

УДК 556.33.4.04

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СЛОИСТОЙ ТОЛЩИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОГО ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННОГО И ОПЫТНО-МИГРАЦИОННОГО ОПРОБОВАНИЯ**

Канд. геол.-минер. наук М.М. Бураков  
Канд. геол.-минер. наук Д.А. Касымбеков  
В.В. Недюжин  
А.В. Набока

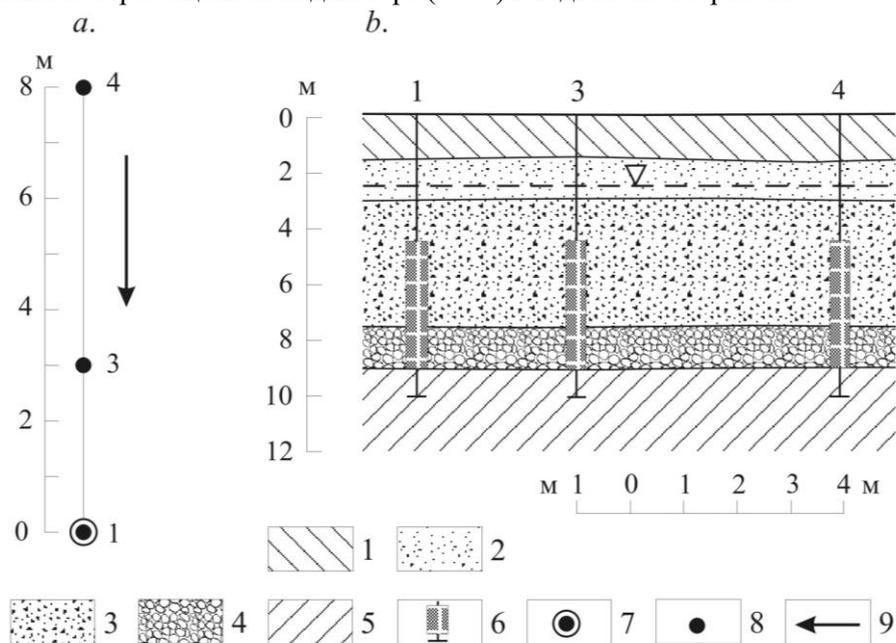
*Рассматриваются методические проблемы оценок фильтрационных и миграционных параметров слоистых водоносных толщ и их распределения по разрезу водоносного пласта на базе комплексирования его опытно-фильтрационного (опытные откачки) и опытно-миграционного (индикаторные опыты) опробования.*

В последнее время многие исследователи обращают внимание на возможность и перспективы комплексирования опытно-фильтрационного (ОФО) и опытно-миграционного опробования (ОМО) водоносных систем для повышения информативности первых с целью изучения проницаемости по разрезу изучаемого пласта [4, 10]. Наиболее часто при этом применяются «пакетные» или «импульсные» запуски трассеров в инъекционные скважины опытных кустов на поздних этапах кустовых откачек [4, 9, 10]. Интерпретация осуществляется из предпосылки послойного переноса индикатора в условиях плановой фильтрации. Требования, предъявляемые к опытным скважинам для организации в них ОМО, приведены в [4, 5, 10] – они по важнейшим показателям совпадают с требованиями к подготовке возмущающей и наблюдательных скважин при проведении ОФО: скважины должны вскрывать пласт на всю мощность и быть оборудованными единой фильтровой колонной.

Рассмотрим возможность и перспективы комплексирования ОФО и ОМО для дифференциации миграционных и фильтрационных параметров по разрезу опробуемого пласта на конкретном примере. Этот тем более важно, что, несмотря на довольно значительное число публикаций по проблемам ОМО водоносных пластов (см., например, [1, 2, 4-14]), миграционные опыты до сих пор остаются достаточно редким событием, и поэтому часто возникают проблемы с их методическим обеспечением в ча-

сти проведения ОМО и обработки его результатов с учетом особенностей принятой методики проведения миграционного опыта.

Целью проведенных опытно-миграционных работ на левобережье р. Илек в Западном Казахстане ставилось определение миграционных параметров аллювиального среднечетвертичного-современного ( $aQ_{II-IV}$ ) водоносного горизонта в долине реки, а также, по возможности, вертикальная дифференциация миграционных и фильтрационных параметров горизонта. Для этого использовался куст скважин 1 (план и разрез куста представлены на рис. 1), по которому проводилась опытная кустовая откачка; на завершающем этапе откачки выполнено ОМО водовмещающих отложений – велись наблюдения за перемещением индикатора ( $NaCl$ ) в водоносном горизонте.



- 1 – супесчаный почвенно-растительный слой; 2 – пески разнозернистые;  
 3 – пески с гравием и галькой; 4 – гравийно-галечниковые отложения;  
 5 – верхнепермские глины; 6 – интервал установки фильтра;  
 7 – возмущающая скважина; 8 – наблюдательная (3) и инъекционная (4) скважины; 9 – направление естественного потока грунтовых вод.

Рис. 1. Схема (а) и разрез (б) опытного куста 1 (долина р. Илек, по данным В.В. Недюжина, Т.Н. Рыхлюк, 2005 г.)

Аллювиальный водоносный горизонт в районе опытного куста 1 безнапорный, представлен песками с включением гравия и гальки, а в нижней части разреза – гравийно-галечниками (см. рис. 1); его общая

мощность на момент опробования составляла 6,7 м. По данным бурения в разрезе водоносного горизонта достаточно отчетливо выделяется верхний, песчаный, слой мощностью на момент опробования  $m_1 = 5,2$  м и нижний, гравийно-галечный, мощностью  $m_2 = 1,5$  м. Средний дебит откачки  $Q$  во время проведения индикаторного опыта оказался равен  $13,7$  м<sup>3</sup>/ч. Значение водопроницаемости всей толщи водовмещающих отложений  $T$ , полученное по результатам откачки, предшествующей индикаторному опыту, около  $53,5$  м<sup>2</sup>/ч (или около  $1280$  м<sup>2</sup>/сут).

Миграционный опыт выполнялся по схеме с одной откачивающей скважиной (опробование при откачке), индикатор запускался в инъекционную скважину, а приход его фиксировался в наблюдательной скважине (см. рис. 1а). Запуск индикаторного раствора ( $0,4$  м<sup>3</sup> исходной пластовой воды с минерализацией  $1,9$  г/дм<sup>3</sup>, в которую был добавлено  $2,4$  кг индикатора  $NaCl$ , обеспечивающего повышение общей минерализации исходного раствора до  $8$  г/дм<sup>3</sup>) был произведен в совершенную инъекционную скважину 4, расположенную в  $8$  м от центральной (см. рис. 1а); весь объем воды с индикатором был равномерно подан на весь интервал установки фильтровой колонны (на глубине от  $4,5$  до  $9$  м от поверхности земли) за  $10$  мин. Иными словами концентрационный режим опыта соответствовал «импульсному» вводу индикатора в инъекционную скважину.

Регистрация прихода индикатора велась путем отбора проб воды из наблюдательной скважины 3, отстоящей в  $3$  м от центральной, штанговым насосом через заданные интервалы времени от начала опыта. Для исключения влияния разбавления индикаторного раствора водой из труб штангового насоса каждый раз перед забором пробы производилась прокачка воды по объему составляющей не менее  $1,5...2$  внутреннего объема труб – около  $6...7$  дм<sup>3</sup>; реально объем пробы составлял не менее  $20...25$  дм<sup>3</sup>, что составляет заметную часть внутреннего объема воды в стволе наблюдательной скважины (около  $40$  дм<sup>3</sup>). Наличие индикатора в пробе оценивалось по изменению кажущегося электрического сопротивления раствора электролита (пластовой воды), которое определялось комбинированным прибором Ц437. При этом кажущееся сопротивление пластовой воды в исходном состоянии составило  $\rho^0 = 720$  Ом, а сопротивление пластовой воды с индикатором в исходной емкости –  $\rho_0 = 113$  Ом.

Полагая, что минерализация воды обратно пропорциональна ее электрическому сопротивлению,

$$C = \frac{\tilde{A}}{\rho}, \quad (1)$$

где  $\tilde{A}$  – некоторая постоянная прибора, можем представить результаты опыта в виде выходной кривой относительной минерализации раствора. На рис. 2 выходная кривая относительной концентрации индикатора  $\bar{C}(r, t)$  представлена следующим образом:

$$\bar{C}(r, t) = \frac{C(r, t) - C^0}{C_0 - C^0}. \quad (2)$$

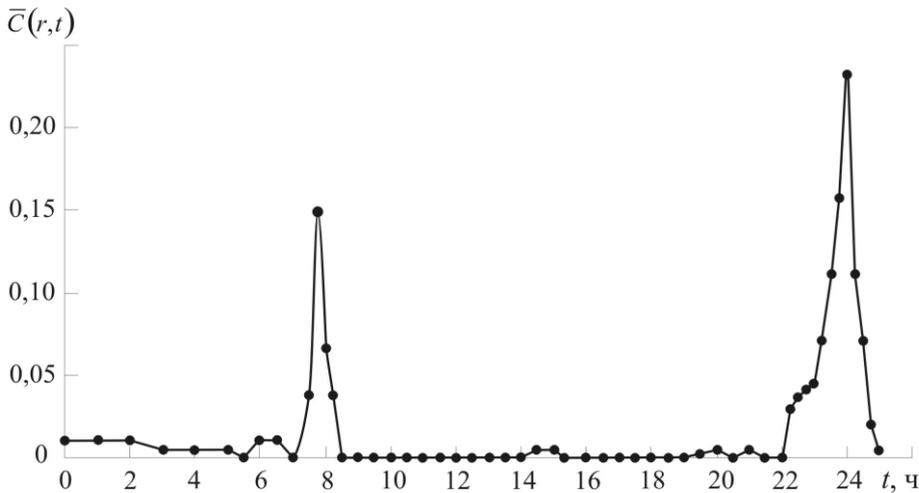


Рис. 2. Выходная кривая относительной концентрации индикатора (NaCl) в наблюдательной скважине 3.

Здесь  $C(r, t)$  – текущая концентрация индикатора;  $C^0$  – концентрация индикатора в подземных водах (ПВ); в нашем случае – минерализация ПВ;  $C_0$  – концентрация индикатора в растворе, подаваемом в инъекционную скважину (в нашем случае – минерализация этого раствора). С учетом (1) в уравнении (2) за величину текущей минерализации раствора  $C(r, t)$  брались текущие обратные значения кажущегося сопротивления раствора с индикатором –  $\frac{\tilde{A}}{\rho(r, t)}$ , за концентрацию индикатора в подземных водах,

$C^0$ , – обратное значение кажущегося сопротивления пластовой воды –  $\frac{\tilde{A}}{\rho^0}$ , а за концентрацию индикатора в растворе, подаваемом в инъекцион-

ную скважину,  $C_0$ , – обратное значения сопротивления пластовой воды с индикатором в исходной емкости –  $\frac{\tilde{A}}{\rho_0}$ .

Как следует из рис. 2, в наблюдательной скважине 3 установлен приход двух максимумов индикатора; первый фиксируется в наблюдательной скважине через 7,75 ч после его запуска в инъекционную скважину; второй – через 24 ч.

Для обработки результатов миграционных опытов – оценки активной пористости и коэффициента продольной гидродинамической дисперсии – в [4, 5] предлагается ориентироваться на осредненное значение скорости фильтрации, заменяя радиальную фильтрационную схему плоскопараллельной. В этом случае можно воспользоваться следующей расчетной зависимостью:

$$C(r,t) = \frac{M}{2 r m d_c \xi \sqrt{\frac{\pi t}{Pe t_0}}} \exp \left[ - \frac{\left( 1 - \frac{t}{t_0} \right)^2}{\frac{4t}{Pe t_0}} \right], \quad (3)$$

$$Pe = \frac{r}{\delta_l}, \quad t_0 \cong \frac{\pi r^2}{q} n,$$

где  $M$  – масса индикатора, поданного в инъекционную скважину;  $r$  – удаление инъекционной скважины от центральной;  $m$  – мощность водоносного горизонта;  $d_c$  – диаметр инъекционной скважины;  $\xi$  – коэффициент искажения потока вблизи скважины (для скважины, совершенной по характеру вскрытия,  $\xi = 2$ );  $t$  – время от начала опыта;  $t_0$  – момент фиксации максимальной концентрации индикатора;  $\delta_l$  – параметр продольной гидродинамической дисперсии, отражающий геометрию порового или трещинного пространства;  $q$  – удельный дебит откачки;  $Pe$  – параметр Пекле.

Формула (3) справедлива при не слишком низких скоростях фильтрации, т.е. когда молекулярной диффузией можно пренебречь по сравнению с гидродинамической дисперсией. Определение активной пористости непосредственно по моменту прихода максимума концентрации индикатора, как следует из третьей формулы в (3), оправдано, если значения параметра  $Pe$  измеряются, как минимум, десятками.

Вместе с тем, в [5, 14] отмечается, что при существенном превышении концентрации индикатора в растворе, запускаемом в инъекционную скважину, над минерализацией ПВ наблюдается значительная плотностная конвекция индикатора. В результате ее может заметно искажаться текущая концентрация индикатора в точке его фиксации по разрезу водоносного пласта (при этом момент прихода максимума концентрации в точку не смещается), а также концентрация индикатора, осредненная по всей мощности водовмещающих отложений, так что достоверно установить величину параметра продольной гидродинамической дисперсии  $\delta_l$  при относительно высокой чувствительности концентрации к изменению параметра  $Pe$  в формуле (3) часто не удается. Кроме того, в процессе индикаторного опыта отбирались довольно значительные по объему пробы воды для анализа в них концентрации индикатора. Соответственно полученные величины этой концентрации уже не отвечали представлению о мгновенном ее значении. По этой причине по результатам выполненного миграционного опыта оценивается только активная пористость; параметра  $\delta_l$  оценивался на иной методической основе.

Как отмечалось ранее, на выходной кривой относительной концентрации индикатора отчетливо выделяются два максимума ( $t_{1,max} = 7,75$  ч и  $t_{2,max} = 24$  ч), существенно сдвинутые один относительно другого (см. рис. 2); следствием этого являются два рассчитанных выше значения активной пористости. По всей вероятности, пики максимальной концентрации индикатора связаны с различной продолжительностью прохождения индикаторной волны по слоям водоносного горизонта с различной проницаемостью: первый максимум (с характеристиками  $\bar{C}_{1,max}$  и  $t_{1,max}$ ) отвечает миграции в нижнем гравийно-галечниковом слое с наибольшей проницаемостью (см. рис. 1b), а второй (с характеристиками  $\bar{C}_{2,max}$  и  $t_{2,max}$ ) – переносу индикатора в верхнем песчаном, менее проницаемом, слое (см. рис. 1b).

Полагая, во-первых, что дисперсионные параметры слоев различаются между собой незначительно и, во-вторых, что при отборе проб воды из наблюдательной скважины штанговым насосом за счет удаления большей части воды из скважины обеспечивалась достаточная представительность этих проб, для условий миграционного опыта по кусту 1 можно записать [4, 5].

$$Q_1 + Q_2 = Q, \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{C_{1,max} - C^0}{C_{2,max} - C^0}, \quad (4)$$

$$t_{1,max} = \frac{\pi m_2 (r_4^2 - r_3^2) n_2}{Q_2}, \quad t_{2,max} = \frac{\pi m_1 (r_4^2 - r_3^2) n_1}{Q_1}, \quad (5)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – водопритоки в центральную скважину соответственно из верхнего и нижнего слоев;  $m_1$  и  $m_2$  – мощности верхнего и нижнего проницаемых слоев;  $n_1$  и  $n_2$  – активная пористость верхнего и нижнего слоев;  $r_3$  и  $r_4$  – расстояния от центральной до соответственно наблюдательной и инъекционной скважин куста. Остальные обозначения прежние.

Как и прежде, при расчетах по второй формуле в (4) можно напрямую использовать значения кажущегося электрического сопротивления раствора индикатора и ПВ; значения последних равны соответственно  $\rho_{1,max} = 400$  Ом и  $\rho_{2,max} = 320$  Ом. С учетом указанных значений сопротивлений получаем,

что отношение  $\frac{Q_2}{Q_1} \cong 0,640$ . Отсюда находим  $Q_1 = 8,35$  м<sup>3</sup>/ч, а  $Q_2 = 5,35$  м<sup>3</sup>/ч.

Как уже отмечалось, по данным бурения в разрезе водоносного горизонта отчетливо выделяется верхний, песчаный, слой мощностью на момент опробования  $m_1 = 5,2$  м и нижний, гравийно-галечный, мощностью  $m_2 = 1,5$  м. Подставляя все известные параметры опытного куста и характеристики опытной откачки и миграционного опыта, получаем, что  $n_1 = 0,223$  и  $n_2 = 0,160$ .

Вычисленные  $n_1$  и  $n_2$  в целом хорошо отвечают общей пористости и гравитационной емкости  $\mu$  водовмещающих отложений. Обращает на себя внимание относительно низкое значение активной пористости гравийно-галечников в нижнем проницаемом слое. С другой стороны, известно, что с возрастанием крупности частиц рыхлых обломочных пород общая пористость уменьшается, иными словами, экспериментально установленная величина активной пористости не является экстремальной. Отсюда следует вывод о хорошей промытости и отсортированности гравийно-галечников, т.е. об относительно малом количестве в них песчаного заполнителя.

Все произведенные оценки миграционных параметров базируются на предположении, что эффектами молекулярной диффузии при обработке опытных данных можно пренебречь. Это предположение требует экспе-

риментального обоснования. В качестве критерия его применимости выступает параметр  $Pe$ . Как уже отмечалось ранее, предположение о возможности пренебрежения эффектами молекулярной диффузии справедливо, если значение числа Пекле  $Pe$ , установленное из эксперимента, измеряется, как минимум, десятками.

Независимыми исследованиями в районе опытного куста 1 установлен параметр продольной гидродинамической дисперсии, отражающий геометрию порового пространства,  $\delta_1$ . Расчеты числа Пекле, выполненные по второму уравнению в (3), в котором вместо  $r$  подставлено значение  $(r_4 - r_3)$ , показали, что число Пекле для опытов по кусту 1  $Pe > 40$ . Это значение параметра  $Pe$  указывают на обоснованность пренебрежения молекулярной диффузией при интерпретации опытных данных.

Результаты выполненного миграционного опыта являются прекрасным дополнением к данным опытной кустовой откачки и обеспечивают всю необходимую информацию для решения задачи дифференциации разреза водоносного горизонта по фильтрационным параметрам. В соответствии с существующими методическими подходами в процессе обработки результатов ОМО используются те же графики изменения концентрации трассера в откачиваемой воде, т.е. в возмущающей скважине, либо графики изменения концентрации трассера в наблюдательных скважинах (см. рис. 2). Если на таком графике достаточно четко выделяются отдельные пики концентрации, отвечающие времени  $t_{j,max}$  поступления индикатора с водой в возмущающую или наблюдательную скважины по слоям с существенно различающимися коэффициентами действительной скорости фильтрации  $k_j$ , то [4, 5]

$$k_j = \frac{\pi T r^2}{Q t_{j,max}}, \quad T_j = \frac{\pi T r^2 (m_j n_j)}{Q t_{j,max}}, \quad \sum_{j=1}^N T_j = T, \quad (6)$$

где  $n_j$  – динамическая (активная) пористость  $j$ -того слоя;  $m_j$  – мощности  $j$ -того проницаемого слоя;  $N$  – количество слоев, выделенных в разрезе водоносного горизонта. Остальные обозначения прежние.

Для правильной диагностики опытов необходима, как и прежде, информация о временной последовательности привноса трассера в скважину из отдельных слоев, что, как следует из результатов приведенного опыта, реально при малом (2...3) их числе и при достаточно различающихся скоростях движения жидкости по ним. Соответственно точность

приведенных построений существенно повышается в важном для нас частном варианте разреза водоносного пласта, когда пласт содержит слой с резко увеличенной проницаемостью.

Подставив известные величины параметров во вторую формулу в (6), в которой, как и прежде в (5), вместо  $r^2$  берется  $(r_4^2 - r_3^2)$ , а значения  $t_{1,max}$  и  $t_{2,max}$  отвечают моментам прихода индикатора, соответственно, по нижнему и верхнему проницаемым слоям, получаем, что водопроницаемость верхнего проницаемого слоя  $T_1 \cong 32,6 \text{ м}^2/\text{ч}$ , а нижнего  $T_2 \cong 20,9 \text{ м}^2/\text{ч}$ . Соответственно коэффициенты фильтрации верхнего,  $K_1$ , и нижнего,  $K_2$ , проницаемых слоев составляют:  $K_1 \cong 6,3 \text{ м/ч}$ ;  $K_2 \cong 13,9 \text{ м/ч}$ . Таким образом, результаты миграционного опыта обеспечивают дифференциацию также и фильтрационных параметров водовмещающих отложений по разрезу.

В представленном виде методика проведения и интерпретации опытов с трассерами по своим результатам не вполне отчетливо стыкуется с результатами обработки данных прослеживания уровня при откачках, т.е. при ОФО водоносного пласта. Так, дифференциация коэффициентов фильтрации по вертикали требует определения независимыми методами величин  $n_j$ , т.е. дифференциации значений активной пористости по разрезу водоносного пласта, что при проведении ОМО на практике далеко не всегда возможно и тем существенно снижает ценность опытов с трассерами.

Целесообразно поэтому дополнить обработку результатов ОМО методикой, рассмотренной в работе В.Г. Самойленко [10]. Она отличается тем, что с графиков изменения концентрации индикатора помимо величин  $t_{j,max}$  снимаются значения  $\Delta C_j = C_{j,max} - \sigma C_{j-1} - C^0$  ( $C_{j,max}$  – пик концентрации,  $C^0$  – фоновая, а  $\sigma C_{j-1}$  – остаточная концентрации трассера в зонах рассеяния предшествующих пиков).

Используя предпосылку, например, для двухслойного пласта  $\frac{K_1}{K_2} = \frac{\Delta C_2}{\Delta C_1}$ , нетрудно найти, что

$$K_1 = \frac{T - K_2 m_2}{m_1}, \quad K_2 = \frac{T \Delta C_1}{m_1 \Delta C_2 + m_2 \Delta C_1}.$$

Таким образом, эта методика в целом полнее отвечает данным ОМО, полнее использует полученные в результате такого опробования опытные данные.

Анализ решений задачи о фильтрации в трехслойной толще, полученные в работе [3], показывает нецелесообразность оценки параметров слоев на базе только ее ОФО. Обязательным в этом случае становится применение расходомерии (или термометрии) скважин при откачках или наливах. Предпочтительным также становится использование результатов ОМО.

Вместе с тем, приходится признать, что методика ОМО применительно к индикаторным опытам, аналогичным описанному, еще очень далека от своего завершения. Так, в частности, существенное значение для проведения и интерпретации результатов ОМО имеет выбор индикатора. В соответствии с современными представлениями полевые эксперименты проводятся последовательно с инертным веществом и собственно загрязнителями. Первым необходимым требованием для выбора индикатора является его невысокая стоимость. В этом плане к наиболее доступным относятся легкорастворимые соли электролитов, такие как  $NaCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $NH_4Cl$ , а также красящие вещества (например, флуоресцеин, метиленовая синька и др.). При использовании перечисленных электролитов производится регистрация в растворе иона хлора (инертного к большинству типов горных пород) аргентометрическим методом [4, 5]. Точность такого химического анализа на хлор-ион в полевых условиях составляет 5...7 %.

Регистрация электролитов целесообразна также резистивиметрией; концентрация индикатора отчетливо проявляется в кажущемся электрическом сопротивлении раствора. При этом резистивиметры могут располагаться непосредственно в наблюдательных или возмущающей скважинах на заданной глубине, а измерение концентрации индикатора может осуществляться непрерывно. Это позволяет существенно снизить трудоемкость проведения индикаторных опытов.

Однако основная проблема не в методах регистрации индикаторов (химических или физических), а в соответствии полученных абсолютных значений концентраций индикатора принятой модели миграции. Неопределенность такого соответствия резко возрастает при опробовании слоистой толщи, когда становится необходимым установить величины концентраций индикатора, осредненные по нескольким проницаемым слоям. Особенно зримо эта неопределенность проявляется в наблюдательных скважинах.

Так, неясной становится степень разбавления в стволе наблюдательной скважины индикатора, поступившего в нее по одному из проницаемых слоев, водой из другого слоя, и соответствие экспериментально установленной концентрации индикатора модельному значению концен-

трации. Это модельное значение должно характеризовать осредненную на всю мощность водовмещающих отложений, с учетом существующего поступления ПВ в скважину по всем проницаемым слоям, концентрацию индикатора (в вертикальном сечении водоносного пласта, пространственно совпадающем с вертикальным сечением наблюдательной скважины, ориентированным перпендикулярно направлению потока ПВ). В то же время пробы воды отбираются (или резистивиметр устанавливается в стволе наблюдательной скважины) чаще всего на уровне одного и того же горизонтального сечения ствола скважины, характеризующего в этом случае только один проницаемый слой.

Эта задача как будто бы упрощается при регистрации индикатора в возмущающей скважине; при откачке осреднение его концентрации выполняется автоматически в водоподъемной трубе (в которой устанавливается резистивиметр), и полученное значение концентрации индикатора точно отвечает модельному, учитывающему интенсивности потоков ПВ по всем проницаемым слоям в разрезе водоносного пласта. С другой стороны, индикаторные опыты при откачках проводятся чаще всего по схеме с «импульсным» (реже по схеме с «пакетным») вводом индикатора в инъекционную скважину. Такая экспериментальная схема, как известно [4, 5], обладает рядом недостатков, основным из которых является сильное разбавление индикатора в откачиваемой воде и весьма малое время его регистрации; в частности, коэффициент разбавления имеет порядок  $\frac{\pi r}{d_C}$  (здесь,

как и прежде,  $r$  – расстояние от возмущающей до инъекционной скважины;  $d_C$  – диаметр инъекционной скважины), а продолжительность фикса-

ции индикатора в возмущающей скважине –  $\frac{4\pi n d_{Ц} \sqrt{\delta_1 r}}{q} + t_H$  (где  $d_{Ц}$  –

диаметр возмущающей скважины;  $t_H$  – продолжительность поддержания заданной концентрации индикатора в инъекционной скважине; остальные обозначения прежние).

В этом случае, безусловно, большое преимущество дает применение радиоактивных индикаторов [4, 5]:

- гарантируется надежная регистрация метки даже в условиях весьма сильного разбавления (например, в воде откачивающей скважины), и поэтому отпадает необходимость приготовления концентрированных растворов;

- существует достаточно широкий выбор разнообразных изотопов, в том числе весьма инертных;
- представляется возможность использовать высокочувствительные методы контроля радиоактивной метки в стволе скважины (в любом его горизонтальном сечении и непрерывно), не прибегая к отбору проб.

Применение радиоактивных индикаторов, вместе с тем, часто связано со значительными трудностями организационного характера, обусловленными особыми требованиями к транспортировке и хранению изотопов, ограниченным допуском специалистов к работе с изотопами. Это, наряду с отрицательной реакцией органов санитарной инспекции, делает пока радиоиндикаторные методы малодоступными для широкого круга гидрогеологов.

Подобно методам регистрации радиоактивных индикаторов в возмущающих скважинах, с помощью резистивиметра можно осуществлять, как уже отмечалось, непрерывную запись кажущегося электрического сопротивления раствора в ПВ индикатора-электролита (в том числе и значительно разбавленного).

Использование для фиксации прихода такого индикатора наблюдательной скважины требует либо отбора пробы воды, по объему соответствующей объему воды в стволе скважины (в такой пробе концентрация индикатора осредняется автоматически), либо установки в скважине нескольких резистивиметров (стольких, сколько выделено в разрезе водоносного пласта проницаемых слоев). Эти резистивиметры целесообразно размещать в стволе скважины в местах, примерно отвечающих середине каждого проницаемого слоя. Непрерывная запись концентраций индикатора в проницаемых слоях обеспечивает достаточно простую процедуру осреднения концентрации по мощности пласта:

$$C(r, t) = \frac{\sum_{j=1}^N c_j(t) m_j}{\sum_{j=1}^N m_j},$$

где  $c_j(t)$  – измеренное мгновенное значение концентрации индикатора в пределах  $j$ -того слоя. Остальные обозначения прежние.

Аналогия между процессами массо- и теплопереноса позволяет применять для оценки миграционных параметров также тепловые индикаторы. Последние по сравнению с солевыми имеют ряд преимуществ: исключаются из рассмотрения сорбционные эффекты, появляется возможность непрерыв-

ной регистрации выходных данных по термодатчикам, отпадает необходимость приготовления больших объемов солевых растворов. Тем не менее, эффективность теплоиндикаторных методов, нацеленных на получение параметров массопереноса, нуждается в дополнительном анализе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.С., Ананьева Е.А. Опыт накопления пресных вод в водоносных пластах с солеными водами // Обзор. ВИЭМС. Гидрогеология и инженерная геология. – М.: ВИЭМС, 1975. – 41 с.
2. Алексеев В.С., Коммунар Г.М., Шержуков Б.С. Массоперенос в водонасыщенных горных породах // Итоги науки и техники. Сер. Гидрогеология. Инженерная геология. – М.: ВИНТИ, 1989. – Т. 11. – 143 с.
3. Веригин Н.Н., Дзекцер Е.С. Неустановившаяся фильтрация вблизи каналов и дрена в многослойных грунтах // Известия АН СССР. Механика жидкости и газа. – 1967. – № 1. – С. 170-174.
4. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Опыт-миграционные работы в водоносных пластах. – М.: Недра, 1986. – 240 с.
5. Мироненко В.А., Румынин В.Г., Учаев В.К. Охрана подземных вод в горнодобывающих районах (опыт гидрогеологических исследований). – Л.: Недра, 1980. – 320 с.
6. Опыт-фильтрационные работы / Под ред. В.М. Шестакова и Д.М. Башкатова. – М.: Недра, 1974. – 203 с.
7. Решение задач охраны подземных вод на численных моделях / Г.Н. Гензель, Н.Ф. Карачевцев, П.К. Коносавский и др. – М.: Недра, 1992. – 240 с.
8. Рошаль А.А. Методы определения миграционных параметров // Обзор. ВИЭМС. Гидрогеология и инженерная геология. – М.: ВИЭМС, 1980. – 65 с.
9. Рошаль А.А. Полевые методы определения миграционных параметров // Обзор. ВИЭМС. Гидрогеология и инженерная геология. – М.: ВИЭМС, 1981. – 63 с.
10. Самойленко В.Г. Гидрохимическая дифференциация вертикальной неоднородности водопроницаемости водоносных горизонтов // Управление ресурсами подземных вод. – Ташкент: САИГИМС, 1985. – С. 3-16.
11. Самсонов Б.Г., Рубейкин В.З., Самсонова Л.М. Методы изучения ореолов рассеяния вещества в подземных водах // Обзор. ВИЭМС. Гидрогеология и инженерная геология. – М.: ВИЭМС, 1978. – 57 с.
12. Самсонов Б.Г., Самсонова Л.М. Миграция вещества и решение гидрогеологических задач. – М.: Недра, 1987. – 118 с.

13. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод. Теория, методика, моделирование и практические приемы. – М.: Недра, 1981. – 304 с.
14. Palmer C.D., Nadon R.L. A radial injection tracer experiment in a confined aquifer, Scarborough, Ontario, Canada // Ground Water. – 1986. – Vol. 24. – № 3. – P. 322-331.

Институт гидрогеологии и гидрофизики  
им. У.М. Ахмедсафина

КОМПЛЕКСТИ Т... ЖІРБИЕЛІ-ФИЛЬТРЛІК Ж...НЕ Т...ЖІРБИЕЛІ-  
МИГРАЦИЯЛЫС СЫНАСТАН ҰТКІЗУЛЕРІНІҰ Н... ТИЖЕЛЕРІ  
БОЙЫНША САТПАРЛЫ САЛЫҰДЫСТЫҰ ПАРАМЕТРЛЕРІН БАҚАЛАУ

Геол.-мин. Ұлымд. канд.	М.М. Бураков
Геол.-мин. Ұлымд. канд.	Д.А. Сасымбеков
	В.В. Недюжин
	А.Б. Набока

*Саппарлы су титјыш јалыҰдыҰныҰ филътрлік ж.,не миграциялыј параметрлерін бајалаудыҰ „дiстемелiк м.,селелерi ж.,не оны т.,жiрбиелi-филътрлiк (т.,жiрбиелi шайјау) ж.,не т.,жiрбиелi-миграциялыј (индикаторлы т.,жiрбиелер) сынајтан Ұткiзулердi жинајтау негiзiнде, су титјыш јабатын кескiндеу бойынша олардыҰ таралуы јарастырылады.*