig. 3. Schematic map of location of environmental monitoring stations in the area of Yu. Korchagin oilfield

Расходы воды за пределы и внутрь участка (путем суммирования однонаправленных расходов по каждой ячейке) рассчитывались для каждого контрольного сектора, срока и слоя воды. В дальнейшем они использовались для расчета водообмена, который характеризовался четырьмя показателями, выраженными в км^3 : притоком воды (b); оттоком воды (c); суммарным водообменом ($a = b + c$); результирующим водообменом ($d = b - c$) [9].

Эти показатели применялись для расчета переноса (баланса) ЗВ в районе расположения объектов обустройства месторождения им. Ю. Корчагина, с использованием

данных производственного экологического мониторинга. Оценка баланса ЗВ производилась в отношении нефтепродуктов, тяжелых металлов (меди, свинца, кадмия, ртути, кобальта, железа, марганца, цинка и никеля) и суммы ПАУ. Его величина определялась путем умножения показателей водообмена (км^3) на среднюю концентрацию ЗВ ($\text{тонн}/\text{км}^3$ или $\text{кг}/\text{км}^3$) [10]. Баланс ЗВ характеризовался тремя параметрами: притоком, оттоком ЗВ и сальдо (разность между притоком и оттоком). Кроме того, рассчитывалась величина суммарного переноса как сумма притока и оттока.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам расчетов суммарный водообмен в период 17-20 октября 2014 года (за 69 часов) составил 52,7 км³, результирующий – 0,05 км³ (было вынесено 26,32 км³ воды, а привнесено в него 26,37 км³) (табл. 1). При этом параметры водообмена испытывали как горизонтальную, так и вертикальную изменчивость. Так, в слое 0-20 м

через юго-восточную границу участка наблюдался приток, а через северо-западную – отток воды (рис. 4). Величина результирующего водообмена в слоях 0-5 и 5-10 м принимала отрицательные значения (отток превышал приток), а в слоях 10-15 и 15-20 м – положительные (приток превышал отток).

Таблица 1

Водообмен (км³) в районе расположения объектов обустройства месторождения им. Ю. Корчагина 17-20 октября 2014 года в слоях 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 и 0-20 м

Table 1

Water exchange (km³) in the area of Yu. Korchagin field facilities on 17-20 October 2014 in the layers of 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 and 0-20 m

Показатели водообмена, км ³ Water exchange parameters, km ³	Слой, м Layers, m				
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-20
a	24,34	19,08	7,19	2,09	52,70
b	11,88	9,03	3,95	1,52	26,37
c	12,47	10,05	3,24	0,57	26,32
d	-0,59	-1,01	0,71	0,95	0,05

Примечание: a – суммарный водообмен; b – приток; c – отток воды; d – результирующий водообмен.

Note: a – total water exchange; b – inflow; c – water outflow; d – resultant water exchange.

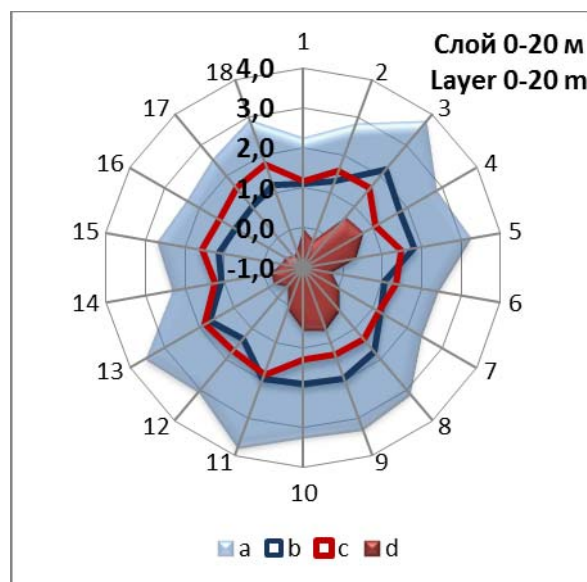


Рис. 4. Водообмен (км³) на границе района расположения объектов обустройства месторождения им. Ю. Корчагина 17-20 октября 2014 года на различных контрольных участках в слое 0-20 м. a – суммарный водообмен; b – приток; c – отток воды; d – результирующий водообмен

Fig. 4. Water exchange (km³) at the borderline of Yu. Korchagin field facilities on 17-20 October 2014 in different test areas in the layer 0-20 m. a – total water exchange; b – inflow; c – water outflow; d – resultant water exchange



Согласно расчетам баланса ЗВ в районе месторождения им. Корчагина, в слое 0-20 м значение сальдо для большинства ЗВ было отрицательным и составляло менее 1% от величины суммарного переноса. Величина сальдо для нефтепродуктов (3,1 тонн), цинка (0,15 тонн) и кобальта (64,8 кг) была положительной, но также составляла 0,1-1,4% суммарного переноса (табл. 2). Приток ЗВ в слое 0-20 м превышал отток в северо-восточной, южной и юго-восточной частях

рассматриваемого района. При этом в слоях 0-5 и 5-10 м величина сальдо была положительной преимущественно в северо-восточной части, а в слоях 10-15 и 15-20 м – в южной (рис. 5). Различия в характере изменчивости балансовых характеристик по слоям для всех ЗВ носили сходный характер (в слоях 0-5 и 5-10 м отмечался отток ЗВ, а в слоях 10-15 и 15-20 – приток) и, следовательно, определялись особенностями водообмена.

Таблица 2
Баланс загрязняющих веществ (тонн, %) в районе расположения объектов обустройства месторождения им. Ю. Корчагина 17-20 октября 2014 г. в слое 0-20 м

Table 2

Balance of pollutants (tonnes, %) in the area of Yu.Korchagin field facilities on 17-20 October 2014 in the layer of 0-20 m

ЗВ Pollutants	a		b		c		d	
	Тонн Tonnes	%	Тонн Tonnes	%	Тонн Tonnes	%	Тонн Tonnes	%
Нефтепродукты Hydrocarbons	3086,6	100	1544,8	50,0	1541,7	50,0	3,1	0,1
Сумма ПАУ Total PAH	2,39	100	1,19	49,9	1,20	50,1	-0,01	0,2
Медь Copper	67,51	100	33,66	49,9	33,85	50,1	-0,19	0,3
Цинк Zinc	289,56	100	144,85	50,0	144,70	50,0	0,15	0,1
Никель Nickel	69,38	100	34,54	49,8	34,84	50,2	-0,30	0,4
Кадмий Cadmium	13,50	100	6,65	49,3	6,85	50,7	-0,20	1,5
Свинец Lead	73,64	100	36,64	49,8	37,00	50,2	-0,37	0,5
Марганец Manganese	297,07	100	147,86	49,8	149,21	50,2	-1,35	0,5
Ртуть Mercury	2,88	100	1,43	49,6	1,45	50,4	-0,02	0,8
Железо Iron	337,20	100	167,97	49,8	169,23	50,2	-1,26	0,4
Кобальт Cobalt	4,51	100	2,29	50,7	2,22	49,3	0,07	1,4

Примечание: a – суммарный перенос; b – приток; c – отток; d – сальдо

Note: a – total transport; b – inflow; c – outflow; d – balance

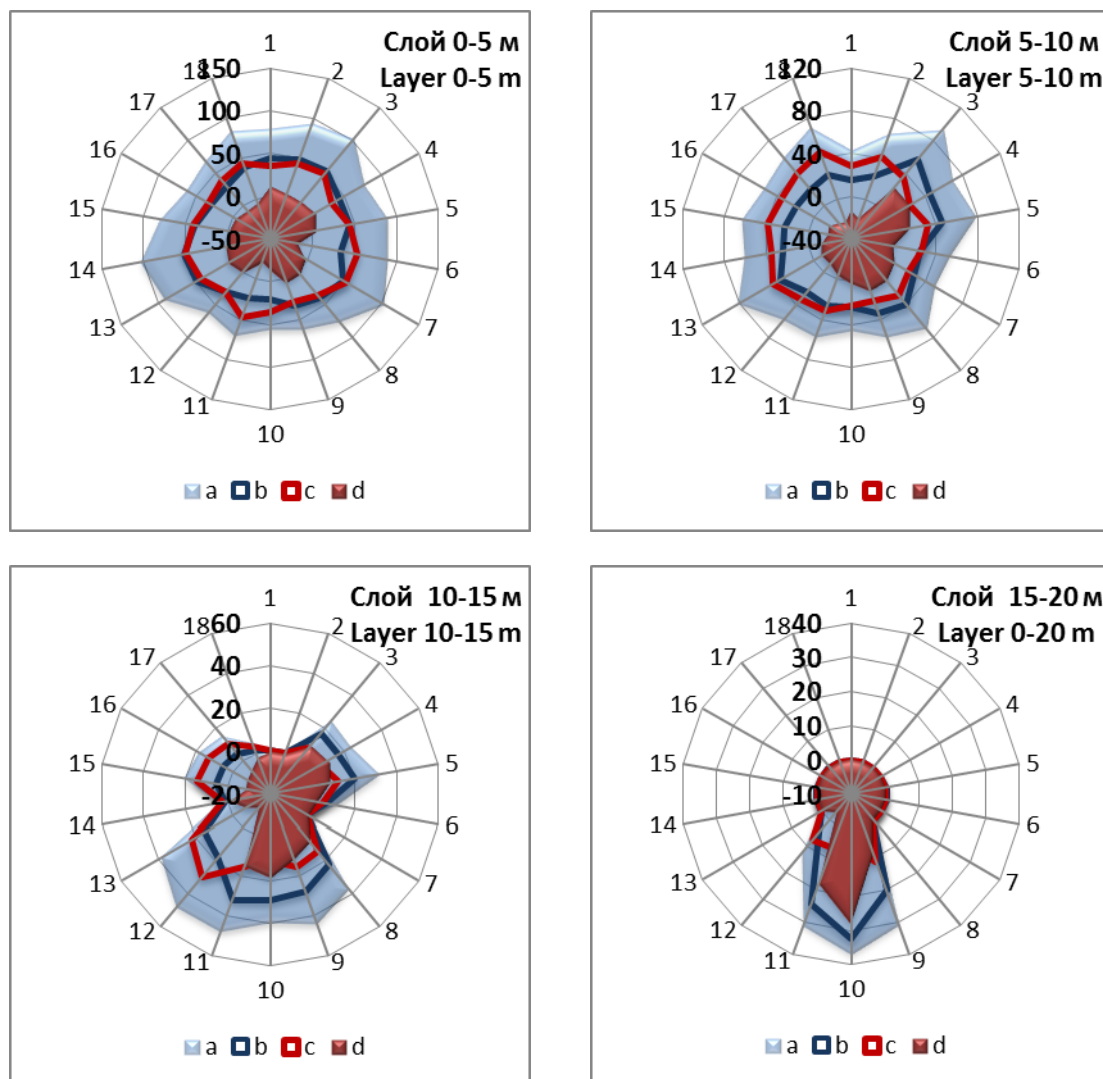


Рис. 5. Баланс нефтепродуктов (тонн) в районе расположения объектов обустройства месторождения им. Ю. Корчагина 17-20 октября 2014 года в слоях 0-5, 5-10, 10-15 и 15-20 м

Fig. 5. Balance of oil products (tonnes) in the area of Yu. Korchagin field facilities on 17-20 October 2014 in the layers of 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 m

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новый подход, основанный на модифицированной технологии расчета водообмена и переноса загрязняющих веществ, хорошо зарекомендовал себя и позволит в

дальнейшем дать оценку балансов и потоков загрязняющих веществ, проходящих через различные участки акватории Каспийского моря.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. М.: Флинта Наука, 2009. 520 с.
2. Совга Е.Е., Мезенцева И.В., Хмара Т.В., Слепчук К.А. О перспективах и возможностях оценки самоочищающей способности акватории Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2014. N28. С. 153-164.

3. Экологическая политика ОАО «ЛУКОЙЛ» на Каспийском море, т. 2; Охрана окружающей среды при поиске, разведке и добыче углеводородного сырья в северной части Каспийского моря / отв. ред. С.К. Монахов. Астрахань, 2003. 256 с.
4. Лычагин М.Ю., Касимов Н.С., Курьякова А.Н., Крононберг С.Б. Геохимические особенности аквальных ландшафтов дельты Волги // Известия Российской



академии наук. Серия географическая. 2011. N1. С. 100-113.

5. Operational Oceanography in the 21st Century. Andreas Schiller, Gary B. Brassington (Eds.) Springer, 2011, 450 p.

6. Калинкина Н.М., Коросов А.В. Имитационная модель распространения загрязняющих веществ в водоемах, подверженных воздействию горнорудного производства // Принципы экологии. 2015. N3. С. 40-59. DOI: 10.15393/j1.art.2015.4101

7. Попов С.К., Батов В.И., Елисов В.В., Лобов А.Л. Усовершенствованная технология прогноза течений и уровня Каспийского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2005. N7. С. 53-59.

8. Monakhova G., Asaeva K., Popov S. and Lobov A. Water and contaminants transport between the parts of

the Caspian Sea. The Materials of the International Conference MEDCOAST 15 (06-10 October 2015, Varna, Bulgaria), MEDCOAST Foundation, 2015, P. 669-678.

9. Монахова Г.А., Рахимбердиев Н.М., Попов С.К., Лобов А.Л. Технология расчета водообмена и переноса загрязняющих веществ между различными частями Каспийского моря // Материалы международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2015), М.: АПР, 2015. Т. 2. С. 358-361.

10. Монахова Г.А., Попова Н.В., Попов С.К., Лобов А.Л., Рахимбердиев Н.М. Расчет водообмена и переноса загрязняющих веществ на границе лицензионного участка // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. N12. С. 33-39.

REFERENCES

1. Izrael Yu.A., Tsyban A.V. *Antropogennaja ekologija okeana* [Anthropogenic Ecology of Ocean]. Moscow, Flinta Nauka Publ., 2009. 520 p.

2. Sovga E.E., Mezenceva I.V., Hmara T.V., Slepchuk K.A. On prospects and opportunities of assessment of self-purification capacity of the Sevastopol Bay water area. *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shelf'ovoj zon morja* [Environmental safety of the coastal and shelf sea areas]. 2014, no. 28, pp. 153-164. (In Russian)

3. Monakhov S.K. Ed. *Ekologicheskaya politika OAO «LUKOIL» na Kaspijskom more, t. 2; Okhrana okruzhayushchei sredy pri poiske, razvedke i dobyche ugledorodnogo syr'ya v severnoi chasti Kaspijskogo morya* [Environmental policy of Lukoil Ltd. In the Caspian Sea, v.2 environmental protection in the course of search, exploration and production of hydrocarbons in the northern part of the Caspian Sea]. Astrakhan, 2003. 256 p.

4. Lychagin M.Yu., Kasimov N.S., Kuryakova A.N., Kroonenberg S.B. Geochemical characteristics of the Volga delta aquatic landscapes *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaja* [News of the Russian Academy of Science. Geographical series]. 2011. no. 1. pp. 100-113. (In Russian)

5. Operational Oceanography in the 21st Century. Andreas Schiller, Gary B. Brassington (Eds.) Springer, 2011, 450 p.

6. Kalinkina N.M., Korosov A.V. Simulation model of pollutants distribution in water bodies under effect of ore mining. *Principles of Ecology*. 2015, no. 3, pp. 40-59. (In Russian) DOI: 10.15393/j1.art.2015.4101

7. Popov S.K., Batov V.I., Elisov V.V., Lobov A.L. Advanced technique of forecasting the currents and level of the Caspian Sea. *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in oil and gas complex]. 2005, no. 7, pp. 53-59. (In Russian)

8. Monakhova G., Asaeva K., Popov S. and Lobov A. Water and contaminants transport between the parts of the Caspian Sea. The Materials of the International Conference MEDCOAST 15 (06-10 October 2015, Varna, Bulgaria), MEDCOAST Foundation, 2015, P. 669-678.

9. Monakhova G.A., Rahimberdiev N.M., Popov S.K., Lobov A.L. Tehnologija rascheta vodoobmena i perenosa zagryaznjajushhih veshhestv mezhdu razlichnymi chastjami Kaspijskogo morja [Technique used to calculate water exchange and pollutants transport between the different parts of the Caspian Sea]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii «Sovremennye metody i sredstva okeanologicheskikh issledovanij» (MSOI-2015)* [Material of the international scientific and technical conference "Modern methods and tools of oceanological research" (MSOI-2015)]. Moscow, vol. 2, pp. 358-361. (In Russian)

10. Monakhova G.A., Popova N.V., Popov S.K., Lobov A.L., Rahimberdiev N.M. Estimation of water exchange and pollutants transport at the borderline of the license area. *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in oil and gas complex]. 2014, no. 12, pp. 33-39. (In Russian)

Принадлежность к организации

Галина А. Монахова* - кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией гидрометеорологии и климата, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», тел. 8(8512)30-34-70. ул. Ширяева, 14, Астрахань, 414024 Россия, e-mail: kaspnmiz@mail.ru

Сергей К. Попов - кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией морских прикладных исследований, ФГБУ «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации», тел.

Affiliations

Galina A. Monakhova* - PhD. in Biology, Associate Professor, Chief of Laboratory of Hydrometeorology and Climate, FSBI "Caspian Marine Scientific Research Center", Astrakhan, Russia, tel. +7(8512) 30-34-70, 14 Shiryayeva St., Astrakhan, 414024 Russia, e-mail: kaspnmiz@mail.ru

Sergey K. Popov - PhD. In Physics and Mathematics, Chief of Laboratory of Applied Marine Research, FSBI "Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation", , tel. +7(499) 255-93-07.



8(499) 255-93-07, 123242, Б. Предтеченский пер., 11-13, Москва, Россия, e-mail: Impi@yandex.ru

11-13, B. Predtechenskiy Per., Moscow, 123242 Russia e-mail: Impi@yandex.ru

Карина И. Асаева - младший научный сотрудник, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», Астрахань, Россия.

Karina I. Asaeva - junior research officer, FSBI "Caspian Marine Scientific Research Center", Astrakhan, Russia.

Нурислам М. Рахимбирдиев - младший научный сотрудник, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», Астрахань, Россия.

Nurislam M. Rakhimbirdiev - junior research officer, FSBI "Caspian Marine Scientific Research Center", Astrakhan, Russia.

Критерии авторства

Сергей К. Попов произвел расчеты параметров водообмена на лицензионном участке «Северный», Карина И. Асаева и Нурислам М. Рахимбирдиев рассчитали показатели баланса загрязняющих веществ; Галина А. Монова проанализировала данные, написала рукопись и несет ответственность за плагиат.

Contribution

Sergey K. Popov calculated the parameters of water exchange at the license area "Severniy", Karina I. Asaeva and Nurislam M. Rakhimbirdiev calculated the pollutants balance, Galina A. Monakhova analyzed the data, wrote the manuscript and is responsible in case of plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22.10.2015

Received 22.10.2015