

**Фомин Ю.А., Демихов Ю.Н., Борисова Н.Н.**  
*Институт геохимии окружающей среды НАН Украины*

## **МОНИТОРИНГ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА ПРИРОДНЫХ ВОД БАССЕЙНА ДНЕПРА (КИЕВ)**

*Изучено изменение изотопного состава (за время годового цикла) вод, отобранных из различных природных источников: водотоков и скважин бассейна р. Днепр, сезонных осадков в виде дождя и снега. Общим для них является летне-осеннее утяжеление и зимне-весеннее облегчение H и O, но при этом каждый источник, несмотря на возможную их связь, имеет свою специфику. Полученные результаты можно использовать при определении степени закрытости водных систем.*

### **Введение**

Изотопное изучение природных вод на Украине, в основном, носит эпизодический характер. По сути, первые сведения по изотопному составу водорода и кислорода таких вод Украины приведены в обобщающей монографии В.Е. Ветштейна [1]. Более чем скудную информацию об изотопном составе водорода воды в Днепре также находим в работе Ферронского В.И. и др. [4]. Изотопный состав водорода и кислорода подземных вод Карпатского региона охарактеризован В.В. Колодием и И.М. Койновым [3]. В 1979 году Ю.Н. Демиховым (при участии Ф.И. Жукова) отобран и проанализирован на дейтерий огромный массив водных проб из различных источников (водотоки, родники, колодцы, скважины, всего 163 пробы) района урановых месторождений Кировоградского блока. Часть проб (14) были взяты в конце мая (26—27.05) в зоне Южного Полесья, но основное опробование проведено 18-24 июля, т.е. в наиболее жаркое и засушливое время года, в условиях лесостепной и степной ландшафтно-геохимических зон. Тогда же (1979—80 годы) им были получены единичные замеры значений  $\delta D$  воды в Днепре в районе Киева.

Обобщение и анализ полученных результатов [2] привели к пониманию необходимости систематических исследований такого рода. Но цель, которую мы ставили, планируя эти исследования, шире. Кроме системного подхода, предполагающего увеличение мониторинга до годового цикла с определением изотопного состава обеих составляющих природных вод, это также получение достоверных критериев для интерпретации более раннего массива данных по дейтерию. Учитывая ландшафтно-геохимическое положение Киева в северной лесостепной зоне и (в геотектоническом плане) в пределах северо-восточного склона Украинского щита, новые результаты не только могут быть сопоставлены с прежними, но и существенно дополняют их. Вместе с тем, большая разница во времени опробования (30 лет) позволяет оценить возможные изотопные изменения природных вод за этот период.

Нынешний годовой мониторинг проведен в период с 22.05.2009 по 23.05.2010. и включил определение изотопного состава водорода и кислорода воды из 4-х источников бассейна р. Днепр, а также периодический отбор и изотопное исследование воды атмосферных осадков – дождя и снега (всего 60 проб). Среди исследуемых источников: два открытых водотока (оба в Гидропарке) – Венецианская протока в районе пешеходного моста, правый берег и фарватер Днепра, левый берег в 100 м ниже моста метро, а также два бювета – в Гидропарке и в районе метро «Святошино» (рис. 1). Отбор проб сопровождался фиксацией погодных условий и атмосферной температуры. Значения  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  (табл.1) определялись по принятой методике [6, 7] с точностью измерения относительно стандарта SMOW  $\pm 4 \text{ ‰}$  и  $\pm 0,5 \text{ ‰}$  соответственно. Что касается состава опробованных подземных вод, то мы располагаем лишь отрывочными сведениями о воде из бювета в Гидропарке,

содержащей ( $\text{мг/дм}^3$ ) до 350 хлоридов, до 500 сульфатов и до 1000 сухого остатка, т.е. имеющей существенно сульфатно-хлоридный состав.

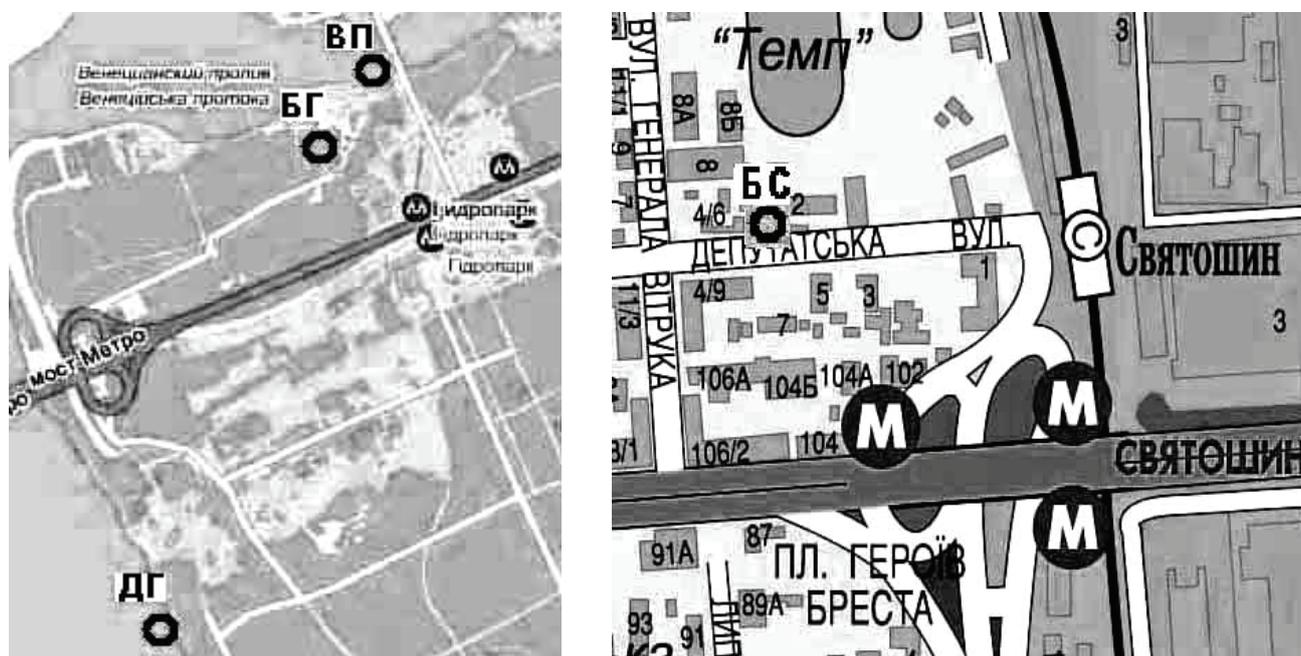
### Ландшафтно-геохимические и геологические условия района

В геотектоническом отношении, согласно новейшим построениям [8], район опробования относится к северо-восточному склону Украинского щита, являясь северным продолжением структур Росинско-Тикичского или Белоцерковского (архейского гранит-амфиболитового) блока вблизи границы с Днепроовско-Донецкой впадиной.

С точки зрения ландшафтного районирования Украинского щита [9, 10] он принадлежит северной лесостепной ландшафтно-геохимической зоне, завершая северную часть Приднепровского поднятия и переходя в пониженную равнину левобережного Приднепровья. Если отнести левобережье Днепра к Днепроовско-Донецкой впадине, то это будет крайняя восточная («террасовая» [9]) ее полоса.

В пределах района наблюдается фациальная смена (в рамках бучакской свиты эоцена) континентальных (аллювиальных) угленосных отложений, характерных для Приднепровского поднятия, более молодыми морскими песчано-глинистыми осадками (палеогеновая трансгрессия [8, 11]). Эоценовые осадки перекрываются олигоценными существенно глауконитовыми песчано-глинистыми (харьковского уровня) образованиями и неоген-четвертичными отложениями. В составе последних наиболее распространены неогеновые пески полтавской свиты и четвертичные лессовидные суглинки.

Из числа многочисленных водоносных горизонтов, обеспечивающих функционирование системы подземных вод в этом районе, особо следует выделить пески бучакского, харьковского и полтавского возраста [9]. Среди левых притоков Днепра отметим Десну, питающую Венецианскую протоку. Т.е. серии проб ВП (Венецианская протока) и ДГ (главный фарватер Днепра), по сути, представляют разную воду.



а

б

**Рис. 1.** Расположение источников опробования природных вод

**а** – Гидропарк: ВП – Венецианская Протока; ДГ – фарватер Днепра; БГ – бьюет.

**б** – Район станции метро Святошино, ул. Депутатская: БС – бьюет.

Судя по годовым наблюдениям, район мониторинга, как и лесостепная зона в целом [10], характеризуется переменной влажностью. Период с 20.05 по 30.09 проявился осадками в виде периодических грозовых ливней, которые способствовали преобладающему развитию поверхностных стоков, в меньшей степени инфильтрации и почти всегда сопровождались заметным снижением температуры воздуха. Фоном (между циклонами) была сухая и солнечная, теплая или жаркая погода. Аномальная жара ( $>30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) наблюдалась с 26.06 по 19.08, в это время испарение определенно преобладало над осадками; температурный максимум (до  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) фиксировался 16.07—07.08.

В период с 01.10. по 13.12. в основном умеренно сухо, редко туманы, морось, дожди, но постепенно, начиная со второй половины ноября, влажность увеличивается – туманы, дожди, иногда со снегом, осадки явно преобладают над испарением. Также постепенно опускается температура: до  $+17 - +6^{\circ}\text{C}$  в октябре-ноябре и до  $+10 - 0^{\circ}\text{C}$  в ноябре-декабре. С 13.12 по 25.02 погода умеренно морозная ( $-5...-15^{\circ}\text{C}$ ) и снежная; облачно с прояснениями и оттепелями ( $-1...+2^{\circ}\text{C}$ ). Преобладают южные циклоны со снегом (в основном с 18.12 по 22.02). Температурный минимум приходится на январь ( $-15...-20^{\circ}\text{C}$ ).

Период с 25.02 по 31.03. характеризуется снеготаянием и ледоходом (конец февраля); погода преимущественно пасмурная с легкими туманами, в конце марта – чаще солнечная, сухая и теплая. Температура на уровне  $-1...0^{\circ}\text{C}$ , к концу марта постепенно доходит до  $10^{\circ}\text{C}$ . Уровень воды в Днестре повышается, достигая максимального в начале апреля. С 01.04 по 23.05 преобладает солнечная сухая погода; в апреле – переменная облачность и кратковременные дожди, температура утром  $+10 - +12$ , днем  $+15 - 20^{\circ}\text{C}$ ; в мае грозовые дожди, температура достигает  $+20 - 25^{\circ}\text{C}$ . Повышенный уровень воды в Днестре сохраняется.

### Изотопный состав водорода и кислорода природных вод

Полученные результаты, с учетом как источников (открытых водотоков и скважин), так и атмосферных осадков (табл. 1, 2), характеризуют годовой цикл круговорота воды.

**Таблица 1.** Изотопный состав Н и О метеорных вод бассейна р. Днестр, 2009-2010 гг.

№ п/п	№ пробы	T, °C	Погодные условия	D, ppm	$\delta\text{D}$ , ‰	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰
1	ВП-22.05.09.	20-23	В течение нескольких дней сохранялась устойчиво сухая, солнечная и теплая погода.	145,5	-66	-8,9
2	ДГ-22.05.09.	-		146,3	-61	-8,8
3	БГ-22.05.09.	-		144,5	-72	-8,4
4	БС-22.05.09.	-		144,5	-72	-8,0
5	Дж-03.06.09.	18	Циклон со Скандинавии – дожди.	147,1	-55	-1,8
6	Дж-07.06.09.	23	Циклон с Балкан – бури, грозы	151,1	-30	-3,5
7	ВП-08.06.09.	25-27	После дождя 07.06 установилась сухая и жаркая погода, солнечно.	147,0	-57	-7,7
8	ДГ-08.06.09.	-		145,9	-63	-8,8
9	БГ-08.06.09.	-		146,4	-60	-7,5
10	БС-09.06.09.	-		145,5	-66	-9,2
11	Дж-26.06.09.	32	Дожди с похолоданием, затем жара.	151,3	-28	-5,5
12	ВП-16.07.09.	До 33	Сухо, солнечно, жарко. До этого в июле периодические дожди, грозы.	146,9	-58	-7,8
13	ДГ-16.07.09.	-		148,0	-50	-7,7
14	БГ-16.07.09.	-		145,3	-67	-8,7
15	БС-16.07.09.	-		146,4	-60	-7,3
16	Дж-08.08.09.	18-20	Гроза, резкое похолодание.	147,7	-52	-7,7
17	ВП-19.08.09.	20	18.08 вечером – гроза, дождь. 19.08 – солнечно, сухо, прохладно. До этого сухо, жарко, $>30^{\circ}\text{C}$ .	148,8	-45	-6,8
18	ДГ-19.08.09.	-		147,8	-51	-7,3
19	БГ-19.08.09.	-		145,8	-64	-8,2
20	БС-19.08.09.	-		143,9	-76	-9,1
21	ВП-14.09.09.	23-25	В основном сухо, тепло, солнечно, иногда переменная облачность.	146,9	-58	-6,8
22	ДГ-14.09.09.	-		147,1	-46	-8,3
23	БГ-14.09.09.	-		145,6	-65	-7,8
24	БС-14.09.09.	-		145,0	-69	-8,3

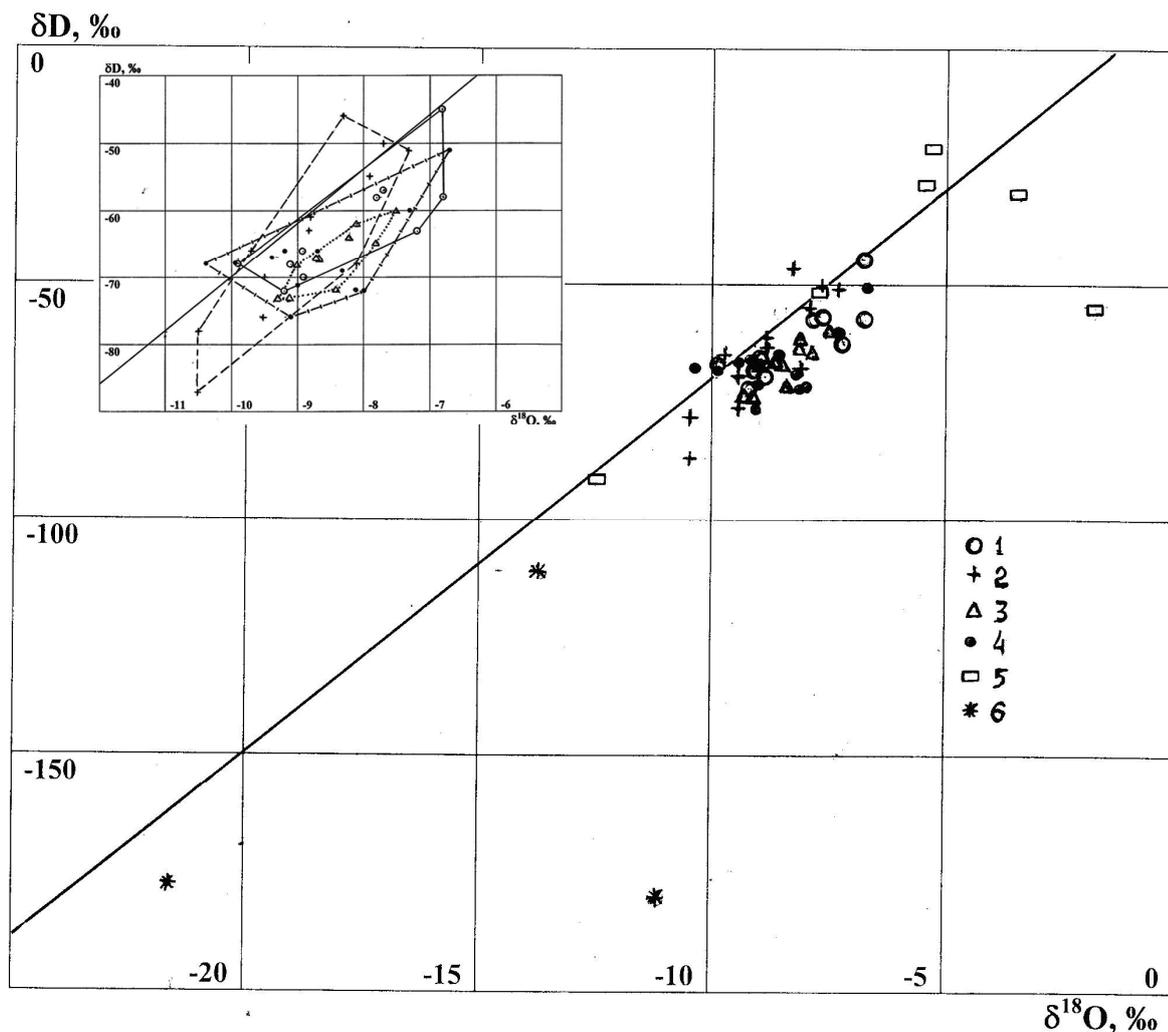
25	ВП-23.09.09.	22-24	Сухо, солнечно, переменная облачность. 15.09 – гроза с дождем.	-	-	-7,5
26	ДГ-23.09.09.	-		-	-	-4,5
27	БГ-23.09.09.	-		-	-	-8,5
28	БС-23.09.09.	-		-	-	-6,3
29	Дж-11.10.09.	17	Дождь северо-западный, краткий.	152,5	-21	-5,3
30	ВП-09.11.09.	6	Октябрь-ноябрь: умеренно сухо, редкие дожди. 09.11 – пасмурно, туман, морось.	145,9	-63	-7,2
31	ДГ-09.11.09.	-		147,1	-55	-7,9
32	БГ-09.11.09.	-		146,2	-62	-8,1
33	БС-09.11.09.	-		147,8	-51	-6,7
34	Дж-15.11.09.	11	Осенний затяжной дождь.	141,6	-91	-12,5
35	ВП-13.12.09.	-9...-7	Ноябрь-декабрь: влажно, пасмурно, туман, морось, дождь-снег. В декабре тепло, +10-0°C, 13 декабря – ясно, морозно.	146,2	-62	-
36	ДГ-13.12.09.	-		145,1	-68	-8,1
37	БГ-13.12.09.	-		144,3	-73	-9,1
38	БС-13.12.09.	-		144,5	-72	-8,1
39	Сн-18.12.09.	-10	Циклон с Балкан, снег.	128,1	-178	-21,6
40	ВП-21.01.10.	-10 -12	Январь снежный, умеренно холодный, -5...-15 (до -20°C), с оттепелями. 21 января – пасмурно, морозно, легкий снег.	144,9	-70	-8,9
41	ДГ-21.01.10.	-		144,9	-70	-9,5
42	БГ-21.01.10.	-		144,5	-72	-
43	БС-21.01.10.	-		145,5	-66	-8,7
44	Сн-19.02.10.	+2	Пасмурно, ветер с юго-востока, снег.	127,5	-181	-11,2
45	Сн-22.02.10.	0...-1	Циклон с юго-запада, метель.	138,5	-111	-13,7
46	ВП-01.03.10.	0...-1	Конец февраля – снеготаяние, Днепр очистился ото льда. 01.03. – пасмурно, легкий туман.	144,5	-72	-9,2
47	ДГ-01.03.10.	-		144,0	-76	-9,5
48	БГ-01.03.10.	-		144,3	-73	-9,3
49	БС-01.03.10.	-		145,5	-67	-9,4
50	ВП-01.04.10.	12	Последние дни марта – солнечно, тепло. 1 апреля: утром сухо, затем морось. Максимальный уровень воды в Днепре.	145,1	-68	-9,9
51	ДГ-01.04.10.	-		145,5	-66	-9,7
52	БГ-01.04.10.	-		145,3	-67	-8,7
53	БС-01.04.10.	-		145,1	-68	-9,9
54	ВП-18.04.10.	11-16	В апреле переменная облачность, краткие дожди. 18-19.04 – сухо, солнечно, утром +11, днем +16°C.	-	-	-11,0
55	ДГ-18.04.10.	-		142,2	-87	-10,5
56	БС-19.04.10.	-		144,6	-71	-9,0
57	ВП-23.05.10.	23	Май – грозовые дожди, паводок, уровень воды в Днепре повышенный. 22-23.05 – сухо, тепло.	145,1	-68	-9,1
58	ДГ-23.05.10.	-		145,1	-78	-10,5
59	БГ-23.05.10.	-		145,1	-68	-9,0
60	БС-23.05.10.	-		145,1	-68	-10,4

**Примечание:** ВП – Венецианская протока, ДГ – Днепр в Гидропарке, БГ – бювет в Гидропарке, БС – бювет в Святошино, Дж – дождевая вода, Сн – снег; цифровые обозначения – дата взятия пробы.

**Таблица 2.** Сравнение значений  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  воды источников и атмосферных осадков годового цикла, (‰).

Дата	T <sub>атм.</sub> °C	Венецианск. Протока		Днепр Гидропарк		Бювет Гидропарк		Бювет Святошино		Атмосферн. Осадки	
		$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$
22.05.09	20-23	-66	-8,9	-61	-8,8	-72	-8,4	-72	-8,0		
03.06.09	18									-55	-1,8
07.06.09	23									-30	-3,5
08.06.09	25-27	-57	-7,7	-63	-8,8	-60	-7,5	-66	-9,2		
26.06.09	32									-28	-5,5
16.07.09	32	-58	-7,8	-50	-7,7	-67	-8,7	-60	-7,3		
08.08.09	18-20									-52	-7,7
19.08.09	20	-45	-6,8	-51	-7,3	-64	-8,2	-76	-9,1		
14.09.09	23-25	-58	-6,8	-46	-8,3	-65	-7,8	-69	-8,3		
23.09.09	22-24	-	-7,5	-	-4,5	-	-8,5	-	-6,3		
11.10.09	17									-21	-5,3
09.11.09	6	-63	-7,2	-55	-7,9	-62	-8,1	-51	-6,7		
15.11.09	11									-91	-12,5
13.12.09	-9...-7	-62	-	-68	-8,1	-73	-9,1	-72	-8,1		

18.12.09	-10									-178	-21,6
21.01.10	-10...-12	-70	-8,9	-70	-9,5	-72	-	-66	-8,7		
19.02.10	+2									-181	-11,2
22.02.10	-1...0									-111	-13,7
01.03.10	-1...0	-72	-9,2	-76	-9,5	-73	-9,3	-67	-9,4		
01.04.10	+12	-68	-9,9	-66	-9,7	-67	-8,7	-68	-9,9		
18.04.10	11-16	-	-11,0	-87	-10,5	-	-	-71	-9,0		
23.05.10	23	-68	-9,1	-78	-10,5	-68	-9,0	-68	-10,4		
Среднее		-62,4	-8,4	-64,2	-8,5	-67,5	-8,5	-67,2	-8,5	-83,0	-9,2
n		11	12	12	13	11	11	12	13	9	9



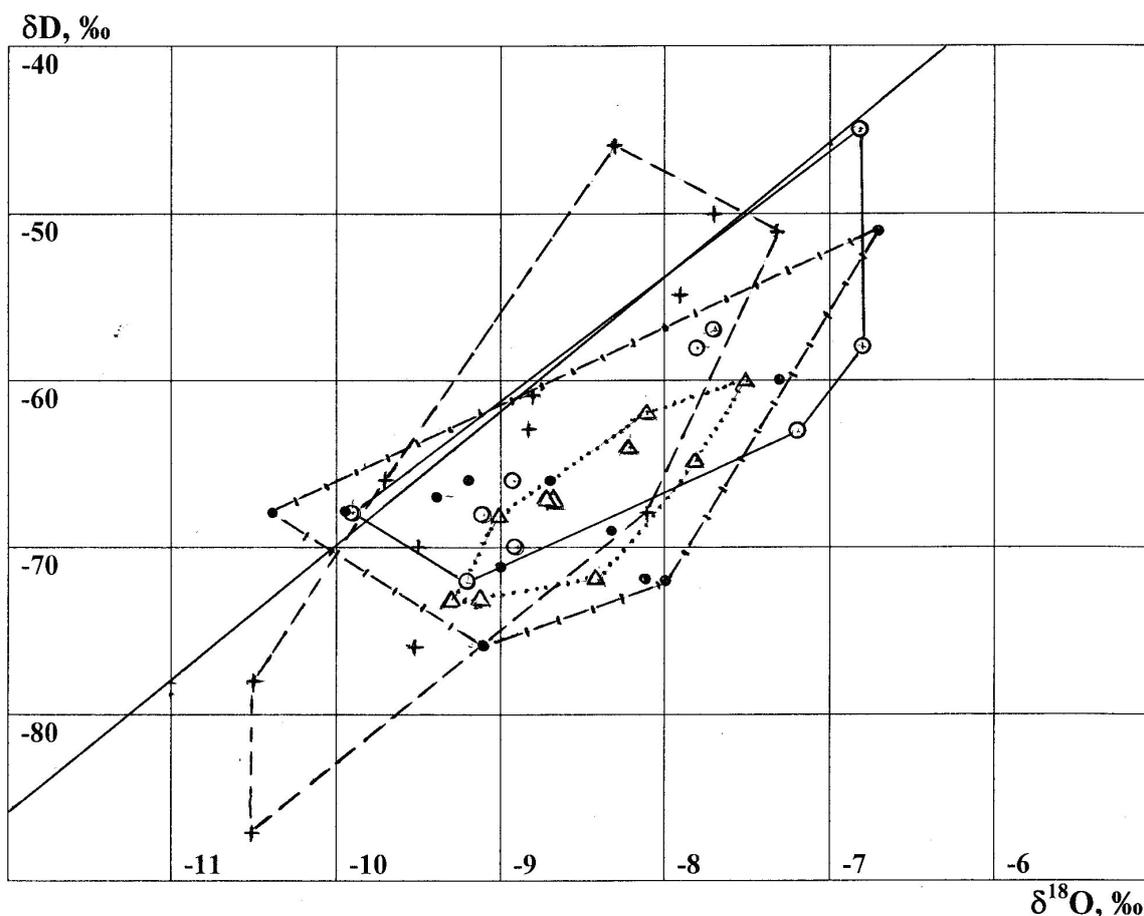
**Рис. 2.** Зависимость между величинами  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  различных источников природных вод

На вставке представлен фрагмент общего графика применительно к водам 4-х источников (рис. 4). Диагональная линия показывает изотопный состав метеорных вод согласно уравнению Крейга [13]:  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$  (‰). Условные обозначения: 1 – Венецианская протока (ВП). 2 – Главное русло р. Днепр в Гидропарке (ДГ). 3 – Бювет Гидропарка (БГ). 4 – Бювет Святошино (БС). 5 – Дождевая вода (Дж). 6 – Снег (Сн).

Значения  $\delta D$  (‰) воды 4-х источников изменяются в пределах от -87 до -45, среднее по 46 пробам -65,3. По сравнению с водой 23-х источников северной лесостепной ландшафтно-геохимической зоны, опробованных в 1978 г., т.е. более 30 лет тому назад (от -96 до -54, среднее -82,3 [2]), нынешние пробы в среднем на 17 ‰ обогащены дейтерием при абсолютно идентичном разбросе в 42 ‰. Более корректное сравнение данных 1978 года с

летними пробами 2009 года (-76...-45, среднее -59,8) еще более усиливает эффект утяжеления воды по дейтерию.

Интерес представляет также сопоставление нынешних данных с опубликованными результатами прошлых лет по дейтерию вод бассейна Днепра, с учетом отбора проб именно в летний период (табл. 3). Время отбора 1964-1978 гг., место отбора – бассейн р. Днепр от Киева до района Кременчугского водохранилища, количество проб 14, включая непосредственно Днепр (2), приток Днепра (1), восходящий источник (1), колодцы (9), скважина (1). Вариации  $\delta D$  (‰) -96...-55; среднее -82,1, т.е. результаты почти полностью совпадают с таковыми для вод северной лесостепи. Немного изменит их и учет трех проб воды Днепра, взятых весной и зимой 1979-80 гг.: тот же диапазон, среднее -80,5. Таким образом, по дейтерию вода опробованных летом 2009 г. источников в среднем на 18,1 ‰ тяжелее воды бассейна Днепра, взятой в летний период 1964-1978 гг.



**Рис. 3.** Фрагмент графической зависимости между величинами  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  природных вод бассейна реки Днепр (детализация рис. 2)

Обозначения фигуративных точек аналогичны рис. 3. Контуры полей воды источников: ВП – сплошная линия (+0,82); ДГ – пунктир (+0,78); БГ – точечный контур (+0,99); БС – штрих-пунктир (+0,55). В скобках приведены коэффициенты корреляции ( $r$ ) между  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$ .

Что касается изотопного состава кислорода воды, то сопоставление нынешних результатов с данными ранних исследований практически исключается по причине недостатка последних. Так, в работе В. Е. Ветштейна [1] находим измерения  $\delta^{18}O$  (‰) только в двух местах, относящихся к нашему району (табл. 3), эти измерения кислорода воды в Десне и Днепре 1964-69 гг. (-10,9 и -9,0 соответственно) входят в диапазон значений  $\delta^{18}O$  2009-10 гг. (-11,0...-4,5; среднее по 49 пробам -8,5). Можно отметить близость этих

измерений соответственно минимальным изотопным соотношениям кислорода воды в мартовской пробе ВП (-11,0) и в среднем в воде ДГ (-8,5).

Полученные данные графически (рис. 2) вполне соответствуют изотопному составу метеорных вод согласно уравнению Крейга:  $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$  (‰) и также, как основной массив метеорных поверхностных вод в основополагающей работе Х.П. Тейлора [13], в среднем совпадают с идентичной прямой, отвечающей уравнению  $\delta D = 8\delta^{18}O + 5$  (‰). Что касается так называемых «погребенных» формационных вод, то изученные нами воды бассейна р. Днепр (в особенности воды бьюетов, т.е. подземные) близки к исходным (метеорным) составляющим вод бассейнов р. Иллинойс и оз. Мичиган США, расположенных на сходных с Украиной средних широтах.

Проведенные исследования, кроме того, подтверждают сделанный нами ранее вывод [2] об относительно утяжеленной (по дейтерию) воде открытых водотоков по сравнению с глубинными источниками. Судя по усредненным данным ( $\delta D$ ), приведенным в табл. 2, вода Венецианской протоки и Днепра систематически тяжелее воды обеих скважин, хотя различия не столь существенны, как обнаруженные в более южном регионе. Сказанное наглядно иллюстрируется и положением полей вод исследованных источников на увеличенном фрагменте диаграммы  $\delta D - \delta^{18}O$  (рис. 3). Особенно отчетливо это видно при сравнении воды Венецианской протоки (ВП) и расположенного рядом с ней бьюета (БГ). Т.е. эффект испарения в районе Киева проявлен слабее, чем в Кировоградском регионе, что может быть связано не только с климатическими различиями, но и с масштабом самих водотоков.

**Таблица 3.** Изменения сезонных значений  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  (‰) природных вод Украины.

Источник	Дата	Весна (-1...+23°)		Лето (+18-33°)		Осень (+6-25°)		Зима (-20...+2°)	
		$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$
Дн-К	1964			-61,0	-9,0				
Дс-Ч	1969			-77,0	-10,9				
Дн	1975			-81,4	-				
Дн-П1	1978			-96,0	-				
Дн-П2	То же			-88,0	-				
Дн-П3	То же			-85,4	-				
Дн-П4	То же			-55,0	-				
П1-1а	1978			-85,0	-				
П1-1б	То же			-54,5	-				
Дн-К*	1979-1980	-81,0	-					-69,0	-
ВП	2009-2010	-68,5	-9,6	-53,3	-7,4	-60,5	-7,2	-66,0	-8,9
ДГ	То же	-73,6	-9,8	-54,7	-7,9	-50,5	-6,9	-69,0	-8,8
БГ	То же	-70,0	-8,9	-63,7	-8,1	-63,5	-8,1	-72,5	-9,1
БС	То же	-69,2	-9,3	-67,3	-8,5	-60,0	-7,1	-69,0	-8,4
Дж, Сн	То же	-	-	-41,2	-4,6	-56,0	-8,9	-156,7	-15,5

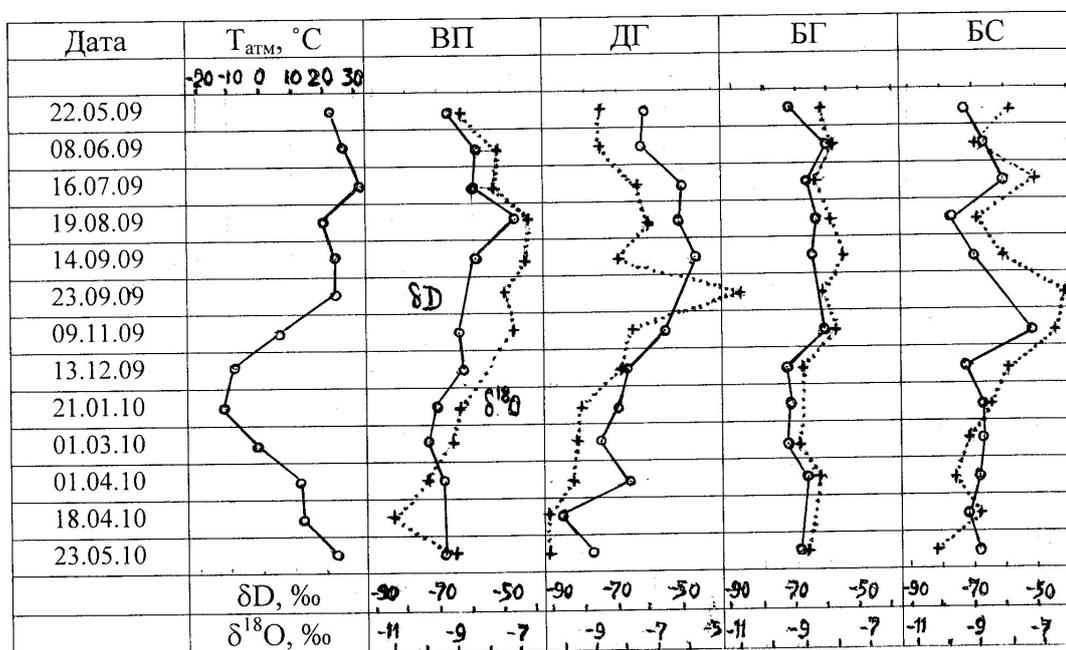
*Примечание.* В скобках указаны сезонные интервалы погодной температуры в период годового мониторинга 2009-2010 гг. Пробы: Дн-К – Днепр, Киев, Дс-Ч – Десна, Чернигов (В.Е. Ветштейн [1]). Дн – Днепр, место и время взятия пробы неизвестны (В.И. Ферронский и др. [6]). Дн-П1 – Днепр, правобережье в районе Кременчугского водохранилища, скважина; Дн-П2 – там же, родник; Дн-П3 – там же, колодцы (среднее по 9); Дн-П4 – там же, водоток р. Тясмин (Ю.Н. Демихов [2]). Дн-К\* – Днепр, Киев (Ю.Н. Демихов [2]). П1-1а – Северная лесостепная зона (колодцы, скважины, родники, 21 проба); П1-1б – то же (водотоки, 2 пробы) (Ю.Н. Демихов [2]). ВП, ДГ, БГ, БС, Дж, Сн – пробы годового мониторинга (табл. 1).

По этой же причине, возможно, вода Венецианской протоки систематически тяжелее (по дейтерию) воды Днепра, тем более что в районе Чернигова деснянская вода значительно легче (табл. 3). Значения  $\delta^{18}O$  во всех четырех источниках в среднем практически одинаковы, т.е. кислород с точки зрения изотопного критерия природных процессов, по-видимому, менее чувствителен, чем водород.

Годовой цикл изменения изотопного состава водорода и кислорода вод проявлен для всех изучаемых источников, хотя и несколько по-разному (табл. 2, рис. 4).

В открытых водотоках он проявился летне-осенним утяжелением Н и О вод и зимне-весенним их облегчением, также по обоим элементам. Некоторое расхождение экстремальных значений  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  во времени, вероятно, связано с разновременным воздействием на источники вод (Десну и Днепр) одних и тех же природных факторов, а именно сезонного изменения фазового состава вод и атмосферных осадков.

Так в Венецианской протоке в конце мая – начале июня 2009 г. вода заметно утяжеляется по обоим элементам, максимум значений  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  достигается к середине августа, в течение осени, начиная с середины сентября, и зимы она постепенно облегчается (также по обоим элементам). Минимум значений  $\delta D$  воды приходится на начало марта, а  $\delta^{18}O$  – на середину апреля 2010 г., в целом совпадая с весенним паводком. Отметим, что вода «экстремальных» проб (август и апрель) в точности соответствует линии метеорных вод (рис. 3), тогда как в переходных состояниях по соотношению  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  она смещается вправо от этой линии, т.е. равновесие параметров нарушается.



**Рис. 4.** Соотношение  $\delta D$  (сплошные линии) и  $\delta^{18}O$  (точечные линии) природных вод в исследуемых источниках бассейна реки Днепр (г. Киев), а также изотопных параметров с атмосферной температурой (°C) в этом районе.

В воде Днепра повышение содержания легких изотопов (против и  $^{16}O$ ) также происходит в зимние и весенние месяцы. Но минимум значений  $\delta D$  приходится на середину апреля 2010 г., смещаясь относительно минимума ВП более чем на месяц, существенно облегченной по дейтерию вода остается и в течение мая. Минимум  $\delta^{18}O$  воды фиксируется в апреле-мае 2010 г. Повышение в воде количества тяжелых изотопов (дейтерия и  $^{18}O$ ) совпадает с летними и осенними месяцами 2009 г., причем максимум по обоим элементам также смещен относительно ВП – на сентябрь (с «запаздыванием» по кислороду). Т.е. экстремальные точки воды в Днепре смещены относительно Десны.

Утяжеление воды открытых водотоков в наиболее жаркий и засушливый период года может быть связан с двумя основными причинами. Первая причина, а именно эффект испарения, была проанализирована нами ранее [2]. Подчеркнем только то, что уже отмечалось выше. В цитируемой работе исследовалась вода, района кировоградских

урановых месторождений, относящегося к значительно более южной области перехода лесостепного и степного ландшафтов с очевидным усилением континентальных аридных факторов климата. Район же нынешнего мониторинга принадлежит к северной лесостепной ландшафтно-геохимической зоне, притом к северной ее части с более влажным климатом, интенсивность испарения здесь существенно ниже.

Второй причиной, является смешение речной воды с атмосферными осадками, которые в этот период проявлены дождевыми циклонами. Как показало исследование дождевой воды в период с 03.06 2009 по 11.10.2009, последней присуще утяжеление как по водороду, так и (хотя и в меньшей степени) по кислороду. Значения  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  (‰) варьируют в пределах  $-55...-21$  (среднее по 5 пробам  $-37,2$ ) и  $-7,7...-1,8$  (среднее  $-4,8$ ) соответственно. Степень утяжеления, по-видимому, обусловлена долей в составе осадков испарений морской воды. Во всяком случае, дождевая вода циклонов с Балкан и Скандинавии в равной степени обогащена D и  $^{18}O$ ; соответственно:  $-30$ ;  $-3,5$  ‰ и (в среднем по 2 замерам)  $-38$ ;  $-3,6$  ‰. При этом деснянская вода (пробы серии ВП) в связи с меньшим общим объемом утяжеляется быстрее. Действенными, по всей вероятности, являются оба названных процесса.

Причинами облегчения воды этих же водотоков в весенний период являются как снижение степени испарения, так и максимальное проявление снеготаяния и, соответственно, добавление паводковых вод. Зимние осадки в период с 15.11.2009 по 22.02.2010 представлены ноябрьским дождем и зимними (южными) снежными циклонами. Вода тех и других обогащена протием и легким изотопом кислорода  $^{16}O$ , причем особенно легким по обоим элементам является снег. Так, если значения  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  (‰) ноябрьской дождевой воды составляют  $-91$  и  $-12,5$ , то соотношения этих изотопов снега снижаются до  $-156,7$  и  $-15,5$  соответственно (в среднем по трем пробам). Как и в случае летне-осеннего утяжеления воды открытых водотоков, ее весеннее облегчение в Венецианской протоке является опережающим.

В скважинах в рамках изотопного годового цикла также проявлено летне-осеннее утяжеление и зимне-весеннее облегчение воды по водороду и кислороду, но, если для воды бювета Святошино (БС) этот цикл мало отличается от открытых водотоков, то для бювета Гидропарка (БГ) он сильно сглажен (табл. 2, рис. 4).

Кривые  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  БС достаточно контрастны и синхронны, их синхронность нарушается только в весенний (март – апрель) период. В отличие от открытых водотоков для них характерен августовский минимум, который отчетливо проявляется на фоне летне-осеннего изотопного утяжеления (рис. 4). Этот бювет представляется нарушенной системой, открытой для поверхностных или близких к ним вод. Отмеченный минимум, вероятно, как раз и является следствием такого нарушения, тем более что отбору проб предшествовали сильные грозовые дожди и резкое похолодание – более чем на  $10^{\circ}C$ . Кроме того, изотопные параметры этой воды отличаются самой низкой коррелируемостью между собой ( $+0,55$ ).

Кривые  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  БГ синхронны, но не контрастны, значения изотопных параметров летне-осеннего и зимне-весеннего периодов выглядят на них платообразно. Эта скважина, несмотря на свое положение в непосредственной близости от Венецианской протоки, по-видимому, представляет собой относительно закрытую систему с замедленным водообменом с поверхностными водами. Об этом, в частности, свидетельствует наиболее высокий коэффициент корреляции между  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  ( $+0,99$ ). В целом же представляется, что подземные источники в достижении экстремальных значений обоих изотопных параметров запаздывают относительно открытых водотоков.

Судя по полученным результатам, исследованные источники, как артезианские бассейны, так и открытые водотоки, даже если они относительно связаны между собой, как, например, воды главного русла Днепра и Венецианской протоки или воды этой протоки и расположенной рядом скважины, имеют разные изотопные характеристики. Эти

характеристики могут иметь практическое применение и учитываться при определении степени закрытости или открытости (нарушенности) используемой водной системы.

**Таблица 4.** Изотопные характеристики природных вод исследуемых источников.

Источник	$\delta D$ (‰)			$\delta^{18}O$ (‰)			r $\delta D$ - $\delta^{18}O$
	n	пределы	среднее	n	пределы	среднее	
ВП	11	-72...-45	-62,4	12	-11,0...-6,8	-8,4	+0,82
ДГ	12	-87...-46	-64,2	13	-10,5...-4,5	-8,5	+0,99
БГ	11	-73...-60	-67,5	11	-9,3...-7,5	-8,5	+0,78
БС	12	-76...-51	-67,2	13	-10,4...-6,3	-8,5	+0,55
Дождь	6	-91...-21	-41,2	6	-12,5...-1,8	-6,1	-
Снег	3	-181...-111	-156,7	3	-21,6...-11,2	-12,2	-

В частности, приведенные в таблице 4 обобщающие изотопные характеристики, вполне могут рассматриваться как своего рода «паспортные» данные изученных (поверхностных и подземных) источников, хотя и только на ограниченный отрезок времени. В связи с таким ограничением считаем необходимым и полезным рекомендовать продолжение такого рода мониторинга, тем более с учетом его практической значимости.

### Выводы

1. Значения  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  воды изученных источников (Киев, северная лесостепная ландшафтно-геохимическая зона) составляют (‰): -87...-45, среднее по 46 пробам -65,3 и -11,0...-4,5, среднее по 49 пробам -8,5 соответственно. По сравнению с водой 23-х источников аналогичной зоны Кировоградского блока, опробованных в 1978 г., т.е. более 30 лет тому назад ( $\delta D$  -96...-54, среднее -83,5), нынешние пробы в среднем на 17 ‰ обогащены дейтерием. Более корректное сравнение данных 1978 года с летними пробами 2009 года (-76...-45, среднее -59,8) еще более усиливает эффект утяжеления воды. Мы не исключаем связи установленного факта с явлениями глобального потепления, что, безусловно, требует тщательной и длительной проверки.
2. Проведенные исследования подтверждают вывод об относительно утяжеленной (по дейтерию) воде открытых водотоков по сравнению с глубинными источниками. По усредненным значениям  $\delta D$  вода Венецианской протоки и Днепра систематически тяжелее воды обоих скважин, но различия менее существенны, чем в южном регионе. Эффект испарения в районе Киева, следовательно, проявлен слабее, чем в Кировоградском регионе. По кислороду различия не установлены.
3. Кроме испарения, на изотопный состав компонентов метеорных вод влияли (прямо и опосредованно) атмосферные осадки. Дождевой воде летне-осенних циклонов присуще утяжеление как по водороду ( $\delta D$  -55...-21; среднее по 5 пробам -37,2), так и, в меньшей степени, по кислороду ( $\delta^{18}O$  -7,7...-1,8; среднее -4,8). Степень утяжеления, по-видимому, обусловлена долей испарений морской воды в составе осадков. Вода ноябрьских дождей и зимних снежных циклонов, наоборот, обогащена протием и легким изотопом кислорода  $^{16}O$ , причем особенно легким по обоим элементам является снег. Значения  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  ноябрьской дождевой воды составляют -91 и -12,5, соотношения этих изотопов снега снижаются до -156,7 и -15,5 ‰ соответственно (в среднем по 3 пробам).
4. Годовой цикл изменения изотопного состава водорода и кислорода вод проявляется для всех изучаемых источников. В открытых водотоках он проявился летне-осенним утяжелением H и O вод и зимне-весенним их облегчением (по обоим элементам). Некоторое расхождение экстремальных значений  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  во времени, вероятно, связано с разновременным воздействием на источники вод сезонного изменения

- фазового состава вод и атмосферных осадков. В подземных источниках также проявлено летне-осеннее утяжеление и зимне-весеннее облегчение воды по водороду и кислороду, но, если для воды бьюета Святошино этот цикл мало отличается от открытых водотоков, то для бьюета Гидропарка он сильно сглажен.
5. Вода «экстремальных» проб (август и апрель), на примере Венецианской протоки, наиболее соответствует линии метеорных вод, тогда как в переходных состояниях по соотношению  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  она смещается вправо от этой линии, т.е. равновесие параметров в связи с фракционированием элементов нарушается. При этом подземные источники в достижении экстремальных значений обоих изотопных параметров запаздывают относительно открытых водотоков.
  6. Исследованные источники, относящиеся как к артезианским бассейнам, так и открытым водотокам, даже если они относительно связаны между собой, как, например, воды главного русла Днепра и Венецианской протоки или воды этой протоки и расположенной рядом скважины, имеют разные изотопные характеристики. Такие обобщающие изотопные характеристики, вполне могут рассматриваться как своего рода «паспортные» данные изученных (открытых и подземных) источников, хотя только на ограниченный отрезок времени.
  7. Опыт наших исследований показывает, что изотопные характеристики различных водных источников могут иметь сугубо практическое применение и учитываться при определении степени закрытости или открытости (нарушенности) используемой водной системы.

1. Ветштейн В. Е. Изотопы кислорода и водорода природных вод СССР. Ленинград: Недра, 1982. – 216 с.
2. Демихов Ю.Н., Фомин Ю.А. Дейтерий в природных водах центральной части Украинского щита. Геохімія та екологія. - Київ. – 2009. - Вип. 17. – С. 45-62.
3. Колодий В. В., Койнов И. М. Изотопный состав водорода и кислорода подземных вод Карпатского региона // Геохимия, 1984. - №5. – С. 721-733.
4. Ферронский В. И., Дубинчук В. Т., Поляков В. А. и др. Природные изотопы гидросферы. – Москва: Недра, 1975. – 280 с
5. Ферронский В. И., Поляков В. А. Изотопия гидросферы. Москва: Наука, 1983. – 280.
6. Коростышевский И. З., Демихов Ю. Н., Березовский Ф. И. Источники и оценка погрешностей масс-спектрометрического изотопного анализа водорода в природных водах. Isotopenpraxis, Bd. 18, N.1, p.10-15.
7. Коростышевский И.З., Березовский Ф.И., Демихов Ю.Н., Люта Н.Н. Взаимодействие гидрогалогенидов гуанидина с кислородсодержащими веществами – метод выделения кислорода для изотопного анализа // Журнал аналитической химии, т.40, №10, 1985.
8. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Металлические полезные ископаемые. Гурский А.Д., Есипчук К.Е., Калинин В.И. и др. – Киев – Львов: Центр Европы, 2005. – 785 с.
9. Міцкевич Б.Ф. Геохімічні методи розшуків та умови їх застосування на Україні і в Молдавії. – Київ: Наук. думка, 1965. – 128 с.
10. Міцкевич Б.Ф. Геохімічні ландшафти Українського щита. – Київ: Наук. думка, 1971. – 174 с.
11. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. Отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б.. Киев: Наук. Думка, 1995.-396с.
12. Закономерности образования и размещения урановых месторождений Украины. Отв. редактор Я.Н. Белевцев. Киев: 1968. – 763 с.
13. Тейлор Х.П. Применение изотопии кислорода и водорода к проблеме гидротермального изменения вмещающих пород и рудообразования. – В кн.: Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. Москва: Мир, 1977, с.213-298.

## **Фомін Ю.О., Деміхов Ю.М., Борисова Н.М. МОНИТОРИНГ ІЗОТОПНОГО СКЛАДУ ВОДНЮ І КИСНЮ ПРИРОДНИХ ВОД БАСЕЙНУ ДНІПРА (КИЇВ).**

*Вивчено зміну ізотопного складу (за час річного циклу) вод, відібраних з різних природних джерел: водотоків і свердловин басейну р. Дніпро, сезонних опадів у вигляді дощу та і снігу. Спільним для них є літньо-осіннє обтяження і зимова-весняне полегшення Н і О, але при цьому кожне джерело, незважаючи на ймовірний*

їхній зв'язок, має свою специфіку. Отримані результати можна використовувати при визначенні ступеня закритості водних систем.

**Fomin Yu. A., Demikhov Yu. N., Borisova N. N. MONITORING OF HYDROGEN AND OXYGEN ISOTOPIC COMPOSITION IN THE WATER OF THE DNEIPER BASIN (KYIV).**

*The change in isotopic composition (during the annual cycle) of waters taken from various natural sources: streams and wells in the Dnieper basin, the seasonal rainfall and snowfall has been investigated. Their common feature is the summer-autumn increasing and winter-spring decreasing of H and O, but each source, in spite of their possible relationship has its own specifics. The results can be used in determining the degree of closure of water systems.*