

## Проникновение локальных метеорных вод в Мутновский продуктивный геотермальный резервуар, по данным исследований изотопного состава воды ( $\delta D$ , $\delta^{18}O$ )

**А.Ю. Поляков**

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

На основании многолетних анализов изотопного состава ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) сепарата продуктивных скважин Мутновского геотермального месторождения, обнаружены признаки проникновения локальных метеорных вод в Мутновский геотермальный резервуар.

### Введение

Первые, наиболее достоверные анализы проб термальных вод на изотопный состав ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ), из продуктивных скважин Мутновского геотермального месторождения, были получены при опытно-эксплуатационных выпусках в 1995-1999 г., когда они отбирались из жидкой части (сепарата) двухфазной смеси, полученной после разделения в аттестованном промышленном сепараторе [7]. Пробы, полученные в процессе эксплуатации Мутновского геотермального месторождения (2000-2016гг.), отбирались аналогичным образом. Так же проводился отбор проб холодных и термоминеральных вод Мутновского геотермального месторождения для измерения их изотопного состава [2-6]. Результаты измерений, полученные из холодных источников и водотоков, не требуют дальнейшей обработки, в случае же отбора проб из пароводяных скважин и кипящих источников, необходим пересчет на изотопное фракционирование [7]. Изменение изотопного состава термальных вод, отобранных как до так и во время промышленной эксплуатации Мутновского продуктивного геотермального резервуара, позволяют следить за его состоянием.

### Результаты измерений

Выполненные гидро- изотопные измерения показали, что относительно фоновых (не нарушенных эксплуатацией) значений изотопного состава термальных вод из продуктивных скважин Мутновского геотермального месторождения, полученные при опытно-эксплуатационных выпусках в 1995-1999 г. ( $-14.2\text{‰} < \delta^{18}O < -15.5 \text{‰}$  и  $-109 \text{‰} < \delta D < -118 \text{‰}$ ), за 5 лет эксплуатации месторождения (2003-2004 гг.) изменений практически не обнаружено ( $-14.3\text{‰} < \delta^{18}O < -15.5 \text{‰}$  и  $-107 \text{‰} < \delta D < -118 \text{‰}$ ) (рис. 1).

Однако, после последующей 10 летней эксплуатации месторождения, полученные данные показывают утяжеление изотопного состава термальных вод, как по  $\delta^{18}O$ , так и  $\delta D$  ( $-13.1\text{‰} < \delta^{18}O < -15.5 \text{‰}$  и  $-104 \text{‰} < \delta D < -113 \text{‰}$ ) (рис. 1).

Более наглядно процесс утяжеления изотопов представлен на рис. 2, где приведены гистограммы распределения  $\delta D$  в сепарате скважин Мутновского геотермального месторождения в зависимости от даты отбора проб (относительно фонового уровня в 1998 г., утяжеление изотопного состава по  $\delta D$  до 6‰ в 2014-2015 гг.).

Наиболее вероятной причиной этого может являться проникновение в Мутновский продуктивный геотермальный резервуар локальных метеорных вод, которыми являются метеорные осадки выпадающее на абсолютных отметках высот, близких к абсолютным отметкам Мутновского геотермального месторождения.

Типичным примером локальных метеорных вод являются воды рек Фальшивая и Жировая, изотопный состав которых более тяжел ( $-11,5\text{‰} < \delta^{18}O < -13,5 \text{‰}$  и  $-82 \text{‰} <$

$\delta D < -93 \text{ ‰}$ ), чем фоновые значения изотопного состава термальных вод продуктивных скважин Мутновского геотермального месторождения.

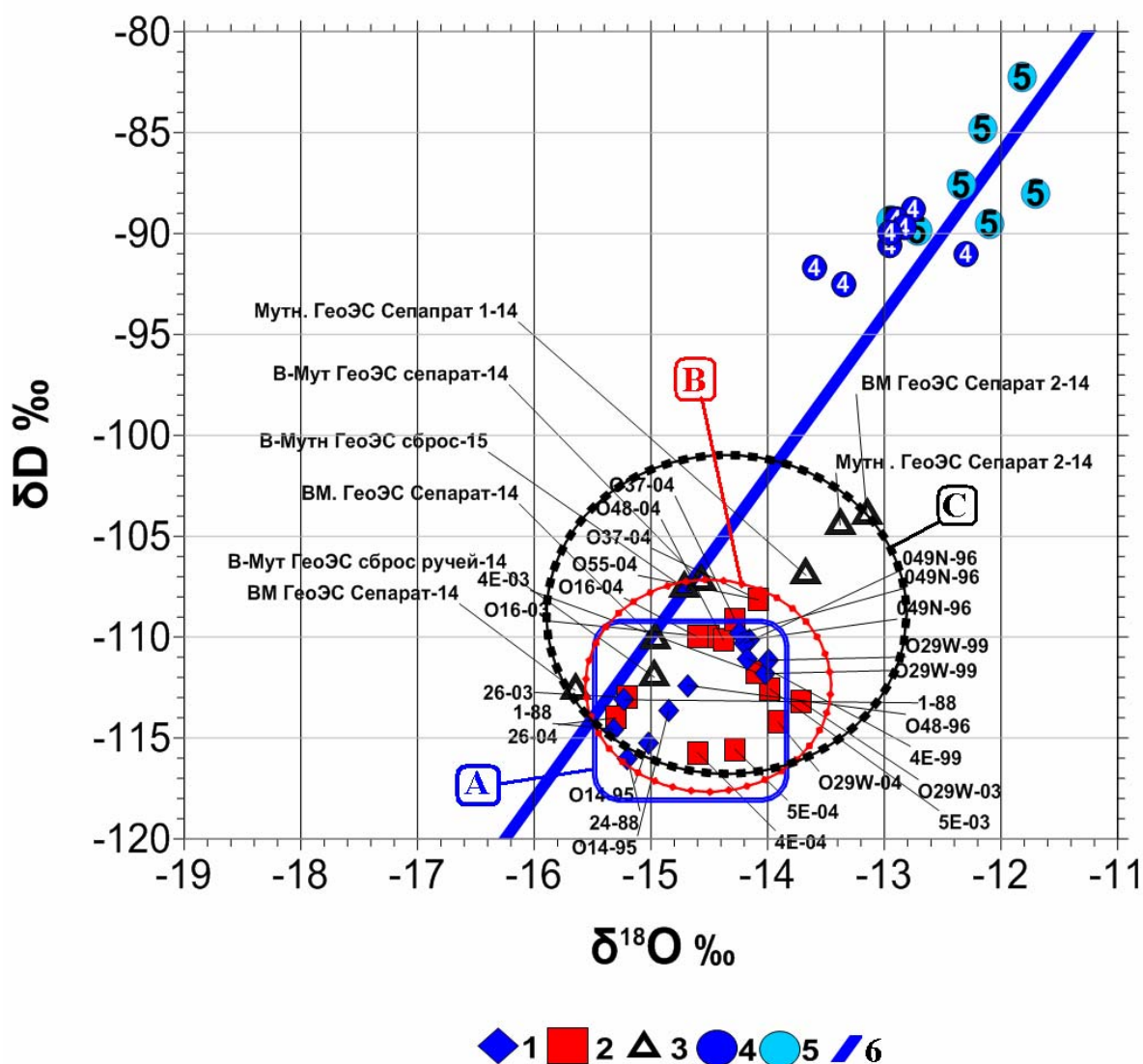


Рис 1. Распределение  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  в сепарате скважин и локальных метеорных водах, Мутновского геотермального месторождения. Отбор проб осуществлялся А.В. Кирюхиным и А.Ю. Поляковым.

Пробы сепарата, отобранные: 1- в 1995-1999 гг.; 2- в 2003-2004; 3- в 2015-2015; 4- вода из р. Жировая, отбор проб осуществлялся в 2014, 2015 гг.; 5- вода из р. Фальшивая, отбор проб осуществлялся в 1999, 2014, 2015 гг.; 6- метеорная линия (линия Крейга); А, В, С – группирование по годам отбора.

При регулярном мониторинге изотопного состава вод скважин Мутновского геотермального месторождения, могут быть определены зоны притока локальных метеорных вод в продуктивный геотермальный резервуар и локализованы скважины, участвующие в этом процессе.

Анализ образцов за 1995 г. был осуществлен М.Такахаси (Геологическая служба Японии), образцы за 1988, 1998, 1999, 2003 гг. проанализированы В.А. Поляковым и В. Бобковым (ВСЕГИНГЕО, Москва), образцы за 2005, 2009-2015 гг., анализировались П.О. Ворониным, А.Ю. Поляковым (ИВиС) на анализаторе

изотопного состава воды компании Los Gatos Research США, (<http://www.lgrinc.com/analyzers/overview.php?prodid=16&type=isotope>) - IWA-35EP.

### Выводы

В результате многолетних наблюдений за изотопным составом термальных вод продуктивных скважин и холодных и термоминеральных вод в Мутновском геотермальном районе, зарегистрировано утяжеление изотопного состава сепарата, особенно контрастное по  $\delta D$ , проявившееся через 10 лет промышленной эксплуатации месторождения.

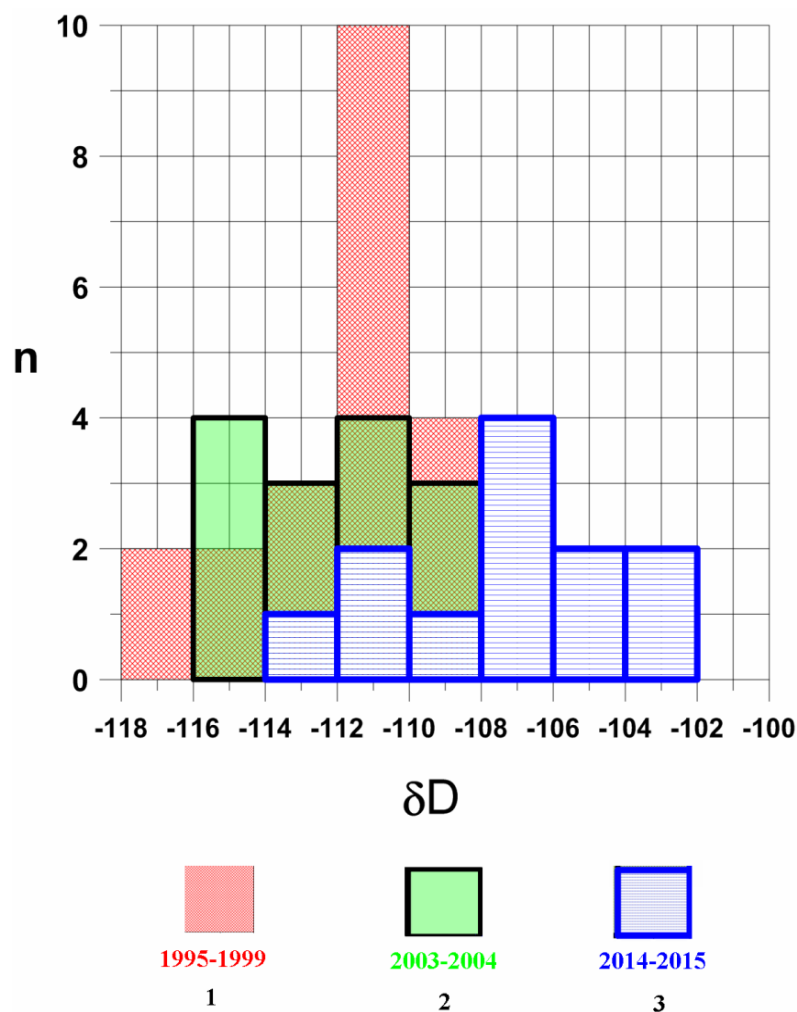


Рис 2. Гистограммы распределения  $\delta D$  в сепарате скважин Мутновского геотермального месторождения в зависимости от даты отбора проб. 1-1995-1999 гг.; 2 - 2003-2004гг; 3 - 2014-2015 гг.: n-число измерений.

Единственным источником такого утяжеления могут являться локальные метеорные воды, примером которых служат воды бассейнов рек Фальшивая и Жирова (-11,5‰ <  $\delta^{18}O$  < -13,5 ‰ и -82 ‰ <  $\delta D$  < -93 ‰).

Учитывая контрастный состав локальных метеорных вод и геотермальных флюидов Мутновского месторождения, регулярный мониторинг изотопного состава термальных вод добычных скважин Мутновского месторождения и анализ вариации изотопного состава по конкретным скважинам может быть использован для выявления зон притока локальных метеорных вод в продуктивный геотермальный резервуар.

Работы выполнялись при поддержке грантов РНФ 16-17-10008 и РФФИ 15-05-00576.

### Список литературы

1. *Кирюхин А.В.* Моделирование эксплуатации геотермальных месторождений // Владивосток, 2002. 195 с.
2. *Кирюхин А.В., Асаулова Н.П., Вереина О.Б. и др.* Оценка влияния инфильтрации при эксплуатации высокотемпературных геотермальных месторождений (Паужетского и Мутновского месторождений, Камчатка, Россия) // «Вулканонология и сейсмология», 2014, №3, с. 24-36.
3. *Кирюхин А.В., Кирюхин В.А., Манухин Ю.Ф.* Гидрогеология вулканогенов // С-Петербург, Наука, 2010, 395 с.
4. *Кирюхин А.В., Такахаши М., Поляков А.Ю. и др.* Исследование условий водного питания Мутновского геотермального месторождения с использованием данных по изотопии кислорода ( $^{18}\text{O}$ ) и водорода (D) // Вулканонология и сейсмология. 1998. №4-5. С.54-62.
5. *Поляков А.Ю., Кирюхин А.В., Воронин П.О. и др.* Исследования изотопного состава воды в Мутновском геотермальном районе (вулкан, месторождение, Нижне Жировской источник, Родниковый), влияние фазового фракционирования.// Научная конференция, посвящённая дню вулканолога ИВиС ДВО РАН «Вулканизм и связанные с ним процессы» 29 – 30 марта 2016 г. с.416-424.
6. *Kiryukhin A.V., Maguskin M.A., Miroshnik O.O. et al.* Modeling and Observations of the Enthalpy, Pressure, Chloride, CO<sub>2</sub> and Vertical Deformation Transient Change in the Mutnovsky Geothermal Field (Kamchatka, Russia) // PROC., Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013, 8 p.
7. *Кирюхин А.В., Словцов И.Б., Фазлуллин С.М. и др.* Отчет по договору № 32 от 15.09.98 г по теме “Подготовка программы испытаний скважин, проведение работ по газогидрохимическому опробованию скважин и составление отчета, обобщающего данные опытных выпусков теплоносителя“, предусмотренных в составе работ по контракту № 589/35806573/8-0002/02”. Петропавловск-Камчатский, ИВ ДВО РАН, 2000, 23 с.