

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО И РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА НА БАЗЕ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ломакин П. Д., Чепыженко А. А.

*ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Российская Федерация
E-mail: annacher87@yandex.ru*

По материалам двух комплексных океанологических съемок и спутниковых снимков методом множественной корреляции выявлены значимые предикторы и оценена теснота статистических связей между спутниковыми данными и полями содержания ОБВ и РОВ в Керченском проливе. Показано, что поля концентрации ОБВ и РОВ связаны слабой корреляционной зависимостью с яркостью сигнала, который фиксируется соответственно первым и третьим каналами спутникового сканера MODIS. Рассчитаны уравнения регрессии, которые рекомендовано использовать в качестве дополнительных сведений при визуальном анализе спутниковых снимков.

Ключевые слова: общее взвешенное вещество (ОБВ), растворенное органическое вещество (РОВ), Керченский пролив, теснота статистических связей между данными натурных измерений и спутниковых съемок, метод множественной корреляции.

ВВЕДЕНИЕ

Общее взвешенное (ОБВ) и растворенное органическое (РОВ) вещества – нетрадиционные для классической океанографии и важные в прикладном плане элементы водной среды. Непосредственно для Керченского пролива с полем первого элемента и его динамикой связаны такие процессы, как заносимость портов, бухт, судоходных каналов, деформация береговой линии и подводного склона. РОВ относят к одному из лучших индикаторов участков загрязнения морских и океанских побережий [1; 2]. Для вод пролива оба вещества взаимосвязаны. В частности, в местах загрязнения наблюдаются локальные максимумы их концентрации [3].

Впервые данная тематика была затронута в статье [4], где рассмотрен региональный алгоритм решения задач, связанных с определением содержания ОБВ и РОВ в Керченском проливе на базе методов спутниковой гидрофизики. В частности, выполнен анализ спектра яркости спутниковых изображений в видимом диапазоне на предмет использования его компонентов в качестве предикторов возможных статистических связей между синхронными подспутниковыми и спутниковыми наблюдениями.

В предлагаемой статье в развитии результатов [4] на основе метода множественной корреляции оценена теснота статистических связей между спутниковыми данными и контактными подспутниковыми наблюдениями полей содержания ОБВ и РОВ. Выявлены значимые предикторы. Проанализирована возможность определения концентрации исследуемых веществ в водах Керченского

изображения (размерность лм) по данным семи каналов ($L_1, L_2, \dots, L_7$) сканера MODIS, установленного на спутнике Landsat-5.

Соответствующие уравнения множественной корреляции имеют вид:

$$\begin{aligned} OVB &= b_{ovb0} + b_{ovb1}L_1 + b_{ovb2}L_2 + \dots + b_{ovb7}L_7 \\ POB &= b_{pob0} + b_{pob1}L_1 + b_{pob2}L_2 + \dots + b_{pob7}L_7 \end{aligned}$$

В качестве предикторов искомых зависимостей приняты ряды яркости, определенные в точках каждой станции по каждому из семи каналов спутникового сканера со следующими интервалами длин волн: канал 1 – 0.450–0.515 мкм; канал 2 – 0.525–0.605 мкм; канал 3 – 0.630–0.690 мкм; канал 4 – 0.750–0.900 мкм; канал 5 – 1.55–1.75 мкм; канал 6 – 10.4–12.5 мкм; канал 7 – 2.09–2.35 мкм.

Расчет характеристик искомых связей выполнен матричным методом. Коэффициенты уравнений множественной регрессии $b_0, b_1, b_2, \dots, b_7$ рассчитаны методом наименьших квадратов [5].

2. ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрим статистические показатели множественной корреляционной связи между полями содержания OVB и POB и показателями семи каналов спутникового сканера MODIS, используя корреляционные матрицы, представленные в табл. 1–4.

Поле концентрации OVB

Для двух гидрологических ситуаций (рис. 1, 2) характер статистической связи между полем концентрации OVB и показателями каналов сканера оказался аналогичным со следующими признаками (табл. 1, 2).

В условиях как азовского, так и черноморского глобального переноса вод через Керченский пролив наиболее значимый предиктор искомой связи – информация первого спутникового канала. Соответствующий коэффициент корреляции $R=-0,44$ для первой съемки и $R=-0,49$ для второй указывает на наличие между этими величинами обратной слабой (согласно критерию $0.3 < |R| < 0,7$ [5]) корреляционной связи.

Вклад данных других каналов спутникового сканера незначителен. В большинстве случаев $|R| < 0,3$, что по критерию [5] ($0 < |R| < 0,3$) свидетельствует об отсутствии корреляционной связи между величинами, измеряемыми каждым из анализируемых каналов и концентрацией OVB на поверхности Керченского пролива. Эта закономерность также подтверждается значимыми коэффициентами парной корреляции $|R|=0,51-0,72$ (в матрицах они подчеркнуты) между рядами предикторов (табл. 1, 2).

Таблица 1.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЩЕГО ВЗВЕШЕННОГО И РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ КЕРЧЕНСКОГО...

Матрица парных коэффициентов корреляции ($R_{ОВВ/L}$) множественной регрессионной связи между концентрацией поля ОВВ на поверхности Керченского пролива и показателями семи каналов спутникового сканера в условиях азовского переноса вод

-	ОВВ	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
ОВВ	1	<u>-0,44</u>	0,08	-0,32	-0,33	0,17	-0,13	0,34
L_1	<u>-0,44</u>	1	0,37	-0,35	<u>-0,72</u>	-0,21	<u>-0,64</u>	0,02
L_2	0,08	0,37	1	-0,28	-0,26	-0,39	-0,46	-0,46
L_3	-0,32	-0,35	-0,28	1	<u>0,51</u>	0,24	0,43	0,01
L_4	-0,33	<u>-0,72</u>	-0,26	<u>0,51</u>	1	<u>0,54</u>	<u>0,51</u>	0,01
L_5	0,17	-0,21	-0,39	0,24	<u>0,54</u>	1	-0,12	<u>0,57</u>
L_6	-0,13	<u>-0,64</u>	-0,46	0,43	<u>0,51</u>	-0,12	1	0,06
L_7	0,34	0,02	-0,46	0,01	0,02	<u>0,57</u>	0,06	1

Таблица 2.

Матрица парных коэффициентов корреляции ($R_{ОВВ/L}$) множественной регрессионной связи между концентрацией поля ОВВ на поверхности Керченского пролива и показателями семи каналов спутникового сканера в условиях черноморского переноса вод

-	ОВВ	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
ОВВ	1	<u>-0,49</u>	0,20	0,24	0,01	-0,28	0,09	0,13
L_1	<u>-0,49</u>	1	0,04	-0,23	-0,39	0,02	<u>-0,57</u>	-0,16
L_2	0,20	0,04	1	0,37	0,07	-0,28	0,10	-0,17
L_3	0,25	-0,23	0,37	1	0,42	0,14	0,41	0,06
L_4	0,01	-0,39	0,07	0,42	1	<u>0,51</u>	0,27	0,05
L_5	-0,27	0,02	-0,28	0,14	<u>0,51</u>	1	0,02	0,31
L_6	0,09	<u>-0,57</u>	0,10	0,41	0,27	0,02	1	0,12
L_7	0,13	-0,16	-0,17	0,06	0,05	0,31	0,12	1

Уравнение множественной регрессии $ОВВ=30.9489-0.1131L_1-0.2058L_2-0.08482L_3-0.4648L_4+0.123L_5-0.04798L_6+0.1035L_7$ с учетом значимости частных коэффициентов корреляции сводится к уравнению парной регрессии $ОВВ=30.95-0.11L_1$.

Поле концентрации РОВ

Для рассматриваемых гидрологических ситуаций (рис. 1, 2) статистические связи между полем концентрации РОВ и показателями каналов спутникового сканера подобны и характеризуются следующими особенностями (табл. 3, 4).

Таблица 3.

Матрица парных коэффициентов корреляции ($R_{\text{POB}/L}$) множественной регрессионной связи между концентрацией поля РОВ на поверхности Керченского пролива и показателями семи каналов спутникового сканера в условиях азовского переноса вод

-	POB	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
POB	1	0,48	-0,30	0,57	0,15	0,19	0,36	0,21
L_1	0,48	1	0,24	0,09	-0,41	0,064	-0,33	<u>0,72</u>
L_2	-0,30	0,24	1	-0,30	-0,15	-0,19	<u>-0,84</u>	-0,21
L_3	0,57	0,09	-0,30	1	<u>0,57</u>	0,43	0,46	-0,16
L_4	0,15	-0,41	-0,15	<u>0,57</u>	1	<u>0,79</u>	0	-0,35
L_5	0,19	0,06	-0,19	0,43	<u>0,79</u>	1	0	0,23
L_6	0,36	-0,33	<u>-0,84</u>	0,46	0	0	1	0
L_7	0,21	<u>0,72</u>	-0,21	-0,16	-0,35	0,22	0	1

Таблица 4.

-	POB	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
POB	1	0,02	0,34	0,43	0,14	0,07	0,16	-0,13
L_1	0,02	1	0,04	-0,23	-0,39	0,02	<u>-0,57</u>	-0,15
L_2	0,34	0,04	1	0,37	0,07	-0,28	0,10	-0,17
L_3	0,43	-0,23	0,37	1	0,42	0,14	0,41	0,06
L_4	0,14	-0,39	0,07	0,42	1	<u>0,51</u>	0,27	0,05
L_5	0,06	0,02	-0,28	0,14	<u>0,51</u>	1	0,02	0,31
L_6	0,16	<u>-0,57</u>	0,10	0,41	0,27	0,02	1	0,12
L_7	-0,13	-0,15	-0,17	0,06	0,05	0,31	0,12	1

В обеих анализируемых ситуациях наиболее значимый предиктор искомой связи – информация третьего спутникового канала. Соответствующий коэффициент корреляции – $R=0,43$ для первой съемки и $R=0,57$ – для второй, что указывает на наличие между этими величинами прямой слабой (согласно критерию $0,3 < |R| < 0,7$ [5]) корреляционной связи.

Вклад данных других каналов спутникового сканера незначителен. В большинстве случаев $|R| < 0,3$, что по критерию [5] ($0 < |R| < 0,3$) указывает на

отсутствие корреляционной связи. Это также подтверждается значимыми коэффициентами парной корреляции между рядами предикторов, $|R|=0,51-0,79$ (табл. 3, 4).

Уравнение множественной регрессии $POB = -0.1509 + 0.00457L_1 + 0.0131L_2 + 0.03021L_3 + 0.0048L_4 - 0.00449L_5 + 0.0076L_6 - 0.01015L_7$ с учетом значимости частных коэффициентов корреляции сводится к уравнению парной регрессии $POB = -0.15 + 0.03L_3$.

Для практических расчетов и прогностических задач рекомендуется использовать сильные корреляционные связи с коэффициентом $|R| > 0,7$ [5]. Поэтому обнаруженные и проанализированные выше слабые статистические связи, теснота которых характеризуется коэффициентом корреляции $|R| = 0.43-0.57$, не позволяют применять рассмотренные спутниковые данные для определения структурных элементов полей содержания ОВВ и РОВ в водах Керченского пролива на количественном уровне.

Вместе с тем полученные корреляционные связи могут быть полезными для оценок средних (средневзвешенных) по акватории пролива концентраций исследуемых веществ и их временных тенденций. Подобная информация представляется существенным дополнением при визуальном анализе спутниковых снимков Керченского пролива в видимом диапазоне.

Опыт подобного анализа снимков акватории Керченского пролива, принятых в условиях безоблачной погоды и прозрачной атмосферы, позволяет достаточно четко выявлять воды повышенной мутности и потоки взвешенного вещества. При этом интересующие участки можно более четко отразить подбором цветовой гаммы спутникового изображения.

Данный методический прием продемонстрирован на рис. 2. На вставке справа в реверсном изображении более явно и отчетливо по сравнению с прямым изображением видны мутные воды, распространяющиеся в Керченский пролив из Азовского моря. Они занимают значительную часть акватории Керченской бухты и проникают в черноморскую часть пролива. Поток взвеси южного направления отчетливо виден вдоль побережья косы Чушка. Его ветвь у южной оконечности косы отклоняется в Таманский залив. В промоине между о. Тузлы и дамбой наблюдаются два разнонаправленных потока мутных вод.

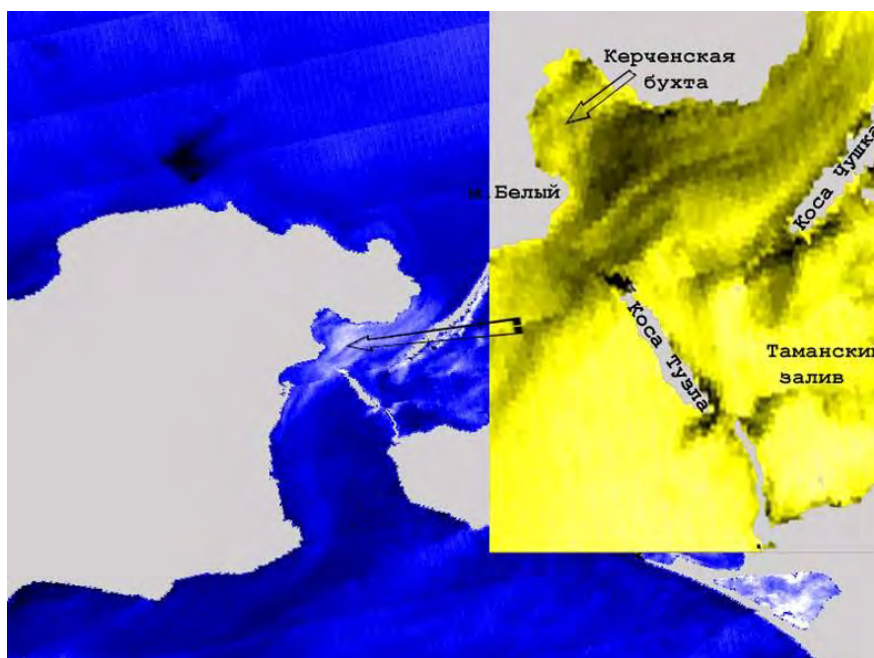


Рис. 2. Спутниковый снимок района Керченского пролива 5 мая 2005 года. На врезке фрагмент этого снимка в реверсном изображении

Следует отметить, что выявленные корреляционные связи рассчитаны на эмпирическом материале, полученном в рамках экспедиционных программ, не предполагавших спутниковые исследования. Поэтому качество имеющейся исходной информации не вполне соответствует рассмотренной в настоящей статье задаче, а полученный результат может быть улучшен при наличии эмпирических данных на основе специально организованных подспутниковых экспедиционных экспериментов. Для этого необходимо выполнение условий синхронности набора спутниковых и контактных подспутниковых данных, а также информативности спутниковых снимков в видимом диапазоне, которая максимальна при безоблачном небе и прозрачной атмосфере. То есть сроки проведения подобных экспериментов обязательно должны планироваться с учетом прогноза соответствующих погодных условий.

ВЫВОДЫ

По материалам двух комплексных океанологических съемок и подобранных в Интернете спутниковых снимков на основе метода множественной корреляции выявлены значимые предикторы и оценена теснота статистических связей между

спутниковыми данными и контактными подспутниковыми наблюдениями полей содержания ОВВ и РОВ в Керченском проливе.

Показано, что для поля концентрации ОВВ наиболее значимый предиктор обусловлен яркостью отраженного спутникового сигнала, который фиксируется первым каналом сканера MODIS в диапазоне длин волн 0,450–0,515 мкм. Между этими величинами выявлена слабая обратная корреляционная связь с коэффициентом $R=-0,44-0,49$.

Для поля концентрации РОВ наиболее значимый предиктор – яркость отраженного спутникового сигнала, фиксируемая третьим каналом сканера в диапазоне длин волн 0,630–0,690 мкм. Между данными полями обнаружена слабая прямая корреляционная связь с коэффициентом $R=0,43-0,57$.

Выявленные корреляционные связи и полученные уравнения регрессии могут быть полезными для оценок средних (средневзвешенных) по акватории пролива концентраций исследуемых веществ и их временных тенденций. Подобная информация представляется существенным дополнением при визуальном анализе спутниковых снимков Керченского пролива в видимом диапазоне.

Полученный результат может быть улучшен за счет организации и проведения синхронных спутниковых и контактных наблюдений, сроки которых необходимо планировать с учетом прогноза благоприятных с позиции решаемой задачи (безоблачное небо и прозрачная атмосфера) погодных условий.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2018-0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (Шифр «Оперативная океанология»).

Список литературы

1. Boss E., Pegau W. S., Zaneveld J. R. V. et al. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf // J. Geophys. Res. 2001. t.106. № C5. P. 9499–9507.
2. Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., Guigue C., Ferretto N., Goutx M. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) // Environ. Chem. 2012. № 9. P. 438–449.
3. Ломакин П. Д., Спиридонова Е. О. Природные и антропогенные изменения в полях важнейших абиотических элементов экологического комплекса Керченского пролива в течение двух последних десятилетий: монография. Севастополь: Изд-во ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. 118 с.
4. Федоровский А. Д., Порушкевич А. Ю., Чепыженко А. А., Якимчук В. Г. Региональные алгоритмы исследования морских акваторий по данным космической съемки на примере Керченского пролива // Екологічна безпека та природокористування. 2013. № 12. С. 33–42.
5. Уравнение множественной регрессии онлайн [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://math.semestr.ru/regress/corel.php>

**POSSIBILITY OF TOTAL SUSPENDED AND DISSOLVED ORGANIC
MATTER CONCENTRATIONS' DETERMINATION IN THE KERCH STRAIT
WATERS ON THE BASIS OF SATELLITE INFORMATION**

Lomakin P. D., Chepyzhenko A. A.

*Federal State Budget Scientific Organization «Marine Hydrophysical Institute of RAS», Sevastopol,
Russia*

E-mail: annachep87@yandex.ru

On the base of two complex oceanographic surveys' data and satellite images, using the method of multiple correlation, significant predictors were revealed, statistical relationships' tightness between the satellite data and total suspended matter (TSM) and dissolved organic matter (DOM) fields' content in the Kerch Strait was assessed.

It is shown that the TSM and DOM fields' concentrations are connected with the weak correlation dependence with the signal brightness, which is fixed respectively by the first and third channels of the MODIS satellite scanner.

The most significant predictor for TSM concentration field is due to the brightness of the reflected satellite signal, which is fixed by the first channel of the MODIS scanner in the wavelength range 0.450–0.515 μm . Between these values, a weak inverse correlation relationship was revealed with a coefficient $R = -0.44$ – -0.49 .

The most significant predictor for the DOM concentration field is the of the reflected satellite signal brightness, fixed by the third channel of the scanner in the wavelength range 0.630–0.690 μm . A weak direct correlation was found between these fields with a coefficient $R=0.43$ – 0.57 .

The revealed correlation links and obtained regression equations may be useful for average TSM and DOM concentrations' estimating and their temporal trends for the Kerch Strait waters. Such information is a significant addition while the Kerch Strait satellite images' in the visible range while visual analysis. Regression equations are recommended to be used as additional information in visual satellite imagery analysis.

The obtained results may be improved by synchronous satellite and contact observations' conducting. The expedition undertaking terms have to be planned, taking into account the favorable from the position of the problem being solved forecast (cloudless sky and transparent atmosphere).

Keywords: total suspended matter (TSM), dissolved organic matter (DOM), the Kerch Strait, the multiple correlation method, static links' tightness between expeditionary and satellite surveys data.

References

1. Boss E., Pegau W. S., Zaneveld J. R. V. et al. Spatial and temporal variability of absorption by dissolved material at a continental shelf // J. Geophys. Res. 2001, V. 106, no. C5, pp.9499–9507. (in English).
2. Tedetti M., Longhitano R., Garcia N., Guigue C., Ferretto N., Goutx M. Fluorescence properties of dissolved organic matter in coastal Mediterranean waters influenced by a municipal sewage effluent (Bay of Marseilles, France) // Environ. Chem. 2012, no 9, pp. 438–449. (in English).

3. Lomakin P. D., Spiridonova E. O. Prirodnye i antropogennye izmenenija v poljah vazhnejshih abioticheskikh jelementov jeologicheskogo kompleksa Kerchenskogo proliva v techenie dvuh poslednih desjatiletij (Natural and antropogenic changes in the fields of the most important abiotic elements of the Kerch Strait ecological complex during the last two decades). Sevastopol': JeKOSI-Gidrofizika (Publ.), 2010, 118 p. (in Russian).
4. Fedorovskij A. D., Porushkevich A. Yu., Chepyzhenko A. A., Jakimchuk V. G. Regional'nye algoritmy issledovanija morskikh akvatorij po dannym kosmicheskoy s#emki na primere Kerchenskogo proliva (Regional algorithms of marine areas' investigating on the satellite servey data on example of the Kerch Strait) Ekologichna bezpeka ta priroдокорistuvannja. 2013, no 12, pp. 33–42. (in Ukrainian).
5. Uravneniye mnozhestvennoy regressii onlayn (The equation of multiple regression online) [Elektronnyy resurs]. URL: <https://math.semestr.ru/regress/corel.php>