

УДК 551.242.1.03

В. А. Корчемагин<sup>1</sup>, Д. В. Корчемагин<sup>2</sup>, О. Г. Черныш<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

<sup>2</sup> Московский государственный университет, Москва, Россия

## Поля напряжений и деформаций Тюрингского Леса

В статье рассмотрены вопросы формирования геологической структуры горного хребта Средней Германии – Тюрингского Леса. По результатам полевых тектонофизических исследований трещинной и жильной тектоники были реконструированы тектонические поля напряжений и стадийность их развития, поля суммарных хрупких деформаций в пределах флюорит-баритовых шахт рассматриваемой территории.

Ключевые слова: трещинно-жильная тектоника, поля напряжений и деформаций.

Во время совместных полевых тектонофизических исследований студентами Фрайбергской горной академии под руководством В. Вебера и одним из авторов проводилось изучение трещинной и жильной тектоники в горных выработках и на обнажениях Тюрингского Леса и Фогтланда на участках флюорит-баритовых шахт Момель, Хюн, Илменау, Фортшритт и Шенбрюнн. Было измерено свыше 4000 зеркал скольжения и минеральных жил, определена их кинематика и вещественный состав. Тектонофизическая интерпретация этих фактических материалов по разным причинам была осуществлена частично [1] и окончательно стала возможна лишь теперь.

К настоящему времени опубликовано много работ, в которых подробно рассматриваются геология, структурная и вещественная эволюция месторождений Тюрингского Леса [2–5]. Это позволяет, не останавливаясь на этих вопросах, непосредственно перейти к характеристике трещинной и жильной тектоники, а также полей деформаций и напряжений указанных шахт. Методической основой данной характеристики является кинематический анализ структур разрушения горного массива [6–11] и программное обеспечение GEOS, разработанное Гущенко, Мостриковым и др. [12].

На рисунке 1 приведены соответственно стереограммы зеркал скольжения и минеральных жил, сводные по рассматриваемым месторождениям. На участке шахты Момель они характеризуют горные выработки общей протяженностью около 2 км вдоль жил "Белая Роза", "Новая Надежда", "жила 26-а" и др. Всего было составлено почти 40 стереограмм в Трузетальском граните, метаморфитах и осадочных отложениях пермо-триаса. На месторождении Хюн наблюдения проведены также в разных породах на 3-х горизонтах шахты вдоль Главной жилы, Турмганг и др. на протяжении более 1 км. Менее детальные наблюдения выполнены на месторождениях Ильменау, Фортшритт и Шенбрюнн.

Несмотря на разную детальность наблюдений, все стереограммы зеркал скольжения отражают практически идентичную трещинную и жильную структуру. Эта структура почти одинакова также в различных породах. В ней можно выделить отдельные системы подвижек, которые были ранее установлены на месторождении Ильменау [2] или системы сколов, обеспечивающих линзовидную форму барит-флюоритовых жил на месторождении Хюн [3, 5]. Однако это выделение возможно лишь условно.

Прежде всего, на всех сводных стереограммах зеркал скольжения отчетливо устанавливается два основных максимума. Один из них, наиболее развитый, отвечает сколам параллельным краевым разрывам. Его ориентировка – аз.пад.  $20-40^{\circ} \angle 60-70^{\circ}$ . Вектор смещения на стенках данной системы зеркал чаще всего ориентирован по падению, отклоняясь от этого направления влево и вправо на угол до  $40^{\circ}$  (рис. 1А). Причем отмечаются как взбросо-сдвиговые, так и сбросо-сдвиговые смещения. Второй максимум с ориентировкой подвижек – аз.пад.  $200-220^{\circ} \angle 60-70^{\circ}$  – и вектора смещения преимущественно по падению или восстанию трещин, по всей

видимости, соответствует Риделевским оперяющим трещинам скола и отрыва [8]. Неоднократные реверсивные подвижки по основным краевым разрывам обеспечили широкие, расплывчатые максимумы зеркал скольжения и пеструю картину перемещений.

Несколько менее расплывчатую, но примерно подобную ориентировку в пространстве, что и зеркала скольжения, имеют минеральные жилы (рис. 1Б).

Примечательно, что жилы, выделяемые по стадиям минерализации от I до IV, мало отличаются по ориентировке в пространстве. Самые мощные (до 10-15 м) и протяженные (до 3-4 км) жилы примерно параллельны наиболее развитым зеркалам скольжения и наиболее представительным максимумам распределения жил (рис. 1Б).

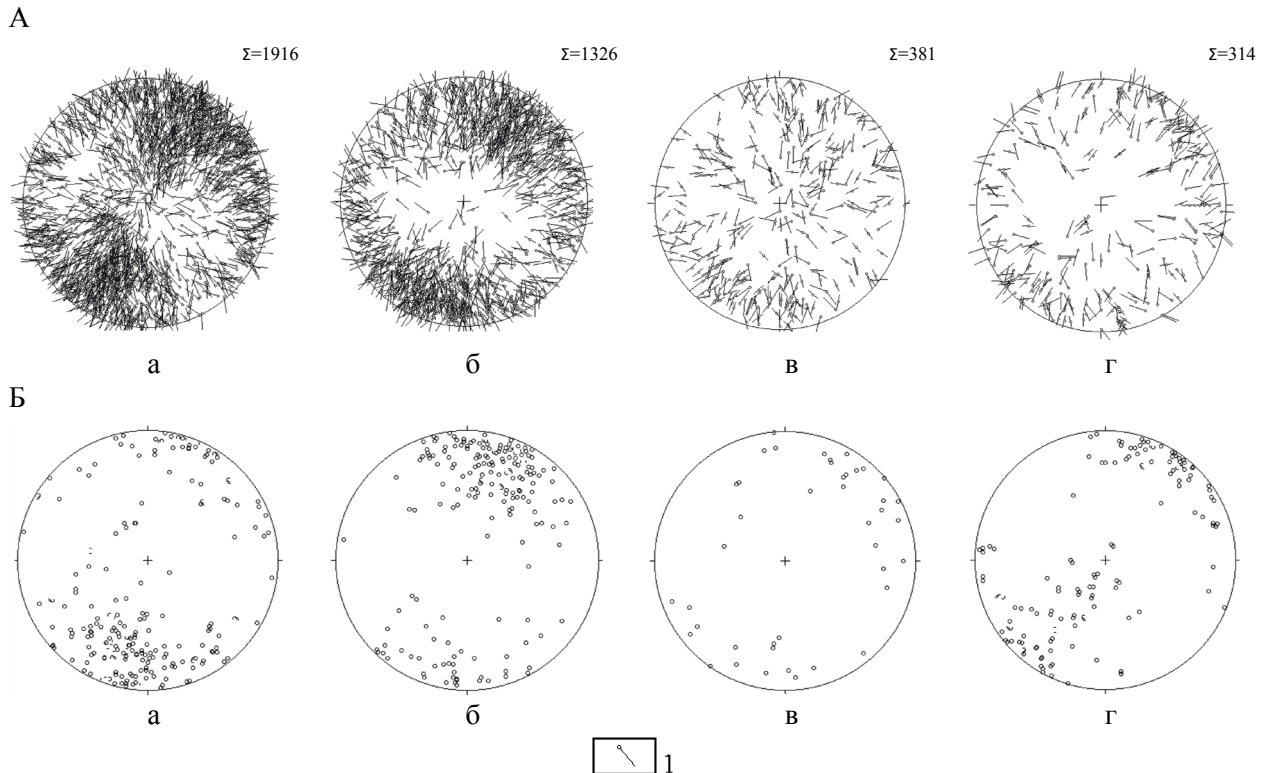


Рис 1 – Сводные стереограммы зеркал скольжения (А) и минеральных жил (Б) месторождений Тюрингского леса:

а – Момель; б – Хюн; в – Ильменау; г – Фортшритт

1 – полюс разрыва с направлением смещения висячего крыла

Параметры суммарных полей хрупких деформаций были вычислены по двум независимым выборкам: по совокупности зеркал скольжения и по минеральным жилам (табл. 1); как по отдельным месторождениям, так и по глыбе Тюрингского Леса в целом. Обращает на себя внимание устойчивость полученных результатов с некоторыми, объяснимыми вариациями.

Так месторождения Момель и Хюн в результате подвижек по всем зеркалам скольжения, как и почти вся территория Тюрингского Леса, испытала преимущественно почти вертикальное удлинение и субмеридиональное (по азимуту  $30-205^0$ ) горизонтальное укорочение. О вертикальном высвобождении массива свидетельствуют также значения  $Z$ -компоненты эллипсоида суммарных деформаций, колеблющиеся в пределах 1.151-1.170. Месторождения Илменау и Шенбрюн характеризуются меньшим количеством данных, но здесь определяется обратная картина, хотя и конформная, указывающая на то, что отдельные блоки могли испытывать дифференциальные и реверсивные подвижки.

Таблица 1 – Основные параметры полей суммарных хрупких деформаций месторождений Тюрингского Леса

	Всего	Элементы залегания осей, аз.пад/угол пад. град		$\mu_\epsilon$	$\epsilon_3$	$\epsilon_2$	$\epsilon_1$	X	Y	Z
		ось $\epsilon_1$	ось $\epsilon_3$							
<b>По зеркалам скольжения</b>										
Хюн	1326	14 $\angle$ 83	204 $\angle$ 7	-0,19	1,167	0,980	0,853	0,878	0,959	1,163
Момель	1916	215 $\angle$ 86	31 $\angle$ 4	-,362	1,171	0,963	0,865	0,892	0,937	1,170
Шенбрюнн	314	219 $\angle$ 15	322 $\angle$ 39	-0,495	1,130	0,963	0,907	1,037	1,011	0,952
Ильменау	381	226 $\angle$ 13	22 $\angle$ 76	-0,029	1,105	0,998	0,897	1,042	1,049	0,909
Тюрингский Лес в целом	3623	302 $\angle$ 89	207 $\angle$ 0	-0,305	1,151	0,972	0,877	0,896	0,953	1,151
<b>По минеральным жилам</b>										
Хюн 1	68	20 $\angle$ 17	259 $\angle$ 60	-0,862	1,519	0,768	0,712	1,373	0,839	0,788
Хюн 2	197	15 $\angle$ 16	273 $\angle$ 37	-0,901	1,484	0,777	0,740	1,386	0,797	0,817
Момель 2	15	200 $\angle$ 4	107 $\angle$ 31	-0,391	1,263	0,939	0,798	1,215	0,881	0,904
Момель 3	52	192 $\angle$ 15	36 $\angle$ 74	-0,581	1,341	0,889	0,769	1,289	0,905	0,807
Момель 4	83	193 $\angle$ 21	61 $\angle$ 61	-0,882	1,466	0,788	0,746	1,351	0,810	0,839
Момель 5	81	193 $\angle$ 17	317 $\angle$ 62	-0,875	1,442	0,800	0,758	1,356	0,824	0,820
Фортшритт 1	302	213 $\angle$ 4	121 $\angle$ 25	-0,493	1,335	0,906	0,760	1,175	0,944	0,881
Фортшритт 2	302	214 $\angle$ 2	124 $\angle$ 5	-0,786	1,439	0,818	0,743	1,216	0,966	0,818
Фортшритт 3	70	218 $\angle$ 8	127 $\angle$ 5	-0,741	1,396	0,843	0,761	1,153	0,994	0,853
Ильменау	143	33 $\angle$ 5	259 $\angle$ 83	-0,501	1,341	0,902	0,756	1,209	1,030	0,761

**Примечание:**  $\mu_\epsilon$  – коэффициент Лодэ-Надаи, отражающего условия деформирования массива;  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  – числовые значения осей  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ ; X, Y, Z – проекции оси  $\epsilon_1$  на соответствующие географические оси

По данным о жилах по всем месторождениям устанавливается стабильная ориентировка удлинения массива в субгоризонтальном субмеридиональном направлении, почти поперечном относительно общего простирания Тюрингского Леса и параллельном к оси укорочения, установленном по зеркалам скольжения. Значения коэффициента Лодэ-Надаи, изменяющиеся в пределах от  $-0,5$  до  $-0,9$ , и значения Z-компоненты, меньшие единицы, как и переориентировка осей суммарных деформаций определенным по зеркалам и по жилам, указывают на сложную историю развития тектонического поля напряжений.

Интерпретация всей совокупности зеркал скольжения, замеренных в глыбе Тюрингского Леса, и по отдельным месторождениям, позволяет выделить, по крайней мере, 6 этапов развития поля напряжений (табл. 2). Самое молодое, по-видимому, современное поле напряжений характеризуется субмеридиональным, почти горизонтальным положением главных нормальных напряжений, субвертикальной у южного и субгоризонтальной, продольной ориентировкой оси растягивающих напряжений и положительными значениями коэффициента Лодэ-Надаи. Данные характеристики близки к результатам экспериментальных определений современных напряжений *in situ* [13, 14].

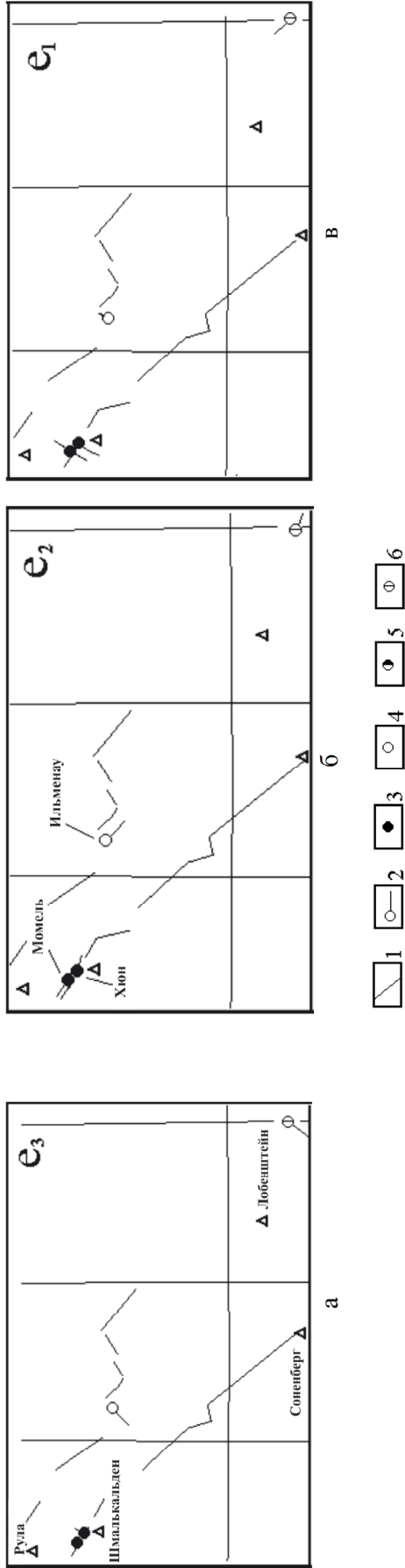


Рис. 2 – Схема ориентировок осей поля хрупких деформаций Тюрингского Леса, реконструированного по зеркалам скопления:

а – ось максимального укорочения ( $\epsilon_3$ ); б – промежуточная ось ( $\epsilon_2$ ); в – ось максимального удлинения ( $\epsilon_1$ )  
 1 – разрывы; 2 – точки реконструкции параметров поля деформаций; отрезок показывает направление падения оси эллипсоида деформаций, короткий отрезок указывает на крутое падение оси, длинный – пологое; 3-8 – тип поля напряжений: 3 – взбросовый, 4 – сбросовый, 5 – сдвиговый, 6 – сбросо-сдвиговый

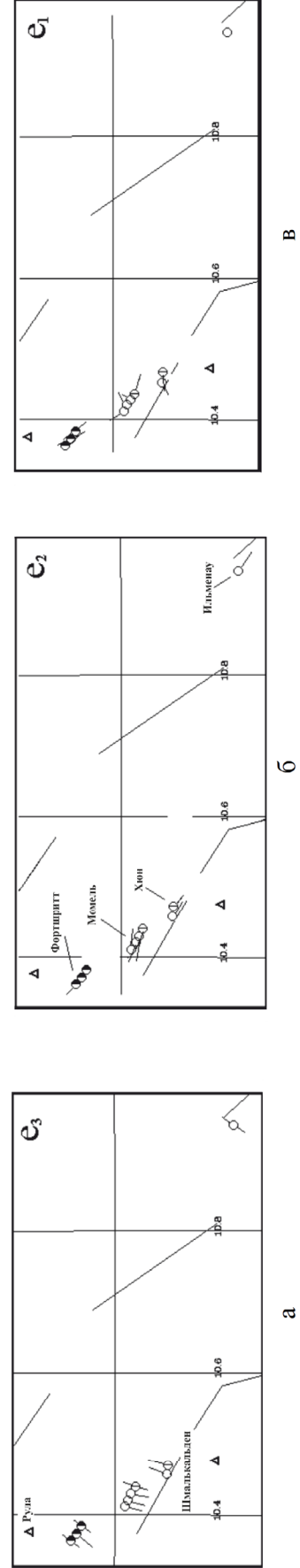


Рис. 3 – Схема ориентировок осей поля хрупких деформаций Тюрингского Леса, реконструированного по минеральным жилам (условные обозначения на рис. 2)

Таблица 2 – Этапы развития поля напряжений флюорит-баритовых месторождений Тюрингского Леса

Этап	Количество замеров	%	Тип поля напряжения	Элементы залегания осей, аз.пад/угол пад., град.			Коэффициент Лодэ-Надаи $\mu_{\sigma}$
				$\sigma_3$	$\sigma_2$	$\sigma_1$	
<b>Хюн</b>							
A	1326	25,2	сбросо-взбросовый	23 $\angle$ 55	114 $\angle$ 0	204 $\angle$ 35	0,95
B	1326	19,4	сбросо-сдвиговый	26 $\angle$ 56	206 $\angle$ 34	296 $\angle$ 0	0,95
C	1326	12	сдвиговый	206 $\angle$ 20	26 $\angle$ 70	116 $\angle$ 0	-0,95
D	1326	21	сбросо-взбросовый	204 $\angle$ 35	114 $\angle$ 0	23 $\angle$ 55	0,85
E	1326	16,6	взбросо-сдвиговый	296 $\angle$ 0	206 $\angle$ 34	26 $\angle$ 56	0,95
F	1326	16	сдвиговый	116 $\angle$ 0	26 $\angle$ 70	206 $\angle$ 20	0,00
<b>Ильменау</b>							
A	381	22,8	сдвиговый	306 $\angle$ 17	115 $\angle$ 73	215 $\angle$ 3	0,10
B	381	31,2	взбросовый	304 $\angle$ 14	211 $\angle$ 14	79 $\angle$ 70	0,95
C	381	27,6	взбросовый	35 $\angle$ 0	305 $\angle$ 20	125 $\angle$ 70	0,45
D	381	25,2	сдвиговый	215 $\angle$ 3	115 $\angle$ 73	306 $\angle$ 17	-0,85
E	381	28,6	сбросовый	79 $\angle$ 70	211 $\angle$ 14	304 $\angle$ 14	-0,65
F	381	22,6	сбросовый	125 $\angle$ 70	305 $\angle$ 20	35 $\angle$ 0	-0,45
<b>Момель</b>							
A	1916	25,3	сбросовый	61 $\angle$ 78	296 $\angle$ 7	205 $\angle$ 10	-0,75
B	1916	29,5	сбросовый	30 $\angle$ 65	210 $\angle$ 25	300 $\angle$ 0	-0,95
C	1916	12,3	сдвиговый	210 $\angle$ 12	30 $\angle$ 78	300 $\angle$ 0	0,65
D	1916	18,7	взбросовый	205 $\angle$ 10	296 $\angle$ 7	61 $\angle$ 78	0,95
E	1916	20,1	взбросовый	300 $\angle$ 0	210 $\angle$ 25	30 $\angle$ 65	0,95
F	1916	14,7	сдвиговый	300 $\angle$ 0	30 $\angle$ 78	210 $\angle$ 12	0,25
<b>Шенбрюнн</b>							
A	314	24,8	сбросовый	154 $\angle$ 84	283 $\angle$ 4	13 $\angle$ 5	-0,5
B	314	27,1	сбросовый	189 $\angle$ 75	9 $\angle$ 15	99 $\angle$ 0	-0,7
C	314	16,6	сдвиговый	11 $\angle$ 8	191 $\angle$ 82	281 $\angle$ 0	0,95
D	314	29,3	взбросовый	13 $\angle$ 5	283 $\angle$ 4	154 $\angle$ 84	0,25
E	314	27,7	взбросовый	99 $\angle$ 0	9 $\angle$ 15	189 $\angle$ 75	0,95
F	314	13,4	сдвиговый	281 $\angle$ 0	191 $\angle$ 82	11 $\angle$ 8	-0,95

Они отражают последовательное развитие структуры Тюрингской глыбы, от опускания до поднятия, как это наглядно показали Францке и др. [2, 3, 5].

Обращает на себя внимание удивительно близкое соответствие параметров поля напряжений 3 и 4 этапов развития (табл. 2) и поля деформаций, восстановленное по жилам (рис.3, табл. 1). Наиболее благоприятные условия для образования промышленных барит-флюоритовых жил существовали, таким образом, именно в это время.

### Библиографический список

1. Weber, W., Korchmagin, V.A. Tiefenbruchstrukturen und postmagmatogene Mineralisation. – Freib.Forsch, 1977. – 82 S.
2. Franzke, H. J., Friedel, C. H. Resultate einer tektonischen Paläospannunganalyse im südöstlichen Thüringer Wald. - Z. Geol. Wiss., Berlin, 1983. – 8. – S. 973–989.
3. Franzke, H. J., Hähnel, R., Seidl E., Böhner, H., Morgenroth, V. und Schott, H. Zu Fragen der Gangtektonik im nordwestlichen Thüringer Wald. - Geoprofil, Freiberg, 1991. – S. 62–74.
4. Morgenroth, V., Böhner, H. Zur Geologie der Spatlegertstätten im Raum Trusetal. - Veröff. Naturkundemuseum Erfurt, 1992. – S. 89–94.
5. Hähnel, R., Hähnel, Ch. Mädler, J., Meinel, G. und Wunderlich, J. Strukturelle und stoffliche Entwicklung der anhydritführenden Karbonat - Baryt - Fluorit - Assoziation in der Lagerstätte Hühn (Nordwestlicher Thüringer Wald). Geol.Jb. Hessen. – Wiesbaden, 1995 – S. 5–21.
6. Hoppener, R. Probleme der physikalischen Tektonik. Elastische Spannungen und Reibungsspannungen. – Z.deuch.geol.Gess. – 1963. – S. – 206–227.

7. Bankwitz, P. Über Klüfte – Geologie, Berlin, 1966. – 8. – S. 896–941.
8. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
9. Гущенко О.И. Анализ ориентировок сколовых тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений // Док. АН СССР. – 1973 – т. 210. – №2. – С. 331–334.
10. Гущенко О.И. Обоснование метода реконструкции напряженного состояния земной коры по ориентировкам сдвиговых тектонических смещений (по геологическим и сейсмологическим данным) / О.И. Гущенко, Л.А. Сим: Механика литосферы. Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещ. – Л–М.: 1974. – С. 5–8.
11. Корчемагин В.А. К методике реконструкции и разделения наложенных полей напряжений / В.А. Корчемагин, В.С. Емец // Док. АН СССР. – 1982. – т.263. – №1. – С. 163–168.
12. Гущенко О.И., Гущенко Н.Ю., Мострюков А.О. и др. Тектонический стресс-мониторинг и поля напряжений Причерноморского региона / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-геологічна. Випуск 32 – Донецьк, ДонНТУ, 2001. – С. 104–117.
13. Bankwitz, P., Bankwitz, E., Franzke, H.J., Rauche, H. und Dannappel M. In situ - Spannungsmessungen in Thüringen und Sachsen. – Brandenburgische Geowiss. Beitr. Kleinmachnow, 1995. – 2. – S. 77–94.
14. Schroder, B., Bankwitz, P., Bankwitz, E., Franzke, H.J., Maier, M., Peterek, A., Rauche, H. Spät- und postvariscische tektonische Entwicklung am Sudwest-Rand der Bomischen Masse. – DFG-Bericht, Bochum, 1994. – 57 S.

Надійшла до редакції 04.07.14

В. А. Корчемагин<sup>1</sup>, Д. В. Корчемагин<sup>2</sup>, О. Г. Черниш<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

<sup>2</sup> Московский государственный университет, Москва, Россия

### Поля напряжень та деформацій Тюрінгського лісу

Стаття присвячена питанням формування геологічної структури гірського хребту Середньої Германії – Тюрінгського Лісу. За результатами польових тектонофізичних досліджень тріщинної та жильної тектоніки було реконструйовано тектонічні поля напряжень та стадійність їх розвитку, поля сумарних крихких деформацій у межах флюорит-баритових шахт території, що розглядається.

Ключевые слова: тріщинно-жильна тектоніка, поля напряжень та деформацій.

V. Korchemagin<sup>1</sup>, D. Korchemagin<sup>2</sup>, O. Chernysh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

<sup>2</sup> Moscow State University, Moscow, Russia

### Fields of stresses and deformations of Thüringer Wald

The questions about formation of the geological structure of Middle Germany mountain range named Thüringer Wald were considered. Paleostress fields and their progress staging and the fields of total brittle deformations on the basis of the field tectonophysical findings of fractured and vein tectonics within fluorite and barite-bearing mines were reconstructed.

Keywords: fractured and vein tectonics, paleostress fields, deformation fields.