

А.В.Вареник*, С.К.Коновалов**, В.В.Метик-Диюнова***

**Морское Отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института, г. Севастополь,*

***Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь,*

****Экспериментальное отделение
Морского гидрофизического института НАН Украины, пгт.Кацивели*

**ОЦЕНКА РОЛИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
В ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА
В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ**

Рассмотрено влияние атмосферных осадков на формирование бюджета, полей концентрации неорганического азота и их эволюцию в верхнем деятельном слое Черного моря. Получены количественные оценки и выполнен анализ пространственно-временных изменений величин вклада поступления неорганического азота с атмосферными осадками на поверхность Черного моря. Показано, что в центральной части моря в летний период вклад атмосферных осадков в содержание неорганического азота в поверхностном слое вод выше, чем в холодный период года, и более значителен, по сравнению с прибрежными районами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *неорганический азот, поступление из атмосферы, распределение в поверхностных водах, Черное море.*

Атмосферные осадки не только способствуют удалению различных примесей из атмосферы, но и приводят к поступлению различных химических элементов в поверхностные воды суши и Мирового океана, в том числе и Черного моря. Однако, несмотря на то, что Черное море является объектом изучения ученых из многих стран, атмосферным осадкам как источнику поступления азота в этом бассейне до последнего времени уделялось недостаточно внимания, и оценки потоков этого биогенного элемента из атмосферы зачастую носили только оценочный характер, базируясь на отрывочных данных.

В [1, 2] нами был изучен ряд вопросов о поступлении неорганических соединений азота с атмосферными осадками. Показано наличие устойчивых статистических связей между содержанием неорганических соединений азота в атмосферных осадках и метеопараметрами. Получено уравнение множественной нелинейной регрессии, что позволило построить карты-схемы величин потока неорганического азота на поверхность Черного моря в различные сезоны года и за многолетний период исследования.

Целью данной работы является оценка роли атмосферных осадков в формировании полей концентрации неорганического азота и анализ влияния потока неорганического азота с атмосферными осадками на эволюцию полей хлорофилла в поверхностном слое вод Черного моря.

Методы и материалы. Для решения поставленной задачи нами были восстановлены поля среднего содержания неорганического азота в верхнем деятельном слое моря в холодный (ноябрь – март) и теплый (апрель – сентябрь)

© А.В.Вареник, С.К.Коновалов, В.В.Метик-Диюнова, 2010

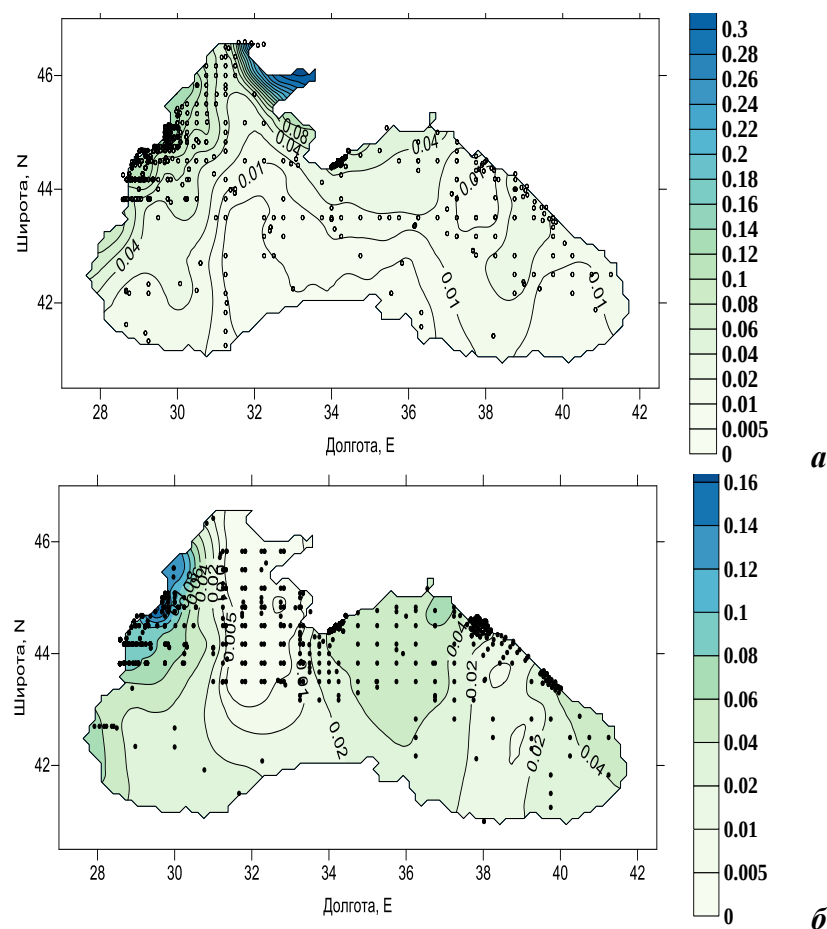
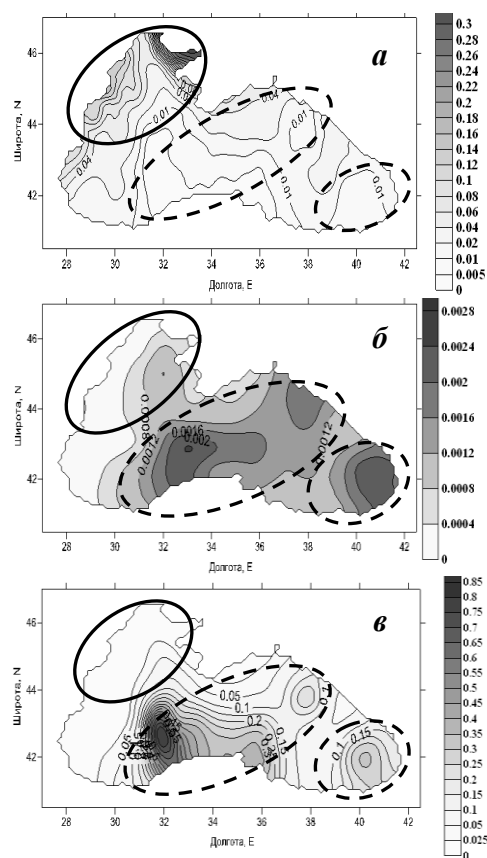


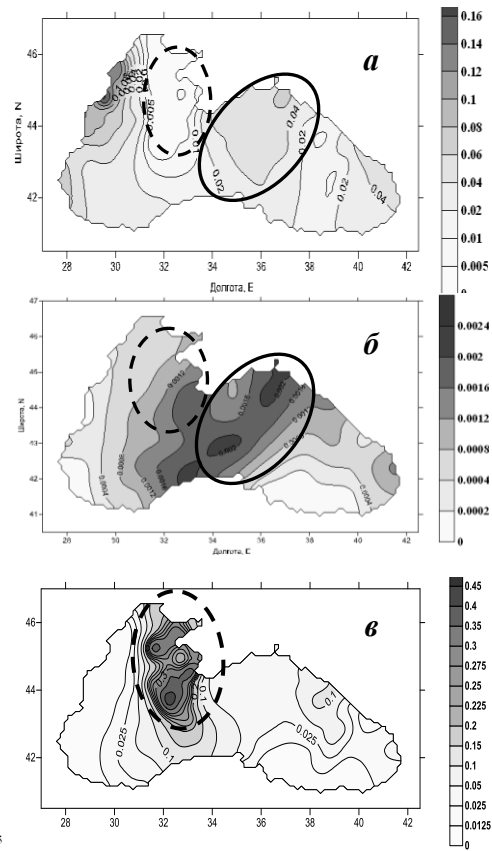
Рис. 1. Сетка станций при определении концентраций неорганического азота в поверхностном слое моря в летний (а) и зимний (б) периоды.

периоды года (рис.2 и 3). Для этого были использованы данные из Банка океанографических данных МГИ НАНУ, полученные в экспедиционных исследованиях 1990 – 2000 гг. Эти данные имеют наиболее высокую точность, и сетка станций (рис.1) в эти годы характеризуется наибольшим пространственным разрешением на всей акватории Черного моря.

Результаты и обсуждение. Оценка роли атмосферных осадков в пространственно-временном изменении распределения неорганического азота в поверхностном слое вод Черного моря. Из рис.2 видно, что в северо-западной части моря, где содержание неорганического азота достаточно велико за счет стока биогенных элементов с реками, влияние атмосферного поступления незначительно (отношение поступления азота с осадками к среднему содержанию азота в море не превышает 2,5 %). А в центральной и юго-восточной частях Черного моря при меньшем среднем содержании неорганического азота (менее 0,01 мг/дм³) и достаточно высокой концентрации азота в осадках вклад поступления азота с атмосферными осадками существенно выше и достигает 15 – 85 %.



Р и с . 2 . Среднее распределение неорганического азота в верхнем дефетальном слое моря в теплый период года (а), поступление неорганического азота на поверхность Черного моря с атмосферными осадками 12 августа 2004 г. (б) и величина отношения поступления неорганического азота с осадками к среднему содержанию азота в верхнем дефетальном слое (в). Сплошным овалом выделена область незначительного вклада атмосферных осадков в общий бюджет неорганического азота в море, пунктирной линией – районы существенного вклада атмосферных осадков в бюджет неорганического азота в теплый период года.



Р и с . 3 . Распределение неорганического азота в верхнем дефетальном слое моря в холодный период года (а), поступления неорганического азота на поверхность Черного моря с атмосферными осадками 29 января 2007 г. (б) и отношение поступления неорганического азота в верхний дефетальный слой моря с осадками к среднему содержанию азота в этом слое (в). Сплошным овалом выделена область незначительного вклада атмосферных осадков в общий бюджет неорганического азота в море, пунктирным – районы существенного влияния атмосферных осадков на бюджет неорганического азота в холодный период года.

В холодный период года (рис.3), также как и в теплый период (рис.2), влияние поступления неорганического азота с атмосферными осадками на северо-западном шельфе Черного моря практически не проявляется. При концентрации азота в море до $0,16 \text{ мг/дм}^3$ поступление с осадками в этом районе не превышает 0,3 % содержания азота в поверхностном слое вод. Подобная ситуация характерна и для центральной части моря, где при среднем содержании неорганического азота до $0,04 - 0,06 \text{ мг/дм}^3$ и концентрации азота в осадках $0,0024 \text{ мг/дм}^3$, вклад атмосферных осадков составляет 5 – 10 %. Однако в районах с невысоким содержанием неорганического азота в море (менее $0,005 \text{ мг/дм}^3$) и концентрации азота в атмосферных осадках $0,008 - 0,0016 \text{ мг/дм}^3$ вклад атмосферных осадков увеличивается до 45 %.

Из данных, представленных на рис.2 и 3, можно сделать вывод о том, что более существенный вклад атмосферных осадков как источника поступления неорганического азота в поверхностный слой моря наблюдается в летний период в центральной части моря. При этом в прибрежной и шельфовой части моря, где концентрации неорганического азота достаточно высоки за счет поступления из береговых источников, вклад атмосферных осадков незначителен.

Анализ роли атмосферных осадков в пространственно-временном изменении распределения содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое вод Черного моря. На рис.4 представлены данные о распределении средней за 8 дней концентрации хлорофилла «а», полученные в результате спутникового мониторинга до выпадения интенсивных атмосферных осадков и после них. Из представленных данных можно видеть, что в летние месяцы концентрация хлорофилла «а» в центральной части моря составляет порядка $0,2 - 0,5 \text{ мг/м}^3$ (рис.4, а). После выпадения интенсивных атмосферных осадков 31 мая 2004 г. на поверхность моря поступает неорганический азот, который активно используется фитопланктоном (рис.4, б). В результате концентрация хлорофилла «а» в этой части моря через несколько дней после выпадения осадков возрастает до $0,5 - 1,0 \text{ мг/м}^3$ (рис.4, в). Затем неорганический азот постепенно удаляется из фотической зоны в результате осаждения взвешенного органического вещества или переносится общей системой течений. Концентрация хлорофилла «а» постепенно возвращается к исходным значениям, определяемым содержанием биогенных элементов в поверхностном слое моря (рис.4, г).

На рис.5 показано изменение концентрации хлорофилла «а» в том случае, когда интенсивные осадки, с которыми выпадает достаточно большое количество неорганического азота, периодически выпадают в течение длительного времени и способствуют достаточно длительному сохранению повышенных концентраций хлорофилла «а» в поверхностном слое Черного моря. Так, например, после интенсивных осадков 26 – 28 апреля 2004 г., с которыми на поверхность моря поступило большое количество неорганического азота, концентрация хлорофилла «а» в юго-восточной и западной глубоководной частях моря (на рисунке выделены сплошными прямоугольниками) возросла примерно в 2 – 4 раза. Поскольку атмосферные осадки, содержащие большие концентрации неорганического азота, продолжали выпадать, повышенная концентрация хлорофилла «а» продолжала сохраняться,

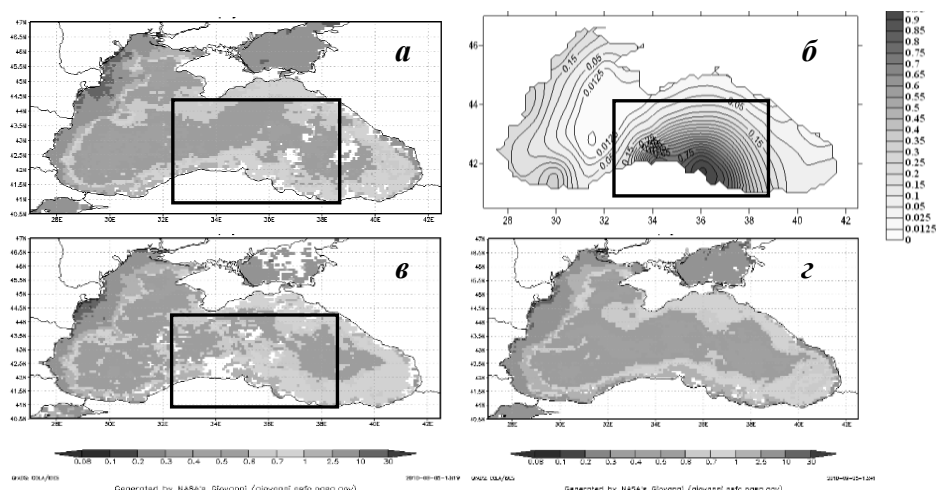


Рис. 4. Изменение концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое Черного моря после выпадения атмосферных осадков в мае – июне 2004 г. ($\text{мг}/\text{м}^3$): 24 – 31 мая (а), 1 – 8 июня (б), 9 – 16 июня (в). Данные SeaWiFS (<http://reason.gsfc.nasa.gov/OPS/Giovanni/ocean.swf8D.shtml>). Поступление неорганического азота с атмосферными осадками на поверхность Черного моря 31 мая 2004 г. (б).

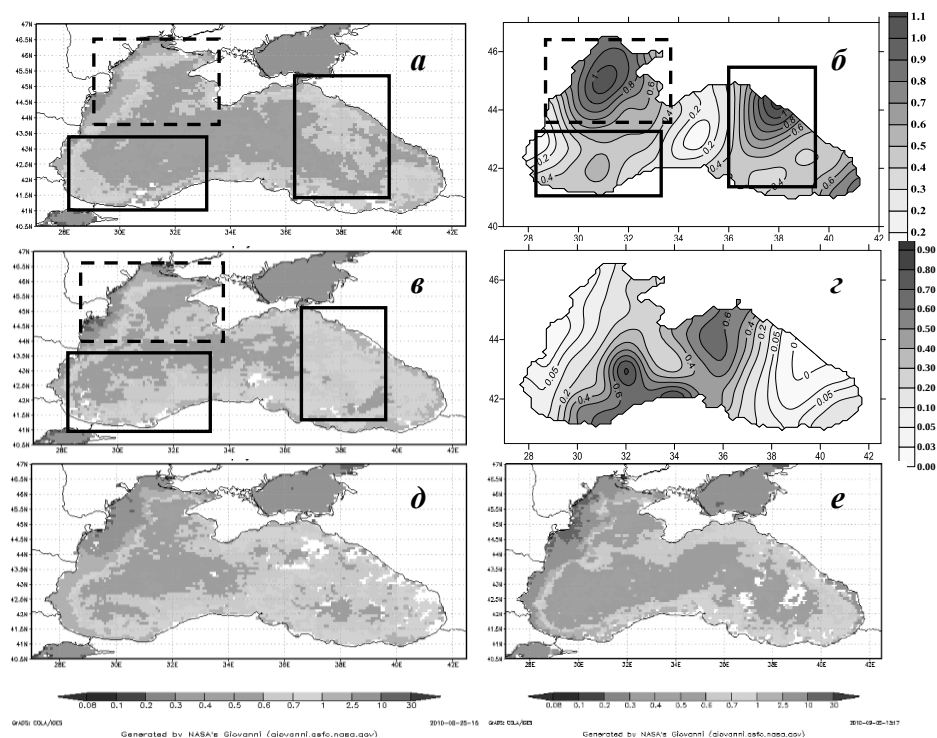


Рис. 5. Изменение концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое Черного моря при регулярных выпадениях атмосферных осадков в апреле – мае 2004 г. ($\text{мг}/\text{м}^3$): 22 – 29 апреля (а), 30 апреля – 7 мая (б), 8 – 15 мая (в), 24 – 31 мая (г). Поступление неорганического азота с атмосферными осадками на поверхность Черного моря 26 – 28 апреля (б) и 13 мая (з) 2004 г.

не снижаясь до первоначального уровня в течение длительного времени. И только через месяц при отсутствии интенсивных осадков концентрация хлорофилла «а» вернулась к характерному начальному уровню.

Для района северо-западного шельфа Черного моря (на рис. 5 выделен пунктирным прямоугольником) какие-либо изменения в распределении хлорофилла «а» практически не наблюдается, поскольку гораздо большее количество неорганического азота поступает в этот район моря с речным стоком. Этот факт еще раз подтверждает сделанный выше вывод о том, что атмосферные осадки как источник поступления неорганического азота являются более значимыми именно для центральной части моря.

Выводы

1. Получены количественные оценки и выполнен анализ пространственно-временных изменений величин вклада поступления неорганического азота с атмосферными осадками в содержание этого биогенного элемента в верхнем деятельном слое моря.

2. Показано, что в центральной части моря вклад атмосферных осадков в содержание неорганического азота в поверхностном слое вод более значителен, по сравнению с прибрежными районами. Причем величина этого вклада в теплый период года существенно больше, чем в холодный период.

3. В прибрежной части Черного моря, где концентрации неорганического азота достаточно высоки за счет поступления с реками, вклад атмосферных осадков незначителен как в теплый, так и в холодный период года.

Авторы благодарят за помощь в организации многолетнего мониторинга атмосферных осадков директора Экспериментального отделения МГИ НАНУ Кузнецова А.С. и сотрудника этого отделения Симонову Ю.В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чайкина А.В.* Зависимость уровня загрязнения атмосферных осадков в районах п.Кацивели и г.Севастополь от метеорологических параметров // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2007.– вып.15.– С.132-138.
2. *Вареник А.В.* Пространственное распределение потока неорганического азота с атмосферными осадками на поверхность Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.19.– С.395-400.

Материал поступил в редакцию 4.11.2010 г.