

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИСТИВИМЕТРОВОГО КАРОТАЖА ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В КУЗБАССЕ

В. В. ПОНОМАРЕВ

Изучению гидрогеологических условий Кузнецкого бассейна с каждым годом уделяется все большее и большее внимание. Водоснабжение крупных промышленных центров бассейна, изучение условий отработки углей под долинами рек, условий вскрытия обводненных месторождений требуют постановки сложных по выполнению, длительных по времени и дорогостоящих гидрогеологических и инженерно-геологических исследований.

Получение исходных данных для проектирования каптажного сооружения, при решении вопросов водоснабжения или системы дренажа, при разработке проекта осушения месторождений связано с заложением серии специальных опытных и наблюдательных скважин, конструкция которых часто весьма сложная, а стоимость высокая.

Применяя метод опытных откачек, наливов воды в скважину или нагнетания ее под повышенным давлением, удастся получить цифровые данные коэффициента фильтрации, удельного расхода или водопоглощения, примерно рассчитать радиус влияния каптажа и установить характер взаимодействия скважин и отдельных водоносных горизонтов. Анализ и математическая обработка этих данных позволяют дать ответ о возможной мощности водозабора или величине притока воды в горные выработки.

Однако, выполнив даже такие сложные исследования, мы часто вынуждены в процессе обработки материалов сознательно или несознательно делать целый ряд допущений и вносить в математический анализ элемент условности, снижающий ценность наших расчетов и рекомендаций.

Современная геофизика имеет много приемов и методов, позволяющих произвести контроль геологического разреза и ответить на ряд интересующих гидрогеологов вопросов. С помощью геофизических методов можно проследить площадное распространение того или иного комплекса пород, достаточно точно установить литологический разрез по скважине, выделить в нем водоупорные и водопоглощающие горизонты и т. п. Из всего комплекса геофизических методов в практике гидрогеологических исследований в Кузбассе в последние годы стал применяться лишь один метод резистивиметровый каротаж.

Положительные результаты исследований с применением этого метода, полученные на ряде участков среднеазиатских угольных месторождений, заставили обратить внимание гидрогеологов и геофизиков на этот вид каротажа. К сожалению, мы имеем лишь первый этап применения в Кузбассе этого вида исследований. Но полученные данные явились на-

столько обнадеживающими, что мы сочли необходимым поделиться своими соображениями о возможности решения ряда вопросов, часто возникающих при гидрогеологических исследованиях.

Поскольку резистивиметровый каротаж является далеко не новым методом, нет необходимости детально останавливаться на его теоретической основе. Коротко же принцип этого метода заключается в следующем.

Еще в 1916 г. известный русский гидролог Д. И. Кочергин установил функциональную зависимость между изменением концентрации раствора какой-нибудь соли, введенной в одиночную выработку с проницаемыми стенками, и скоростью фильтрации грунтовых вод.

Свою дальнейшую теоретическую и экспериментальную разработку этот метод получил в работах С. А. Коля. Для определения скорости фильтрации им была предложена расчетная формула:

$$V = \frac{l \cdot 8 r}{T} \lg \frac{C_1 - C_0}{C_2 - C_0},$$

где r — радиус выработки,
 C_0 — естественная концентрация солей в природной воде.

Как видно, для определения скорости фильтрации подземных вод достаточно знать интенсивность опреснения искусственно созданного в скважине раствора электролита во времени. А это в значительной мере облегчается и ускоряется возможностью электрической регистрации изменения концентрации раствора, при которой фиксируется удельное сопротивление раствора и которое, как известно, связано с концентрацией обратной зависимостью.

Как показали опыты, ни диффузия солей из скважины в обводненную породу, ни так называемая гидростатическая конвенция, заключающаяся в выносе соли из скважины вследствие разности в удельном весе воды и раствора, не оказывают существенного влияния на конечные результаты опыта.

Коротко напомним методику проведения резистивиметрового каротажа, которая заключается в следующем:

а) для оценки естественной концентрации солей в подземной воде и выбора масштаба сопротивлений регистрируется резистивиметровая кривая до засоления воды в скважине;

б) вода в скважине равномерно, но по возможности быстро засоляется из расчета создания концентрации не более 2 г/л, протягиванием в скважине пористого мешка, наполненного солью;

в) сразу же после засоления регистрируется вторая резистивиметровая кривая, характеризующая степень и равномерность концентрации соли в скважине;

г) последующие резистивиметровые кривые регистрируются в зависимости от скорости процесса опреснения через нарастающие промежутки времени от 1 до 30 мин. и более до полного исчезновения электролита. Запись ведется при подъеме резистивиметра со скоростью, не превышающей 10 м в минуту.

Полученные указанным способом резистивиметровые кривые позволяют установить весьма интересные явления в разрезе обводненной толщи пород, а в ряде случаев даже рассчитать скорость фильтрации подземных вод и коэффициент фильтрации пород.

На рис. 1 представлена лотологическая колонка скважины № 147, пройденной в отложениях юрского возраста Центрального Кузбасса и опробованной в интервале от 82,3 до 125—133 м. Верхние горизонты скважины изолированы обсадными трубами с глинистым тампонажем. На этом же чертеже приведены три каротажные диаграммы, две из кото-

рых представлены резистивиметровыми кривыми, снятыми при различной интенсивности самоизлива воды.

Основываясь только на литологическом методе выделения водоносных горизонтов, мы вправе охарактеризовать эту скважину как несовер-

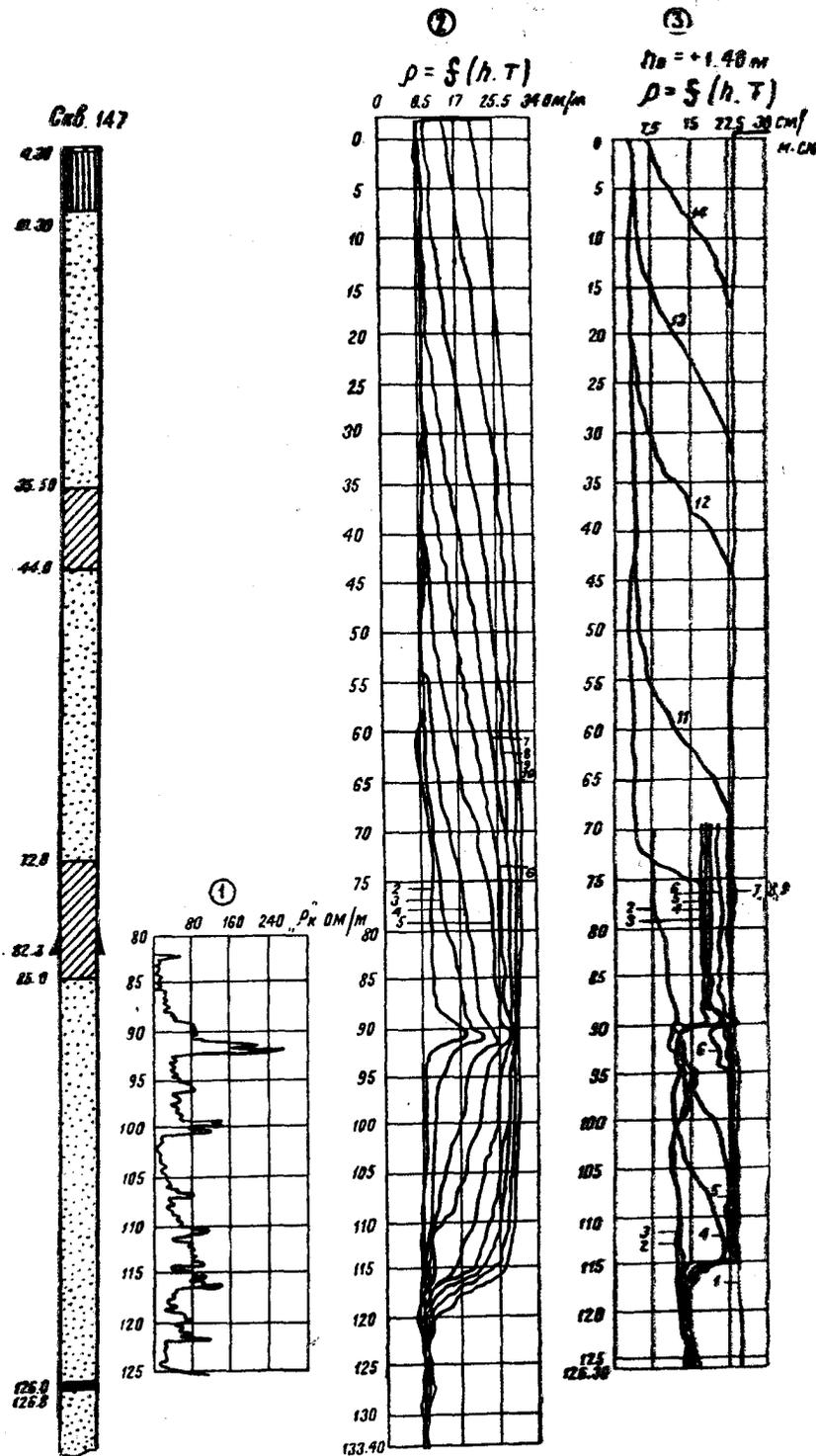


Рис. 1.

шенную с кровлей водоносного горизонта, залегающей на глубине 85 м, и песч. находящейся где-то ниже забоя скважины. Ни тщательное изучение керна пород, ни данные специальных гидрогеологических наблюдений не могли дать таких материалов, которые бы позволили дифференцировать всю обводненную толщу пород по степени водопроницаемости. Вполне естественно, что, даже предугадывая возможную неоднородность

фильтрационных способностей отдельных горизонтов песчаников, мы тем не менее из-за отсутствия объективных данных вынуждены отказаться от такой дифференциации и условно отнести всю толщу песчаников к однородным по своей водопроницаемости.

Применение геофизических методов опровергает это представление о строении обводненной толщи пород. Уже снятие первой диаграммы $= f(h)$ показывает на далеко не однородное строение горизонта песчаников. Наряду с песчаниками крепкими и более или менее чистыми, характеризующимися отчетливо выраженными пиками диаграммы, в строении водоносного горизонта принимают участие глинистые разновидности песчаников, приближающиеся по своему составу и по содержанию глинистых частиц к алевролитам. Естественно, что при такой неоднородности состава трудно ожидать однозначность водопроницаемых способностей. Это в полной мере подтверждается характером резистивиметровых кривых.

На первой и особенно на второй диаграмме отбивается нижняя граница зоны водопроницаемых песчаников. Эта граница проходит на глубине 116—117 м, ниже которой песчаники, а вместе с ними и пласт угля являются практически не водоносными, так как водоотдача их чрезвычайно мала, и в этом отношении они могут рассматриваться как относительный водоупор.

Верхняя граница совпадает с почвой глинистых пород, вскрытых скважиной в интервале 72,8—85,0 м, хотя она и недостаточно отчетливо отражена резистивиметровыми кривыми. Таким образом, только с помощью резистивиметрового каротажа представляется возможным установить мощность водопроницаемой части песчаников и тем самым изменить наше представление о гидрогеологическом совершенстве опытной скважины.

На всех трех диаграммах, представленных на рис. 1, отчетливо выделяются пики, соответствующие горизонту 91—92,5 м. Пика первой диаграммы свидетельствует о наличии в этом интервале довольно крепких, хорошо сцементированных и достаточно чистых песчаников. Пики на диаграммах второй и третьей говорят об интенсивном притоке воды из этого горизонта, значительно большем, чем из других разновидностей песчаников вскрытой толщи. Следовательно, вскрытая скважиной № 147 толща песчаников не является по своей водопроницаемости однородной и полученные расчетным путем данные коэффициентов фильтрации являются усредненными для всего водопроницаемого интервала.

Интересные сведения могут дать сравнения резистивиметровых кривых, снятых при различной интенсивности самоизлива, являющейся следствием изменения величины понижения уровня подземных вод. При большом расходе самоизлива (кривая 3) каротажные кривые не только более отчетливо указывают на интервал притока воды в скважину, но и свидетельствуют о существенном изменении путей движения подземных вод.

Обратим внимание на диаграмму 2. При динамическом уровне, находящемся на отметке +2,4 м выше устья скважины, вода в последнюю поступает не на всем обнаженном интервале водоносного горизонта. Интенсивно поступая в скважину на горизонте 91—92,5 м, вода растекается по скважине. Часть ее поднимается к устью и изливается на поверхность, а часть опускается вниз и поглощается на глубине 115—117 м горизонтом, находящимся в почве водопроницаемой толщи песчаников.

Но достаточно было увеличить понижение уровня всего лишь на 1 м (диаграмма 3), как и этот горизонт стал отдавать воду, увеличивая тем самым расход самоизлива. Вполне естественно, что характер функцио-

нальной зависимости расхода от понижения при наличии таких особенностей движения подземных вод не мог не измениться.

Неравномерность притока подземных вод к скважине по разрезу обводненной толщи является, по-видимому, наиболее общим случаем, хорошо увязывающимся с понятием о фациальной изменчивости пород и ритмичности осадконакопления. А поскольку водопроницаемость пород в разрезе обводненной толщи меняется, то приток воды с единицы площади фильтрации будет неравномерным, причем эта неравномерность с увеличением интенсивности отбора воды должна увеличиваться. Это предпо-

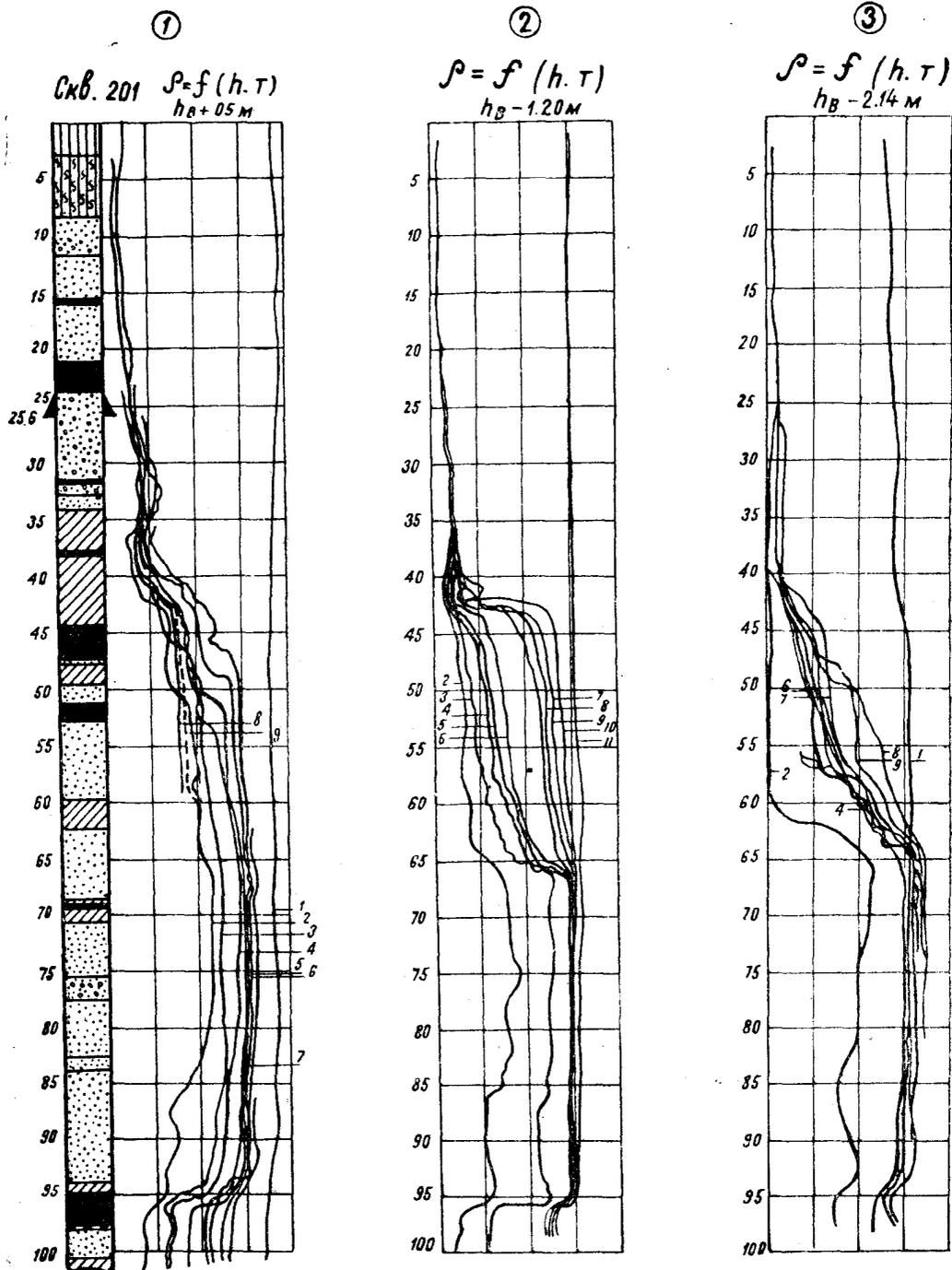


Рис. 2.

ложение может быть иллюстрировано диаграммами, приведенными на рисунке 2, отражающими ход опреснения раствора при различной вели-

чине понижения уровня и, следовательно, при различном количестве откачиваемой воды.

Диаграмма 1 соответствует статическому положению уровня подземных вод и естественной скорости фильтрации подземного потока. Как видно, вода достаточно равномерно поступает в скважину на интервале от 40—45 до 95 м. В значительно меньшей степени поступает вода в нижней части скважины и с ее забоя, а также из песчаника, залегающего в почве конгломератового слоя. Против ожидания слой конгломерата оказался почти не водоносным, о чем свидетельствует почти полное отсутствие или, во всяком случае, очень слабое опреснение раствора на этом интервале.

Анализируя диаграмму 1, мы вправе были бы сделать заключение о равномерном поступлении воды в скважину по всей вскрытой части водоносного горизонта. Однако искусственное увеличение скорости движения воды путем откачки ее из опытной скважины и анализ полученных при этом резистивиметровых кривых опровергает наше первоначальное предположение о строении водоносного горизонта.

На самом деле диаграмма 2 указывает на неравномерное поступление воды в скважину. Наиболее интенсивный приток воды осуществляется в интервале от 65 до 96 м, на что указывает быстрое опреснение ее в этой части. Вода поступает и из других горизонтов, но с меньшей скоростью и, естественно, в меньшем количестве. Следовательно, соотношение количества протекающей по скважине воды изменилось в сторону заметного преобладания притока с горизонта 66—96 м. Удельный вес притока с этого горизонта еще более увеличивается, с увеличением скорости движения подземных вод. При увеличении понижения уровня воды в скважине до 2,64 м приток с горизонта 66—96 становится преобладающим, а удельный вес воды, поступающий с горизонтов 40—66 м ниже 96, еще более снижается.

Природу этого явления следует искать в различной степени водопроницаемости, являющейся следствием изменения литологического состава пород водоносного горизонта и степени их трещиноватости.

Геофизические методы разведки уже на первом этапе их применения при гидрогеологических исследованиях позволили объективно осветить очень важные стороны строения обводненной толщи пород. Как можно установить из изложенного выше, водопроницаемость пород в вертикальном разрезе изменяется в довольно широких пределах, причем, оказывается, что не все песчаные и даже гравелитовые разновидности пород являются в одинаковой степени водообильными.

В ряде случаев величина водоотдачи и степень водопроницаемости их настолько малы, что они не могут рассматриваться как составная часть водоносного горизонта и должны быть исключены при определении его мощности. Следовательно, литологический метод выделения водоносных горизонтов в целом ряде случаев чреват большими погрешностями.

В отложениях юрского возраста, характеризующихся резкой фациальной изменчивостью осадков, имеет место не менее резкое изменение фильтрационных свойств пород в вертикальном разрезе и по простиранию одного и того же водоносного горизонта.

Не безынтересно обратить внимание на колебание верхней границы проницаемых пород (рис. 3). При почти горизонтальном залегании слоев и очень близких отметках устьев скважин по скважине № 201 верхняя граница проницаемых пород соответствует глубине 42 м, а по скважине № 200 она опускается до 57—60 м, хотя стратиграфически выше залегают не только угли, но и конгломератовидные песчаники. По скважине № 203 и 204 верхняя граница, наоборот, повышается до глубины 25—27 м. При значительном сходстве разрезов такое колебание уровня мо-

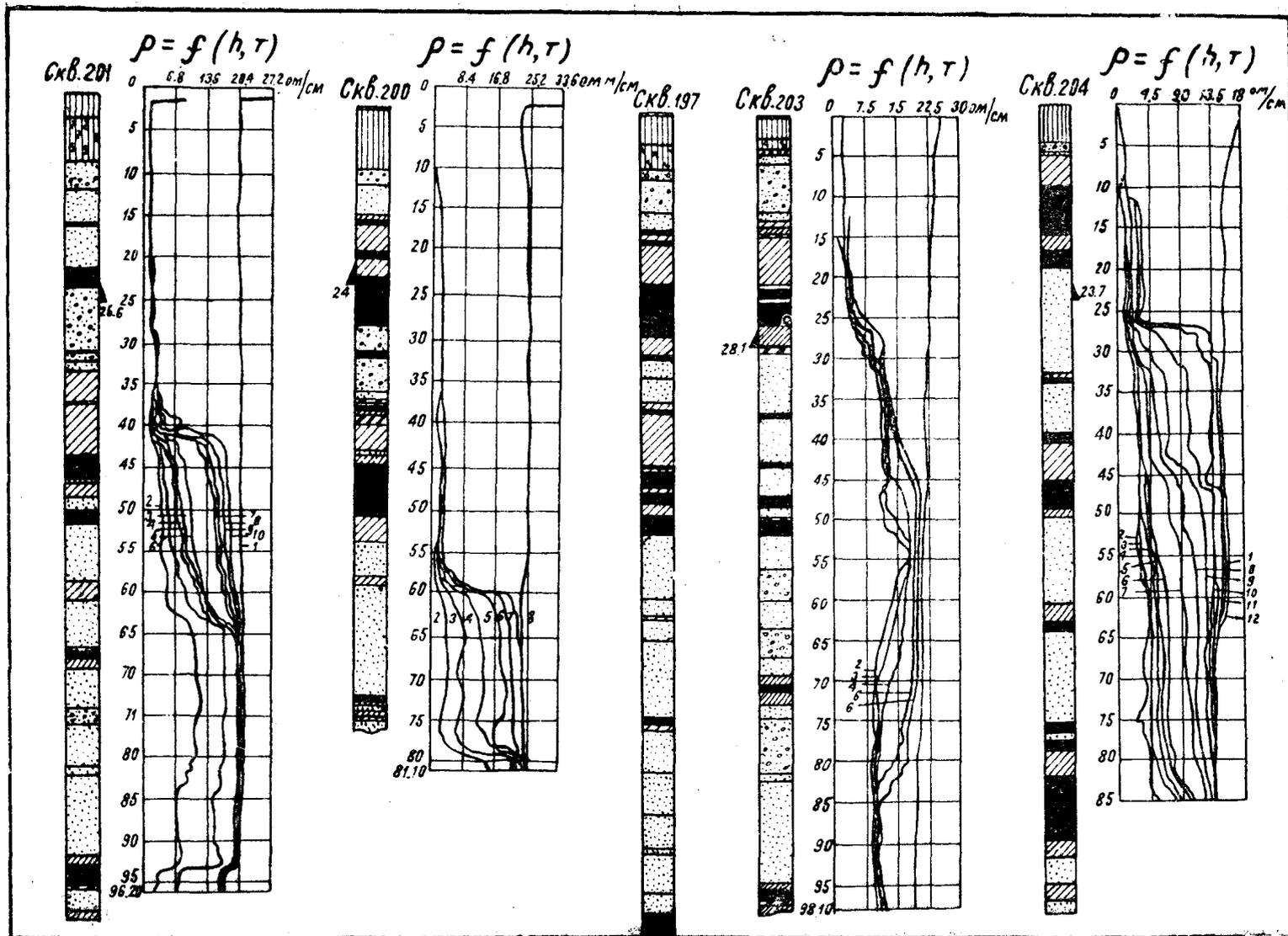


Рис. 3.

жет быть объяснено лишь изменением вещественного состава пород и характером развития активной трещиноватости, что трудно поддается определению на основе лишь визуальных наблюдений.

Наряду с колебаниями верхней границы водопроницаемых пород меняется и размещение зон максимального притока воды в скважину. Как отмечалось выше, по скважине № 201 эта зона отчетливо фиксируется на интервале от 65 до 95 м. По скважине № 200 она снижается ниже 80 м, а по скважине № 203 вырисовывается небольшой по мощности участок, соответствующий глубине 55 м, где приток наиболее интенсивный, хотя в целом остается достаточно равномерным на интервале 45—80 м. Аналогичная картина наблюдается и по скважине № 204, характеризующей собой пример равномерно обводненной толщи пород.

Нельзя сказать, что неравномерность фильтрационных свойств пород была свойственна лишь осадкам юрской системы, символизирующим собой понятие о фациальной изменчивости осадконакопления. Она имеет место и в более однородном комплексе отложений, примером чему могут служить каротажные диаграммы, снятые по скважинам, пройденным в осадках Кольчугинской серии Беловского района (рис. 4).

Все приведенные выше примеры применения геофизических методов при гидрогеологических исследованиях касаются лишь качественной стороны вопроса. Не прибегая к сложным гидрогеологическим исследованиям с поинтервальным определением водопроницаемости пород, резистивиметровым каротажом можно определить глубину залегания обводненных пород, мощность водоносного горизонта и совершенство скважин, что позволяет объективно подходить к выбору расчетных формул при определении коэффициента фильтрации пород.

Резистивиметровый каротаж позволяет произвести дифференциацию толщи пород по их водопроницаемости, что является немаловажным фактором при решении вопросов устройства противофильтрационных завес или при разработке способов проходки горных выработок.

Но это, повторяем, лишь качественная сторона вопроса. Резистивиметровые исследования дают возможность получить и количественную оценку водоносного горизонта или обводненной толщи пород. Именно поэтому они находят себе все более и более широкое применение, несмотря на то, что в арсенале геофизики имеют место более точные методы качественной оценки водоносных горизонтов, как, например, способ меченных атомов.

Теоретически, да и практически доказана возможность определения с помощью резистивиметра скорости фильтрации подземных вод, а через нее коэффициента фильтрации пород. Как известно, эти величины отражают собой уже количественную сторону вопроса и являются, наряду с другими, исходными данными для самых разнообразных гидротехнических расчетов.

Вопрос изучения скорости фильтрации подземных вод по одной выработке с помощью геофизических методов является в настоящее время весьма актуальным, хотя и недостаточно разработанным. Существующий метод определения скорости течения потока подземных вод съемкой изолиний «заряженного тела» является недостаточно совершенным.

Этим методом определяется не скорость фильтрации всего подземного потока или его отдельных участков, а определяется значение действительной скорости течения подземных вод в порах случайной части водоносного пласта, которое не может использоваться для практических расчетов.

Одним из наиболее существенных достоинств применяемой методики является возможность получения совокупности резистивиметровых кривых, которые дают четкое представление о режиме опреснения раствора

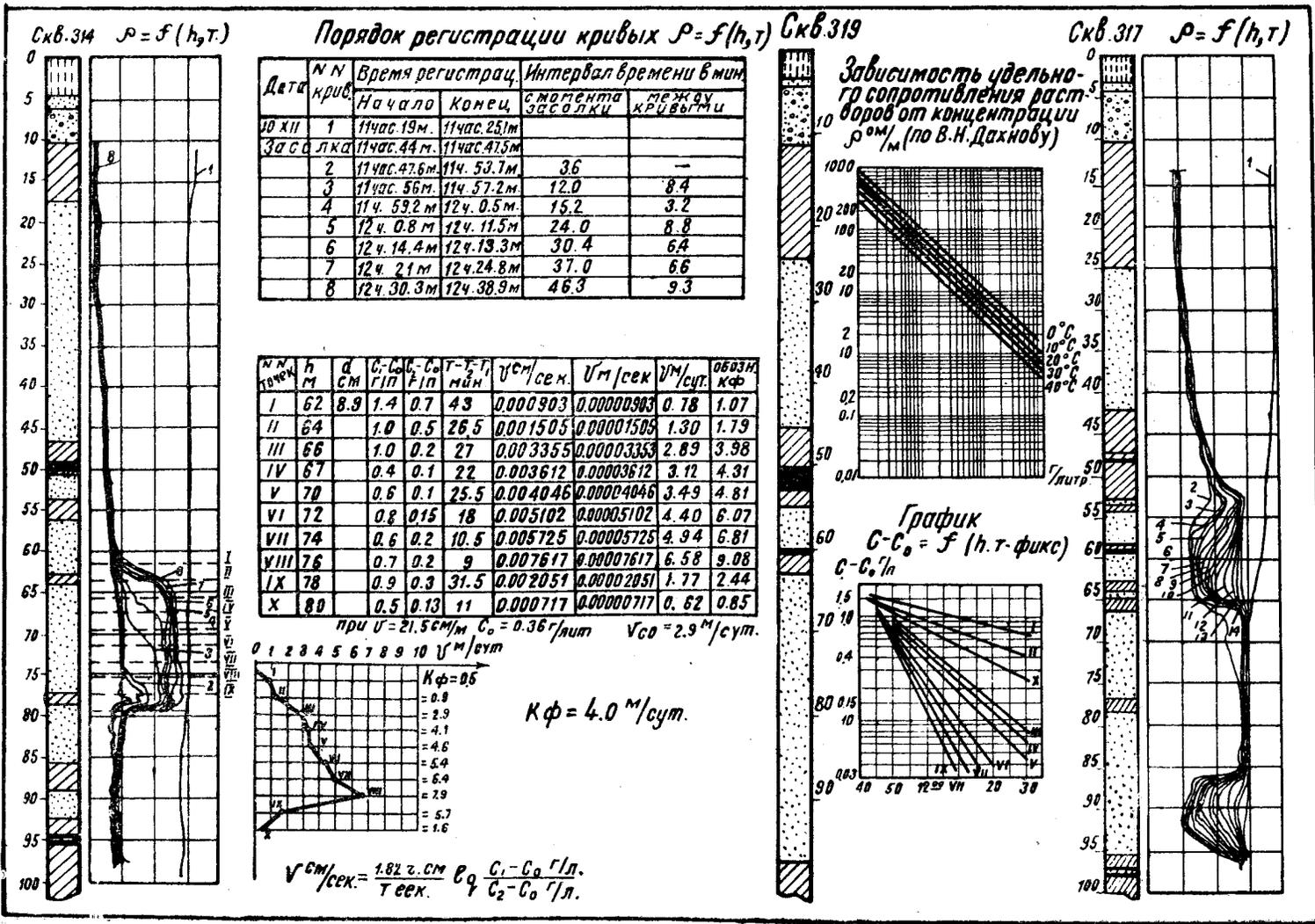


Рис. 4.

по всему интервалу скважины и, таким образом, позволяют качественно представить относительное распределение скорости фильтрации в разрезе скважин.

Однако этот метод дает значение скорости фильтрации в какой-то точке (в пределах 1 м) и исключает возможность сравнения его результатов с коэффициентом фильтрации, определенным методом опытной откачки, поскольку откачка дает среднее значение коэффициента фильтрации для всей мощности водоносного горизонта. Это делает полученные результаты несравнимыми. При детальном рассмотрении этого вопроса эту трудность можно преодолеть.

На самом деле, если при сравнении этих данных ограничиваться одним или несколькими значениями скоростей фильтрации, полученными резистивиметровым способом в различных точках скважины, то это действительно не приведет к желанному результату. Если же использовать всю совокупность определений скорости фильтрации, равномерно охватывающих всю мощность пласта ($\rho = f(h)$), то, пользуясь одним из методов определения средневзвешенных скоростей и зная величину гидравлического уклона, можно подойти к определению среднего по скважине коэффициента фильтрации, уже сравнимого с коэффициентом фильтрации, полученным методом опытной откачки.

Однако опыт подобного сравнения показал, что не всегда полученные этими методами значения коэффициента фильтрации имеют полную сходимость и в ряде случаев имело место существенное расхождение этих значений. Это объяснялось особенностями фильтрующих пород и режима фильтрации и требовало введения в приведенную выше формулу для определения скорости фильтрации поправочного коэффициента, свойственного тем или иным категориям пород и гидрогеологическим условиям:

$$n = \frac{k_1 \text{ (при резистивиметровом определении)}}{k_2 \text{ (при определении откачкой)}}$$

Необходимость внесения поправки в полученное резистивиметровым способом значение коэффициента фильтрации существенно ограничивает круг возможного применения резистивиметрового каротажа для получения количественной оценки водоносного горизонта. Хотя причины расхождения в значениях коэффициента фильтрации, полученных методами опытной откачки или нагнетания и резистивиметрового каротажа недостаточно еще изучены, однако есть основания предполагать, что существенная роль в этом принадлежит свойствам самих пород, которыми определяются основные особенности движения в них подземных вод. А если это так, то в условиях сильной изменчивости состава и степени трещиноватости большого числа образований значения поправочного коэффициента будут существенно изменяться, и введение какого-либо одного из этих значений или даже усредненной величины не может не придать всем расчетам известную схематичность. И если такой прием может быть еще допущен при предварительной оценке той или иной площади, то при детальных и ответственных исследованиях возможность применения его, с нашей точки зрения, является сомнительной.

Нельзя, между тем, не отметить, что в ряде случаев, в процессе гидрогеологических исследований были получены весьма обнадеживающие в смысле сходимости значения коэффициентов фильтрации, полученные методами откачек и резистивиметрового каротажа.

Гринбаум Н. И., широко внедривший в практику гидрогеологических исследований геофизические методы, приводит пример полной сходимости результатов определения коэффициентов фильтрации галечников, тогда поправочный коэффициент $n=1$. Это указывает на то, что

при определенных гидрогеологических условиях результаты резистивиметровых наблюдений могут дать вполне удовлетворительное решение вопросов количественной оценки водоносных горизонтов. Но, если в большинстве случаев сам по себе резистивиметровый каротаж не в состоянии дать количественную оценку водоносности пород, то в сочетании с обычными методами гидрогеологических исследований оказывается возможным ответить на большинство поставленных вопросов и, в частности, дифференцировать обводненную толщу пород по степени ее водопроницаемости.

Вполне естественно, что для уточнения участков притока воды в скважину не требуется обоснования точности определяемых резистивиметровым каротажем скоростей фильтрации. Сам характер изменения этой величины, даже в условных единицах, и совокупность резистивиметровых кривых дают достаточно четкое представление об относительном изменении фильтрационных свойств водопроницаемой части пород в разрезе скважины.

Получив средний коэффициент фильтрации по скважине в целом путем проведения откачки или нагнетания, как наиболее точного способа количественной оценки водоносности пород, и воспользовавшись графиком распределения скоростей фильтрации (пусть даже относительных) в разрезе скважины, можно путем несложных расчетов определить истинное значение коэффициента фильтрации для отдельных слоев или горизонтов, отличающихся один от другого степенью водопроницаемости.

Пример использования данных резистивиметрового каротажа в качестве контроля и уточнения гидрогеологических расчетов воспроизведен нами на опытном гидроузле в долине рч. Бачат, на поле шахты «Пионер» Беловского района Кузбасса.

С целью определения водоносности и коэффициента фильтрации пород из центральной скважины узла произведена откачка воды при одновременном замере уровней во всех наблюдательных скважинах. Используя установленную зависимость дебита от понижения и данные о величине снижения уровня в наблюдательных скважинах, авторы отчета, применив формулу Дюпюи для совершенного колодца (?), рассчитали усредненный коэффициент фильтрации для всей обнаженной в скважине толщи пород, который оказался равным по их расчетам $1,27 \text{ м/сут}$.

Последующий резистивиметровый каротаж внес существенные коррективы, правда не в методику расчета коэффициента фильтрации, а в его результаты. Прежде всего каротаж установил, что практически водоносной является не вся вскрытая часть разреза, а только небольшой интервал его в пределах глубин от 64,2 до 81,0 м. С другой стороны, характер резистивиметровых кривых свидетельствует о далеко неравномерной степени опреснения раствора, являющейся следствием изменчивости водопроницаемых способностей пород этой части разреза.

Анализ кривых и повторные расчеты позволили уточнить значение как усредненного коэффициента фильтрации, который оказался равным 4 м/сут , так и коэффициентов фильтрации отдельных интервалов. Последние изменяются в пределах от 0,9 до $7,9 \text{ м/сут}$. Вполне естественно, что произведенное уточнение и дифференциация разреза не могли не сказаться на конечных выводах и рекомендациях.

Существенную помощь резистивиметровый метод исследования оказал в деле изучения гидрогеологических условий юрского артезианского бассейна, расположенного в центре Кузбасса и интересного с точки зрения нахождения там громадных запасов подземных вод, способных разрешить проблему водоснабжения многих крупных промышленных центров области.

Многолетние исследования показали чрезвычайно высокую степень обводненности пород юрского возраста и громадные статические и динамические ресурсы этих вод. И несмотря на столь длительные исследования, многие вопросы оставались мало или совершенно не изученными, что накладывало свой отпечаток на полноту выводов и представительность рекомендаций.

Одним из существенных недостатков являлось отсутствие сведений о проницаемости различных горизонтов и отдельных литологических разновидностей пород. А эти сведения оказались важными не только с теоретической, но и с практической точек зрения, поскольку без знания этих особенностей оказалось невозможным осуществить правильный выбор конструкции каптажных скважин и разместить их в пределах участка водозабора. И это не случайно, поскольку расчет фильтров в слабых породах в большом числе случаев основан на понятии «предельной критической скорости фильтрации», вытекающей из значения коэффициента фильтрации, а расстояние между скважинами регламентируется величиной радиуса влияния, который, как известно, также связан с ним функциональной зависимостью.

Основываясь в своих расчетах на усредненном коэффициенте фильтрации, мы или уменьшаем истинное его значение, что ведет к неоправданному затратам средств на сооружение фильтра, или, наоборот, увеличиваем его, что приводит к большому выносу частиц и заиливанию скважин в силу непомерно больших скоростей движения воды, возникающих при уменьшении площади фильтрации.

Имея данные резистивиметрового каротажа, мы получили возможность более правильно подойти не только к оценке гидрогеологических условий участка, но и к выбору конструкций эксплуатационных скважин. Толща юрских осадков не кажется нам больше однородной в смысле водопроницаемости. На отдельных участках вода имеет возможность двигаться почти во всех породах, слагающих разрез, в том числе и в глинистых разновидностях, обладающих здесь трещиноватостью (скв. 204, рис. 3).

На других участках подземный поток ограничен в своей мощности лишь небольшим горизонтом, причем нередко даже песчаные разновидности пород являются практически водонепроницаемыми. Такое изменение мощности фильтрующего слоя, имеющее место в пределах даже одного опытного гидроузла, не может не учитываться при выборе методики гидрогеологических расчетов.

Имея перед собой каротажную диаграмму мы можем с достаточной точностью установить глубину установки фильтра, избежав при этом излишеств и не снизив площадь фильтрации.

Данные резистивиметрового каротажа и указанная выше методика дифференцирования разреза по степени водопроницаемости пород позволяют представить разрез в изолиниях коэффициентов фильтрации, что имеет большое значение при исследованиях под гидротехнические сооружения

Возможности геофизических методов должны быть широко использованы при проведении гидрогеологических исследований. Нельзя, однако, не пожелать, чтобы эти методы стали более совершенными как в отношении качественной, так и в отношении количественной оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринбаум Н. И. Определение скоростей фильтрации подземных вод с помощью резистивиметра, МУП Главуглегеология, трест «Геофизуглегеология», Сборник № 4, Москва. 1955.