Mélyfúrási geofizikai módszerek alkalmazása és eredményei a Szovjetunió egyes körzeteiben

V. K. POPOV – JU. KONOPLJOV – Z. Z. HANIPOV – V. CSRNIJ

A Magyar Geofizikusok Egyesülete Mélyfúrási Geofizikai Szakosztálya 1973. február 7-én a fenti tárgykörrel előadás-sorozatot rendezett, amelynek keretében Popov V., Konopljov Ju., Csornij V. és Hanipov Z. szovjet szakemberek ismertették a Szovjetunió egyes körzeteiben alkalmazott mélyfúrási geofizikai módszereket és az elért eredményeket. Az alábbiakban bő kivonatban ismertetjük a beszámolók anyagát.

7 февраля 1973 г. в промыслово-геофизической секции Общества Венгерских Геофизиков была организована конференция с серией докладов на вышеуказанную тему. В рамках этой конференции советские специалисты В. Попов, Ю. Коноплев, В. Черный и З. Ханипов изложили результаты применения различных промыслово-геофизических методов в различных районах Советского Союза.

Die Bohrlochgeophysikalische Fachabteilung der Ungarischen Geophysikalischen Gesellschaft organisierte am 7ten Februar 1973 eine Vortragsreihe im obengenannten Fachbereich. In Rahmen dieser Sitzung hielten V. Popov, Ju. Konopoljov, V. Csornij und Z. Hanipov sovjetische Fachmänner Vorträge, in welchen sie die in einigen Gebieten der Sovjetunion zur Anwendung gelangenden bohrlochgeophysikalischen Methoden und die erzielten Resultate bekanntmachten. Im folgenden werden die Vorträge in ziemlich eingehenden Auszügen wiedergegeben.

1. Áttekintő beszámoló

V. K. Popov – Ju. Konopljov

A Szovjetunióban évről-évre nő a nagymélységű, *5–7 km*-es kutatófúrások száma, különösen olyan körzetekben, mint a Kaukázus, Ukrajna, Közép-Ázsia stb. Eddig már több száz ilyen mélyfúrást mélyítettek. A geofizikai mérések az összes anyagi ráfordítások *1,5–4,2%*-át teszik ki. A legmagasabb mért hőmérséklet *221 C°* (*6320 m* mélységben Krasznodár körzetében), a nyomás *1200 atm.* volt.

A geofizikai méréseket a nagymélységű fúrásokban egyeres páncélkábellel végzik CsM típusú, frekvencia-modulációs lyukműszer segítségével, egyidejűleg *3–4* paramétert regisztrálnak. A lyukműszerek, perforátorok és különböző csatlakozó eszközök hő- és nyomás-tűrését alkalmazásuk előtt autoklávokban vizsgálják.

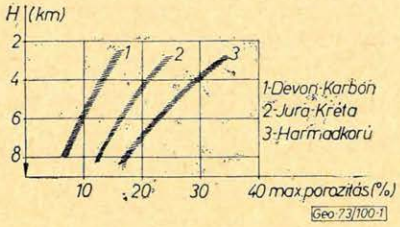
Az alkalmazott mélyfúrási geofizikai komplexum tartalmazza: a hagyományos elektromos méréseket (*BKZ*), 3-elektródás laterolog mérést (*ABK–3*), *PS* mérést, mikroméréseket, lyukbőségmérést, hőmérsékletmérést, ferdeségmérést, természetes- és neutron-gamma méréseket és az utóbbi időben akusztikus méréseket, valamint a mikrolaterolog mérést.

Különlegesség az érdekes intervallumok különböző időben történő többszöri bemérése. Ez esetben az iszap-filtrátum nagy mélységben való behatolásának elkerülésére az első szelvényezést a reményteljes rétegek átharántolása után lehetőleg közvetlenül, de legfeljebb *3–7 nap* elteltével kell elvégezni. Az ilyen ismételt mérések új, többlet-információt adnak a tároló rétegek kijelölésére és telítettségük becslésére. Az áteresztőképes repedezett zónák kimutatására egyes esetekben az ismételt méréseket iszapcserével, illetve az iszapnak a rétegbe való besajtolásával kombinálják.

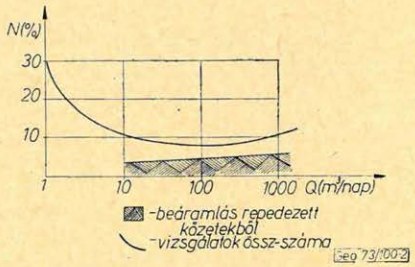
A homokkövek és az aleuritok porozitása a mélységgel csökken. A porozitás-változás jellege függ a cementálóanyag agyagtartalmától, a szemcsemérettől, a kőzet korától és metamorfizmus fokától. Minél nagyobb az agyagosság és minél idősebb a kőzet, annál kisebb nagy mélységekben a porozitás. Ezt sematikusan tükrözi az *1. ábra*, ahol a maximális porozitás-érték változása látszik a mélység függvényében magadatok alapján.

Találhatók kivételek is, így például *5 km* mélységből nagy porozitású *(kb. 20%-os)* jura korú homokkő-mintát vettek.

A homokkövek áteresztőképessége a mélység függvényében szintén csökken. A permeabilitás legjellemzőbb értéke *5 km*-nél nagyobb mélységekben *1–5 mD*.



1. ábra – puc. – Abb.



2. ábra – puc. – Abb.

Ennek megfelelően *4 km* alatti mélységekben általában igen kevés a folyadék termelvény-mennyisége. Azonban fiatal korú vagy repedezett tárolókban nagy mennyiségű beáramlást is észleltek *(2. ábra)*.

A karottázs-értelmezés a mélység növelésével egyre nehezebbé válik az alábbi okok miatt:

1. Kis porozitás-értékeknél nehéz meghatározni, mi okozza a vizsgált réteg magas elektromos ellenállását, szénhidrogén jelenléte vagy a porozitás csökkenése.

2. Gyakran találhatók olyan esetek, amikor az infiltrált zóna mélysége nagyon nagy *($D/d > 16-32$)*. Ez esetben a laterológ és a *BKZ (4* és *8 m*-es szondák) alapvetően csak az infiltrált zónát érzékeli.

3. Nő a repedezett zónák szerepe, ugyanakkor azok kijelölése és szénhidrogén-tartalmuk becslése nehéz, kevésbé reményteljes, mint a terrigén tárolóké.

A konkrét területekre és kőzetekre a geofizikai adatok értékelésének egyedi, meghatározott módszereit kell kidolgozni. Pl. Krasznodár körzetében, ahol *70*-nél több nagymélységű fúrás mélyült, az alsó kréta- és a jura-korú homokkövek értékelésére számítógépes eljárást dolgoztak ki. Többváltozós regressziós-analízis alkalmazásával meghatározták az összefüggést a magas porozitások és *4–5* geofizikai paraméter között *(ϱ_Δ, PS, NGK, h_e, H, GK* stb.).

A programot úgy állították össze, hogy csak a legtöbb információt hordozó paramétereket választja ki és a kapott egyenletek hibáit is meghatározza. A minimális hiba alapján meghatározzák a legjobbakat és azokból nomogramot szerkesztenek. Ezután hasonló módon többváltozós függvény-

nyel vizsgálják az agyagosságot, a rétegvizek sótartalmát és egyéb sajátosságokat, majd komplex nomogramot szerkesztenek, mely lehetőséget biztosít a porozitásnak, az agyagosságnak, a rétegvizek sótartalmának, a szénhidrogéntelítettség fokának meghatározására. A kapott adatokat a gyakorlatban felhasználják.

Ezenkívül gyűjtik és rendszerezik a magokon mért kőzetfizikai adatokat (porozitás, permeabilitás, agyagtartalom, karbonáttartalom, szemcsenagyság, kristály-összetétel stb., mintegy *40* ezer minta), melyeket mágnesszalagon tárolnak. Programozzák ezen adatok statisztikai feldolgozását (például a minták korok, litológiai, területi és fizikai tulajdonságuk szerinti csoportosítása, két- és többoldalú kapcsolatok analízise, egyes paraméterek eloszlás-vizsgálata, paraméterek átlagértékének meghatározása stb.).

Ezt a tárolási és feldolgozási rendszert felhasználják porozitás-, permeabilitás- és kőzetsűrűség-térképek szerkesztésére, valamint operatív információ gyűjtésére a vizsgált rétegek karottázs-értelmezéséhez.

2. *A folyadéksűrűség mérése olajtermelő kutakban gamma-gamma sűrűségmérővel*

Z. Z. Hanipov

A *GGP* típusú gamma-gamma sűrűségmérő lyukműszereket az olaj- és a gáztermelő kutakban a beáramló folyadékok sűrűségének a meghatározására alkalmazzák. A béléscsövezett fúrólyukban a meghatározott folyadék-sűrűségi értékek ismerete a mélység függvényében lehetővé teszi a beáramlás (vagy az elnyelés) és a béléscső mögötti áramlás pontos helyének a meghatározását, ezen adatok ismeretében pedig meg lehet állapítani a termelő cső beépítésének az optimális mélységét.

A GGP típusú *gamma-gamma* sűrűségmérő műszer működési elve azon alapszik, hogy a radioaktív izotóp által kibocsájtott gamma sugárzást a vizsgált közeg különböző mértékben nyeli el. A lyukműszer vázlata az *1. ábrán* látható: *1.* a műszertok; *2.* kábelfej; *3.* a szonda; — a szonda három, *120°*-ban elosztott acél tartón helyezkedik el, ami biztosítja a vizsgált folyadék szabad átáramlását. A szondát a végdugó (4) zárja le, amelyben a gamma sugárzást kibocsájtó radioaktív izotóp nyert elhelyezést. A lyukműszer konstrukciójának egyik fontos paramétere a szondahosszúság, amelyet úgy választanak meg, hogy a szonda saját anyagának hatása a mérési eredményekre minimális legyen, és a lehető legjobban differenciálja a vizsgálandó közeget. Ezenkívül biztosítani kell a gammasugár-forrás és a detektorok kollimációját is, a gammasugárzás egyenes vonalú terjedése miatt.

A műszertokban nyert elhelyezést az elektronikus egység. Az elektronikus egység biztosítja a gamma-sugárzás-detektorokról érkező jeleknek az erősítését, formálását és a felszínen levő regisztráló egységbe történő továbbítását. A gamma sugárzást szcintillációs detektorokkal, fotoelektron sokszorozóval, vagy gáz-kisülési csövekkel detektálják.

A *GGP* lyukműszerrel történő folyadéksűrűség-mérés előtt hitelesítési görbét vesznek fel *(2. ábra)*. A vízszintes tengelyre a mért folyadék-sűrűség kerül g/cm^3-ben. Az édes-víz sűrűségét feltételesen *1,0* g/cm^3-nek fogadják el, a gázolaj sűrűsége — *0,82* g/cm^3, a benzin sűrűsége pedig kb. *0,72* $g/cm^3 \cdot$ *1,0* g/cm^3 sűrűség-értéknél nagyobb sűrűséggel a különböző mineralizációjú rétegvizek és az öblítő folyadék rendelkeznek. A függőleges tengelyre kerül az $N_x/N_{é.v.}$ érték, ahol N_x az ismeretlen folyadékban mért impulzusszám, $N_{é.v.}$ pedig az

édes vízben mért impulzusszám. Ebből következik, hogy a fúrólyukban végzett szelvényezés előtt mindig meg kell határozni az impulzusszámot édes-vízben. A fúrólyukban végzett szelvényezés után édes vízben végzett ismételt impulzusszámlálás a lyukműszer stabil működésének a bizonyítéka.

A *GGP* típusú lyukműszerrel a szelvényezést felszállva termelő kutakban és a mélységi szivattyúval felszerelt termelő kutakban is el lehet végezni.

A felszállva termelő kutakban történő szelvényezés alkalmával a kútszájra lubrikátort, a tubing végére pedig a lyukműszer bevezetése céljából tölcsért kell felszerelni. A mélyszivattyúval termelő kutakban végzett szelvényezés alkalmával a lyukszájra excentrikus tárcsát kell elhelyezni, amely biztosítja, hogy a lyukműszer a cső közötti térben le tudjon jutni a mérési intervallumba. A tubing végére ilyen esetekben terelő csövet kell elhelyezni, ha a mérések a tubing alsó vége alatti intervallumban történnek.

A VNIIGISZ és a VNIIPromgeofizika által kifejlesztett és sorozatban gyártott *GGP – 3M* típusú lyukműszerek a felsorolt szelvényezési feladatok elvégzésére alkalmasak. A *GGP – 3M* egyeres páncélkábellel használható háromcsatornás radioaktív lyukműszer. A csatornák mérési feladatai:

Gk – A mélység meghatározása céljából végzett természetes gammasugárzás-szelvényezés;
GGP – A fúrólyukban levő folyadék sűrűségének meghatározása;
SZTD – A folyadék beáramlási helyének meghatározása.

A sűrűséget $\pm 0{,}015$ *g/cm*^{3} pontossággal lehet meghatározni a $0{,}4 - 1{,}2$ *g/cm*^{3} közötti sűrűségi intervallumban.

A lyukműszer Tu^{170} gammasugár-forrással üzemel (a Tu^{170} felezési ideje *129* nap, aktivitása *10 μr Ra ekv.)*. A szondahosszúság: *30 cm*. A detektorok: *VSZ – 8* gázkisülési cső, vagy *NaJ (Tl)* kristály *FEU – 60* fotoelektron sokszorozóval. A maximális üzemi hőmérséklet ± 80 *C°*, a nyomás-tűrés: *250 atm*. A lyukműszer átmérője: *25 mm*, hossza: *2200 mm*, súlya: kb. *10 kg*.

3. Az olajlelőhelyek leművelésének geofizikai ellenőrzési módszerei a rétegben történő többfázisú filtráció esetén

V. Csornij

A rétegben a következő termelési feltételek esetén jellemző a többfázisú filtráció:

1. olaj-gáz-tároló telep leművelésekor;
2. ha a talpnyomás lecsökken az olajban elnyelt gáz telítettségi nyomásértéke alá, vagy azzal egyenlő lesz;
3. az olajos rétegbe történő gázbesajtolás esetén.

A felsorolt esetben a rétegekben végbemegy – vagy végbemehet – az olaj, a gáz, a víz vagy elegyeiknek filtrációja.

Ilyen feltételek mellett szükség van az olajtelep leművelésének rendszeres ellenőrzésére mélyfúrási-geofizikai-hidrodinamikai komplex módszerekkel.

Az ellenőrzés főbb feladatai:

a) a termelő és elnyelő rétegek meghatározása,
b) a fázishatárok változásának követése (olaj-gáz, víz-gáz, víz-olaj),
c) az olajkiszorítási tényező meghatározása.

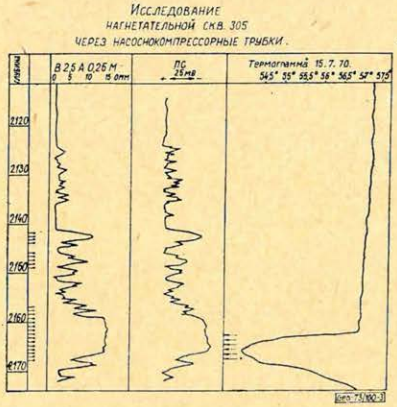
Itt az első két pont vizsgálatának eredményeit ismertetjük.

a) *A vízbeáramlás és elnyelés helyeinek és a pillanatnyi rétegtartalomnak a meghatározása*

Vizsgáljuk meg a geofizikai módszerek alkalmazását olyan konkrét esetben az olajtároló leművelésének ellenőrzésére, amikor igen változatos szerkezetű inhomogén a tároló a porozitási és agyagossági szempontból. A mezőt *20* éve termeltetik édes-víz besajtolásával. A rétegvizek kis sótartalmúak. A klórtartalom nem haladja meg a $3-4\ g/l$ értéket. A besajtoló kutak sorában a termelőcső a perforált intervallum alatt helyezkedik el.

A *3. ábrán* látható egy példa elnyelő rétegek kijelölésére a hőmérséklet-szelvény alapján. A mérést leállított kútban, a termelőcsőben végezték.

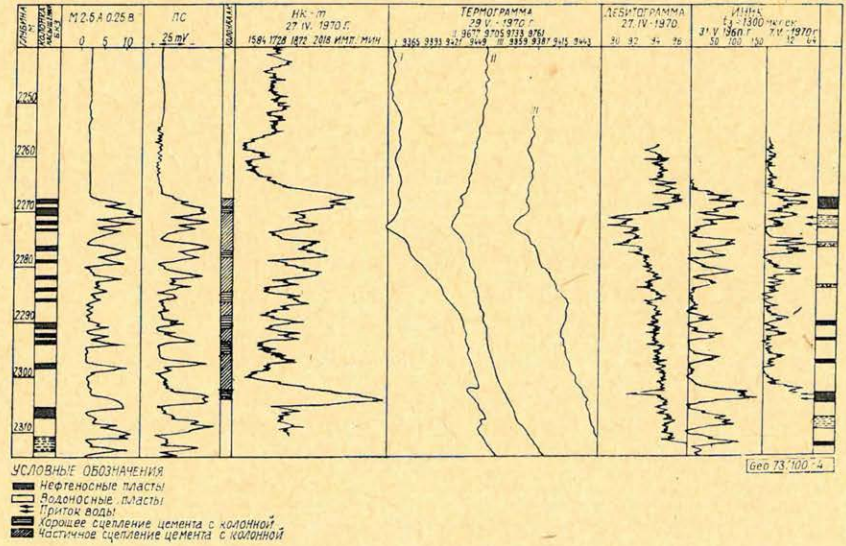
Az elnyelési intervallum megfelel a réteg legjobb áteresztőképességű szakaszának, mely a *PS* alapján is meghatározható.



3. ábra: A víz elnyelési intervallumának meghatározása elektronikus termoszondával.

Рис. 3. Определение интервала водопоглощения при помощи электронного термозонда

Abb. 3. Bestimmung des Absorptionsintervalles mit einer thermoelektrischen Sonde



4. ábra: Az elvizesedés intervallumának meghatározása geofizikai komplex módszerekkel.

Рис. 4. Определение интервала обводнения комплексными геофизическими методами

Abb. 4. Bestimmung des Verwässerungsintervalls mit geophysikalischen Methoden

A termelő rétegek meghatározása komplex geofizikai módszerek segítségével történik, mint pl. hozammérés, termometria.

A *4. ábrán* látható egy, a termeltetés közben *95%*-ig elvizesedett kút szelvényezésének az eredménye.

A termometria alapján a *2271–2272,2, 2276–2276,7 m* közötti intervallumok *0,141 C°* hőmérséklet-csökkenéssel jelentkeznek a geotermikus gradienshez viszonyítva, ami a rétegbe sajtolt víz következménye lehet. A hozammérési és hőmérsékleti eredmények alapján az elvizesedés forrásai is ezek a rétegek, de a *2304–2304,6 m* közötti intervallum a hőmérséklet-szelvényen nem észlelhető. Következésképpen feltételezhető, hogy ebből a rétegből a geotermikus gradiensnek megfelelő hőmérsékletű rétegvíz áramlik be a kútba.

A radioaktív módszerekkel meghatározott olajos rétegek: *2268,5–2280, 2281–2282,3, 2303–2305,6 m.*

A *2304–2304,6 m*-ben belépő víz a nem megfelelő minőségű cementpalást (az akusztikus szelvény alapján) és a mélyebben fekvő *(2308–2311 m)* rétegből történő átáramlás következménye.

A változó víz-olaj fázis-határ megállapítása édes rétegvíz vagy besajtolt vizek esetében az olaj megnövekedett gáztartalmával van kapcsolatban. A vizsgált lelőhelyen a termeltetés kezdeti szakaszában a talpnyomást csökkentették – vagy egyenlővé tették – a gáznak az olajban való oldódásának telítettségi nyomásával. Ez ahhoz vezetett, hogy az olajos rétegek gázt tartalmaznak, a vizesek és az elvizesedettek pedig nem, ami lehetővé teszi megkülönböztetésüket. A termelő és ellenőrző kutakban erre a célra az impulzus-neutron módszert használják. A víz-olaj fázis határát a termikus neutronok átlag élettartam-szelvényének a rétegek kollektor tulajdonságait tükröző *PS* szelvénnyel történő korrelációjából lehet meghatározni. Ez a kapcsolat a kutak rétegvizsgálatával bizonyítást nyert.

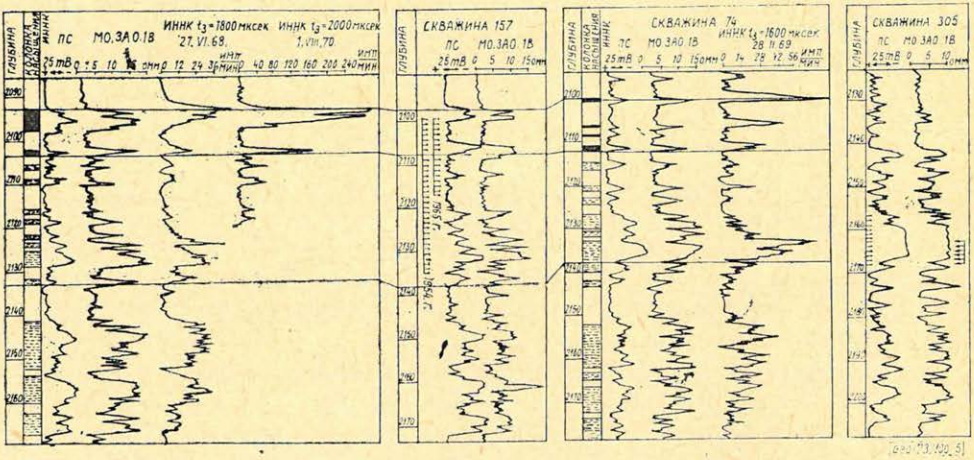
Az *5. ábra* példa a víz-olaj fázishatár meghatározására, az *INNK* mérési módszer alkalmazásával a *84.* és a *74.* számú kutakban, amelyekben az intervallumok nem voltak perforálva, a termeltetés mélyebben fekvő rétegekből folyt. Amint ez a *6. ábrából* látható, a víz-olaj fázishatár pillanatnyi helyzetének meghatározása az *INNK* és a *PS* mérések adatai alapján eléggé meggyőző.

A *3. ábrán* látható a *305*, a *74*, a *157* és a *84* számú kutakon átfektetett profil a besajtoló kúttól (1. ábra *305* sz. kút) a termelő kútig *(157* sz. kút), amely a vízfront előrehaladásának megfigyelésére készült. A 3. ábrán megfigyelhető, hogy a besajtolt víz csak a réteg legáteresztőképesebb szakaszában halad, és következésképpen nem tartja fenn a nyomást a teljes termeltetett intervallumban.

b) *A gáz belépési és elnyelési intervallumának meghatározása*

Az egyik telepen nagynyomású gáz besajtolásával történik az effektívebb termeltetés az inhomogén rétegekből. A gáz besajtolási és eloszlási folyamatának az ellenőrzésére geofizikai komplex méréseket alkalmaznak (termometria, radioaktív szelvényezés, debitometria stb.).

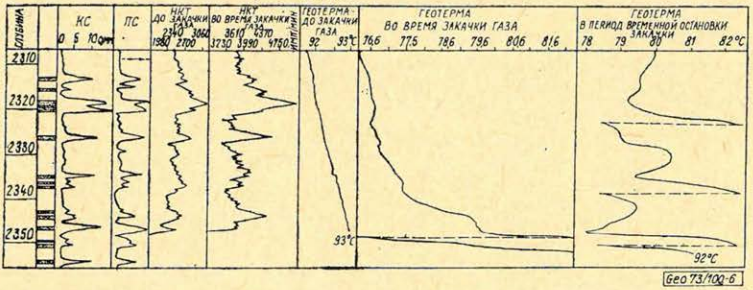
A *7. ábrán* látható egy besajtoló kútban a gáz besajtolása közben és a besajtolás után végzett geofizikai mérések szelvénye. A méréseket termoszondával NN_t-70-el végezték (termikus neutron szelvényezés *70 cm*-es szondahosszal) a gázbesajtolás rövid időre történő leállítása alkalmával.



5. ábra: A pillanatnyi víz-olaj fázishatár meghatározása édes rétegvizek esetében és a geofizikai szelvények korrelációja a kutak között.

Рис. 5. Определение мгновенного ВНК при пресных пластовых водах и корреляция каротажных данных между скважинами

Abb. 5. Bestimmung der momentanen Wasser-Öl-Phasengrenze im Falle von süssen Schichtengewässern und die Korrelierung der geophysikalischen Profile zwischen den Bohrlöchern



6. ábra: A gáz elnyelési intervallumának meghatározása besajtoló kutakban.

Рис. 6. Определение интервала поглощения газа в нагнетательных скважинах

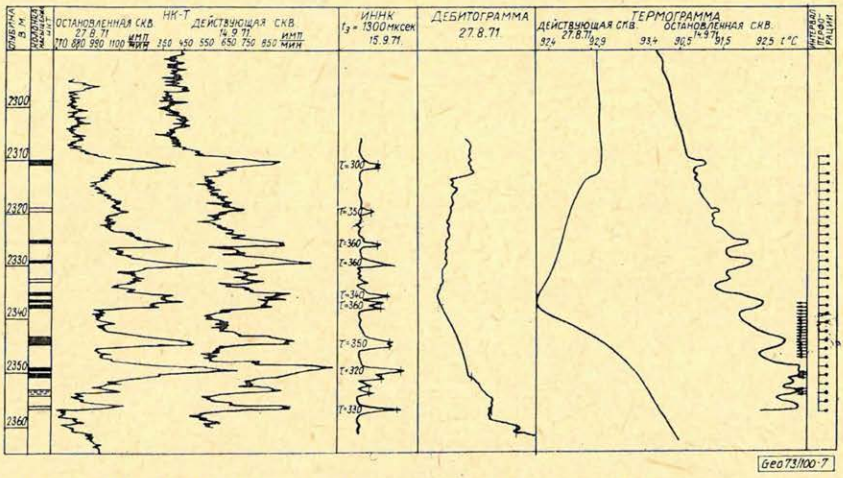
Abb. 6. Bestimmung des Absorptionsintervalls der Gase in Injektionsbohrlöchern

Amint az a *4. ábrán* megfigyelhető, az összes produktív réteg éles hőmérséklet-csökkenéssel – negatív hőmérsékleti anomáliával – jelentkezik a fojtóhatás eredményeképpen.

A radioaktív – NN_t – szelvényezés alapján is ezek a rétegek jelölhetők ki a *2306–2308 m* közötti intervallum kivételével, amelyet valószínűleg – mivel viszonylag vékony rétegről van szó – a műszer gyors huzatási sebessége miatt nem lehet kimutatni.

Az 5. ábrán megfigyelhetők ezen a lelőhelyen a besajtolt gáz megjelenésének meghatározási eredményei a termelő kútban.

A méréseket termelő és leállított kutakban végezték el hőmérséklet-hozam-, és radioaktív szelvényezési *(NNK, NN_t)* módszerekkel.



7. ábra: A gáz belépési helyének meghatározása termelő kútban geofizikai komplex módszerekkel.

Рис. 7. Определение места притока газа в эксплуатационных скважинах комплексными геофизическими методами

Abb. 7. Bestimmung der Einfallstellen der Gase in Produktionsbohrlöchern mit komplexen geophysikalischen Methoden

A termometria eredményei alapján a gáz belépési helye a *2340 – 2310 m* közötti intervallum. A termelő kútban végzett hozammérés alapján csak a *2360 – 2340 m* közötti intervallumból van beáramlás, az összes többi réteg az INK_t mérési eredményei alapján olajos.

A leállított kútban végzett hőmérséklet-szelvényezés alapján (a méréseket a lyuknak folyadékkal való feltöltése után egy nappal végezték) a gáz belépésének az intervalluma: *2336 – 2340 m* (negatív anomália) és az összes többi réteg olajat termel (a fojtó hatás pozitív anomáliája).

A termelés adatai alapján a kút nagy gáztényezővel termeli az olajat. A mérések elvégzése után két hónappal megjelent a kútban a besajtolt gáz.

A bemutatott példákból megállapítható, hogy a szénhidrogén-lelőhelyek termeltetésének ellenőrzését csak a geofizikai mérési módszerek komplex alkalmazásával lehet megoldani a besajtoló kutaktól a termelő kutakig terjedő rétegek korrelációja útján.

A leghatékonyabb szelvényezési módszerek erre a célra: a különböző radioaktív mérési módszerek, a termometria és a debitometria.