

Prof. RNDr. Jiří Pešek, DrSc.¹, Ing. Ivana Sýkorová², RNDr. Jana Forstová¹, Mgr. Karel Martínek¹
 Mgr. Ondřej Michna², DrSc., Mgr. Michal Vašíček²

¹ Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, ² Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR

Síra, stopové prvky a chemicko-technologické charakteristiky v databázi evropských a světových černouhelných pánví – 2. část

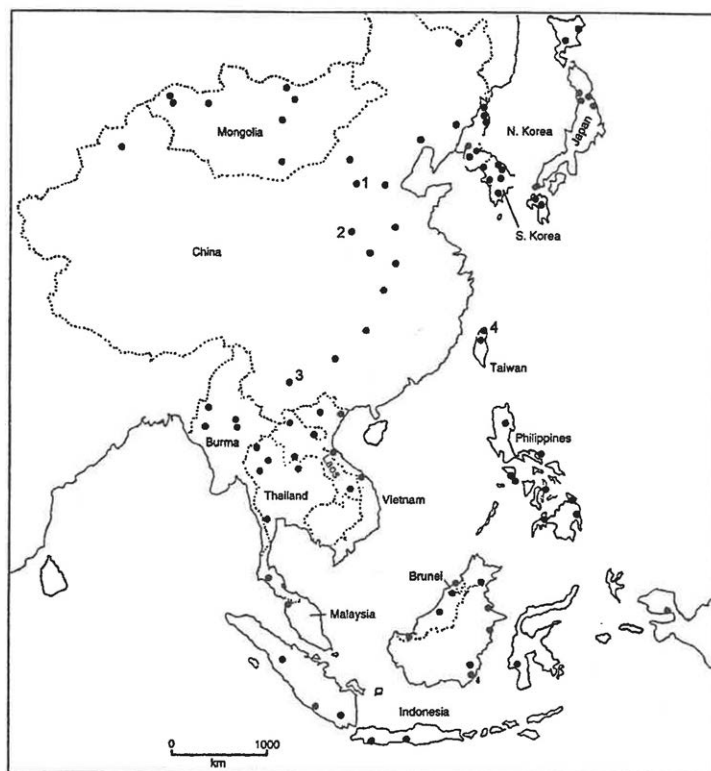
Přijato: 25.10.2005, recenzováno: 16.11.2005

Asie

Mezi šestnácti asijskými státy, které vykazují, resp. exploatují zásoby černého uhlí, je vůbec největším světovým těžařem uhlí Čína. Pouze ve čtyřech státech - v Číně, Indii, Laosu a Mongolsku se vyskytují svrchnopaleozoická uhlí, na území zbývajících států vystupují ložiska černého uhlí až antracitu mezozoického, event. též terciárního stáří.

Čína

Čína těží ročně asi 1 mld. t černého uhlí karbonského až spodnokřídového stáří. Tři čtvrtiny zásob z více než 60 mld. t leží ve Vnitřním Mongolsku, dále v provinciích Shanxi a Shenxi (obr. 3). V mnoha desítkách pánví se dobývá od slabě prouhelněného černého uhlí až



Obr. 3 Mapa významných uhelných ložisek na území Číny a Taiwanu. L. Thomas (2002), upraveno. Čísly jsou označena černouhelná ložiska citovaná v textu, bez čísel ostatní černouhelná a hnědouhelná ložiska bez rozlišení. 1-3 provincie: 1 – Shanxi, 2 – Shenxi, 3 – Guizhou, 4 – chilungská pánev

po antracit. Nejvyšší produktivitu vykazují permská ložiska. Exploatuje se jak uhlí energetické, tak koksovatelné. Těží se sloje od méně než 1 m až po 100 m mocné. Některá ložiska v jv. Číně v provincii Guizhou jsou známa neobvykle vysokými obsahy As a Se. Jejich spalování na otevřeném ohni vede k závažným onemocněním místního obyvatelstva (Zhang, et al. 1997).

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Median	Minimum	Maximum
C ^{daf} %	129	84,01	86,56	13,52	97,17
H ^{daf} %	129	3,95	4,29	0,65	6,9
N ^{daf} %	36	1,18	1,2	0,8	1,55
V ^{daf} %	209	19,01	16,48	1,66	59,09
R ₀ %	109	4,32	4,01	0,5	9,69
S _t ^d %	228	1,6	0,85	0,13	7,93
S _p ^d %	42	1,32	1,28	0,02	4,2
S _{SO₄} ^d %	32	0,07	0,05	0,02	0,13
S _o ^d %	29	1,56	2,06	0,76	2,31
A ^d %	203	21,95	19,51	4,5	82,97
Ag ppm	2	1,2		1,1	1,21
Al ppm	347	65800	78800	2300	117500
As ppm	331	560	8	1	35000
Au ppm	8	160		5,8	570
B ppm	96	58,4	30	2,87	575
Ba ppm	122	100	69	13	672
Be ppm	101	1,7	1,6	0,2	6,3
Bi ppm	74	1,0	1	0,4	1,8
Br ppm	15	14,8	5,18	0,56	108
Ca ppm	97	6290	4800	700	29900
Cd ppm	104	2,0	0,6	0,08	34
Ce ppm	80	39,4	37	12,64	193
Cl ppm	15	550	496,33	210,24	1134
Co ppm	117	6,9	7	0,41	18
Cr ppm	129	25,1	17,5	0,5	89
Cs ppm	99	2,1	0,8	0,1	10
Cu ppm	116	26,0	22	2,7	228
Dy ppm	87	2,9	3	0,2	11,1
Er ppm	87	1,6	1,6	0,1	6,3
Eu ppm	90	0,67	0,6	0,1	3,2
F ppm	339	272	194,5	131	1411
Fe ppm	132	14800	9900	1100	77500
Ga ppm	593	17,5	8,5	1,1	87,24
Gd ppm	87	3,3	3,4	0,2	14,7
Ge ppm	101	1,6	1,2	0,2	9,8
Hf ppm	103	2,9	3	0,4	31
Hg ppm	3	0,9		0,25	1,29
Ho ppm	74	0,73	0,7	0,3	2,3
K ppm	96	2960	1630	100	12600
La ppm	93	17,8	17	1,8	89
Li ppm	94	39,8	26	1,3	185
Lu ppm	73	0,32	0,3	0,1	1,1

Z čínských ložisek byla publikována řada prací, jejichž autoři se zabývali jak chemicko-technologickým charakterem uhlí, tak obsahy síry a dalších prvků (tab. 11). Údaje o maximálních hodnotách některých prvků nejen že jsou extrémně vysoké (např. As až 35 000 ppm, Au až 570 ppm), ale svojí velikostí zkreslují i jejich vážené průměry (560 ppm, resp. 160 ppm). Nejvyšší obsahy známé Krejci-Grafovi (1972) převyšují také La (až 89 ppm), Nb (až 97 ppm) a Rb (až 99 ppm). Stejně tak nejvyšší zjištěné obsahy prvků vzácných zemí pocházejí z několika čínských ložisek – např. Dy (až 11,1 ppm), Gd (až 14,7 ppm), Hf (až 31 ppm), La (až 89 ppm), Nb (až 97 ppm), Nd (až 88 ppm) a Pr (až 23 ppm). Výrazně převyšují maximální údaje uváděné Swainem (1990). Jedny z nejvyšších obsahů na světě se týkají Er (až 6,3 ppm), Eu (až 3,2 ppm) a Sm (až 16 ppm). Zvýšené až výrazně zvýšené hodnoty byly v některých vzorcích popelů uhlí zjištěny u B, Se, Cu, F, Nb, Rb, Sb, Sc, Sr, Ti, Tl, Yb, Zn a Zr.

Mg ppm	97	1460	800	100	7700
Mn ppm	97	192	64	8	8619
Mo ppm	106	3,2	2	1	24,1
Na ppm	100	450	310	54,8	2600
Nb ppm	85	10,6	8	3	97
Nd ppm	93	16,7	15,2	1,4	88
Ni ppm	119	21,0	20	3	71,2
P ppm	87	223	200	10	900
Pb ppm	116	18,2	16	3	79
Pr ppm	86	4,1	3,7	0,4	23,7
Rb ppm	115	17,8	8	0,5	99
Sb ppm	113	9,4	0,9	0,08	209
Sc ppm	103	7,6	5	1,6	27
Se ppm	15	5,9	4,54	0,4	13,5
Si ppm	28	78100	80700	29900	151400
Sm ppm	93	2,9	2,93	0,3	16
Sn ppm	104	3,0	2,15	0,5	10
Sr ppm	119	127	76	13	1878
Ta ppm	102	2,5	2	0,12	18
Tb ppm	90	0,6	0,5	0,1	2,3
Ti ppm	96	1400	1300	100	4900
Th ppm	109	7,9	6,36	0,71	20
Tl ppm	86	0,71	0,7	0,1	3,4
Tm ppm	64	0,3	0,3	0,1	1,1
U ppm	110	4,6	4	0,3	18,7
V ppm	112	68,9	67,9	3,1	514
W ppm	96	1,5	1,1	0,1	5,47
Y ppm	87	13,5	13	1,3	47
Yb ppm	93	1,4	1,4	0,1	6
Zn ppm	100	48,4	24	5	422
Zr ppm	110	91,3	55	5	649

Tab. 11 Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech čínských černých uhlí. Sestaveno s použitím prací Ding Z. et al. (1999), Chen P., Ma J. (2002), Liu D. et al. (2001), Querol X et al. (1997), Querol X. et al. (1999), Querol X. et al. (2001), Ren D. et al. (1999), Xidong K. et al. (1999), Zhang J. et al. (1997), Zhou Z., Ren Y. (1981), Zhu J., Zheng B. (2001), Zhuang X. et al. (2000)

Chemometric studies of distribution of trace elements in seven Chinese coals. - Fuel, 74, 1382-1386.

6. Querol X., Alastuey A., Lopez-Soler A., Plana F., Fernandez-Turiel J. L., Zeng R., Xu W., Yhuang X., Spiro B. (1997): Geological controls on the mineral matter and trace elements of coal from the Fuxin basin, Liaoning Province, northeast China. - Int. Journ. Coal Geol., 34, 89-109.
7. Querol X., Alastuey A., Lopez-Soler A., Plana F., Zeng R., Zhao J., Zhuang X. (1999): Geological controls on the quality of coals from the west Shandong mining district. - Int. Journ. Coal Geol., 42, 63-88.

Literatura

1. Ding Z., Zheng B., Zhang J., Belkin H. E., Finkelman R. B., Zhao F., Zhou D., Zhou Y., Chen C. (1999): Preliminary study on the mode of arsenic in high arsenic coals from southwest Guizhou Province. - Science in China, 42, 665-661.
2. Chen P., Ma J. (2002): Petrographic characteristics of chinese coals and their application in coal utilization processes. - Fuel 81, 1389-1395.
3. Krejci-Graf K. (1972): Trace elements sediments, oils, and allied substances. - In: R. W. Fairbridge: The Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, 1201-1209. New York.
4. Liu D., Yang Q., Tang D., Kang X., Huang W. (2001): Geochemistry of aulfur and elements in coals from the Antaibao surface mine, Pingshuo, Shanxi Province, China. - Int. Journ. Coal. Geol., 46.
5. Lu X., Zeng H., Xu T., Yan R. (1995):

8. Querol X., Alastuey A., Zhuang X., Hower J. C., Lopez-Soler A., Plana F., Zeng R. (2001): Petrology, mineralogy and geochemistry of the Permian and Triassic coals in the Leping area, Jiangxi Province, southeast China.- *Int. Journ. Coal. Geol.*, 48, 23-45.
9. Ren D., Zhao F., Wang Y., Yang S. (1999) : Distributions of minor and trace elements in Chinese coal. - *Int. Journ. Coal Geol.*, Vol. 40, 109-118.
10. Swaine D. J. (1990): Trace elements in coal. - Butterworths, 278 str. London.
11. Xidong K., Yang O., Chunguang Z., Dazhen T., Dameng L. (1999): Accumulation of sulfur in the Late Paleozoic coal, north China. - *Věst. Čes. geol. Úst.*, 74, 197-202.
12. Zhang J., Li T., Guo M., Ren D., Xu D., Zhang Y. (1997): Preliminary study on the trace elements in coal with the different degree of coalification in Shanxi, P. R. China. - *Pittsburgh Coal Conference Workshop*, 135.
13. Zheng B., Ding Z., Huang R., Zhu J. Yu X., Wang A., Zhou D., Mao D., Hongcan S. (1999): Issues of health and disease relating to coal use in southwestern China. - *Int. Journ. Coal Geol.*, 40, 119-132.
14. Zhou Z., Ren Y. (1981): Gallium distribution in coal of Late Permian coal fields, Southwestern China, and geochemical characteristics in the oxidized of coal seams. - *Int. Journ. Coal. Geol.*, 1, 235-260.
15. Zhu J., Zheng B. (2001): Distribution of selenium in mini-landscape of Yutangba Enshi, Hubei Province, China. - *Applied Geoch.*, 16, 1333-1334.
16. Zhuang X., Querol X., Zeng R., Xu V., Alastuey A., Lopez-Soler A., Plana F. (2000): Mineralogy and geochemistry of coal from the Liupanshui mining district, Guizhou, south China. - *Int. Journ. Coal Geol.*, 45, 21-37.

Taiwan

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Minimum	Maximum
As ppm	4	293	47,3	697
B ppm	4	927	310	1350
Ba ppm	4	853	613	1520
Be ppm	4	12,0	8,4	14,8
Bi ppm	4	1,0	0,6	1,3
Cd ppm	4	0,3	0,1	0,5
Co ppm	4	50,2	29,7	90,5
Cr ppm	4	158	135	171
Cs ppm	4	13,6	6,8	25,2
Cu ppm	4	118	101	147
Ga ppm	4	35,6	31,8	40,7
Ge ppm	4	44,1	19,1	81,2
Hg ppm	4	0,7	0,1	2,3
Li ppm	4	147	88,2	212
Mn ppm	4	373	155	732
Mo ppm	4	17,2	9,7	28,9
Nb ppm	4	20,6	11,1	33,2
Ni ppm	4	141	90,2	232
Pb ppm	4	53,4	48,5	57,2
Rb ppm	4	114	59,2	196
Sb ppm	4	10,8	7,9	15,5
Sc ppm	4	29,4	23,1	35,3
Sn ppm	4	8,4	6,7	10,7
Sr ppm	4	1085	594	2210

Ložiska slabě prouhelněných černých uhlí až antracitu jsou vesměs terciárního stáří. Leží na S ostrova (obr. 3). Mají vesměs nízký obsah S a popela. Zpravidla jsou silně tektonicky postižená. Sloje, které jsou většinou něco málo přes 1 m mocné, prorážejí četné intruze. Část uhlí lze využívat k výrobě metalurgického koksu (Walker 2002). Hmotnost ročně vytěženého uhlí zdaleka nepokrývá potřebu Taiwanu.

Analyzované vzorky popelů slabě prouhelněných černých uhlí chilungské pánve (Tsai-Chen 2003) vykazují nápadně vysoké obsahy některých prvků. Např. Rb (114 ppm) výrazně převyšuje nejvyšší hodnoty udávané Krejci-Grafem (1972). Zvýšené či výrazně zvýšené jsou i obsahy As, B, Cr, Ni, Sr, Th, V a Zn (tab. 12).

Te ppm	4	0,5	0,3	0,7
Th ppm	4	24,9	16	37
Tl ppm	4	18,1	2,3	54,8
U ppm	4	11,0	7,2	13,5
V ppm	4	277	217	333
Y ppm	4	54,8	39,6	66,8
Zn ppm	4	93,6	35,9	140
Zr ppm	4	257	182	357

Tab. 12 Databáze vybraných stopových prvků v popelech taiwanských uhlí. Sestaveno s použitím práce Tsai L., Chen Ch. F. (2003)

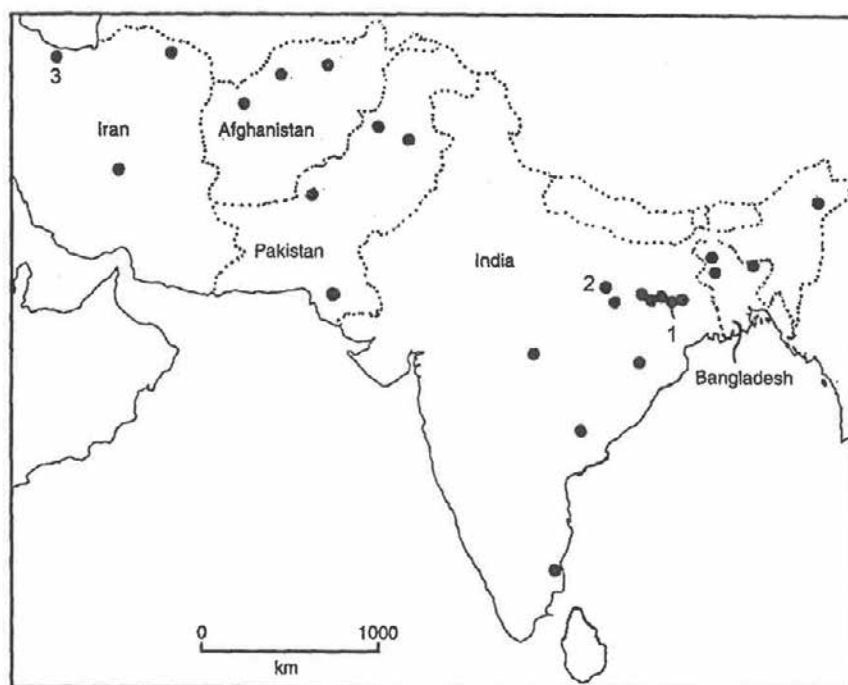
Literatura

1. Krejci-Graf K. (1972): Trace elements sediments, oils, and allied substances. - In: R. W. Fairbridge: The Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, 1201-1209. New York.
2. Tsai L. L., Chen Ch. F. (2003): Composition and trace elements content of coal in Taiwan. - Acta Univ. Carol., Geol. (2001), 45, 131-135.

Indie

Nejdůležitější černouhelná ložiska jsou permského stáří. Vyskytují se především na SV a při v. okraji tohoto subkontinentu (obr. 4). Dobývají se zvrásněné sloje, slabě až silně prouhelněných černých koksovatelných i energetických uhlí s kolísavou příměsí síry a popela. Mocnost slojí se pohybuje zpravidla mezi 1 – 30 m. Ze singurské pánve je však známa sloj o mocnosti až 134 m. Nejdůležitější ložiska leží v raniganjské pánvi. V roce 1997 bylo v Indii vydobyto 330 mil. t černého uhlí, těžba má dlouhodobě stoupající tendenci. Téměř 80 % pochází z nově otevřených povrchových dolů.

Z poměrně malého počtu analýz i analyzovaných prvků jsou nápadné jak průměrné (tab. 13), tak nejvyšší obsahy Ge (až 600 ppm) a V (až 550 ppm).



Obr. 4 Mapa významných uhelných ložisek na území Indie a Íránu. L. Thomas (2002), upraveno. Čísly jsou označena černouhelná ložiska citovaná v textu, bez čísel ostatní černouhelná a hnědouhelná ložiska bez rozlišení. 1-3 pánev: 1 – raniganjská, 2 – singurská, 3 – elbruzská

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Median	Minimum	Maximum
A ^d %	89	20,41	19,8	2,3	72,8
Ba ppm	6	59,2		20	90
Co ppm	9	20,8		10	36,5
Cr ppm	9	53,4		25	90
Cu ppm	9	35,9		10	105
Ga ppm	6	10		10	10
Ge ppm	38	168	100,5	40	600
La ppm	3	15		15	15
Mn ppm	9	362		60	935
Mo ppm	4	5		5	5
Nb ppm	6	18,3		15	20
Ni ppm	9	38,4		10	78
Pb ppm	9	24,3		15	45
Sn ppm	1	10		10	10
Sr ppm	6	145		50	280
V ppm	50	153,3	75	10	550

Tab.13: Databáze popelnatosti a převážně stopových prvků v popelech indických uhlí. Sestaveno s použitím prací Benerjee N.N. et al. (1974), Ghosh B. et al. (1987), Gupta D.C. (1999)

Literatura

1. Benerjee N. N., Rao H. S., Lahiri A. (1974): Germanium in Indian coals. - Ind. Journ. Techn., 12, 353-358.
2. Ghosh B., Das M. C., Gosh S. B., Benerjee N. M. (1987): Vanadium in Indian coals. - Ind. Journ. Techn., 25, 467-470.
3. Gupta D. C. (1999): Environmental aspects and selected trace elements associated with coal and natural waters of Ench Valley coalfield of India and their impact on human health. - Int. Journ. Coal Geol., 40, 133-149.

Írán

Íránská silně tektonicky postižená ložiska černého uhlí jsou jurského stáří. Uhelne sloje, 1 – 4 m mocné, vykazují kolísavé zastoupení popela a síry. Část uhlí je vhodná pro výrobu metalurgického koksu. Nejdůležitější ložiska leží na S a ve středu země (obr. 4). V roce 2000 bylo v Íránu vytěženo 1,5 mil. t uhlí (Thomas 2002).

Analýzu jednoho vzorku uhlí z eiburzské pánve (tab. 14) nám poskytl M. Yazdi (osobní sdělení). Téměř veškeré studované prvky dosahují vysokých hodnot. Mimořádně vysoký je obsah Au (146 ppm), Hg (94 ppm), La (131 ppm), Nb (293 ppm), Rb (398 ppm) a Ta (83 ppm), přičemž obsahy všech těchto prvků vysoce překračují maximální hodnoty udávané Krejci-Grafem (1972).

Literatura

1. Krejci-Graf K. (1972): Trace elements sediments, oils, and allied substances. - In: R.W. Fairbridge: The Encyclopedia of geochemistry and environmental sciences, 1201-1209. New York.
2. Thomas L. (2002): Coal geology. - John Wiley & Sons, Ltd., 384 str. Chichester.

	Poč vzorků	ppm
Ag ppm	1	9
Au ppm	1	146
Ba ppm	1	1300
Ce ppm	1	308
Co ppm	1	187
Cr ppm	1	655
Cu ppm	1	442
Ga ppm	1	145
Ge ppm	1	26
Hg ppm	1	94
La ppm	1	131
Mn ppm	1	330
Nb ppm	1	293
Ni ppm	1	308
Pb ppm	1	211
Rb ppm	1	398
Sb ppm	1	9
Sc ppm	1	201
Sn ppm	1	36
Sr ppm	1	2100

Ta ppm	1	83
Th ppm	1	98
U ppm	1	27
V ppm	1	1200
Y ppm	1	317
Zn ppm	1	520
Zr ppm	1	1500

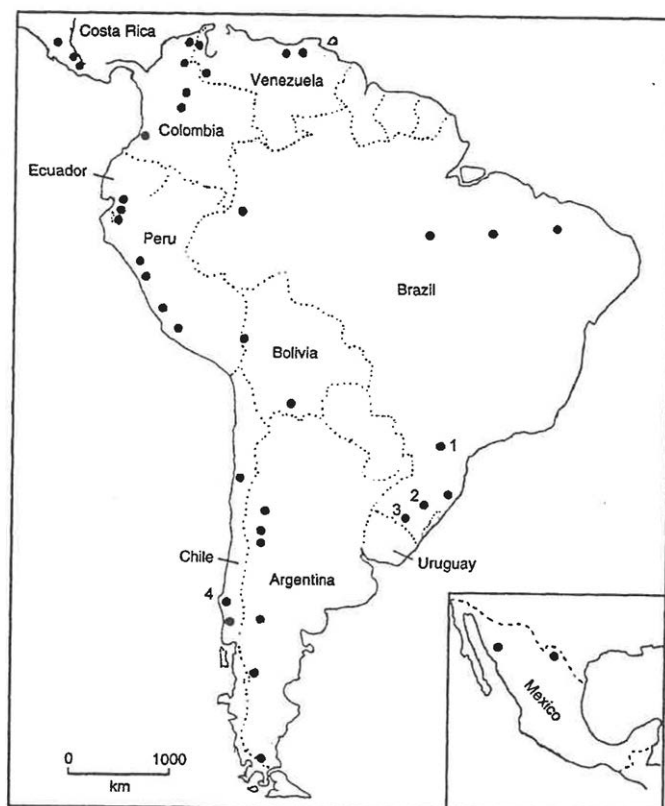
Tab. 14: Databáze vybraných stopových prvků v popelech íránských uhlí. Sestaveno podle podkladu poskytnutého M. Yazdi

Jižní Amerika

Nejméně v osmi jihoamerických státech se vyskytují, resp. exploatují ložiska černého uhlí až antracitu. Nejdůležitějším producentem uhlí je v současné době Kolumbie. Pouze z Brazílie a Bolívie jsou známy produktivní permokarbonské sedimenty. V ostatních státech vznikala černouhelná ložiska v mezozoiku nebo v terciéru.

Brazílie

Brazílie je třetím největším jihoamerickým těžařem uhlí. Nejdůležitější černouhelná ložiska jsou především svrchnokarbonského, méně pak permského stáří. Tvoří pruh na JV země, který se táhne od Parana přes Rio Grande do Sul až ke Candiote poblíž hranic s Uruguají (obr. 5). Z těchto ložisek je znám větší počet slojí mocnosti od méně než 1 do 5 m. Vesměs se jedná o slabě až středně popelnaté černouhelné hemitypy s obsahem síry pod 1 wt %. Dobývané uhlí se využívá jak pro energetické účely, tak pro výrobu metalurgického



koksu. Uhelné sloje, které náleží gonwanské provincii, se vyznačují vysokým obsahem inertinitu. Jsou vesměs uloženy subhorizontálně. Místy je proráží řada vulkanických žil. Na SV země leží několik málo významných ložisek antracitu.

Několik neúplných analýz (tab. 15) pochází z candiotské pánve. Tato uhlí mají poměrně velmi nízký obsah As a ostatních vesměs kovových prvků.

Literatura

1. Corrêa da Silva Z. C. (1993): Candiota coal field: a world class Brazilian coal deposit. - Int. Journ. Coal Geol., 23, 103-116.

Obr. 5: Mapa významných uhelných ložisek na území Brazílie a Chile. L. Thomas (2002), upraveno. Čísly jsou označena černouhelná ložiska citovaná v textu, bez čísel ostatní černouhelná a hnědouhelná ložiska bez rozlišení.

1-4 provincie: 1 – Parana, 2 – Rio Grande do Sul, 3 – Candiota, 4 – Concepción

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Minimum	Maximum
C ^{daf} %	5	77,58	76	79,8
H ^{daf} %	5	4,44	4,2	4,6
N ^{daf} %	5	1,5	1,2	1,7
O ^{daf} %	5	14,92	13,3	16,1
S _t ^d %	3	0,58	0,54	0,61
A ^d %	8	18,67	10,6	43,24
As ppm	3	13,0	9,8	14,6
Cd ppm	3	0,2	0,2	0,3
Co ppm	3	11,0	10,9	11,1
Cr ppm	3	32,4	31,5	34
Cu ppm	3	62,5	58	66
Mn ppm	3	42,8	35,3	54,8
Mo ppm	3	2,5	2,2	2,8
Ni ppm	3	26,3	24,7	27,2
Pb ppm	3	7,3	6,2	9,4
V ppm	3	74,8	68,1	86,7
Zn ppm	3	54,5	53,8	55,6

Tab. 15 Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech brazilských černých uhlí

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Minimum	Maximum
C ^{daf} %	1	74,33		
H ^{daf} %	1	5,63		
N ^{daf} %	1	1,64		
O ^{daf} %	1	9		
V ^{daf} %	1	43,3		
R ₀ %	1	0,7		
S _t ^d %	4	2,54	0,8	3,8
A ^d %	4	6,48	3,86	7,6
As ppm	2	0,5	0,1	0,8
B ppm	3	104	76	126
Co ppm	1	2		
Cr ppm	3	5	3	6
Cu ppm	2	5,5	5	6
Ge ppm	2	11,5	11	12
Ni ppm	1	7		
V ppm	2	5,5	5	6
Zn ppm	3	3,7	2	5

Tab. 16 Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech chilského černého uhlí. Sestaveno s použitím práce Helle S. et al. (2000).

- Pirez M., Teiweira E. C. (1993): Geochemical distribution of trace elements in Leco coal, Brazil. - Fuel, 71, 1093-1096.

Chile

Nejdůležitější, byť i ne příliš významné, oligomiocenní černo-uhelné ložisko leží j. od města Concepción (obr. 5). Těží se zde až tři 1 - 1,5 m mocné slabě prouhelněné sloje, které pokračují až do vzdálenosti 7 km pod hladinou oceánu. Většinou se jedná o nízkopopelnatá uhlí s variabilní příměsí S (tab. 16). Ze severu země je znám výskyt silně zvrásněných čočkovitých poloh antracitu svrchnotriasového stáří v copiapské pánvi.

Několik analýz popela uhlí pochází z ložiska Arauco u Concepciónu. Kromě základních chemicko-technologických údajů, As a S, byly studovány hlavně některé kovové prvky. Ty vykazují vesměs velmi nízké hodnoty. Mírné zvýšení je patrné pouze u B.

Literatura

- Helle S., Alfarto G., Kalm U., Tascón J. M. D. (2000): Mineralogical and chemical characterization of coal from South Chile. - Int. Journ. Coal Geol., 30, 349-359.

Severní Amerika

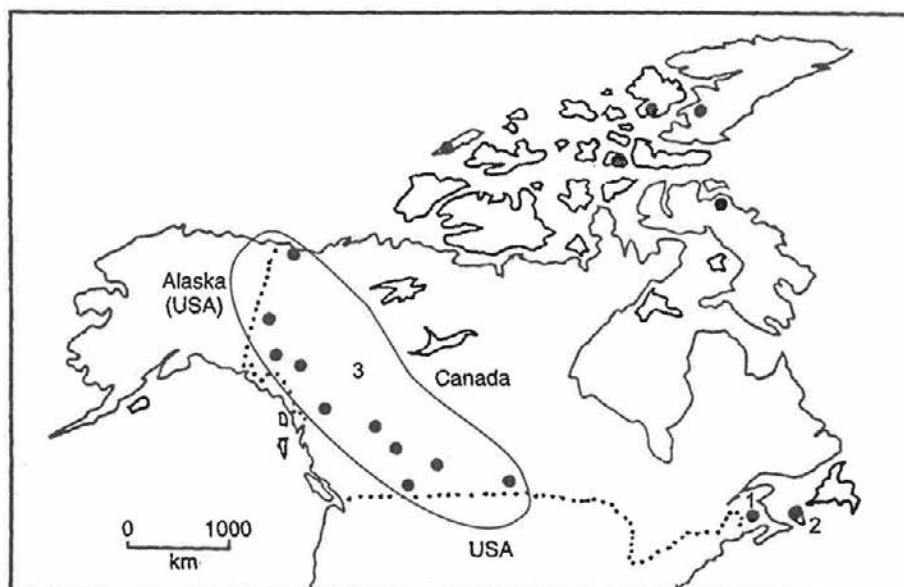
Kanada a zejména USA jsou významnými producenty černého uhlí a antracitu. USA jsou za Čínou druhým největším těžařem této suroviny. Černouhelná a antracitová ložiska

jsou svrchnokarbonského, mezozoického až terciárního stáří.

Kanada

Kanadské černouhelné pánve leží jak na JV, tak na Z této země. Minská a sydneyjská pánev (obr. 6), svrchno-westphalského (bolsov, astur) stáří jsou hlavním zdrojem této suroviny. Jsou to synorogenně vyplňované kontinentální pánve appalačid. Těží se v nich koksovatelné i energetické uhlí ze slabě až středně prouhelněných slojí, které jsou většinou mocné do 1,5 m. Uhlonosný komplex zasahuje až do vzdálenosti 5 km od pobřeží směrem pod mořskou hladinu. Většina těžených slojí je nízko až středně popelnatých s kolísavou příměsí S. Černouhelné sloje až antracity se vyskytují také v z. Kanadě v pruhu, který se táhne v délce přes 1500 km od hranic s USA k SSZ. Jedná se o spodnokřídové předhlubňové pánve, které leží na v. svazích Skalnatých hor. Směrem k V (na platformu) přecházejí tyto sloje do hnědého uhlí, výrazně se snižuje i jejich tektonické postižení.

Kanadská uhlí jsou většinou nízko až středně popelnatá s malou příměsí síry (tab. 17). Maximální hodnoty udávané Krejci-Grafem (1972) překračuje Co (až 7 000 ppm), Hg (až 51 ppm), Nb (až 44,5 ppm) a Rb (až 99,3 ppm). Místa jsou mírně až výrazně zvýšené i obsahy dalších prvků, např. Br, Ce, Cl, Dy, Er, Eu, F, Hf, Lu, Nd, Pr, Sm, Sr, Ti, V a Zn.



Obr. 6 Mapa významných uhelných ložisek na území Kanady. L. Thomas (2002), upraveno. Čísly jsou označena černouhelná ložiska citovaná v textu, bez čísel ostatní černouhelná a hnědouhelná ložiska bez rozlišení. 1-2 pánev: 1 – minská, 2 – sydneyjská, 3 – skupina pánví na v. svazích Skalnatých hor.

	Poč. vzorků	Váž. průměr	Median	Minimum	Maximum
Cdaf %	58	53,34	44,5	33	76,4
Hdaf %	26	4,58	4,65	3,9	5
Ndaf %	26	1,15	1,05	0,6	1,9
Vdaf %	58	33,47	34,05	26,8	37,6
Std %	65	0,51	0,5	0,15	0,96
Ad %	96	15,51	14,31	2,4	67
Ag ppm	3	0,02		0,01	0,02
Al ppm	82	23100	21575	24,5	95000
As ppm	112	11,6	3,4	0,2	61,1
Au ppm	1	0,01			
B ppm	75	28,8	34	5	79
Ba ppm	82	192	160,25	20	717
Be ppm	17	1,4	1,2	0,5	4,4
Br ppm	85	12,7	8,3	0,9	161,5
Ca ppm	82	15000	1560	1,5	978800
Cd ppm	1	2			
Ce ppm	89	19,8	17,9	1,7	56,4
Cl ppm	99	690	70	15	4582,5
Co ppm	127	170	3,4	0,7	7000
Cr ppm	99	25	21,03	1,9	120
Cs ppm	80	1,0	0,7	0,2	6,4
Cu ppm	101	25,3	19	4,8	80
Dy ppm	85	2,1	1,9	0,7	7,4
Er ppm	7	2,5		0,9	3,8
Eu ppm	89	0,47	0,4	0,1	2,15
F ppm	3	490		385	566
Fe ppm	82	13500	2870	1,7	91300
Ga ppm	7	7,7		2,1	12
Gd ppm	7	5,9		1,5	9,6
Hf ppm	82	1,6	1,5	0,2	4,8
Hg ppm	3	50,3		50	51
Ho ppm	89	0,5	0,4	0,1	1,32
I ppm	1	0,5			
K ppm	82	1900	1100	65	16700
La ppm	89	9,6	9,6	0,6	31,6
Li ppm	17	4,6	5	1	7
Lu ppm	89	0,2	0,2	0,1	1,2
Mg ppm	55	11600	1210	147	568000
Mn ppm	82	60,7	13,6	1,6	1000
Mo ppm	102	4,0	2,8	0,6	15,2
Na ppm	81	1850	2400	1	7080
Nb ppm	17	19,5	21,9	6,8	44,5
Nd ppm	89	9,1	8,2	1,7	24,3
Ni ppm	39	10,7	3,9	3,9	24

Literatura

1. Beaton A. P., Kalkreuth W., Neil D. M. (1993): The geology, petrology and geochemistry of coal seams from the St. Rose and Chimney Corner coalfields, Cape Breton, Nova Scotia, Canada. - Int. Journ. Coal Geol., 24, 47-73.
2. Hawley J.E. (1955): Germanium content of some Nova Scotia coals. - Econom. Geol., 50, 517-532.
3. Goodarzi F. (1987a): Comparison of elemental distribution fresh and weathered samples of selected coals in the Jurassic-Cretaceous Kootenay Group, British Columbia, Canada. - Chem. Geol., 63, 21-28.
4. Goodarzi F. (1987b): Concentration of elements in lacustrine coals from Zone A Hat Creek Deposit No. 1, British Columbia, Canada. - Int. Journ. Coal Geol., 8, 247-268.
5. Goodarzi F. (1988): Elemental distribution in coal seams at the fording coal mine, British Columbia, Canada. - Chem. Geol., 68, 129-154.
6. Goodarzi F., Van den Flier-Keller E. (1988): Distribution of major, minor and trace elements in Hat Creek Deposit, No. 2, British Columbia, Canada. - Chem. Geol., 70, 313-333.

Pb ppm	17	46,9	39	20,5	76,5
Pr ppm	26	3,7	3,7	0,6	6,9
Rb ppm	78	12,0	6,7	3,6	99,3
Sb ppm	111	0,9	0,7	0,1	3,6
Sc ppm	82	4,8	4,75	1	13,5
Se ppm	103	1,4	1,1	0,5	3,8
Sm ppm	89	2,2	2,1	0,3	7,8
Sr ppm	82	90,8	54,5	11	317
Ta ppm	56	0,3	0,3	0,1	0,97
Tb ppm	56	0,4	0,3	0,1	1,4
Ti ppm	82	1060	876	1,3	3300
Th ppm	99	2,6	2,5	0,2	7,5
Tm ppm	25	0,2	0,2	0,1	0,5
U ppm	96	1,8	1,4	0,2	5,08
V ppm	82	73,3	69	3,4	300
W ppm	78	0,6	0,5	0,2	2,5
Yb ppm	89	1,2	1	0,3	10
Zn ppm	102	84,0	20	7,5	663

Tab. 17: Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech čínských černých uhlí. Sestaveno s použitím prací Beaton A. P. et al. (1993), Hawley J. E. (1955), Goodarzi F. (1988), Goodarzi F. (1987a), Goodarzi F. (1988), Goodarzi F. et al. (1988), Goodarzi F., Van den Flier-Keller E. (1988), Goodarzi F., Swaine J. D. (1993), Grieve D. A., Goodarzi F. (1993), Jervis E. R. et al. (1982), Zodrow E. L. et al. (1996)

Canada. - Int. Journ. Coal Geol., 24, 259-280.

10. Jervis E. R., Ho K. L. R., Tiefenbach B. (1982): Trace impurities in Canadian oil-sands, coals and petroleum products and their fate during extraction, up-grading and combustion. - Journ Radioan. Chem., 1-2, 225-241.
11. Zodrow E. L., Lyons P. C., Millay M. A. (1996): Geochemistry and autochthonous siderite-dolomite coal-balls (Food Seam, Bolsopian, Upper Carboniferous), Nova Scotia, Canada. - Int. Journ. Coal Geol. 29, 199-216.

7. Goodarzi F., Van den Flier-Keller E. (1988): Organic petrology and geochemistry of intermontane coals from British Columbia No. 3. The Blakenburn open cast mine near Tulameen, British Columbia, Canada. - Int. Journ. Coal Geol., 75, 227-247.
8. Goodarzi F., Swaine J. D. (1993): Chalcophile elements in western Canadian coals. - Int. Journ. Coal Geol., 24, 281-292.
9. Grieve D. A., Goodarzi F. (1993): Trace elements in coal samples from active mines in the Foreland Belt, British Columbia,

Spojené státy americké

USA jsou druhým největším těžařem černého uhlí (včetně antracitu) na světě. V roce 2000 zde bylo vydobyto téměř 570 mil. t této suroviny. K výraznému zvýšení těžby došlo od 70. let minulého století v souvislosti s první světovou ropnou krizí. Uhlonosné jednotky karbonského, křídového a třetihorního stáří pokrývají poměrně značnou část území Spojených států (obr. 7). Dvě pětiny veškerých zásob černého uhlí a téměř veškeré zásoby antracitu leží v appalačské pánvi na území Východní provincie (Eastern Province). Vyskytuje se zde až 30 dobytelných slojí do 3,6 m mocných. Jedná se jak o energetické, tak o nízko sirnaté koksovatelné uhlí. Další významnou černouhelnou pánví je pánev illinoiská (součást Vnitřní provincie - Interior Province). Karbonská depozita této provincie obsahují až 25 slabě prouhelných poměrně stálých subhorizontálně uložených černouhelných slojí o mocnosti do 2,5 m s obsahem S_t 3-7 wt %. Méně významná jsou křídová ložiska černého uhlí v Severní

	Počet vzorků	Vážený průměr	Median	Minimum	Maximum
W _t ^r %	239930	7,03	3,3	0,4	57,2
C ^{daf} %	238120	67,03	69,3	4,65	89,6
H ^{daf} %	238120	5,2	5,2	0,4	9,5
N ^{daf} %	238011	1,31	1,31	0,2	5,6
O ^{daf} %	238112	13,3	9,6	0,2	59,8
V ^{daf} %	239633	32,33	33,4	3	55,7
R ₀ %	161	0,86	0,85	0,05	5,6
S _t ^d %	245561	2	1,34	0,01	17,95
S _p ^d %	217423	1,15	0,71	0,01	16,16
S _{SO₄} ^d %	208651	0,11	0,03	0,01	3,57
S _o ^d %	218328	0,84	0,66	0,01	7,57
A ^d %	264063	12,13	10,8	0,4	97,88
Ag ppm	214789	0,1	0,05	0,001	10
Al ppm	261814	14200	12000	5	62000
As ppm	262231	22,0	8,8	0,06	4000
Au ppm	207378	0,8	0,67	0,033	90
B ppm	262381	45,1	31	0,37	640
Ba ppm	263512	146	70	1,5	24211
Be ppm	258866	2,2	1,8	0,034	670
Bi ppm	207376	1,1	0,9	0,049	14
Br ppm	193436	19,5	14	0,035	7200
Ca ppm	261773	3470	1300	20	71000
Cd ppm	262460	0,4	0,07	0,002	160
Ce ppm	223727	20,4	17	0,79	1500
Cl ppm	166654	655	400	35	8800
Co ppm	262887	6,2	4,8	0,06	1690
Cr ppm	262778	15,3	13	0,007	2550
Cs ppm	193689	1,0	0,8	0,026	33
Cu ppm	263173	16,6	13	0,54	2350
Dy ppm	207572	2,1	1,8	0,11	130
Er ppm	207383	0,9	0,73	0,023	75
Eu ppm	207830	0,39	0,34	0,026	20
F ppm	262791	96,2	60	7	4900
Fe ppm	261718	13700	9200	11	140000
Ga ppm	250356	5,6	4,9	0,044	874
Gd ppm	207342	2,1	1,6	0,13	130
Ge ppm	232156	4,8	2,5	0,055	3390
Hf ppm	207823	1,5	0,64	0,042	50
Hg ppm	263331	0,2	0,12	0,003	63
Ho ppm	207265	0,65	0,51	0,033	25
In ppm	207336	0,9	0,54	0,025	23
Ir ppm	207301	2,5	1,1	0,074	85
K ppm	261693	1730	1300	4	14000
La ppm	241209	10,5	9	0,07	790
Li ppm	262784	16,5	12	0,21	350
Lu ppm	206396	0,24	0,13	0,007	27
Mg ppm	262039	834	520	9	15000
Mn ppm	262228	39,7	17	0,26	11440
Mo ppm	247161	3,2	1,9	0,05	742

provincii velkých plošin (Northern Great Plains Province), dále v Provincii Skalnatých hor (Rocky Mountains Province) a v Pacifické provincii (Pacific Coast Province), do které náleží i slabě prouhelněná terciární černá uhlí na Aljašce (obr. 6).

Popely amerických uhlí byly analyzovány několika desítkami autorů. Nejen, že je k dispozici množství dat o každém prvku, ale i spektrum analyzovaných prvků je v porovnání s údaji z dalších států daleko nejúplnější (tab. 18). Americká uhlí lze považovat v průměru za středně sirnatá. Maximální hodnoty řady prvků převyšují, resp. výrazně převyšují nejvyšší obsahy uváděné v popelech uhlí Krejci-Grafem (1972) a také Swainem (1990) a to u Au (až 90 ppm), Cd (až 160 ppm), Ce (až 1 500 ppm), Cr (až 2 500 ppm), Cs (až 33 ppm), Dy (až 130 ppm), Er (až 75 ppm), Eu (až 20 ppm), F (až 4 900 ppm), Gd (až 130 ppm), Hg (až 63 ppm), La (až 790 ppm), Lu (až 27 ppm), Nd (až 150 ppm), Os (až 19 ppm), Pr (až 190 ppm), Pt (až 45 ppm), Rb (až 780 ppm), Re (až 21 ppm), Se (až 13 900 ppm), Sm (až 150 ppm), Sr (až 23 800 ppm), Ta (až 320 ppm), Tb (až 72 ppm), Te (až 510 ppm), Th (až 200 ppm), Tl (až 420 ppm), Yb (až 22 ppm), Zn (až 51 000 ppm), Zr (až 5 700 ppm). Ve zvýšeném až výrazně zvýšeném množství mohou být zastoupeny tyto prvky: Ag, As, B, Be, Cd, Cl,

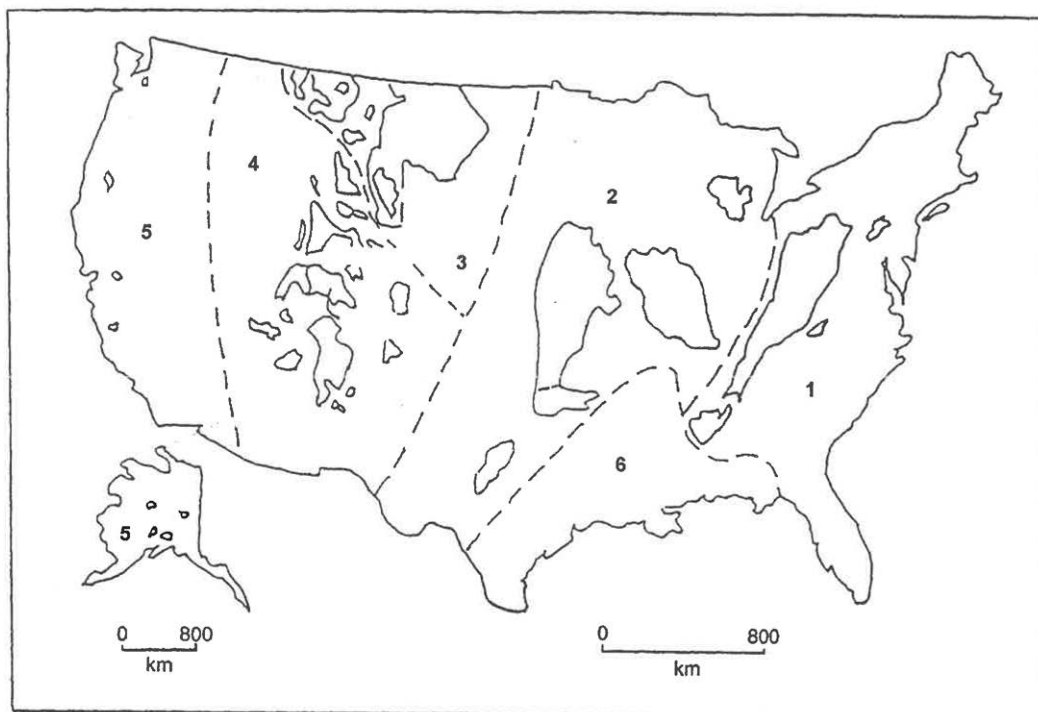
Na ppm	262032	540	280	4	13000
Nb ppm	251836	2,6	2,1	0,087	150
Nd ppm	222204	10,7	8,5	0,47	660
Ni ppm	263523	15,7	12	0,55	3796
Os ppm	207336	1,6	1,2	0,019	19
P ppm	260225	228	100	0,011	9100
Pb ppm	263148	10,2	6,1	0,056	520
Pd ppm	207336	0,1	0,08	0,004	0,79
Pr ppm	207507	6,6	5,4	0,23	190
Pt ppm	207338	0,5	0,33	0,011	45
Rb ppm	192202	22,5	21	1	780
Re ppm	207336	1,1	0,76	0,049	21
Rh ppm	207336	0,2	0,14	0,007	0,98
Ru ppm	207336	0,3	0,17	0,005	4,6
Sb ppm	262855	1,2	0,72	0,03	130
Sc ppm	262561	3,7	3,2	0,18	130
Se ppm	260539	3,3	2,5	0,007	13900
Si ppm	261773	25800	20000	300	130000
Sm ppm	206560	2,1	1,6	0,007	150
Sn ppm	189433	1,1	0,58	0,015	220
Sr ppm	263404	125	82	0,97	23800
Ta ppm	205513	5,4	0,19	0,01	320
Tb ppm	207602	0,7	0,27	0,01	22
Te ppm	16619	42,5	35	2	510
Ti ppm	256293	817	670	13	7400
Th ppm	243460	3,0	2,4	0,01	200
Tl ppm	207391	0,8	0,48	0,016	420
Tm ppm	207383	0,4	0,33	0,023	11
U ppm	262340	1,8	1,3	0,02	87
V ppm	263535	22,6	18	0,054	8493
W ppm	199832	1,2	0,7	0,007	160
Y ppm	262615	8,5	7,2	0,14	630
Yb ppm	251770	1,0	0,83	0,058	72
Zn ppm	263541	53,6	13	0,082	51000
Zr ppm	263386	26,7	18	0,15	5700

Tab 18: Databáze chemicko-technologických analýz, zastoupení síry a převážně stopových prvků v popelech černých uhlí na území Spojených států amerických. Sestaveno s použitím prací Andrew W. M. Jr. et al. (1994), Andrew W. M. et al. (1996), Brownfield M. E. et al. (1995), Glick D. C., Davis A. (1987), Hickmott D. D., Baldrige (1995), Hower J. C., Pollock J. D. (1989), Hower J. C. et al. (1991), Hower J. C. et al. (1994), Hower J. C. et al. (1996a), Hower J. C. et al. (1996b), Hower J. C. et al. (1999), Hower J. C. et al. (2001), Hower J. C. et al. (2002), Hower J. C., Williams D. A. (2001), Hubbard T. E. et al. (2002), Chyi L. L., Medlin J. H. (1996), Kelm T. M. (1957), Lyons P. C. et al. (1989), Merrit R. D. (1988), Raione R. P. et al. (1991), Rao P. D., Walsh D. E. (1997), Ruppert L. F. et al. (2002), Stadnichenko T. et al. (1961), Zubovich P. et al. (1964), Zubovich P. et al. (1966)

Co, Cu, Ga, Ge, Mo, Ni, Pb, Pr, Sm, Ti, U, V, W a Y.

Literatura

1. Andrews W. M. Jr., Hower J. C., Hiatt J. K. (1994): Lithological and geochemical investigations of the Fire Clay coal bed, South-eastern Kentucky, in the vicinity of sandstone washouts. - Int. Journ. Coal Geol., 26, 95-115.
2. Andrews W. M., Hower J. C., Ferm J. C., Evans S. D., Sirek N. S., Warrell M., Eble C. F. (1996): A depositional model for the Taylor coal bed, Martin and Johnson counties, Eastern Kentucky. - Int. Journ. Coal Geol., 31, 151-167.
3. Brownfield M. E., Affolter R. H., Stricker G. H., Hildebrand T. (1995): High chromium contents in Tertiary coal deposits of North-western Washington. - A key to their depositional history. - Int. Journ. Coal Geol., 27, 153-169.
4. Glick D. C., Davis A. (1987): Variability in the organic element content of U. S. coals including results of cluster analysis. - Org. Geochem., 11, 331-342.
5. Hickmott D. D., Baldrige W. S. (1995): Application of PIXE microanalysis to macerals and sulfides from the Lower Kittanning coal of



Obr. 7 Mapa významných uhelných ložisek na území Spojených států amerických. L. Thomas (2002), upraveno. Čísly jsou označena černouhelná ložiska citovaná v textu, bez čísel ostatní černouhelná a hnědouhelná ložiska bez rozlišení. 1-6 provincie: 1 – východní, 2 – vnitřní s illinoiskou pánví, 3 – severních velkých plošin, 4 – Skalnatých hor, 5 – pacifická, 6 – jižní.

Western Pennsylvania. - Econ. Geol., 90, 246-254.

6. Hower J. C., Pollock J. D. (1989): Petrology of the River Gem coal bed, Whitley County, Kentucky. - Int. Journ. Coal Geol., 11, 227-245.
7. Hower J. C., Rimmer S. M., Bland A. E. (1991): Geochemistry of the Blue Gem coal bed, Knox County, Kentucky. - Int. Journ. Coal Geol., 18, 211-231.
8. Hower J. C., Taulbee D. N., Rimmer S. M., Morrell L. G. (1994): Petrographic and geochemical anatomy of lithotypes from the Blue Gem coal bed, South-eastern Kentucky. - Energy & Fuels, 8, 719-728.
9. Hower J. C., Eble C. F., Pierce B. S. (1996): Petrography, chemistry and palynology of the Stockton coal bed (Middle Pennsylvanian), Martin County, Kentucky. - Int. Journ. Coal Geol., 31, 195-215.
10. Hower J. C., Ruppert R. F., Eble C. F., Graham U. M. (1996): Geochemical and palynological indicators of the River Gem coal bed, Whitley County, Kentucky. - Int. Journ. Coal Geol., 31, 135-149.
11. Hower J. C., Ruppert R. F., Eble C. F. (1999): Lanthanide, yttrium and zirconium anomalies in Fire Clay coal bed, Eastern Kentucky. - Int. Journ. Coal Geol., 39, 141-153.
12. Hower J. C., Williams D. A. (2001): Further examination of the ragged edge of the Herrin coal bed, Webster County, Western Kentucky coal field. - Int. Journ. Coal Geol., 46, 145-155.
13. Hower J. C., Williams D. A., Eble C. F., Sakulpitakphon T., Moechler D. P. (2001): Brecciated and mineralized coals in Union County, Western Kentucky coal field. - Int. Journ. Coal Geol., 47, 223-234.