

УДК 550.341.5

А. В. Кирюхин, П. О. Воронин, А. Ю. Поляков,
А. В. Мушинский

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail avk2@kscnet.ru*

Измерение изотопии воды Камчатских термоминеральных источников и скважин на приборе IWA-35EP

Осуществлено опробование анализатора изотопного состава воды IWA-35EP. Получена хорошая сходимость и воспроизводимость при измерении заводских стандартов. В произведенной серии измерений образцов воды с Камчатских термоминеральных источников и скважин, получена удовлетворительная сходимость результатов измерений.

Введение

Изотопы — разновидности атомов одного и того же химического элемента, имеющие одинаковые заряд ядра и строение электронных оболочек, различающиеся по массе ядер. Разница масс обусловлена тем, что ядра изотопов содержат одинаковое число протонов p и различное число нейтронов n . Комбинации различных атомов-изотопов дают набор молекул-изотопологов.

Изотопологи — молекулы, различающиеся только по изотопному составу атомов, из которых они состоят. Изотополог имеет в своём составе, по крайней мере, один атом определённого химического элемента, отличающийся по количеству нейтронов от остальных. Молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Водород имеет два стабильных изотопа — протий (H) — ^1H и дейтерий (D) — ^2H . У кислорода три устойчивых изотопа: ^{16}O , ^{17}O и ^{18}O .

В большинстве своём химические элементы являются смесями нескольких изотопов, различающихся атомными весами. Для исследования изотопного состава применяется ряд методов, которые основаны либо непосредственно на различии атомных весов изотопов (масс-спектрометрический метод), либо на различии их физических свойств (денситометрический метод, рефрактометрический метод анализа воды, анализ газов по их теплопроводности, методы анализа по радиоактивным свойствам изотопов, спектральные методы по атомным и молекулярным спектрам).

В середине февраля 2014 г. в распоряжение лаборатории тепломассопереноса поступил анализатор изотопного состава воды IWA-35EP, что позволило проводить соответствующие анализы.



Рис. 1. Анализатор изотопного состава воды IWA-35EP

Технические данные

Анализатор изотопного состава воды компании Los Gatos Research (США) IWA-35EP¹ (рис. 1) — прибор для измерения изотопного состава воды. Частота измерений при стандартной процедуре выполнения операций (6 проб для одного образца) составляет 150 рядовых и 30 контрольных проб в день. IWA-35EP также способен проводить измерения содержания $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{2}\text{H}$ в водяных парах.

IWA-35EP оснащён встроенным компьютером с процессором x86 и операционной системой Linux, под управлением которого производятся измерения.

¹<http://www.lgrinc.com/analyzers/overview.php?prodid=16&type=isotope>

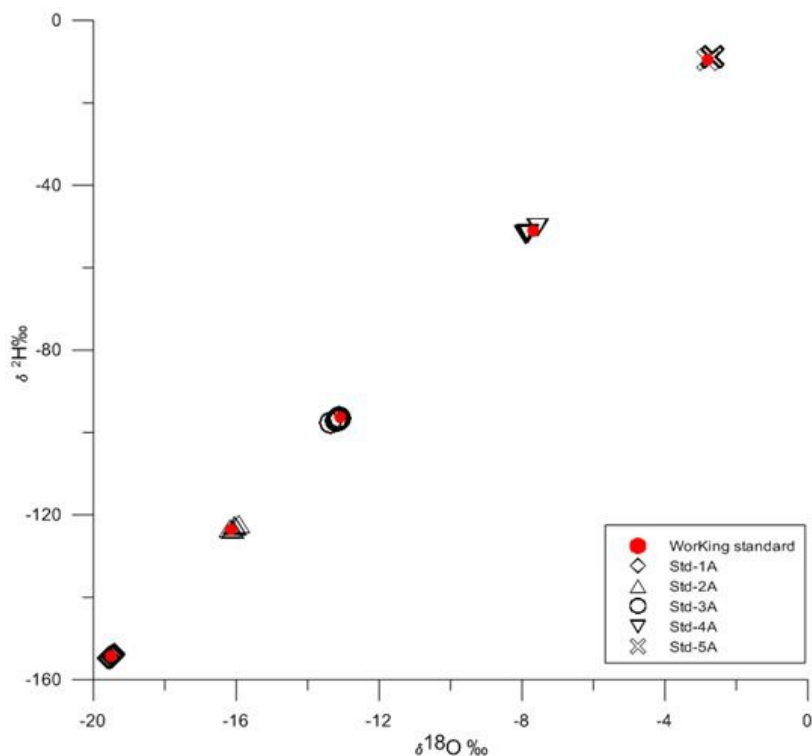


Рис. 2. Сопоставление результатов изотопии эталонов на приборе с их реальными значениями.

Таблица 1. Документированные значения заводских стандартов.

Название	δD ‰	Погрешность стандарта ‰	$\delta^{18}O$ ‰	погрешность стандарта ‰
Str-1A	-154,30	0,50	-19,50	0,15
Str-2A	-123,60	0,50	-16,14	0,15
Str-3A	-96,40	0,50	-13,10	0,15
Str-4A	-51,00	0,50	-7,69	0,15
Str-5A	-9,50	0,50	-2,80	0,15

Компьютер позволяет хранить данные, как на внутреннем жестком диске, так и отправлять их в режиме реального времени на устройство регистрации данных через разъемы USB или Ethernet. Он также снабжен постпроцессором, позволяющим сделать работу пользователя более продуктивной, сократить время, затрачиваемое на обработку данных, и обеспечить диагностику данных и системы.

Программное обеспечение для пост-анализа LGR автоматически выполняет вычисление точных значений изотопного состава воды на основании т.н. «сырых» — (RAW) аналитических измерений на основании фактических значений эталонных образцов (стандартов VSMOW)

Дополнительно, имеется функция удаленного доступа. Благодаря этому, оператор может получить доступ к прибору, используя веб-браузер практиче-

ски в любом месте, где есть Интернет. Более того, удаленный доступ делает возможным получение и совместное использование данных, осуществление диагностики работы прибора без пребывания на рабочем месте.

Технические характеристики

Точность (1σ):

Высокопроизводительный режим «High Performance»

0,06 ‰ для $\delta^{18}O$

0,1 ‰ для δ^2H

Режим с высокой пропускной способностью «High Throughput»

0,1 ‰ for $\delta^{18}O$

0,3 ‰ for δ^2H

Пропускная способность: максимум 1080 проб в день

Объем пробы: 1 μL на пробу

Минерализация: < 4%

Температура измеряемых образцов: 5–50 °C

Диапазон рабочих температур: 0–45 °C

Влажность окружающего воздуха: 0–100% RH (без образования конденсата)

Предварительные результаты

Тестирование прибора осуществлялось с использованием стандартов, предоставленных фирмой-изготовителем прибора. Результаты тестирования можно увидеть на рис. 2. В ходе анализа эталонов прибор показал удовлетворительную точность и сходимость (табл. 1, табл. 2). В результате чего было

Таблица 2. Измеренные значения заводских стандартов.

Название	Измерение 1		Измерение 2		Измерение 3		Измерение 4	
	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰
Std-1A	-153.749	-19.405	154.346	-19.516	154.879	-19.585	154.624	-19.550
Std-2A	-123.502	-16.090	123.501	-16.107	122.270	-15.940	122.883	-16.030
Std-3A	-97.753	-13.368	-96.453	-13.118	-97.151	-13.214	-96.794	-13.161
Std-4A	-50.296	-7.567						
Std-5A	-9.500	-2.800						
Название	Измерение 5		Измерение 6		Измерение 7		Измерение 8	
	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰
Std-1A	-154.421	-19.480	154.773	-19.538	154.087	-19.451	154.000	-19.433
Std-2A	-123.338	-16.181	122.531	-16.056				
Std-3A	-96.541	-13.079	-96.997	-13.146				
Std-4A					-51.724	-7.848	-52.007	-7.905
Std-5A					-8.989	-2.691	-8.792	-2.653
Название	Измерение 9		Измерение 10		Измерение 11		Измерение 12	
	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰
Std-1A	-154.028	-19.431	154.073	-19.451	154.068	-19.438	153.997	-19.437
Std-2A								
Std-3A								
Std-4A	-51.916	-7.911	-51.768	-7.848	-51.787	-7.888	-52.019	-7.892
Std-5A	-8.856	-2.648	-8.959	-2.691	-8.946	-2.663	-8.785	-2.661
Название	Измерение 13		Измерение 14		Измерение 15			
	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰		
Std-1A	-154.034	-19.447	154.075	-19.447	154.065	-7.699		
Std-2A								
Std-3A								
Std-4A	-51.899	-7.861	-51.763	-7.862	-51.796	-7.882		
Std-5A	-8.868	-2.682	-8.962	-2.681	-8.939	-2.667		

принято решение начать работу непосредственно с образцами воды.

На данный момент было проанализировано 6 образцов воды: сепарат с Верхне-Мутновская ГеоЭС, вода из горячего источника Аверий (Долина Гейзеров, июнь 2011), вода из горячего источника № 56 (Долина Гейзеров), вода из горячего источника Аверий (Долина Гейзеров, октябрь 2011), вода из скважины № 26 (Мутновская ГеоЭС), вода из скважины № 48 (Быстринское МПК). Было произведено 9 замеров каждого образца, часть замеров были забракова-

ны самим прибором и постпроцессором. Результаты анализа представлены на рис. 3 и в табл. 3.

Для получения дальнейших данных необходимо набрать статистику по результатам анализов имеющихся образцов, что и будет сделано в ближайшее время.

Выводы

1. Получены первые результаты на новом приборе Isotopic Water Analyser-35EP (Los Gatos Research, США)

Таблица 3. Измеренные значения исследуемых образцов рис. 3.

Название	с/н	дата отбора образца	№ замера	δD ‰	$\delta^{18}O$ ‰
Скв. 48	Ак 2011-8	05.07.2011	2	-81,205	-3,163
Скв. 48	Ак 2011-8	05.07.2011	3	-79,759	-3,070
Скв. 48	Ак 2011-8	05.07.2011	4	-80,685	-3,100
Скв. 48	Ак 2011-8	05.07.2011	5	-79,882	-3,021
Скв. 48	Ак 2011-8	05.07.2011	7	-80,610	-3,203
Скв. 48	Ак 2011-8	05.07.2011	8	-80,222	-3,070
Скв. 48	Ак 2011-8	05.07.2011	9	-80,501	-3,122
Скв. 26	АК 2011-37	06.09.2011	1	-93,277	-10,495
Скв. 26	АК 2011-37	06.09.2011	2	-94,802	-10,694
Скв. 26	АК 2011-37	06.09.2011	3	-94,873	-10,908
Скв. 26	АК 2011-37	06.09.2011	5	-94,321	-10,707
Скв. 26	АК 2011-37	06.09.2011	7	-94,039	-10,767
Скв. 26	АК 2011-37	06.09.2011	8	-93,921	-10,652
Скв. 26	АК 2011-37	06.09.2011	9	-93,947	-10,645
Аверий	АК 2011-46	16.10.2011	1	-90,275	-8,114
Аверий	АК 2011-46	16.10.2011	3	-90,919	-8,396
Аверий	АК 2011-46	16.10.2011	5	-91,095	-8,264
Аверий	АК 2011-46	16.10.2011	6	-90,509	-8,215
Аверий	АК 2011-46	16.10.2011	7	-90,130	-8,241
Аверий	АК 2011-46	16.10.2011	8	-90,288	-8,208
Аверий	АК 2011-46	16.10.2011	9	-90,080	-8,180
#56 ДГ	АК 2011-38	15.10.2011	1	-90,822	-10,584
#56 ДГ	АК 2011-38	15.10.2011	3	-94,487	-11,204
#56 ДГ	АК 2011-38	15.10.2011	4	-93,271	-11,097
#56 ДГ	АК 2011-38	15.10.2011	8	-92,361	-10,609
#56 ДГ	АК 2011-38	15.10.2011	9	-92,257	-10,592
Аверий	АК 2011-10	18.06.2011	1	-87,992	-7,500
Аверий	АК 2011-10	18.06.2011	2	-89,168	-7,864
Аверий	АК 2011-10	18.06.2011	3	-89,957	-8,041
Аверий	АК 2011-10	18.06.2011	7	-88,573	-7,796
Аверий	АК 2011-10	18.06.2011	8	-88,290	-7,699
Аверий	АК 2011-10	18.06.2011	9	-88,554	-7,720
Сепарат В.-М.	Ак 2011-36	05.09.2011	1	-92,684	-8,885
Сепарат В.-М.	Ак 2011-36	05.09.2011	3	-93,491	-9,038
Сепарат В.-М.	Ак 2011-36	05.09.2011	4	-92,785	-8,988
Сепарат В.-М.	Ак 2011-36	05.09.2011	5	-92,299	-8,819
Сепарат В.-М.	Ак 2011-36	05.09.2011	6	-93,276	-8,847
Сепарат В.-М.	Ак 2011-36	05.09.2011	7	-92,425	-8,883
Сепарат В.-М.	Ак 2011-36	05.09.2011	8	-91,925	-8,688
Сепарат В.-М.	Ак 2011-36	05.09.2011	9	-91,524	-8,580

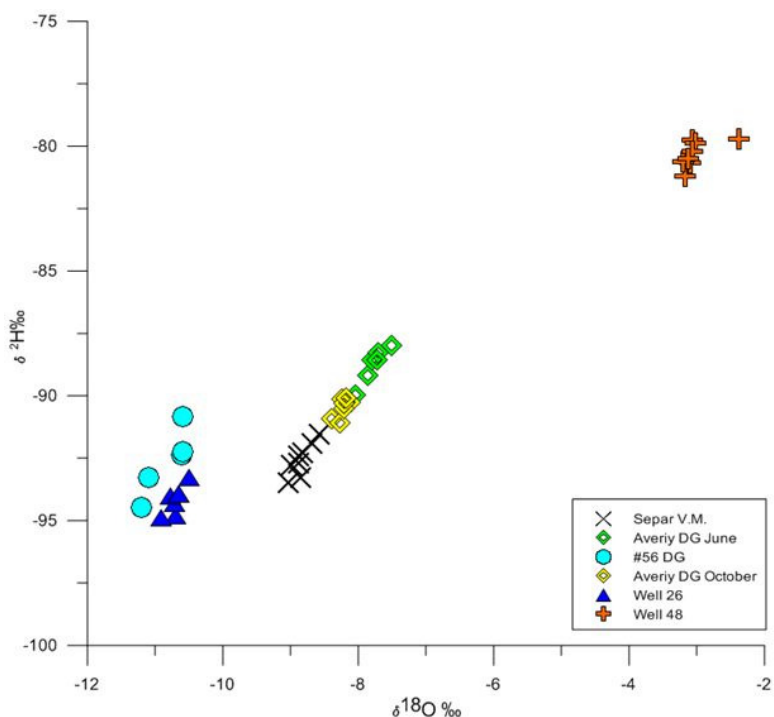


Рис. 3. Результаты замеров по шести образцам: сепарат с Верхне-Мутновская ГеоЭС, вода из горячего источника Аверий (Долина Гейзеров, июнь 2011), вода из горячего источника №56(Долина Гейзеров), вода из горячего источника Аверий (Долина Гейзеров, октябрь 2011), вода из скважины № 26 (Мутновская ГеоЭС), вода из скважины №48 (Быстринское МПК)

2. Получена хорошая сходимость и воспроизводимость прибора по измерениям изотопного состава заводских стандартов, что позволяет начать измерения образцов воды с природных объектов. Погрешность измерений стандартов: $\pm 0,5\text{‰}$ по дейтерию, $\pm 0,15\text{‰}$ по кислороду

3. В результате измерений первых 6 образцов воды с Камчатских термоминеральных источников

и скважин, получена удовлетворительная сходимость в серии из 9 измерений

Список литературы

1. Isotopic Water Analyzer IWA-35-EP User Manual [Электронный ресурс]: руководство пользователя / Los Gatos Research. — Mountain View, 2013. — 1 CD-ROM.