

ДОСЛІДЖЕННЯ СРЗК НА ТЕНГІЗЬКОМУ ГЕОДИНАМІЧНОМУ ПОЛІГОНІ

М. Кравченко, П. Несжмаков
(ДНВО "Метрологія" Держстандарту України)

Геодинамічні процеси на території України досліджуються у Гірському Криму, Українських Карпатах, в гірновидобувних районах Криворізького та Донецького басейнів, Шебелинського газового

родовища та інших дослідницьких полігонах [1-3], створених для нагляду за деформаціями земної поверхні (рис. 1).

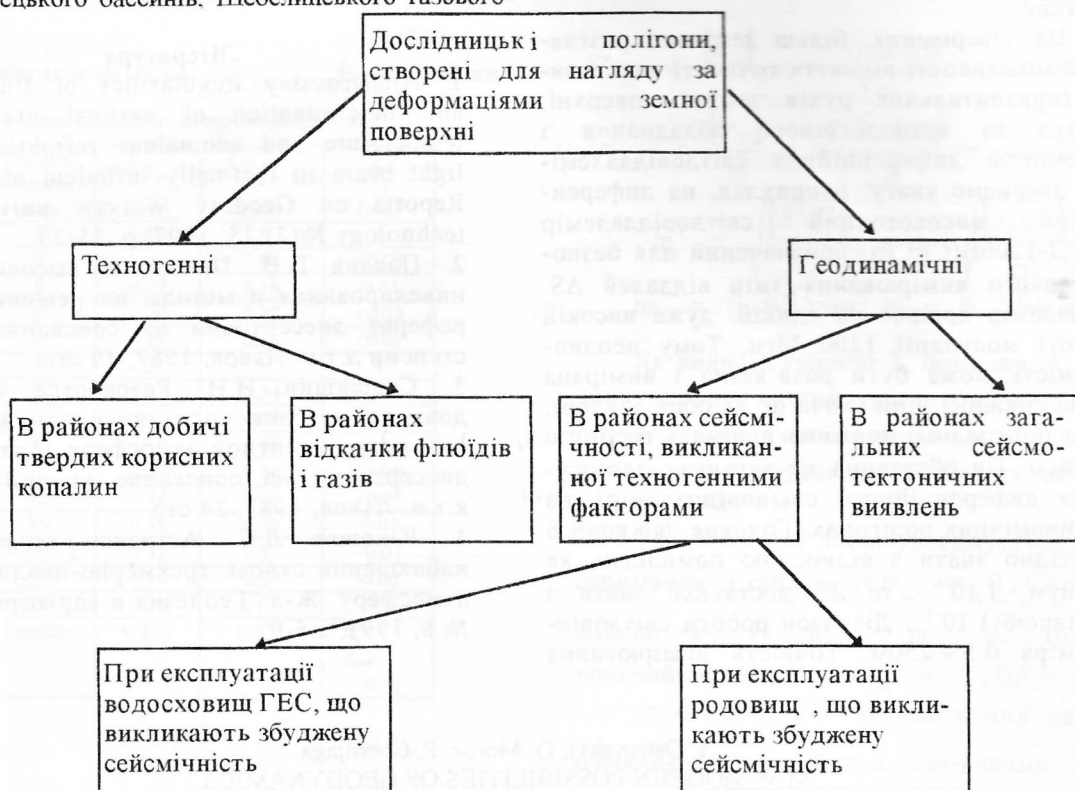


Рис. 1. Схема класифікації комплексних науково-дослідницьких полігонів, створених для нагляду за деформаціями земної поверхні.

Поверхня Землі знаходиться в безупинному русі. Основні деформаційні процеси вивчені в [4-5] і наведені на рис. 2.

Найбільш довгоперіодичні - це вікові, або тектонічні деформації, які дають інформацію про геологічну структуру регіону. Вони виявляються поблизу геологічних розломів земної кори, в процесах гороутворення, направлених рухів. Відношення приросту довжини до довжини вимірюваної бази (амплітуда відносної деформації) змінюється від 10^{-6} до 10^{-4} відносних одиниць.

Сезонні деформації несуть інформацію про будову верхніх шарів земної кори, ступінь їх здатності до утворення тріщин і виявляються факторами маскую чими геофізичні процеси. Найбільш помітними та стабільними серед довгоперіодичних

коливань виявляються приливні деформації земної кори під дією гравітаційного поля Місяця і Сонця. Притягання Місяця спричиняє збільшення радіуса Землі на 15-20 см. Це приводить до відносних зсувів у земній корі $(2-5) \cdot 10^{-8}$ в залежності від географічної широти. Спектральна структура приливної деформації багатокомпонентна (до 20 мод). Легко розрізняються 12- і 24-годинні моди. Найбільші амплітуди мають дві півдобові компоненти M_2 , C_2 і дві добові O_1 і K_1 .

До сейсмічних явищ відносять процеси від десятків годин до одиниць секунд. Найбільш явним виявленням сейсміки виявляються землетруси, їх відносні амплітуди деформації змінюються від 10^{-3} до 10^{-10} . Характерні періоди залежать від відстані, для близьких землетрусів

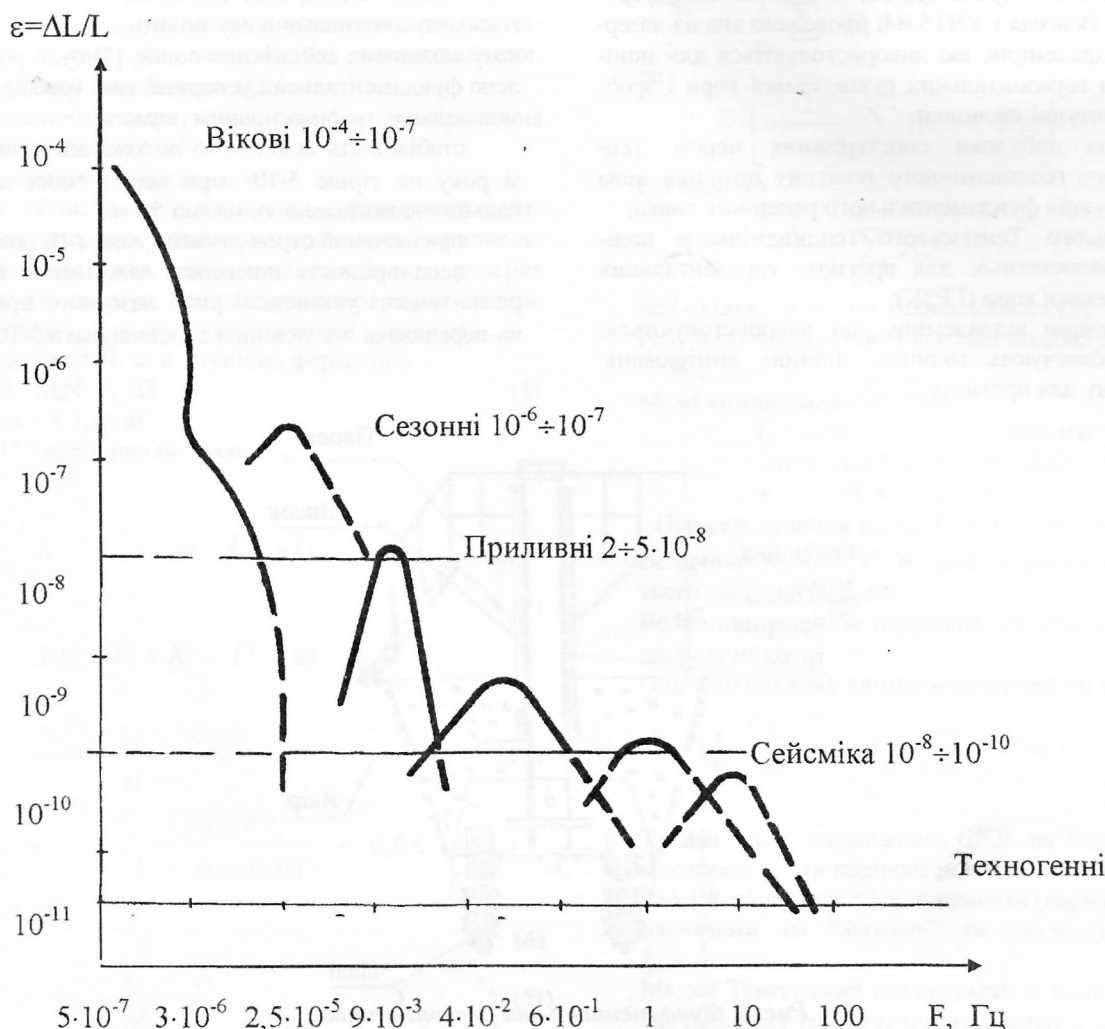


Рис. 2. Основні деформаційні процеси

(десятки кілометрів до епіцентру) це 10^{-1} - 1 сек, для віддалених (100-1000 км) вони складають одиниці хвилин. Наступний клас подій складають мікро-сейсмічні коливання. Вони пов'язані з впливом варіацій атмосферного тиску на ділянки земної кори та процесами, які відбуваються в морях і океанах.

Амплітуди мікросейсмічних коливань порядку 10^{-10} , спектральний склад - складний, основні періоди - декілька секунд. Техногенні деформації найбільш високочастотні, їх амплітуди залежать від близькості промислових, транспортних, та інших споруд.

Інструментальне забезпечення деформаційних процесів, як класичне, так і сучасне розглянуто в

[6]. Вивчення сучасних рухів земної кори неможливе без забезпечення єдності лінійних, кутових, частотних та ін. видів вимірювань, тому що закономірності і властивості просторово-часового виявлення параметрів деформаційних, флюїдинамічних та геодинамічних процесів можуть бути зрозумілими при порівняльному аналізі результатів вимірювань.

Перед проведенням робіт на Тетізькому геодинамічному полігоні були вивчені геологічні дослідження, які проводились Інститутом геофізики НАН України в районі Тетізького нафтового родовища, проаналізовані існуючі фундаментальні реперні знаки, що застосовуються для закріплення геодезичних пунктів державної

геодезичної мережі (ДГМ) і базисів інтерферометрів Вейселя і УВТ5-84, проведено аналіз лазерних віддалемірів, які використовуються для моніторингу горизонтальних рухів земної кори і зроблені наступні висновки:

для побудови спостережних мереж Тенгізького геодинамічного полігону потрібна нова конструкція фундаментального реперного знака;

мало Тенгізького геодинамічного полігону недостатньо, для прогнозу горизонтальних рухів земної кори (ГРЗК);

лазерні віддалеміри, що використовуються, не забезпечують точність лінійних вимірювань, потрібну для прогнозу ГРЗК.

Таким чином, для вивчення СРЗК на Тенгізькому геодинамічному полігоні з метою прогнозу можливих сейсмічних подій, [7] було розроблено фундаментальний реперний знак (рис.3), який задовольняє трьом основним вимогам:

стабільність повільного положення на протязі року не гірше $5 \cdot 10^{-7}$ при періодичних вертикальних навантаженнях масою 50 кг;

призначений строк служби репера 10 років;

неоднорідність показника заломлення повітря на (висоті установки) рівні лазерного приймача-передавача не повинна перевищувати $3 \cdot 10^{-7}$.

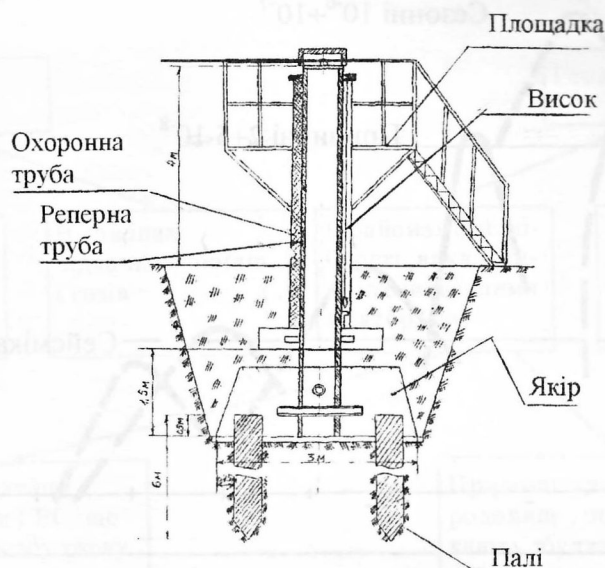


Рис. 3. Фундаментальний реперний знак

За допомогою таких фундаментальних реперних знаків була побудована спеціальна мережа (рис.4), з притаманними достоїнствами трила-тераційної подвійної мережі [8], яка дозволяє по

світловіддалемірним вимірюванням вищої точності синхронно виконувати тригонометричне нівелювання.

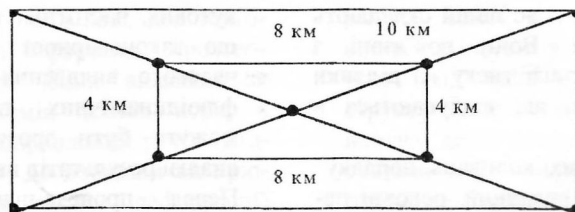


Рис. 4. Спеціальна мережа

При виборі напрямків побудови експериментального зразка лазерної віддалемірної системи (ЛВС) вищої точності (шифр-“ТЕНГІЗ”) за закордонний

аналог було обрано ГЕОМЕНСОР CR-204 [9]. Прототипом ЛВС вищої точності була обрана ЛВС ГАММА-М [10].

ЛВС вищої точності "ТЕНГІЗ" являється оригінальною [11], атестована в установленому порядку і має такі метрологічні характеристики:

- ♦ діапазон вимірювань від 1 м до 10 км;
- ♦ середня квадратична похибка вимірювання довжини $0.1 \pm 1 \cdot 10^{-6} R$

(R - виміряна відстань в мм).

Для обчислення довжини між фізичними центрами лазерного приймача-передавача і трипел-призмового відбивача, встановлених на реперах (рис.3) з примусовим центруванням парою "куля-циліндр", було реалізовано такий алгоритм. Визначимо R_i за наступною формулою

$$R_i = M_i N + A_i + \Pi \quad (1)$$

для $i = 1, 2, \dots, m$,

де Π - приборна поправка ЛВС

$$A_i = \begin{cases} K_i - U_i & \text{за } K_i > U_i, \\ 300,093 + K_i - U_i & \text{за } K_i < U_i, \end{cases} \quad (2)$$

$$M_i = \frac{300,09255055}{n_i} \quad (3)$$

$$n_i = 1 + \left(\frac{3,9498 P_i}{1 + 0,0036 T_i} - 0,6 E_i \right) \cdot 10^{-7} \quad (4)$$

$$N = \frac{\tilde{R} - \Pi - \bar{A}}{\bar{M}} \quad (5)$$

$\tilde{R}$ - відстань, яка виміряна з похибкою не більшою 0,1 м;

$$\bar{A} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m A_i; \quad (6)$$

$$\bar{M} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m M_i$$

Відкинемо R_i , які задовольняють критерію Гребса

$$\frac{R_i - R_0}{S_m} \geq 1,84 \quad (7)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i; \quad (8)$$

де

$$S = \left[\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (R_i - \bar{R})^2 \right]^{1/2}$$

Обчислимо

$$R = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m R_i \quad (9)$$

де l - кількість R_i , які задовольняють (7)

Результат вимірювання відстані подамо у вигляді:

$$R \pm \Delta \quad (10)$$

Межі вимірювання величин:

$$K_i, U_i, \Pi \in (0 \dots 300) \text{ мм}$$

$$n \in (1,0002500 \dots 0003200)$$

$$N \in (1 \dots 3334)$$

Порядок величин $K_i, U_i, \Pi \approx 0,001 \text{ м}, n \sim 10^{-7}, N \sim 1$

Величини $R_i, \bar{R}, \Pi, S$ треба округлити до третього знака після коми.

Величини n_i треба округлити до восьмого знака після коми.

Оцінимо похибку вимірювання відстані R

$$\Delta = \left[\sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{\partial R_i}{\partial M_i} \right)^2 \delta^2(M_i) + \left(\frac{\partial R_i}{\partial A_i} \right)^2 \delta^2(A_i) + \delta^2(\Pi) \right]^{1/2} \quad (11)$$

Таким чином, дослідження СРЗК на Тенгізському геодинамічному полігоні можна виконувати в режимі моніторингу з послідовними (паралельними) наглядами на "малому" та "великому" його фрагментах.

Малий Тенгізський геодинамічний полігон включає дворядну трилатераційну мережу з 16 приземних реперів, заглиблених в районі локальних геологічних розломів. Реперні знаки утворюють 34 лінійних бази (рис.5).

Профіль місцевості низки базисів такий, що частина шляху лазерний пучок проходить на висоті 0.5 м від ґрунту. Це призводить до збільшення похибки вимірювань, тому що не виявляється можливим урахувати при обробці результатів локальні зміни показника заломлення, викликані близькістю підстилюючої поверхні.

Геодезичні іструментальні нагляди за деформаціями земної кори на Тенгізському нафтовому родовищі, як складному інженерному спорудженні були передбачені при проектуванні родовища і виконувались у період його розробки (вимірювання фону) і повинні були виконуватися при його експлуатації. В основу методики вимірювань сучасних горизонтальних рухів

земної кори з вищою точністю покладені наступні результати:

- ♦ методика визначення компонент тензора де-формації неоднорідної земної кори за даними повторних геодезичних вимірювань [12];

- ♦ алгоритми та методики обробки точних вимірювань довжини лазерною віддалемірною системою в реальному масштабі часу [13];

- ♦ фізичні основи приземного шару тропосфери.

Наведені метрологічні характеристики реалізовані в об'ємі 22 лінійних базисів (70%) малого Тенгізького геодинамічного полігону. Наступні 12 лінійних базисів (30%) принципово не дозволяють виміряти їх з зазначеною похибкою. Дослідження зазначених базисів показують, що їх довжини можуть бути виміряні з похибкою не менше $3 \cdot 10^{-6} R$.

Для визначення сучасних горизонтальних рухів земної кори на Тенгізькому геодинамічному полігоні була покладена наступна методика. Основою являється графічне зображення.

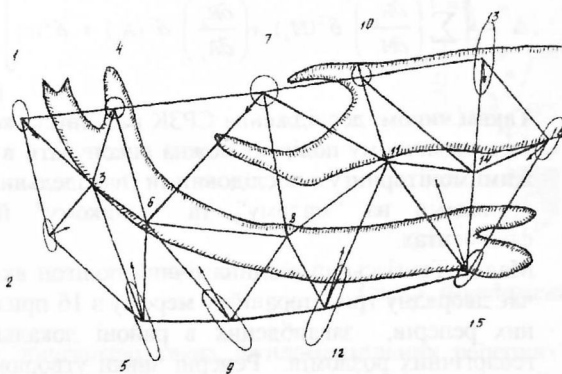


Рис.5. Мережа трилатерації

1. Пункти 3;6;8;11;14 (рис.5) вважаємо опорними.

2. Похибки вимірювань, які відповідають вимогам методики вимірювань базисів за допомогою ЛВС вищої точності [13], обчислюємо за формулою $\Delta = 0.1 + 1 \cdot 10^{-6} R$.

3. Похибки вимірювань, які не відповідають вимогам методики, обчислюємо за формулою $\Delta = 3 \cdot 10^{-6} R$.

4. Розміщуємо результати вимірювань базисів (довжини та похибки) за епохами згідно таб.1.

5. Визначаємо різниці результатів вимірювань між суміжними епохами згідно таблиці 1.

6. Визначаємо еліпси похибок.

7. Визначаємо вектори горизонтальних рухів робочих реперів, використовуючи векторну алгебру та різниці за п.5.

8. Результати обробки представлені на схемах (рис.5,6,7) малого Тенгізького геодинамічного полігону з урахуванням єдиного масштабу векторів руху та еліпсів похибок.

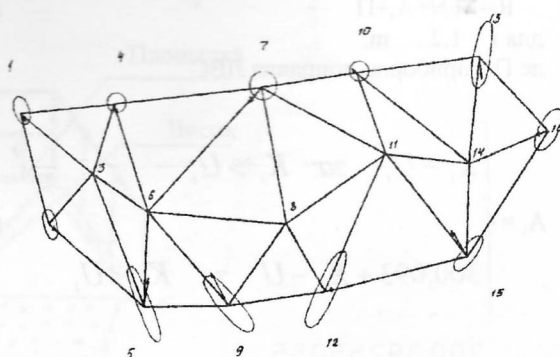


Рис.6. Еліпси похибок положення пунктів

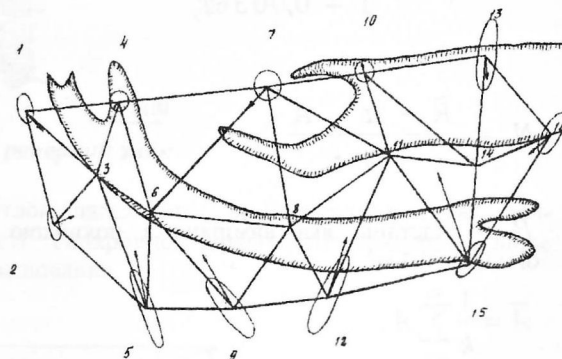


Рис.7. Вектори зміщень пунктів

Дослідження базисів, які було проведено на Тенгізькому геодинамічному полігоні підтверджують висновок, що для проведення вимірювань з похибкою кращою $0.1 + 1 \cdot 10^{-6} R$ потрібна мережа фундаментальних базисів з підвищенням над поверхнею на висоту 4 м.

Таблица 1.

N	Базис	1 эпоха	2 эпоха	3 эпоха	Похибка, мм
		Довжина базису, мм	Довжина базису, мм	Довжина базису, мм	
1	Б1-2	$R_1(1-2)$	$R_2(1-2)$	$R_3(1-2)$	$\Delta(1-2)$
2	Б1-3	$R_1(1-3)$	$R_2(1-3)$	$R_3(1-3)$	$\Delta(1-3)$
...	...	...	...	...	...
k	Бn-m	$R_1(n-m)$	$R_2(n-m)$	$R_3(n-m)$	$\Delta(n-m)$

Література

1. Современные движения земной коры. Комплексные геодинамические полигоны. Под ред. Ю.Д. Буланже. М.: Изд-во АН СССР, 1987.-88 с. Бёксхэй, Англия, 1990.-8с.
2. Труды международного симпозиума "Геодинамическая эволюция осадочных бассейнов". Москва, 18-23 мая 1992 г. - 142 с.
3. Труды III Орловской конференции "Изучение Земли как планеты методами астрономии, геофизики и геодезии". Под ред. Я.С.Яцкива. Киев, ГАО АН Украины, 1994.-384 с.
4. Мещеряков Ю.А. Рельеф и современная геодинамика. -М.: Наука.1981.-227с.
5. Жарков В.Н. Внутренне строение Земли и планет. -М.: Наука, 1983. -415 с.
6. Кравченко Н.И., Купко В.С., Прокопов А.В. Современные средства линейных измерений для геодинамических исследований. Тез. докл. между. симп. "Геодезия-сейсмология: деформации и прогноз". -М.: Изд-во ВИНТИ, 1989.-С. 99-100.
7. Певнев А.К. Прогноз землетрясений - геодезические аспекты проблемы. Изв. АН СССР "Физика Земли", 1988, №12, с. 88-98.
8. Воронков Н.Н. Руководство по астрономо-геодезическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Часть 1. М.: Редакционно-издательский отдел ВТС, 1980.-421 с.
9. Геоменсор CR-204. Новый полевой стандарт для измерения дальности с помощью электронного оборудования. Проспект фирмы Ком-Рэд.
10. Кравченко Н.И., Тараканов Б.И. Авторское свидетельство №237110 по заявке № 3119198 с приоритетом от 10 июля 1985 г.
11. Кравченко Н.И. Неежмаков П.И., Орбинский А.Н. Авторское свидетельство №293147 по заявке №3191789 с приоритетом от 8 февраля 1988 г.
12. Фотиади Э.Э., Кучай В.К., Кисельман С.И. Методика определения компонент тензора деформации неоднородной земной коры по данным повторных геодезических измерений. ДАН СССР. 1989, т.305, №6, с.1344-1346.
13. Кравченко Н.И., Купко В.С., Копыл В.К. и др. Алгоритмы и методики обработки точных измерений длины лазерными системами в реальном масштабе времени. Тез. докл. симп. КАПГ по изучению современных движений земной коры. М.: ВИНТИ, 1988, -с.154.

M.Kravchenko, P.Neejmakov

THE RCM INVESTIGATION ON THE THENGIS – GEODYNAMIC POLYGOE

Summary

The results of the RCM investigations performed on the special trilateration net with new fundamental reper – points on the Thengis geodynamic polygone are presented. The conclusion about necessity to raise the net of the fundamental basises on 4m. up the surface for rise of the accuracy is dealt.

Н.Кравченко, П.Неежмаков

ИССЛЕДОВАНИЯ СДЗК НА ТЕНГИЗСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Резюме

Приводятся результаты изучения СВДЗК на Тенгизском геодинамическом полигоне с использованием специальной сети трилатерации и новых фундаментальных реперных знаков. Сделан вывод о том, что для повышения точности необходима сеть фундаментальных базисов с поднятием над поверхностью на высоту 4 метра.