

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ Й
ІНТЕРПРЕТАЦІЇ
РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДНИХ РОБІТ
В УМОВАХ
ТРІЩИНУВАТИХ І ТРІЩИННО-
КАРСТОВИХ
ВОДОНОСНИХ ГОРИЗОНТІВ

(частина 2)

Розглядаються питання

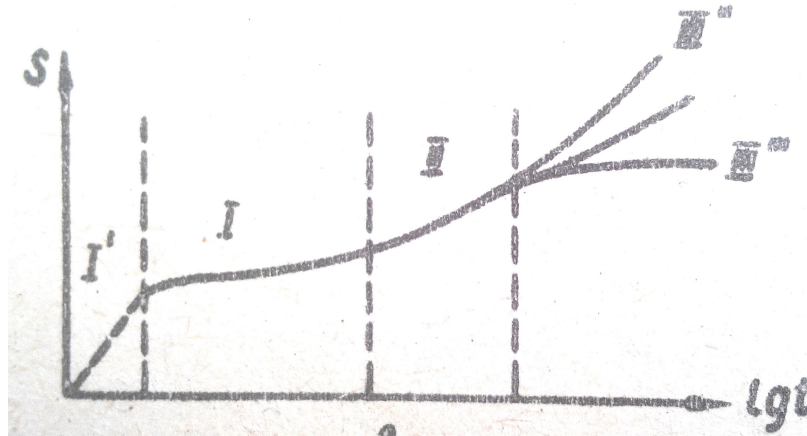
1. Особливості інтерпретації результатів дослідних робіт в умовах тріщинно-пористих водоносних горизонтів. Деякі теоретичні припущення.
2. Водоносні горизонти у породах з інтенсивно розвинутою тріщинуватістю.
3. Водоносні горизонти у породах з рівномірною та відносно рівномірною тріщинуватістю.
4. Водоносні горизонти у породах з рівномірною та різко нерівномірною тріщинуватістю.
5. Водоносні горизонти в анізотропних тріщинуватих породах.

Особливості інтерпретації
результатів дослідних робіт в
умовах тріщинно-пористих
водоносних горизонтів.

Складність інтерпретації результатів досліду

- При вирішенні питання про виділення на графіку $S — \lg(t)$ асимптотичної ділянки, доводиться обмежуватися чисто якісною інтерпретацією.
- В умовах, коли графік чітко диференційований, виділення на ньому асимптотичної ділянки II не викликає труднощів.
- При впливі зовнішніх меж пласта на діагностування графіків ускладнюється, тому, що:
 - потрібна більша тривалість дослідів, щоб вплив мікро неоднорідності шару вже не позначався;
 - при великій тривалості дослідів починає позначатися вплив меж, що приводить до деформації та виродження ділянки II для свердловин поблизу границь.

Складність інтерпретації результатів дослідів за графіками часового простеження



На рис. позначені наступні ділянки

графіка простеження $S - \lg(t)$:

I' – прояв водовіддачі крупних тріщин;

I – прояв перехідних процесів, "подвійна пористість";

II – згладжування напорів між середовищами;

III'' - вплив слабо проникних зон;

III''' - вплив сильно проникних зон.

Складність інтерпретації результатів досліджу

Для обргунтування питань пов'язаних з інтерпретацією результатів фільтраційних досліджень виконано порівняльне моделювання процесу фільтрації в пористому та тріщинно-карстовому середовищі з використанням “автомодельної функції”.

Автомодельна функція

- Шляхом моделювання на ЕОМ (Г.І.Баренблатт, Ю.П. Желтов, І.Н.Кочина, 1960) було встановлено, що тільки при досить великому часі відкачки розподіл знижень у тріщиновато-пористому пласті буде відповідати рівнянню Тейса – Джейкоба.
- Для цього була розрахована спеціальна “автомодельна функція”, що характеризує залежність безрозмірного тиску від параметрів математичної моделі нестационарної фільтрації. Отримані результати порівнювались із даними розрахованими для умов пористого середовища.

Параметри “автомодельної функції”

Автомодельна змінна $\xi = \frac{x}{at}$

Криві побудовані для різних значень $\frac{at}{\eta}$ $\eta = \frac{K_1}{\alpha} \approx \frac{K_1}{K_2} l^2$

При зростанні $\frac{at}{\eta}$ (що може бути або при

$\eta \rightarrow 0$, або при $t \rightarrow \infty$) розподіл тиску в тріщинуватій породі прагне до розподілу його у звичайному пористому середовищі. Як видно з малюнка, крива депресії в тріщинуватому шарі є більше пологою, ніж у звичайному пористому.



Рис. 32. Кривые зависимости безразмерного давления U от автомодельной переменной ξ для различных значений параметров (по Г. И. Баренблатту, Ю. П. Желтову, И. Н. Кочинной, 1960 г.)

Зона “надпровідності”

- Аналіз графіку, показує, що в еквівалентному зернистому пласті поблизу дослідної свердловини зниження рівня більше, а на віддаленні менше ніж у тріщинуватому пласті.
- Радіус такої зони у слабо тріщинуватих пластах змінюється в межах кількох метрів, а в сильно тріщинуватих може досягати 150-200м. Це пов'язано з дренажним впливом крупних тріщин. Це зона “надпровідності”.
- Коефіцієнти п'єзопровідності відповідно у першому випадку будуть занижені, у другому – завищені.

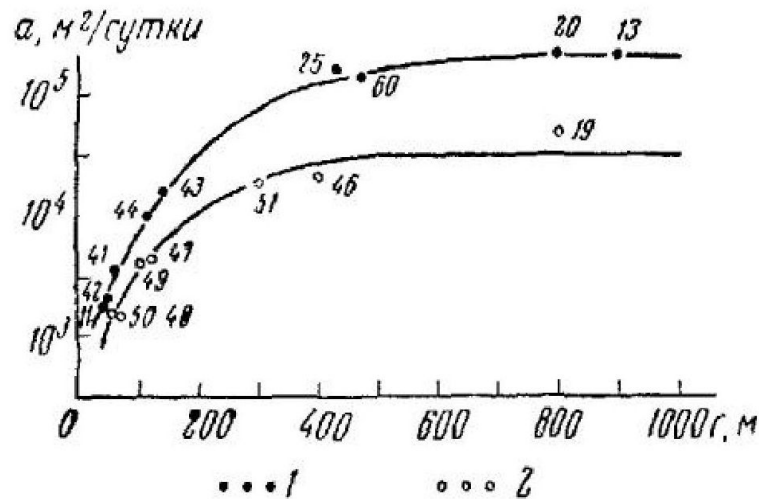
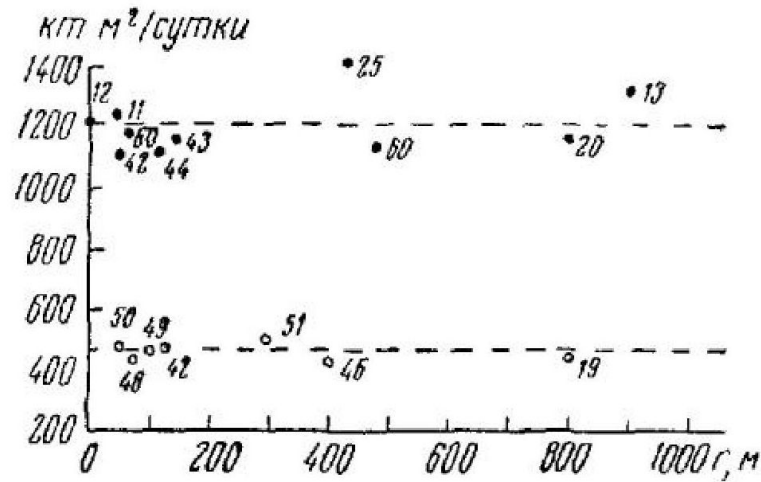
- Встановлено, що при невеликій тривалості дослідів (відкачування) значення коефіцієнтів водопровідності (km), що розраховані по площинним графікам $S — \lg(r)$ можуть виявитись істотно завищеними.
- Така картина буде спостерігатися в породах з інтенсивно розвинутою тріщинуватістю, коли розкриття тріщин досить великі, тому, що при високій проникності окремих великих тріщин абсолютні зниження міняються мало в міру віддалення спостережних свердловин від дослідної.

- Незважаючи на те, що з часом розподіли напорів у тріщинувато-пористому та звичайному пористому шарі прагнуть до збігу, деяке розходження залишається.
- У високо проникних пластах при невеликих зниженнях рівня (перші десятки сантиметрів) розходження можуть виявитися істотними, а коефіцієнти водопровідності (km), розраховані по площинним графікам, будуть значно перевищувати результат розрахунку по часовим і комбінованим (до 5-10 разів).

Водоносні горизонти
в породах
з інтенсивно розвинутою
тріщинуватістю

- Результати виконаних дослідно-фільтраційних випробувань показали, що характерною рисою водоносних горизонтів з інтенсивно розвинутою тріщинуватістю є видиме збільшення розрахованих значень коефіцієнтів п'єзо- (рівне-) провідності в міру віддалення спостережних свердловин від дослідних, що добре видно на графіку $a_p = f(r)$ на прикладі Майкайнарської ділянки (Центральний Казахстан)

Залежність отриманих параметрів пласта від відстані до спостережної свердловини



Роль комбінованого простеження

- Істотну допомогу при аналізі вірогідності отриманих результатів і інтерпретації часових і площинних графіків можуть дати комбіновані графіки $S — \lg(t/r^2)$. Вони є найбільш зручною формою обробки результатів відкачок із тріщинуватих порід.
- На них, як правило, пропадає видимість прямолінійності ділянки несправжнього стаціонарного режиму, що добре видно на прикладі відкачки із св. куща 40 на Майкайнарській мульді при порівнянні (співставленні) графіків $S — \lg(t)$ і $S — \lg(t/r^2)$.

Схема Майкайнарської ділянки

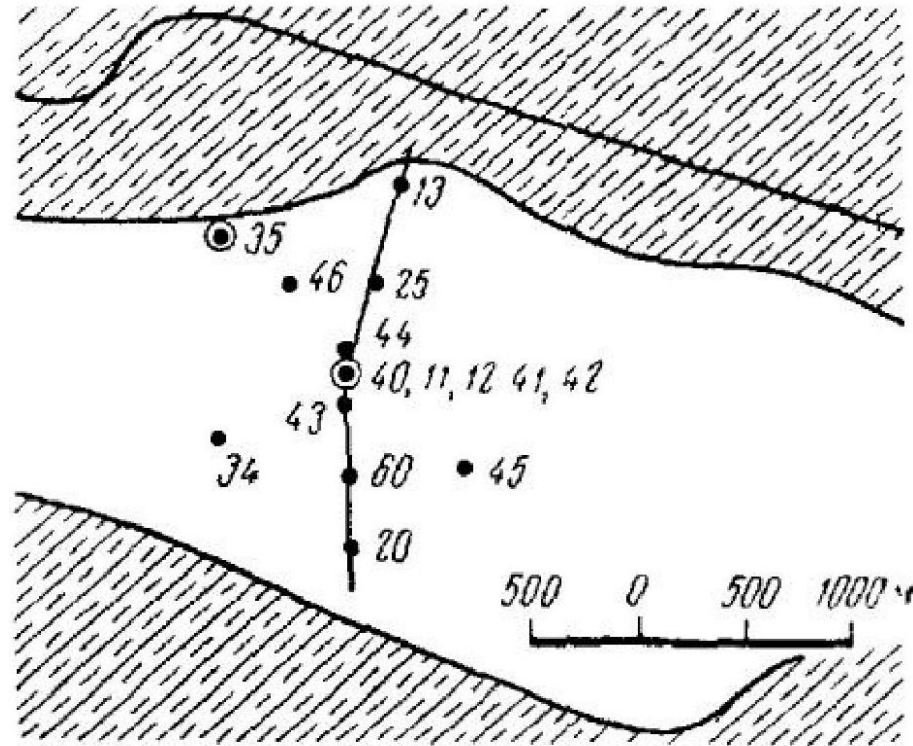
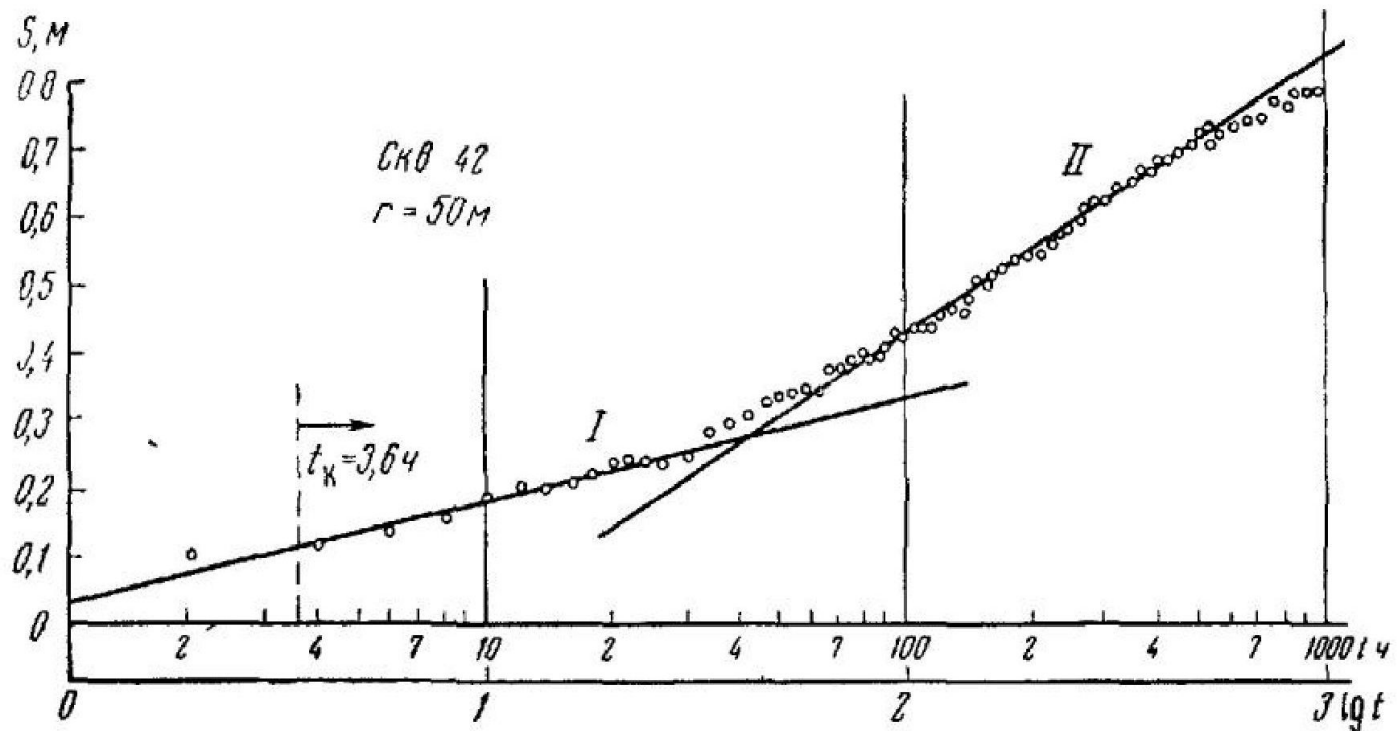


Схема куща до (міякайнарска музлда).

Потужність водоносного горизонту 200м. Потужність верхньої, найбільш обводненої зони 100м.

Простеження в часі



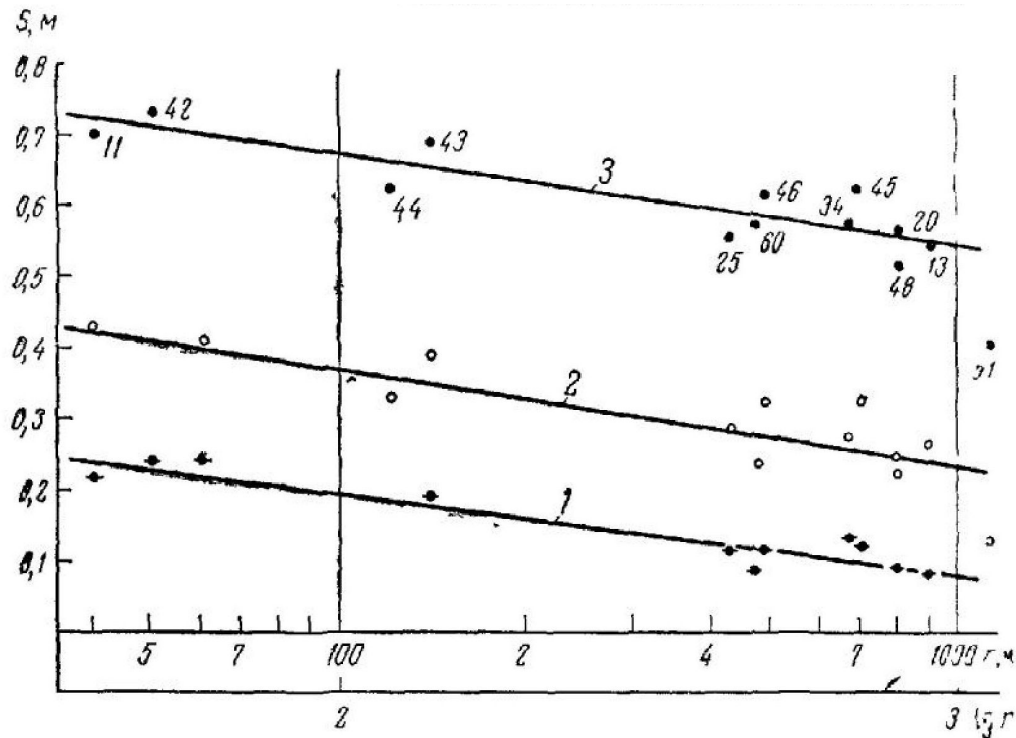
- Характерний графік часового простеження ($S — \lg(t)$) по куцу 40 (Майканарська ділянка).

Отримані геофільтраційні параметрів

№ участка графіка	$Q,$ $\text{м}^3/\text{сутки}$	$S_2, \text{м}$	$S_1, \text{м}$	$S_2 - S_1,$ м	$\lg \frac{t_2}{t_1}$	$C = \frac{S_2 - S_1}{\lg t_2 - \lg t_1}$	$km = \frac{0,183Q}{C}$
I	2540	0,183	0,03	0,153	1	0,153	3040
II	2540	0,85	0,43	0,42	1	0,42	1108

№ участка графіка	$r, \text{м}$	$\lg r$	$2 \lg r$	A	$\frac{A}{C}$	$\lg a$	$a,$ $\text{м}^3/\text{сутки}$
I	50	1,699	3,398	0,03	0,196	3,244	$4,2 \cdot 10^4$
II	50	1,699	3,398	-0,4	-0,953	2,095	$3,0 \cdot 10^3$

Простеження за площею



- Графіки простеження за площею по куцу 40: 1– 23год., 2– 86год., 3– 500год.

Отримані геофільтраційні параметри

$t, \text{ч}$	C	$km = \frac{0,366Q}{C}$	A	$\lg a$	$\alpha, \text{м}^2/\text{сутки}$
23	0,11	8450	0,415	7,20	$1,58 \cdot 10^7$
86	0,13	7150	0,630	8,784	$6,1 \cdot 10^8$
500	0,12	7740	0,910	13,512	$3,26 \cdot 10^{13}$

Отримані геофільтраційні параметри (комбіноване простеження)

Луч	№ наблюдательной скважины	$Q, \text{ м}^3/\text{сутки}$	C	$km = \frac{0,183Q}{C}$	A	$\lg a$	$a, \text{ м}^2/\text{сутки}$
Ю	11	2541	0,378	1232	0,915	2,07	$2,8 \cdot 10^8$
	41		0,37	1260	1,035	2,45	$6,8 \cdot 10^8$
	43		0,405	1150	1,32	2,91	$1,98 \cdot 10^4$
	60		0,425	1090	1,68	3,61	$9,8 \cdot 10^4$
	20		0,46	1010	2,0	4,0	$2,4 \cdot 10^5$
С	41	2541	0,37	1260	1,035	2,45	$6,8 \cdot 10^8$
	44		0,4	1162	1,235	2,74	$1,3 \cdot 10^4$
	25		0,37	1260	1,48	3,65	$1,1 \cdot 10^5$
	13		0,37	1260	1,63	4,05	$2,7 \cdot 10^5$

Інтерпретація результатів досліду

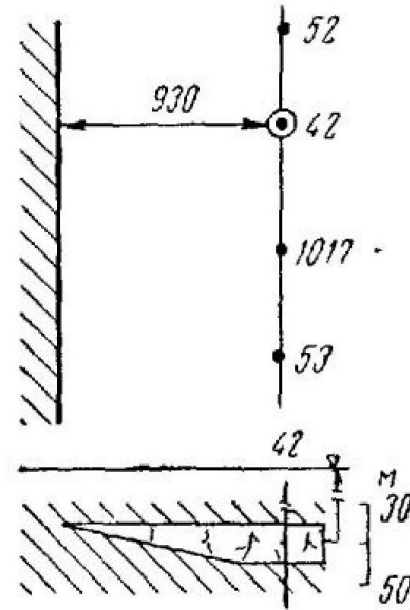
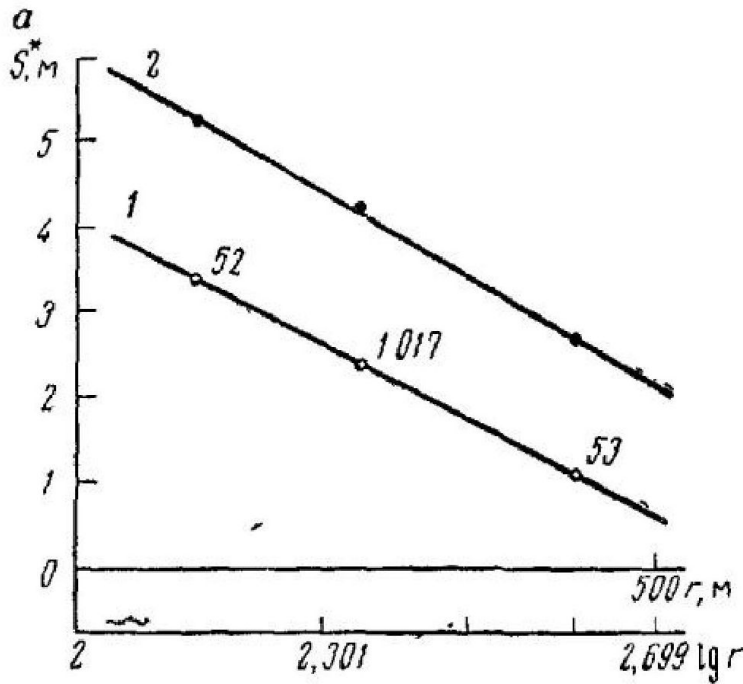
- На графіку добре видно, що зі збільшенням відстані темп наростання значень коефіцієнту рівнепровідності поступово загасає й приблизно з 400 м стає несуттєвим.
- Аналіз результатів дослідних відкачок в інтенсивно тріщинуватих й закарстованих пластах показує, що в якості розрахункових варто приймати значення коефіцієнтів п'єзо- або рівнепровідності, що отримані по спостережних свердловинах, віддалених від дослідної на відстань не менш $1,5—2h$ (h — потужність водоносного пласта).
- Більш обґрунтовані розрахункові значення можуть бути прийняті по графіках $a = f(r)$ на ділянці, де наростання a практично припиняється або стає незначним.
- Ця задача вирішується при досить великій кількості різновіддалених спостережних свердловин (не менш 5-6 свердловин).

Водоносні горизонти у породах
з рівномірною
та
відносно рівномірною
тріщинуватістю.

Відкачування в умовах рівномірно тріщинуватих пластів

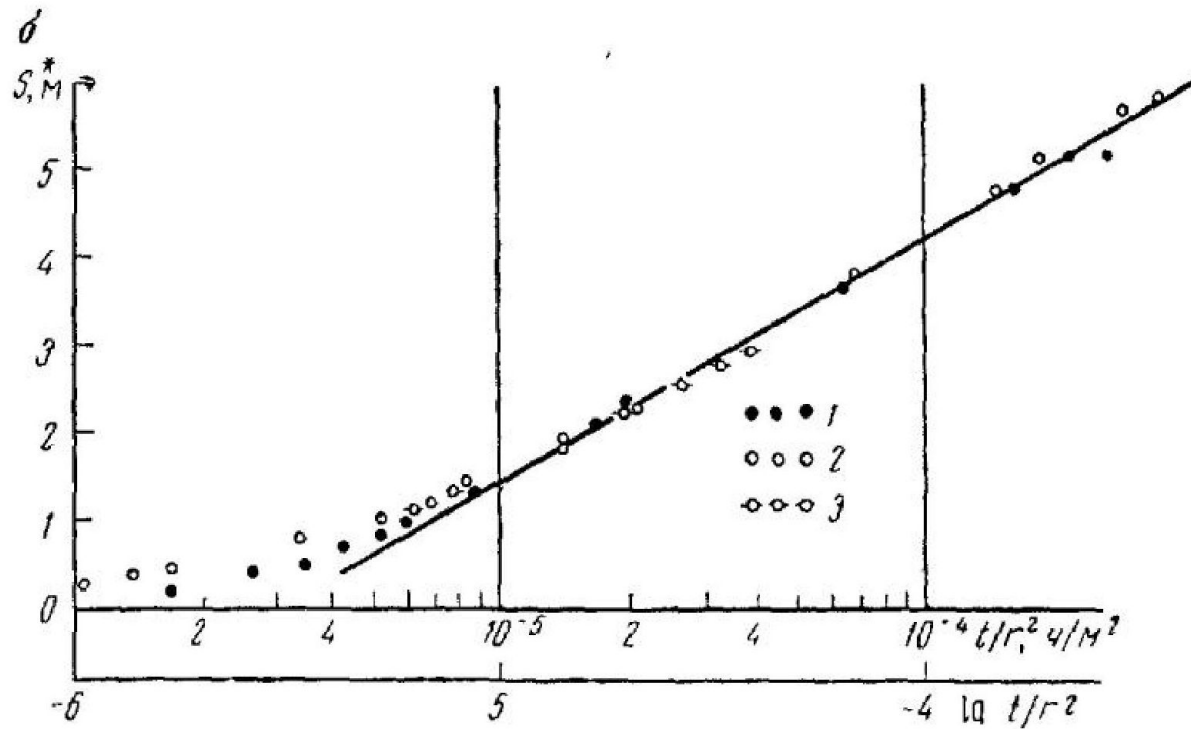
- В умовах звичайних рівномірно тріщинуватих шарів з «подвійною пористістю» або чисто тріщинуватих параметри, розраховані по площинних графіках $S - \lg(r)$, будуть збігатися з параметрами по графіках $S - \lg(t)$ і $S - \lg(t/r^2)$.
- Однак площинні графіки повинні будуватися лише на час, що відповідає виходу графіків $S - \lg(t/r^2)$ на асимптотичну гілку.
- Відповідно, у таких умовах будуть отримані коефіцієнти п'єзо провідності близькі до реальних.
- Прикладом подібних умов може служити Розентальська ділянка (Саксонська Швейцарія).

Розентальська ділянка (простеження по площі)



Площинне простеження на моменти t : 1 – 1 год, 2 – 5 год.

Розентальська ділянка (комбіноване простеження)



Комбіноване простеження на відстанях r спостережних свердловин: 1 – 140м, 2 – 220м, 3 – 400м.

Отримані геофільтраційні параметри

Способ обработки	№ прямой	$Q,$ м ³ /сутки	C	$km,$ м ² /сутки	A	$lg a$	$a,$ м ² /сутки
$S^* - \lg r$	1	1620	5,15	115	14,45	5,24	$4,2 \cdot 10^6$
	2	1620	5,8	102	17,75	5,07	$2,8 \cdot 10^6$
$S^* - \lg \frac{t}{r^2}$	1	1620	2,75	108	15,15	5,16	$3,5 \cdot 10^6$

Інтерпретація результатів

Об'єктом випробування був напірний напівобмежений водоносний горизонт у кварцових піщаниках.

Графік комбінованого простеження після закінчення 10 хв. стає загальним для всіх трьох спостережних свердловин.

Вихід графіка на одну асимптотичну пряму свідчить про відсутність впливу непроникної границі в аналізованому інтервалі часу.

Паралельність і лінійність площинних графіків простеження також свідчить про квазістаціонарний режим.

Параметри отримані по площинним і комбінованим графікам практично збігаються, що свідчить про їхній дійсний характер.

У цьому випадку ефект «подвійної пористості» не фіксується на графіках часового простеження, що зв'язано або з відсутністю цього ефекту, або з дуже маленьким часом запізнювання (τ).

Уральська ділянка

(відносно рівномірно-тріщинуватий водоносний горизонт)

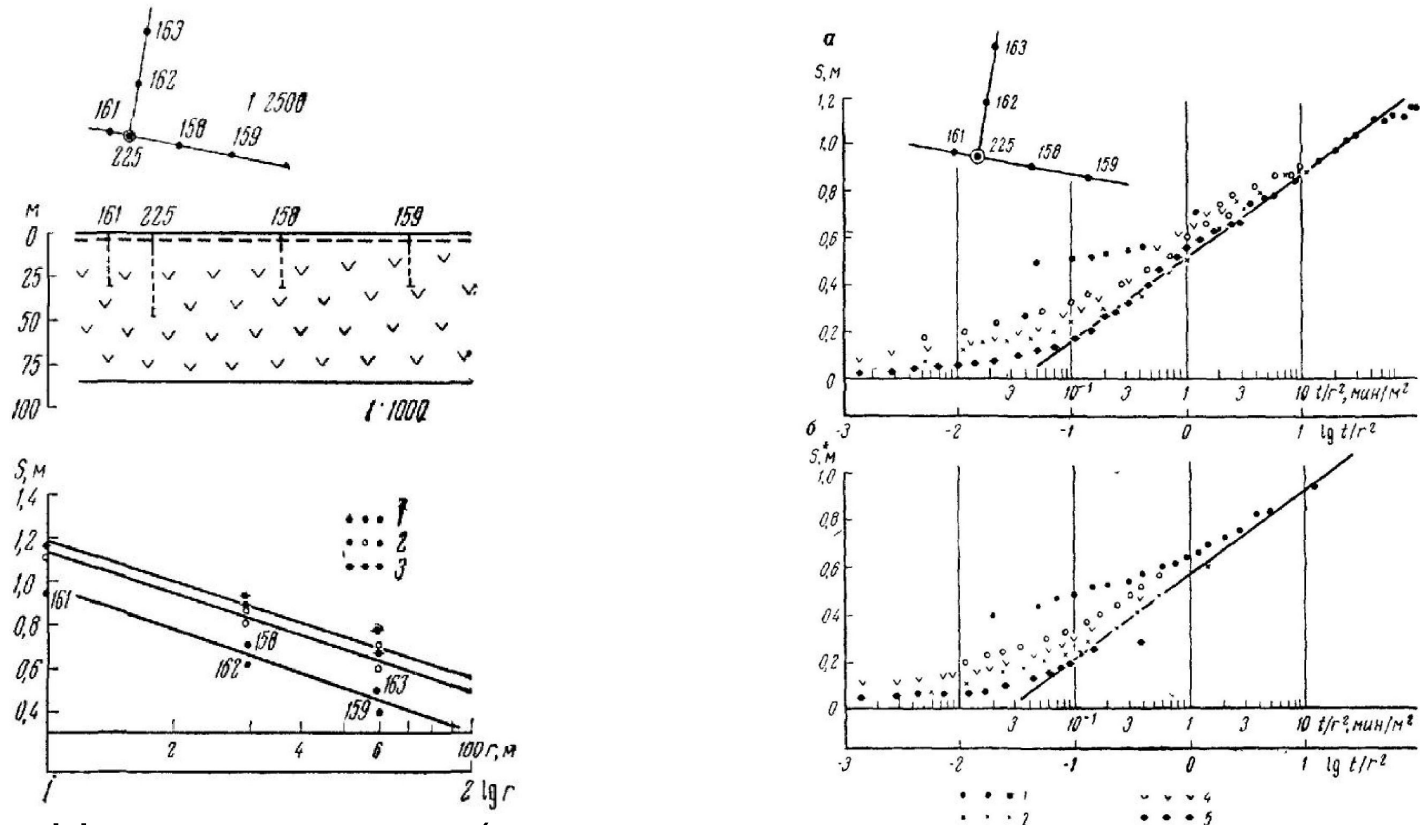


Рис. Графіки площинного (на моменти часу $t = 1000$ хв., $3 - 9720$ хв) та комбінованого простеження при кущовій відкачці з днбітом $Q = 536$ м³/доба. На комбінованих графіках ефект «подвійної пористості» чітко виражений.

Уральська ділянка

Отримані геофільтраційні параметри:

Наименование опыта	$Q_{\text{ср}},$ м ³ /сутки	C	$km = \frac{0,183Q}{C}$	A	$\lg a$	$a,$ м ² /сутки
Понижение	536	0,36	272	0,52	1,095	$1,8 \cdot 10^4$
Восстановление	536	0,36	272	0,57	1,235	$2,5 \cdot 10^4$

Уральська ділянка

отримані геофільтраційні паракметри

Комбіновані графіки виходять на одну асимптотичну пряму, а розраховані параметри збігаються з результатами розрахунку по площинних графіках.

Способы обработки	Водопроницаемость <i>kt, м²/сутки</i>	Уровнепроницаемость <i>a, м²/сутки</i>	Водоотдача <i>μ</i>
$S - \lg \frac{t}{r^2}$	272	$1,8 \cdot 10^4$	0,015
$S^* - \lg \frac{t}{r^2}$	272	$2,5 \cdot 10^4$	0,011
$S - \lg r$	307	$3,2 \cdot 10^4$	0,01

Час запізнювання в даному прикладі не перевищав 1,4 — 2,9 год.

Час запізнення (т)

Название участка. Водовмещающие породы	№ куста	№ наблюдательной скважины	г, м	Время выхода графика на асимп- тоту t_{+k}	Контрольное время t_k , ч	Время запаздывания т, ч		
Ишимский (Казахстан). Песчаник	1018	1019	64	180	7	173		
		1026	31	200	2.6	197		
		1020	30	160	0.04	160		
Беркутинский (Казах- стан). Закарстованные из- вестняки и доломиты	426	244	38	26	32	Практически отсутствует		
		404	190	28	33			
		408	133	28	32			
		409	175	28	38			
		425	136	45	38			
	428	244	111	40	33	7		
		408	48	31	12	7		
		409	48	28	11	19		
		424	29	17	12	17		
						5		
Сухарышский (Урал). Закарстованные известняки	102—57	83	14	120	0,03	120		
	—72	102	13	108	0,03	108		
		113	25	108	0,1	108		
Ступинский (Московский артезианский бассейн). За- карстованные известняки	7	1	390	40	1,8	38		
		8	320	42	4,9	37		
		83	660	56	21	35		
Розентальский (Саксон- ская Швейцария). Кварце- вые песчаники	42	52	140	0,17	0,02	Практически отсутствует		
	53	1017	220	0,57	0,05			
		1017	180	1,5	0,17			
Кемеровский. Красно- цветные песчаники	46	41	180	15	0,24	15		
Мийкайнарский (Казах- стан). Закарстованные из- вестняки	35	50	50	400	2,7	397		
			48	70	370	5,3	365	
			49	100	340	11	329	
	40	47	120	300	16	284		
		51	294	300	94	206		
		46	404	300	177	123		
		11	40	33	0,29	33		
		41	60	90	0,65	89		
		43	140	90	3,6	86		
		44	120	22	2,6	19		
		25	431	42	33,6	8		
		60	473	46	40,4	6		
		Уральский. Порфириты	225	158	30	4,3	2,9	1,4
				162	30	5,8	2,9	2,9
		Окский. Калуга (Москов- ский артезианский бас- сейн). — Закарстованные известняки	152610—	152284	580	250	13	237
152611—								
152612	152283		1290	250	27	223		

Висновок

У тріщинно-карстових середовищах, що характеризуються одною системою пустот або двома, але із близькими фільтраційними властивостями, розрахунок параметрів в умовах наявності границь виконується, як і у звичайних пористих середовищах.

Асимптотичні ділянки комбінованих графіків по різних спостережних свердловинах повинні бути паралельні між собою, а абсолютні величини параметрів, розраховані по площинних графіках $S - \lg(r)$ істотно завищені. Дійсно, графік комбінованого простеження по куцу 40 являє собою сімейство паралельних прямих. Параметри, отримані по комбінованому та часовим графікам практично збігаються.

Найбільші складності виникають при інтерпретації результатів відкачок з обмежених пластів, складених інтенсивно тріщинуватими й закарстованими породами.

В умовах сполучення ефекту «подвійної пористості» з різними граничними факторами аномальності при аналізі даних дослідних відкачок можливі наступні варіанти:

а) вплив границь проявляється в часових і комбінованих графіках у формі появи кінцевого більше пологої або більше крутої ділянки; розрахункова асимптотична ділянка формується до початку впливу границь; графік має характерну форму;

б) вплив границь, не деформує характерної форми графіків, але змінює кутовий коефіцієнт асимптотичної ділянки графіка;

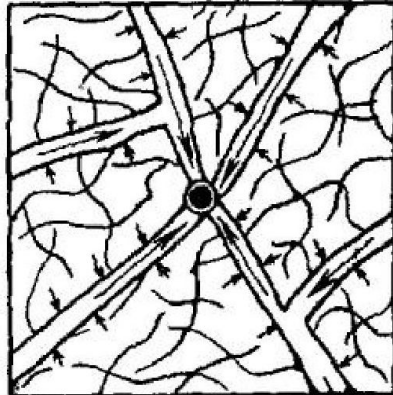
в) вплив границь деформує характерну форму графіка, не дозволяючи виділити асимптотичну розрахункову ділянку на часових і комбінованих графіках.

В останньому випадку задача розрахунку гідрогеологічних параметрів методом Джейкоба стає невизначеною,

ВОДОНОСНІ ГОРИЗОНТИ
У ПОРОДАХ
З РІЗКО НЕРІВНОМІРНОЮ
ТРІЩИНУВАТІСТЮ

Загальна характеристика

- У багатьох випадках, особливо в межах древніх щитів і масивів ефузивних, інтрузивних і метаморфічних порід, важливу роль грають окремі відносно рідкі великі тектонічні тріщини, відкриті розломи, зони подрібнення, що мають досить високі фільтраційні властивості являються основними шляхами фільтрації підземних вод.



- До таких порід відносяться родовища так званих тріщинно-жильних води. У цих умовах розмірами й конфігурацією окремих тріщин зневажити не можна, оскільки фільтраційний потік втрачає радіальний характер

Підхід до розрахунку геофільтраційних параметрів

- Підхід до розрахунку фільтрації, заснований на конкретному обліку конфігурації й ступеня розкриття окремих великих тріщин у більшості випадків не застосовується, оскільки, з одного боку, конфігурація, розміри тріщин і їхні фільтраційні властивості невідомі, а з іншого боку, закономірності їх зміни настільки складні, що математичні труднощі розрахунку фільтрації в цих умовах стають важко переборними.

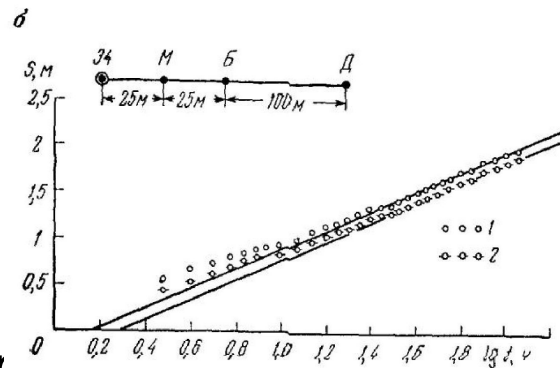
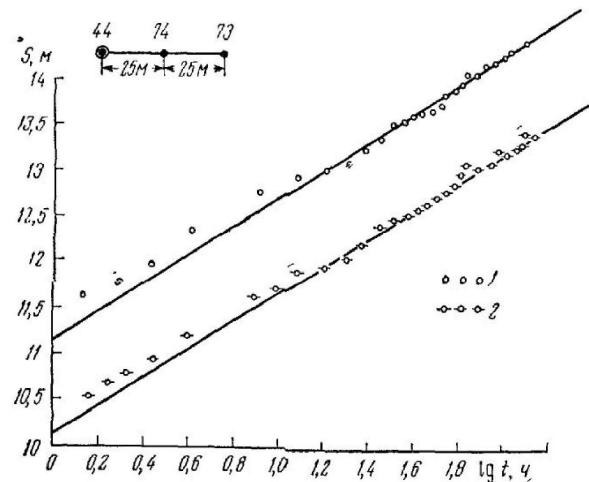
Форми прояву впливу великих тріщин

- 1) зниження рівня у двох різновіддалених від дослідної та розташованих по одному напрямку вздовж тріщини (розлому) спостережних свердловинах досить близькі між собою або навіть однакові;
- 2) зниження рівня в далекій свердловині більше, ніж у ближній, хоча свердловини розташовані по одному променю;
- 3) у свердловинах, розташованих на різних променях на одній відстані від дослідної, зниження рівня по абсолютній величині різняться на порядок і більше.

Результати дослідних відкачок із сильно метаморфізованих архею (Щучинська ділянка)

- Відкачка із свердловини №44 ($Q = 7$ л/сек). По одному променю на відстанях 25 і 50 м від дослідної розташовані дві спостережливі свердловини 74 і 73, Зниження рівня в них на кінець відкачки склали відповідно 13,16 і 14,43 м, тобто в дальній зниження було більше, ніж у ближній. Як видно із цих результатів, далека свердловина потрапила в більшу тріщину, а ближня — так звану «оперяючу». Нерівномірність тріщинуватості привела до різкого порушення радіальності потоку.
- Відкачка зі свердловини №34 ($Q = 5,35$ л/сек). Але одному променю розташовані три спостережливі свердловини на відстанях 25, 50 і 150 м від дослідної. Зниження рівня відповідно склали 2,03, 2,01 і 1,96 м.
- У той же час при обох відкачках дослідні закономірності зниження рівня в часі має однаковий характер.

Результати дослідних відкачок із сильно метаморфізованих порід архею (м. Щучинськ Кокчетавської області)



Графіки часового пр...

Отримані геофільтраційні параметри

№ ОПЫТНОЙ СКВАЖИНЫ	Дебит, м ³ /сутки	№ наблюдательной скважины	Расстояние до опытной скважины r, м	Понижение уровня S, м (при t = 4 суток)	Коэффициент водопроницаемости м ² /сутки		Коэффициент уравниваемости a, м ² /сутки	Расчетное значение при a = 1,5 · 10 ⁴ м ² /сутки
					по графикам S - lg t	по формуле ДЮПКИ		
44	601	74	25	13,22	74	—	5,5 · 10 ¹⁰	3,46
		73	50	14,25	74	—	8,5 · 10 ¹⁰	2,56
34	460	А	25	1,91	80	—	4,7 · 10 ³	2,44
		Б	50	1,91	80	935	1,86 · 10 ⁴	1,83
		Д	150	1,82	80		1,86 · 10 ⁵	0,82

Інтерпретація результатів

- З табл. видно, що при відкачці зі свердловини 34 завищені значення коефіцієнту рівнепровідності виходять завищені у віддаленій від дослідної свердловини ділянці, де фактична крива депресії розташовується нижче розрахункової, та занижені, навпаки, поблизу свердловини, де фактична крива депресії вище розрахункової. Це пов'язане із дренавальним впливом великих тріщин.
- Перевірка розрахунку коефіцієнта водопровідності по формулі Дюпюї дає різко завищений результат (див. табл.).
- При відкачці зі свердловини №44 фактичні зниження виявилися істотно більше розрахункових, що свідчить про те, що основний приплив до свердловини відбувається лише по декількох великих тріщинах.

Інтерпретація результатів

Інтерпретація результатів

- У випадках подібних до відкачка зі св. 34 розрахунок по свердловинах, що потрапила у велику тріщину, може дати різко завищене значення водопровідності, що характеризує по суті проникність тріщини. Остання пов'язана із проникністю шару наступним співвідношенням:

$$K = K_{\text{тр.}} \cdot n,$$

де K і $K_{\text{тр.}}$ — коефіцієнти фільтрації шару й тріщини; n — пористість.

- Якщо одна зі свердловин потрапила в слабо проникний блок, а друга в тріщину, значення водопровідності буде різко занижено. При розкритті обома свердловинами слабо проникних порід водопровідність шару може, виявитися істотно завищеною.
- Очевидно, що в розглянутих умовах визначення параметрів на основі площинного простеження зміни рівнів при невеликому числі точок замірів практично неможливо.
- Однак у ряді випадків можна скористатися загальним графіком S/Q — $\lg(r)$, коли за рахунок великої кількості точок, незважаючи на їхнє розсіювання, вдається провести осереднюючу лінію.

Висновок

- Розглянуті в даному розділі умови можна охарактеризувати як крайній граничний випадок середовища з «подвійною пористістю».
- Природно, що р таких умовах час запізнювання може бути дуже великий. Тому в ряді випадків досягнення квазістаціонарного режиму виявляється практично неможливим, а отже, завдання визначення параметрів за даними дослідних робіт по суті, нездійснено.

ВОДОНОСНІ ГОРИЗОНТИ
В АНІЗОТРОПНИХ ТРІЩИНУВАТИХ
ПОРОДАХ

Загальні положення

- У роботах Е. М. Смехова, Е. С. Ромма й інших дослідників показано, що у формуванні загальної тріщинуватості гірських порід провідну роль грають тектонічні тріщини. Їх характерними рисами є системність і певна орієнтація в просторі.
- Найчастіше орієнтування більших тріщин збігається із простяганням порід.
- Тому для тріщинуватих гірських порід характерна анізотропія їхніх фільтраційних властивостей.
- У плані визначення розрахункових гідрогеологічних параметрів з урахуванням анізотропії гірських порід найбільший інтерес представляє однорідна прямолінійна анізотропія, коли напрямки головних осей не міняється при зміні координат і властивості середовища залишаються незмінними від точки до точки.
- У випадку неоднорідної криволінійної анізотропії вона повинна бути зведена до однорідної прямолінійної, інакше можливості розрахунку параметрів обмежені так само, як і в умовах різкої нерівномірної тріщинуватості.

Метод ізотропної деформації простору

Основним методом рішення фільтраційних завдань в анізотропних породах є метод ізотропної деформації простору. Шляхом підстановки $y_i = \text{const } x_i K_i^{1/2}$ рівняння фільтрації в анізотропному середовищі приводиться до рівнянь для ізотропного середовища.

Рішення диференціального рівняння несталої фільтрації в шарі із прямолінійною однорідною анізотропією отримане Н. К. Гавич для умов радіального потоку при трансформації однієї з осей координат у вигляді:

$$S = \frac{Q}{4\pi h \sqrt{K_x \cdot K_y}} \left[-E_i \left(\frac{(r')^2}{4a_y t} \right) \right],$$

де K_x і K_y — коефіцієнти фільтрації по головних осях координат x та y ;
 r — радіус-вектор у системі координат x та y ,

$$r' = \sqrt{y^2 + \frac{K_y}{K_x} \cdot x^2}.$$

При цьому приймається, що C_0 ємність ісповивності тріщинуватості (або водовіддача) залишається постійною незалежно від обраного напрямку:

де a_x a_y — коефіцієнти п'єзопр $\frac{K_x}{a_x} = \frac{K_y}{a_y}$ по різним осям анізотропії.

Метод ізотропної деформації простору

Аналогічний вираз, але при трансформації обох осей координат отримай Е. С. Роммом.

Як і у звичайному ізотропному шарі, за умови, що експонентна функція може бути замінена логарифмічної, тоді вираз

$$S = \frac{Q}{4\pi h \sqrt{K_x \cdot K_y}} \left[-E_i \left(\frac{(r')^2}{4a_y t} \right) \right],$$

за умови трансформації осі x може бути записаний у вигляді:

$$S = \frac{Q}{4\pi h \sqrt{K_x \cdot K_y}} \ln \frac{2,25 \cdot a_y t}{(r')^2}.$$

Дані залежності показують, що в анізотропному шарі в умовах квазістаціонарної фільтрації темп зниження рівня не залежить від напрямку й визначається середнім геометричним значенням коефіцієнту фільтрації, який можна розглядати як його ефективну величину:

$$K_{\text{ср}} = \sqrt{K_x K_y}.$$

Метод ізотропної деформації простору

- Величина зниження рівня в анізотропному шарі залежить від положення точки, у якій визначається зниження, стосовно дослідної свердловини й головних осей анізотропії.

З огляду на рівність, вираження для зниження рівня на головних осях анізотропії приймають вид:

$$\begin{aligned} \text{на оси } y \ (r' = r_y) \quad S_y &= \frac{Q}{4\pi h \sqrt{K_x \cdot K_y}} \cdot \ln \frac{2,25 a_y t}{r_y^2}; \\ \text{на оси } x \ (r' = r_x \frac{K_y}{K_x}) \quad S_x &= \frac{Q}{4\pi h \sqrt{K_x \cdot K_y}} \cdot \ln \frac{2,25 a_y t}{r_x^2 \frac{K_y}{K_x}}. \end{aligned}$$

- Таким чином, у свердловинах із прямокутною неоднорідною анізотропією основні розрахункові параметри по осях анізотропії можуть бути визначені способом Джейкоба з використанням всіх трьох його модифікацій. Розрахункові формули наведені в табл.

- Для визначення параметрів з використанням всіх модифікацій способу Джейкоба необхідно мати на кожній головній осі анізотропії x и y не менш трьох спостережних свердловин.
- В іншому випадку може бути використаний тільки спосіб часового простеження.
- Критерієм необхідності врахування анізотропії при обробці результатів дослідних відкачок є витягнутість і еліпсоподібна форма воронки депресії з істотним розходженням довжин півосей еліпса.
- В той же час питання про кількісну оцінку погрішностей, що виникають при ігноруванні анізотропії, у загальному випадку не вирішений.
- Тому можлива погрішність повинна оцінюватися в кожному конкретному випадку, після чого можна встановити необхідність врахування анізотропії.

Положение скважин	Способ обработки и координаты графиков			№ формулы в тексте
	Временное прослеживание $S - \lg t$	Площадное прослеживание $S - \lg r$	Комбинированное прослеживание $S - \lg \frac{t}{r^2}$	
Независимо от местоположения	$\sqrt{K_x K_y} = \frac{0,183Q}{hC}$	$\sqrt{K_x K_y} = \frac{0,366Q}{hC}$	$\sqrt{K_x K_y} = \frac{0,183Q}{hC}$	6.14
Ось y	$\lg a_y = 2 \lg r_y - 0,35 + \frac{A}{C}$	$\lg a_y = \frac{2A}{C} - 0,35 - \lg t$	$\lg a_y = \frac{A}{C} - 0,35$	6.15
Ось x	$\lg \frac{K_y}{K_x} = \lg a_y +$ $+ 0,35 - \frac{A}{C} - 2 \lg r_x$	$\lg \frac{K_y}{K_x} = \lg a_y +$ $+ 0,35 - \frac{2A}{C} + \lg t$	$\lg \frac{K_y}{K_x} = \lg a_y +$ $+ 0,35 - \frac{A}{C}$	6.16
Ось x	$\lg a_x = 2 \lg r_x - 0,35 + \frac{A}{C}$	$\lg a_x = \frac{2A}{C} - 0,35 - \lg t$	$\lg a_x = \frac{A}{C} - 0,35$	6.17
Ось y	$\lg \frac{K_x}{K_y} = \lg a_x +$ $+ 0,35 - \frac{A}{C} - 2 \lg r_y$	$\lg \frac{K_x}{K_y} = \lg a_x +$ $+ 0,35 - \frac{2A}{C} + \lg t$	$\lg \frac{K_x}{K_y} = \lg a_x +$ $+ 0,35 - \frac{A}{C}$	6.18

Загальні висновки

- 1. Тріщинуваті й закарстовані породи в більшості випадків характеризуються подвійною природою пустотності, що приводить до зміни ефективної водовіддачі в процесі дослідного відкачування.** У зв'язку із цим асимптотичні ділянки дослідних закономірностей зміни рівня, які можуть бути апроксимовані рівнянням Тейса — Джейкоба, формуються з деяким запізнюванням x у порівнянні зі звичайними зернистими шарами, так само як це має місце в безнапірних водоносних об'єктах при ефекті Болтона. Час запізнювання виходу графіків на асимптотичну ділянку змінюється в широких межах і є величиною практично не прогнозованою.
- 2. Вибір розрахункових ділянок часових і комбінованих графіків виконується по суті на основі якісного аналізу дослідних закономірностей зміни рівнів у процесі відкачок, тому, що критерій контрольного часу в даних умовах не може бути застосований.**
- 3. Найкращі результати при діагностуванні розрахункових ділянок графіків дає комбіноване простежування.** Комбіновані графіки залежно від структури тріщинуватого або тріщинно-карстового середовища й співвідношення фільтраційних і ємнісних властивостей різних типів порожнеч можуть бути представлені:
 - а) загальним напівлогарифмічним графіком, що формується по суті без запізнювання (ефект «подвійної пористості» відсутній або практично не проявляється);
 - б) графіками, аналогічними графіками Болтона, із загальною асимптотичною ділянкою, що формується із запізнюванням;
 - в) сімейством графіків з паралельними асимптотичними ділянками, що формуються із запізнюванням.

Загальні висновки

4. **У шарах з різко нерівномірною тріщинуватістю у зв'язку з можливим порушенням радіальності потоку коефіцієнти водопровідності можуть бути отримані лише по часовим і комбінованим графікам.** Однак час досягнення квазістаціонарного режиму може виявитися дуже значним. Площинне простеження рівня, як правило, не застосовується, лише в окремих випадках вдається використовувати загальний графік $S/Q - \lg(t)$. У цих умовах неможливо також визначення дійсного коефіцієнта п'єзопровідності.
5. **Визначення параметрів анізотропних шарів може бути виконано звичайними методами, але з урахуванням зміни форми потоку.** Тому всі графіки варто будувати роздільно для свердловин, розташованих на різних осях анізотропії.
6. **У зв'язку із запізнюванням формування асимптотичних ділянок для аналізу ступеня впливу границь критерій наведеної відстані ($r_{пр}$) може бути використаний лише при невеликих значеннях t .** Факт впливу границь може бути додатково встановлений по початку появи аномальної ділянки, що буде залежати від положення свердловини відносно межі (границі), що не спостерігається при впливі «подвійної пористості».