Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCI, 1982 г.

УДК 556.388

О ПРИМЕНЕНИИ ГЕЛИЯ В КАЧЕСТВЕ ТРАССЕРА ПРИ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАБОТАХ

Н.И.ВАСИЛИХИН, В.К.УЧАЕВ

В последнее время в практике гидрогеологических исследований все более заметное место занимают индикаторные методы. С помощью запусков индикаторов в поток подземных вод можно получать основные миграционные параметры водоносных горизонтов (эффективную пористость или трещиноватость, коэффициент гидродисперсии, сорбционную емкость), необходимые для решения прогнозных задач загрязнения подземных вод. С другой стороны, комплексируя индикаторные методы с опытно-фильтрационными работами, можно существенно повысить информативность последних. В частности, так можно детализировать разрез водоносного горизонта по фильтрационным свойствам, определять их площадную анизотропию, оценивать вертикальную проницаемость водоносных пород и вертикальную взаимосвязь между различными горизонтами и подгоризонтами.

Немаловажное значение имеет выбор трассера. Общеизвестны основные требования, предъявляемые к трассерам: они должны быть дешевыми, нетоксичными, легко определяемыми в полевых условиях даже в незначительных концентрациях и, наконец, их фоновые содержания в природной воде должны быть значительно меньше, чем концентрации, создаваемые в ходе эксперимента. Чаще всего в качестве трассеров используются хлориды (обычно растворы NaCl и $CaCl_2$), различные красители, а также радиоактивные индикаторы.

К сожалению, эти индикаторы не лишены недостатков, которые при определенных условиях заметно снижают эффективность опытно-миграционных работ, а иногда становятся причиной получения заведомо неверной информации. Так, например, при повышенном содержании хлор-ионов в подземных водах (несколько сотен миллиграммов на литр) необходимо использовать более концентрированный индикаторный раствор хлоридов, что влечет за собой недопустимое увеличение плотности последнего по сравнению с природной водой. Основным препятствием к применению красителей является отсутствие серийных полевых приборов, с помощью которых можно количественно определять небольшие концентрации красителей в воде. Радиоактивные индикаторы,

хотя и свободны от перечисленных недостатков, не всегда пригодны по санитарным соображениям. Кроме того, применение их связано с дополнительными техническими трудностями.

Отсутствие универсального индикатора заставляет искать новые, обладающие необходимыми свойствами. К их числу можно отнести растворенный в воде газообразный гелий. Как инертный газ гелий не вступает ни в какие химические взаимодействия с подземным флюидом и вмещающими породами. Он достаточно стабилен в широком термодинамическом диапазоне, практически не сорбируется породами.

Растворимость гелия в воде достаточно высока: при его стопроцентной концентрации над водной поверхностью, атмосферном давлении и температуре 5 °С в I л воды может раствориться 9 мл гелия. Повышение температуры увеличивает растворимость гелия, хотя и в меньшей степени, чем повышение давления. Наличие в воде повышенных концентраций других газов, в том числе и часто встречающихся в подземных условиях азота и метана, заметно увеличивает растворимость гелия[x].

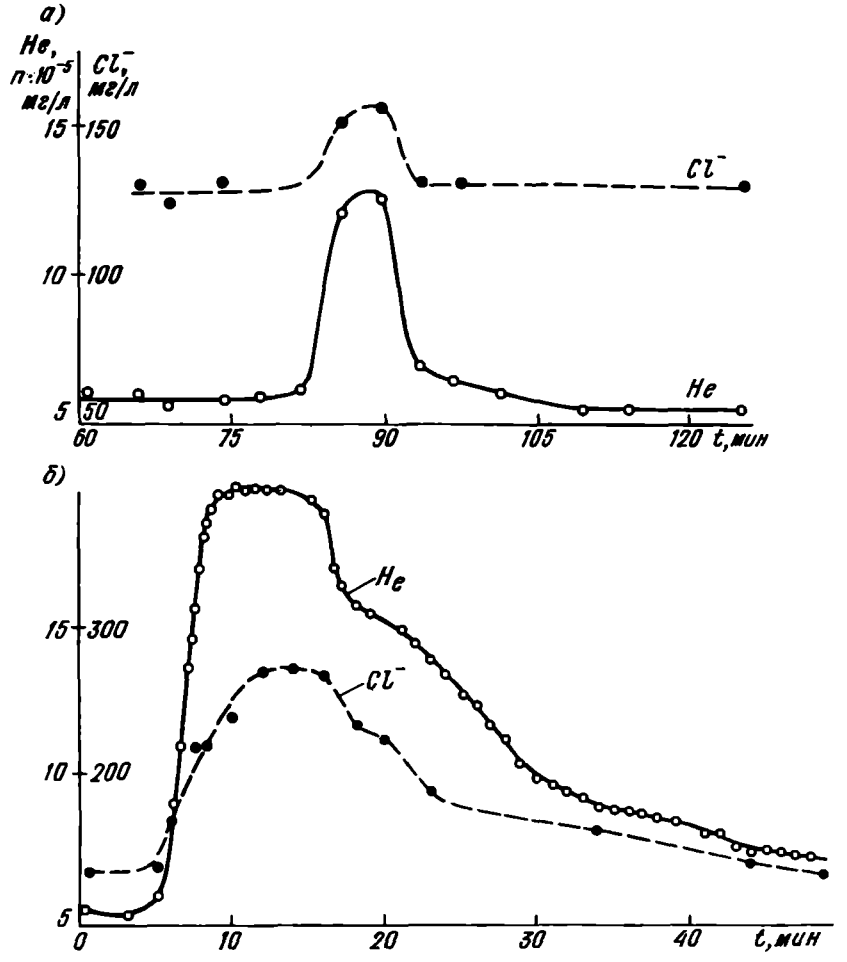
Итак, все эти, обычно одновременно действующие в природных условиях, факторы увеличивают возможность растворения гелия. Единственным сдерживающим фактором является минерализация воды. Так, при молярной концентрации NaCl (58,5 г/л) в I л воды может раствориться не 9 мл, а только 7,6 мл гелия, при двухмольной - 6 мл, при пятимольной - около 4 мл. Однако, этот фактор не может препятствовать использованию гелия как трассера в высокоминерализованных подземных водах, поскольку концентрация исходных рабочих растворов, а также растворов, регистрируемых в точках наблюдений значительно (на три-четыре порядка) ниже фактического предела растворимости гелия в указанных условиях.

С целью отработки методики использования гелиевого индикатора в условиях трещиноватых пород нами были проведены одновременные запуски гелиевого и солевого индикатора в ходе кустовой откачки на Самодедском месторождении подземных вод в Архангельской области. Откачка с дебитом I54 $м^3$/ч производилась из центральной скважины, оборудованной щелевым фильтром на всю тридцатиметровую мощность верхнекарбонового водоносного горизонта. Водопроводимость верхнекарбонового водоносного горизонта, сложенного трещиноватыми известняками и доломитами, по данным откачки, составила около 700 $м^2$/сутки, причем по результатам расходометрии скважин опытного куста было установлено, что основная доля водопроводимости (около 80 %) может быть отнесена к нижней, наиболее трещиноватой части водоносного горизонта, мощность которой составляет около 6 м.

Индикаторный раствор запускался в скважины, удаленные от центральной соответственно на 5 и 60 м. Первый опыт был проведен с запуском индикатора в дальнюю наблюдательную скважину. Раствор трассера готовился в емкости объемом I,4 $м^3$, где было растворено I2 кг NaCl . Непосредственно перед запуском растворялось и I,5 л газообразного гелия, причем полного

---

[x] Яницкий И.Н. Гелиевая съемка. М., Недра, 1979.



Выходные индикаторные кривые для иона хлора Cl^- и гелия He, полученные при запуске трассера в дальнюю (а) и ближнюю (б) скважины

растворения гелия достичь не удалось и концентрация его в емкости в момент запуска составляла около $5 \cdot 10^{-2}$ мл/л. Приход иона хлора регистрировался с помощью химического анализа проб откачиваемой воды. Фоновое содержание хлора составило 135 мг/л. Содержание гелия измерялось при помощи магниторазрядного индикатора гелия „ИНГЕМ-1"[x]. Чувствительность прибора по водной фазе, равная $(1 \div 5) \cdot 10^{-5}$ мл/л, примерно соответствует фоновому содержанию гелия в откачиваемой воде. Продолжительность налива индикаторного раствора в скважину 4 мин. Через 80 мин после окончания запуска в откачиваемой воде было зарегистрировано одновременное появление повышенных концентрация гелия и хлора (см.рисунок, а). На основании

[x] Намиот А.Ю., Бондарева М.М. Растворимость газов под давлением. М., Гостоптехиздат, 1963.

индикаторной кривой были определены значения активной трещиноватости пласта

$$n = Q t_0 / \pi m r^2,$$

где Q - расход откачки, м^3/ч; t_0 - время прихода максимальной концентрации трассера к центральной скважине, ч; r - расстояние между запускной и центральной скважинами, м; m - мощность водоносного горизонта. В результате расчета получено $n = 7 \cdot 10^{-4}$ м.

Если принять во внимание, что индикатор следовал прежде всего по наиболее проницаемой нижней шестиметровой зоне водоносного горизонта, то активную трещиноватость этой зоны можно считать равной $3{,}3 \cdot 10^{-3}$.

Запуск трассера в ближнюю скважину проводился при расходе откачки 81 м^3/ч. Регистрация содержания иона хлора и гелия в откачиваемой воде производилась непрерывно при помощи резистивиметра и прибора „ИНГЕМ-1". Периодический контроль за содержанием хлора осуществлялся по данным химического анализа. Рассчитанные по аналогичной схеме значения активной трещиноватости водоносного горизонта и его наиболее проницаемой зоны составили соответственно $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ и $1{,}1 \cdot 10^{-2}$.

Выводы

1. Отработана методика эксперимента, включающая приготовление гелиенасыщенного раствора, запуск его в скважину и регистрацию содержания гелия в откачиваемой воде в непрерывном режиме одновременно с определением содержания иона хлора.

2. Разработана схема регистрации прихода гелия с использованием самопишущего потенциометра, что позволяет получать выходную индикаторную кривую в точке наблюдения непосредственно в процессе опыта.

3. Сопоставление выходных кривых по гелию и хлору позволяет считать, что при достижении более высокой степени растворимости гелия, что технически вполне осуществимо, выходная кривая по гелию должна быть значительно более четкой и дифференцированной, чем по хлору. Последнее обстоятельство даст возможность определять параметры дисперсии водоносного горизонта на основании аналогичных опытов.

4. Использование гелия как трассера при опытно-фильтрационных работах не связано с большими затратами и может быть с успехом применено в полевых условиях, особенно при значительной минерализации подземных вод.