

ДИКАРЁВ В.А.

Изотопный баланс Азово-Черноморского бассейна в позднем голоцене

Современный водный баланс Чёрного моря [Гидрометеорология, 1991]

Приход:

Речной сток - 338 км³/год

Атмосферные осадки - 238 км³/год

Приток Средиземноморских вод через Босфор - 176 км³/год

Приток Азовских вод через Керченский пролив - 50 км³/год

Итого - 802 км³/год

Расход:

Испарение - 396 км³/год

Сток через Босфор - 371 км³/год

Сток через Керченский пролив - 33 км³/год

Итого - 800 км³/год

Рис. 1. Поперечный профиль через Босфорский пролив [Algan, 2001]

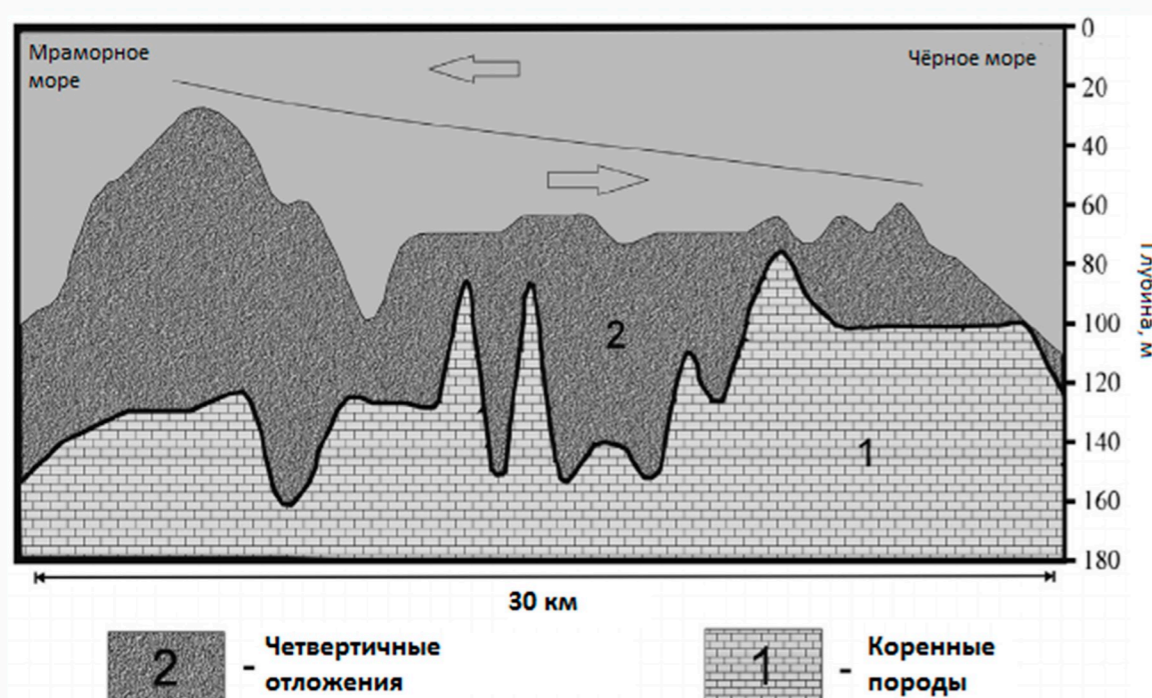


Рис. 2 Черноморская трансгрессия Понта в позднем голоцене



Черноморская трансгрессия Понта и новокаспийская трансгрессия Каспия [Янина, 2012]

Уравнение I. Изотопно-материальный баланс Чёрного моря при стабильном положении уровня.

$$V_{\text{рек}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{рек}} + V_{\text{атм.ос.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{атм.ос.}} + V_{\text{из Аз.м.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Аз.м.}} + V_{\text{из Ср.м.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Ср.м.}} = V_{\text{сток в Босф.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Чер.м.}} + V_{\text{исп.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{исп.}} + V_{\text{в Аз.м.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Чер.м.}}$$

* Уравнение справедливо для стабильного положения уровня моря, при котором приход примерно равен расходу, а излишек в виде нескольких кубокилометров, представляющих примерно 0,5% всего баланса, стекает через Босфор в Мраморное море.

Уравнение II. Уравнение для изотопного состава моря при изменении количества поступления Средиземноморских вод.

$$(V_{\text{Чер.м.}} \times \delta_{\text{Чер.м.}} + V_{\text{рек}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{рек}} + V_{\text{атм.ос.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{атм.ос.}} + V_{\text{из Аз.м.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Аз.м.}} + V_{\text{из Ср.м.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Ср.м.}} - V_{\text{сток в Босф.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Чер.м.}} - V_{\text{исп.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{исп.}} - V_{\text{в Аз.м.}} \times \delta^{18}\text{O}_{\text{Чер.м.}}) / V_{\text{Чер.м.}} = \delta_{\text{Чер.м.}}$$

Изотопия речного стока

Дунай (57,5%) - $\delta^{18}\text{O}$ от -8,3‰ до -9,5‰.

Днепр (12,5%) - $\delta^{18}\text{O}$ -5,6‰.

Риони (3,8%) - $\delta^{18}\text{O}$ -11,6‰.

Днестр (2,6%) - (примерно равен Днепру), $\delta^{18}\text{O}$ -5,6‰.

Остальные реки (23,6%) - $\delta^{18}\text{O}$ в среднем -11,7‰ (Чорохи -11,5‰; Кодори -11,3‰; Мзымта -12,3‰) [Николаев, 1976].

Средневзвешенное значение рассчитывается по следующей формуле:

$$57,5\% \times (-8,3\text{‰}) + 12,5\% \times (-5,6\text{‰}) + 3,8\% \times (-11,6\text{‰}) + 2,6\% \times (-5,6\text{‰}) + 23,6\% \times (-11,7\text{‰}) / 100 = -8,8\text{‰} \text{ (при Дунае } -8,3\text{‰) или}$$

$$57,5\% \times (-9,5\text{‰}) + 12,5\% \times (-5,6\text{‰}) + 3,8\% \times (-11,6\text{‰}) + 2,6\% \times (-5,6\text{‰}) + 23,6\% \times (-11,7\text{‰}) / 100 = -9,5\text{‰} \text{ (при Дунае } -9,5\text{‰), т.е. изотопный}$$

состав вод Дуная является определяющим для изотопного состава всего речного стока.

Значения $\delta^{18}\text{O}$ для атмосферных осадков составляет -7‰ [Ферронский, 1983] или -6,5‰ [Ветштейн, 1982],

приток из Босфора $\delta^{18}\text{O} = +1,5\text{‰}$, приток из Керченского пролива $\delta^{18}\text{O} = -3,4\text{‰}$ (среднее для Азовского моря).

Получение расчётного значения изотопии Чёрного моря

Подставив значения изотопии и объемов водообмена в формулу (2) можно вычислить расчетное значение $\delta_{\text{Чер.м.}}$

которое будет равно -2,3001‰, т.е. расчетное значение с высокой точностью совпадает с известным. Далее мы попробуем

рассчитать, что происходило бы при изменении различных параметров входящих в это уравнение.

Расчёт изменения изотопии Чёрного моря при различном поступлении Средиземноморских вод

Подставив коэффициенты в уравнение (2) к произведению поступающих вод Средиземного моря мы получим:

$$\text{При падении уровня на 5 м} - \delta_{\text{Чер.м.}} = -2,3002\text{‰}$$

$$\text{При падении уровня на 8 м} - \delta_{\text{Чер.м.}} = -2,3003\text{‰}$$

т.е. изменение изотопного состава под влиянием ограничения поступления Средиземноморской воды будет составлять ничтожно малую величину 0,2-0,3‰ за тысячу лет.

Вывод:

После соединения Черноморо-Азовского бассейна со Средиземноморским, выравнивания их уровней и установления стабильного водообмена через Босфор, дальнейшие колебания уровня не могли являться причиной изменения изотопного состава воды в бассейне. Основной причиной изменения изотопии воды являлось изменение пресноводной составляющей баланса, т.е. изменение увлажненности климата, а не масштабы поступления Средиземноморских вод.

Литература:

Ветштейн В.Е. Изотопы кислорода и водорода природных вод СССР, Л.: Недра, 1982, 216 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1991. Т.4, вып. 1. 429 с.

Дикарёв В.А. О фанаторийской регрессии Черного моря // Вестн. МГУ Сер. 5. География, 2011. №1. С 35-40.

Николаев С.Д. Изотопная палеогеография внутриконтинентальных морей. М.: Изд-во ВНИРО, 1995. 127 с.

Николаев С.Д., Гурский Ю.Н., Аникеев В.И. Изотопный состав кислорода иловых вод Черного моря // Новейшие отложения, неотектоника и человек. Вып. 6. 1976. С. 48-53

Сухолей В.Ф. Моря Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 288 с.

Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы. М.: Наука, 1983. 277 с.

Чижова Ю.Н., Добролюбов С.А. и др. Оценка влияния вод малых рек на приповерхностные воды Чёрного моря по изотопным данным // Вестн. Моск. Ун-та Сер. 5. География. 2011. №6.

Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Географический факультет МГУ, 2012, 264 с.

Algan O., et al. Stratigraphy of the sediment infill in Bosphorus Strait: water exchange between the Black and Mediterranean Seas during the last glacial Holocene. Geo Mar. Lett. 2001, p.209-218.