Geol. Mag. **154** (3), 2017, pp. 419–440. © Cambridge University Press 2016
.10.101 / 0016 56816000042

ea e c e e a e a e c e ea e a e e a a e c e ( ). ca e acc e ce e a e a e

- ‡, - ‡†, - , - ‡ & - ‡
e e ca e e ca c e ce , e , 10003 , a
‡ a e e a e a e ce , a 210016, a
e a e e c e ce , ve , , 3684 -5305,

(*Received* 18 2015, *accepted* 8 a a 2016, *first published online* 18 2016)

Abstract e e e e e va , c a e a e c e ca a a e c e e e e e a e a e c e ea e a e e a a e c e ( ) e a e a e acc e ce e ea e a e a e. e c a e a a evea a e c a e e a e a e c a e a ~485 a e e v ca c e e ce e e a ~400 a. , e v ca c e e ce a e e e e a e a e. a e e e e e ave c a a e e e e a c e e - e e . a , e a c e e a ve c ε (*t*) (13 20) a a e δ[18] (+5.3 ‰) va e e c a e a e c a e c a e ve a a e ve a e e e a e ce. e e a a c c ca e a e a a e a e a a ea e e e ve a a e a a e e e e a a e e ea a e a a c e a / c - e a e . e a a e e e c , e e ev e , ca e a e a e a a a a ea e e e e e - e, c e a e e e e a ea - cea e v c a ea ev a e e a cea . e ea e a e, a- cea c c e e a e a- cea c a c, a e e e a e e acc e e a a- cea c acc e a e e. e a e a e, e a e a a a e acc e e e acc e a e e a e e a e e e e - ac e c e .

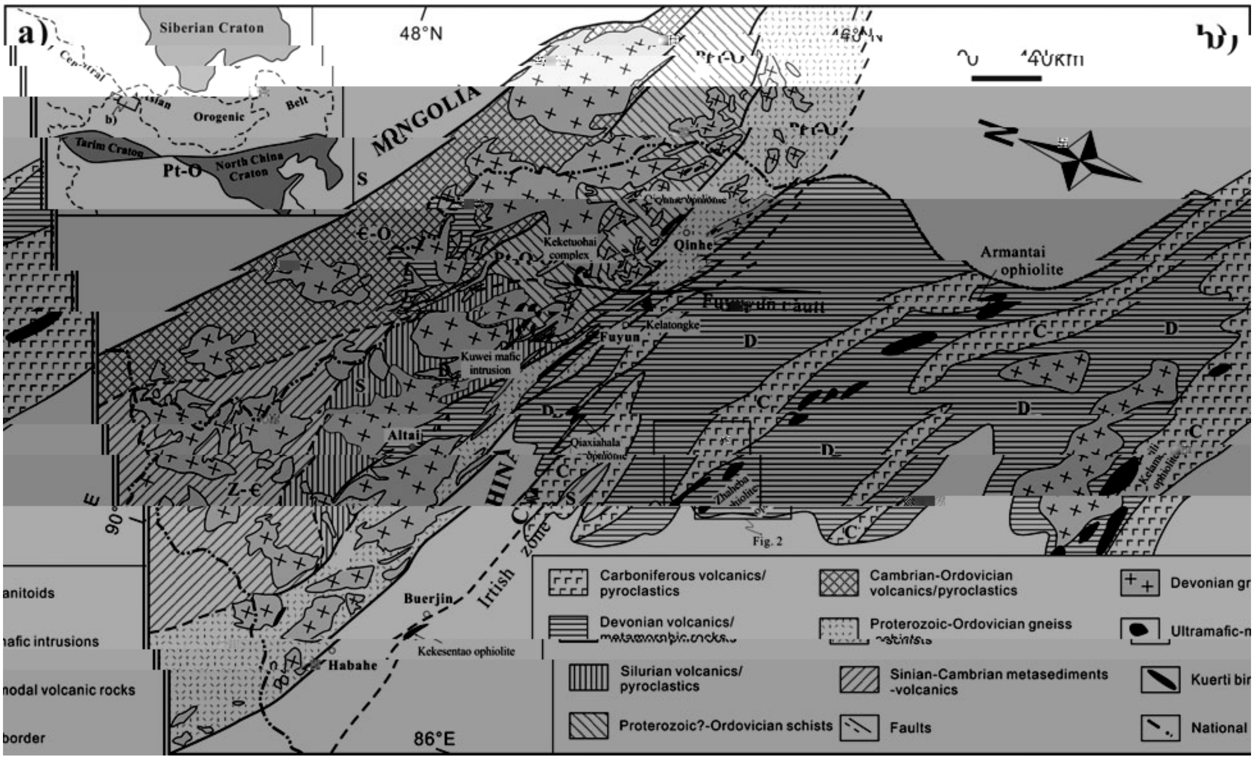
e . a e a e, - e, acc e ce , e a a e c e ( ), a e a e .

1. Intro uct on

e , a e a e e e e e va e , c e e a cc a e e c a - e a acc e a - e e c e (e. . a *et al.* 2008, e & e , 200 , e - a a *et al.* 2012, a *et al.* 2012, 2013, acca *et al.* 2013), c a a a a a - a e e cea c a e, e cea c e a a ce a e ec c ev e e (, 1 , a *et al.* 200 , a *et al.* 200 *a*). a ca e a ee e e a e e e ce e e - e e (e a , 1 , c- a , 1 8 , , 1 3, a a e e *et al.* 2000, e & e , 2003, a *et al.* 200 , ea ce, 2014). a ece e , e & e (2011) c a - e e a . c e a a - , - cea e, e, a- c e ( ), v ca c a c a acc e a . - e e e e e c e , ea ce (2014) v e -

e a e , .e. - cea - e e a - e e. e - cea e e ca e v e - e, - e a - e - e , e e - e e e c e a c - a e, ac -a c a e a e- c e. a e e c e e a e e - e e e a a e c e ( ), e a e a e c acc e a e e (, e ö , a a & a , 1 3, a , & e , 2000, e *et al.* 2002, a *et al.* 2004, 200 *a*) (. 1a). e a e e e e a e e a e c, ca e ev - e (a *et al.* 200 *a*,*b*, e , e & a , 2012). ea e a , c e e a ec e , ev- e a e ave ee e e ve e a e ea , c , , e e a e , a e a a a , a a a a a e e (a , 1 3, a *et al.* 2003, a *et al.* 2003, a *et al.* 200 *a*) (. 1). a - e ave ee ca e e e e , e e- a e c a c a , e c , e c e

† c e e ce. c a 1 68 a .c



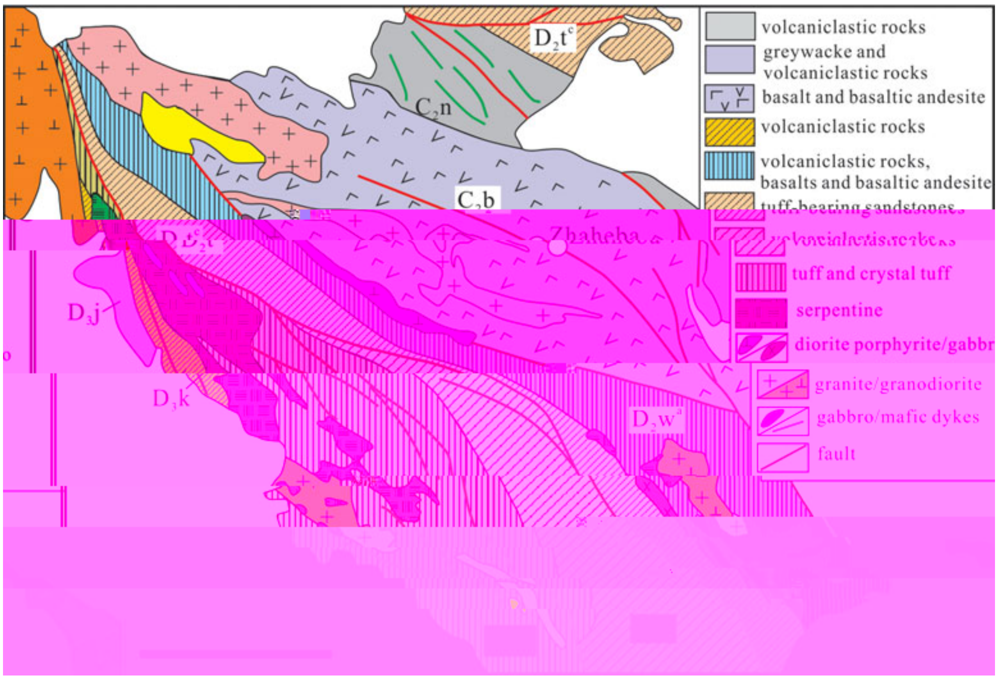
e 1. (a) c e a c e ca a e e a a e c e ( ), ( ) e e a e e ca a e e e ea e a a a e e e ea e a a a e e e (e a e a *et al.* 200).

a ec c c a ce e a e . c , e e e a e e - e va , e a , a e a e c e e a e a ec e e e a e a e a e (1) e e e a e acc e v a e e e ea e a e a e a (2) ec e e c a ce ve e- e c a e a e.

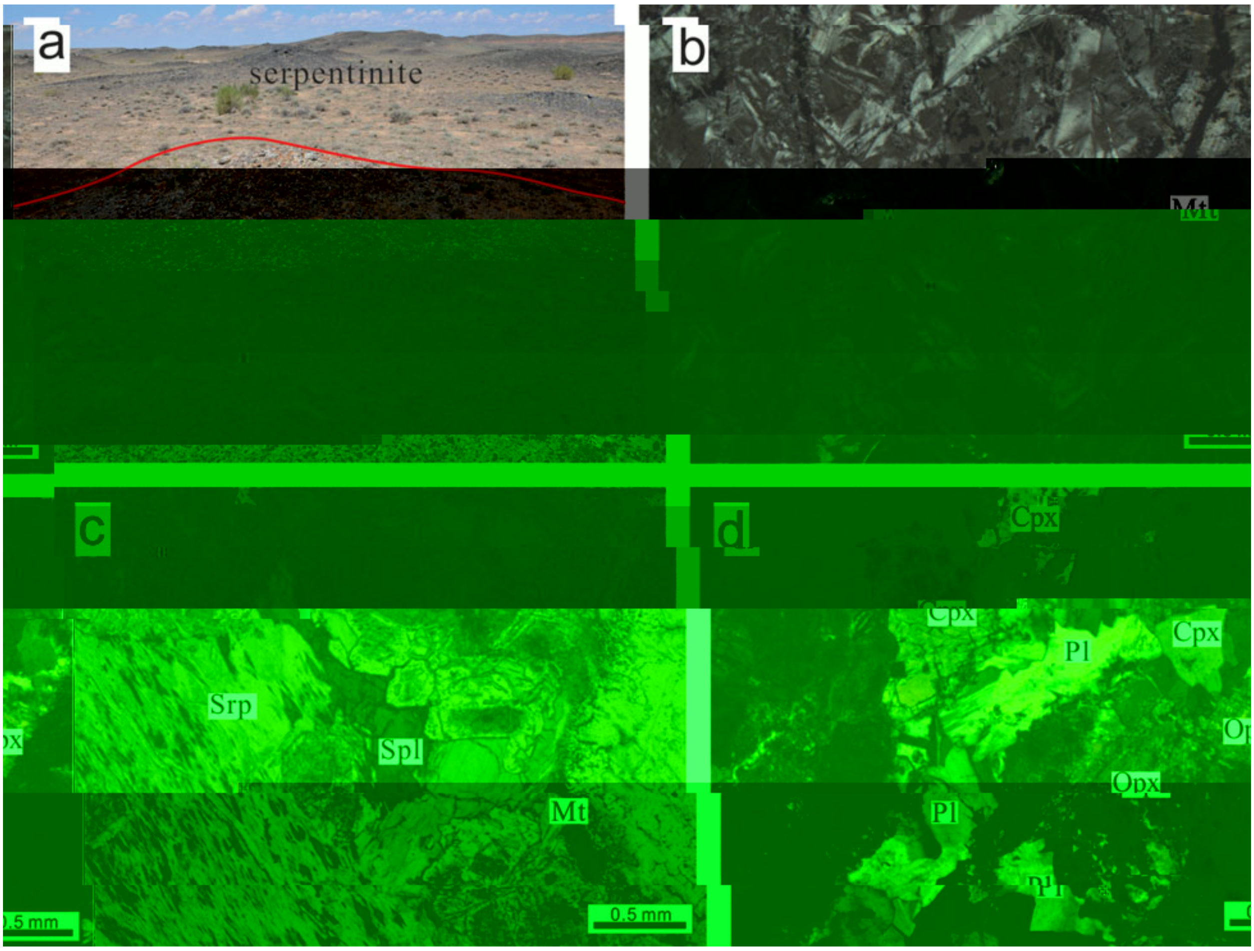
2. Reg onal geology, fiel observat ons an petrography

e a e a ec e e e e e - e e ec e a e a a a e e , c e a e e a e e e a ec (1 , 2). e a c c e e e e, c a e, a a c a e c ava a a ca a e. e c a e c e a a e a c a , a cc a a c e e ve eve a e e a e e e . e c a e e e e e c e a a ee e ve (. 3a). e e va e - e a ea 15 c a e c a e . e e - e e c e e a c - a e e e e e e ev a a a c a e c e e a e e ce (. 2, ee e c). cca a a a e 1 5 e a e a 1 ca e ee e e e e. v e e a a e e e c a e e e e e. e e e -

e c e > 0% e e e, a e e a e (. 3 , c). a e e e e a cc e e e e e e a e - c e e a e a e (e. . a *et al.* 2013). e c v e e e a - e ve - ec . e a a c e a c a e (40 0%) a c e e (30 50%) a e a e e (5 10%) a cca a v e (. 3). cce e a c e e e a c . e e c a e a a ve c e a a e e a e c a e a e ca e a e a a - e a , e e ce e c a a c a e a e e a e e ev- e a - ec . e a a c a e c v ca c e - e a e e ce a ca v e e e e ev a a e e a ( ) a e a a a ( ) a e e ev a a e a a ( ) (a *et al.* 2006). e ea e ev a e e ce a e a e v ca c a c e e a a a a c ac e ev a a a. e a v e ee e e acc e c a c a , c c e a c a , v ca c a c c a - ea a e (. 2). e e e e, a a ca a e e c a ve a a c a e c ava a e ve , a e ca c- a ea e a ea . a a c a e c ava e a ee ec e a a e e e a e a e eca e e c e a a e a- (a , 1 3). e ev a



e 2. (e) e ca a e a e a e c e (e a e *et al.* 200 , 200 *a* a a , 1 3).



e 3. (e) e a a c c c a e e e e e a e a e. (a) a e e e e e c e a . (, c) e e e e c e > 0% e e e a a e e a e. ( ) e a a c e a c a e, c e e a e e. c e e, a e e, e e, a c a e, e, e e e.

a a e v ca c e e a a a a e - e ve a e c e e e.

3. Analyt.cal proce ures

3.a. Z.rcon U–Pb at.ng an Hf–O .sotope analys.s

c e e e a a e a a a e (2013 01, 46° 32′ 51 , 8 ° 2′ 4) a a a e (2013 02, 46° 33′ 2 , 8 ° 2′ 36) c ec- e e a e e e e e e . c e a a a ca e c ve a a e c a e ec e . c a e e e a - c e e a c a c c e. c a a c e e e ce a a e e e e , c e e e e ec e c a a a . c e e c e e a e a e ec e c a a e a ca e ce ce ( ) a e evea e e a c e . c a e a e c - e e a a e e a e a a c - ve c e a a a ec e (- -) e a e a e e a e a e ce , e e e ca ve . e e a e a a ca ce e ave ee c e e e *et al.* (2011). e e e a a e e a e a e e a a e . a a e c a e e - e - a a a (*et al.* 2010) a (, 2003). e e e ea a e a e e a e 5% c e ce eve . c a e a a a e c a e e e e e a a e a a e 1 a e e e a a e a a e 2, e ec ve , ava - a e a .// a .ca e. / e .

c e e e e ea e e a eca 1280 a e e e a e c , e e ca e c e ce e , a a ca ce e a e e e *et al.* (2010*a*). ea e [18] /[16] a e e a e e a a a ea cea a e c (, [18] /[16] = 0.0020052), a e c ec e e e a a ac - a ac ( ) e a c a a e e - e ce a a a δ[18] va e 5.31 ‰ (*et al.* 2010*b*). e ea e e e c a - a e c e e a e e ea δ[18] 5.44 ± 0.21 ‰ (2), c c - e e e e e va e 5.4 ± 0.2 ‰ (*et al.* 2013). c e c a a a e e e e e a a e a a e 3 ava a e a .// a .ca e. / e .

3.b. M.neral analys.s

e a c e e e e e e - ec a a a e 8800 e ec- c e e e ve ave e ec e e a e a e e c e - , e e ca e c e ce . e a c - e e 15 e acce e a v a e a 15 ea c e 20 c e. e e e - a ve e a ca a a a e e e - e e a a e a a e 4 a 5 ava a e a .// a .ca e. / e .

3.c. Whole-rock analys.s

e- c a - a ace-e e e c e e a a e a e a e e c e - , e e ca e c e ce . a e e e e e a a e a a 100e - e a a ca ce e e c e *et al.* (2004). a ca ec e e a e e a 2 %. ace e e e e e a a e a e - e c e 6000 - ce - e e c e *et al.* (2004). 50 a e e eac a e e e ve - e e e a + 3 - e. e a a a c a e e e e a e a c . e a a -1, -2 a -2, a e e e a a a a -1 a - 3, e e e ca a e e e c ce a ea e a e . - a a ca ec e e e a e e a 3 5 %. e a a ca e a e e a e 1.

a e c ea e e e e e a ve e + 3 ac , a e e a a e c ve a ca - e c a e ec e . e c ea e e e e e e a c a e -c ec c ve c e a a a ec e e (- -) a e a e e a a e e- e c e , e e c e , e e ca e c e ce . e e a e ce e a ee e c e *et al.* (2004). e ea e [8] /[86] a [143] /[144] a a e c ec e [86] /[88] = 0.11 4 a [146] /[144] = 0. 21 , e ec ve . e ea e [8] /[86] ave a e a e e 0. 10288 e 8 a a a 0. 0506 -1, a e [143] /[144] ave a e a e e 0.512104 - 1 a 0.5126 1 -1. e a a ca e a ca c a e a a e e a e e a e 2.

4. Analyt.cal results

4.a. Z.rcon U–Pb ages

c e a a e a e a ce a c e . a a e a c e a 100 150 μ a a ec a a 1.1 2.1. a e , e c a e c a , ea e c a ac e c - c a c a a c c (ee e . 4a). a a e e e c c e a e, a e e va a e (22 123) a (8 5) c e / a a 0.4 0.8. e - eve a a e 30 c e e c e e a c c a a e a a - ca e a a e e ea a e 485.8 ± 2.5 a a e 1. e c e ca c e e e e, c a e a a a e a e a e c e

a e c e	2013 01-1	2013 01-3	20132 01-4	2013 01-5	2013 01-6	2013 01-	2013 01-8	2013 01 1	2013 01 2	2013 01 4
					Major elements (%)					
2	38. 0	48.20	3 .41	38.62	3 .22	3 .82	3 .05	4 .22	46.48	51.2
2	0.05	0.20	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.14	0.12	0.2
2 3	0.61	1. 6	1.04	0.6	0. 0	0. 4	0. 0	18.28	1 .64	1 .33
e2 3	8.44	4.68	.8	.36	.5	.16	.84	3.6	3.24	3.8
	0.08	0.10	0.11	0.11	0.11	0.0	0.11	0.08	0.0	0.08
	38.21	24.5	38.82	3 .8	3 .0	3 .31	38.44	10.04	.03	5.8

a e 1. e

a e c e	2013 01-1	2013 01-3	20132 01-4	2013 01-5	2013 01-6	2013 01-	2013 01-8	2013 01 1	2013 01 2	2013 01 4
	0.005	0.064	0.008	0.005	0.00	0.003	0.003	0.051	0.044	0.222
	0.021	0.34	0.044	0.042	0.0 2	0.031	0.033	0.310	0.25	1.450
	0.004	0.04	0.00	0.008	0.011	0.005	0.005	0.04	0.043	0.21
	0.011	0.232	0.036	0.044	0.012	0.034	0.008	0.123	0.0 0	0. 3
a	0.0 0	0.036	0.038	0.03	0.068	0.026	0.025	0.046	0.031	0.06
	0.268	1. 10	6.600	1.880	0. 3	0.233	1.150	1.5 0	0.516	0.1 5
	0.406	0.0 2	0.12	0.112	0.0	0.1	0.054	0.168	0.1 1	0.6 5
	0.046	0.034	0.014	0.028	0.050	0.030	0.010	0.050	0.02	0.130
	0.1 1	0.144	0.203	0.364	0.042	0.0 4	0.0	0.066	0.042	0.0 3

a e c e	2013 01 5	2013 01 6	2013 01 (1)	2013 01 8 (1)	2013 01 (1)	2013 03 2 (1)	2013 03 3 (1)	2013 03 4 (1)	2013 03 5 (1)	2013 01 3 (2)
					Major elements (%)					
2	4 .1	45.8	48.	53.1	51. 1	50.40	50.54	50.52	51.22	52.3
2	0.34	0.15	1.40	1.24	1.31	1. 0	1.63	1.31	1.1	0.33
2 3	18.	1 .58	16.5	16.1	15. 3	15.8	16. 6	15.55	15.48	1 .61
e2 3	4.52	3.34	.88	.11	.43	.0	.50	.42	.82	3.44
	0.0	0.08	0.11	0.10	0.11	0.13	0.11	0.14	0.12	0.0
	6.8	.42	4.80	4.28	4.41	5.8	3.2	6.06	.14	4.88
a	11.03	12.61	6.22	5. 5	6.3	6. 5	4.52	.4	8.26	8. 0
a2	4.86	.38	8. 2	8.3	8.00	4.52	.31	4.80	4.08	.11
2	0.13	0.11	0.3	0.31	0.42	2.04	0.33	1.2	2.03	0.1
2 5	0.04	0.02	0.62	0.62	0.65	0. 4	0.6	0.4	0.44	0.04
	3. 2	3.26	4.24	2.54	2. 3	2.2	5.14	2.65	1. 3	2.
	. 5	.82	. 6	. 0	.4	.40	.81	.6	.68	. 1
	4. 8	.4	.11	8. 0	8.42	6.56	.64	6.0	6.11	.2
#	5	81	55	54	54	56	41	56	64	4
					Trace elements (ppm)					
	.0	4. 5	1.16	1.12	1.4	.08	40.4	5.2	6.82	5. 1
e	0.22	0.135	1.284	1.683	1.316	1. 53	1.034	1.100	0.5 5	0.62
c	25.0	23.8	18.6	1 .5	1 .5	.5	1 .2	25.2	18.	1 .0
	118	83.	186	166	1 2	22	22	254	18	5.
	34.	163	60.5	62.6	64.1	116	18.	0.	203	23.
	24.2	21.6	26.	23.6	24.6	2 .8	28.5	28.0	28.0	16.4
	4.	1 5	63.6	50.	51.4	6.8	2 .	5 .3	132	1.1

a e 1. e

a e	2013 01 5	2013 01 6	2013 01	2013 01 8	2013 01	2013 03 2	2013 03 3	2013 03 4	2013 03 5	2013 01 3
c e			(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)
a	3.	1.20	3 .60	46. 0	4 .30	23.40	43.00	25.20	32. 0	6.56
e	. 8	2.6	.50	8 .16.6(4 10)-55 6.6(8 .16.6(4 10)-55 6..6(4 8 (e)- 1.00)-55 6.6(83 8 5 6..651.40)-584 .4(65.00)-584 .4(16.00). (e)-46 .1( )- 58						
c 03 5	2013 13 5	2013 01	2013 10	. 8 2.6 3 2.6( )-6082.3(3655)-250.5((1))252 1.6( )-24 .5((1))25040.8( )-250.5((1))25040.8(						

a e 1. e

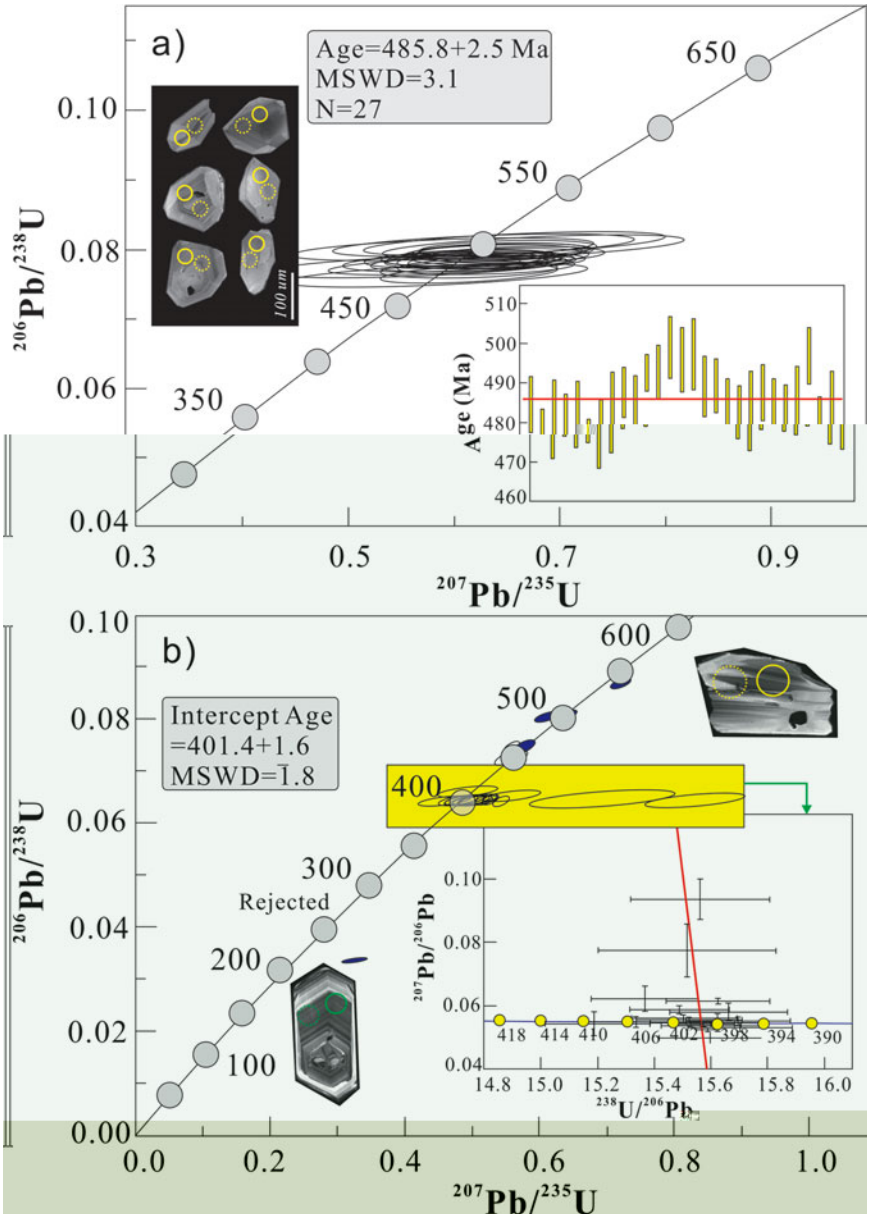
a e c e	2013 01 11 (2)	2013 02 1 (2)	2013 02 2 (2)	2013 03 1 (1)	2013 03 6 (1)	2013 01 10 (2)	04 06 (1)	04 24 (1)	04 2 (1)	03 1 (1)
				Trace elements (ppm)						
	1 .4	36.	42.4	26.0	32.4	1 .	/	/	/	/
e	0.3 5	0.153	0.358	1.1 8	0. 4	0.468	/	/	/	/
c	32.5	33.2	34.5	25.1	26.3	32.1	13.4	20.5	1 .	20.3
	1 4	203	21	33	341	1 5	144	184	214	265
	56.5	44.2	4 .8	1 .8	22.2	53.8	158	162	214	265
	34.	3 .5	38.3	23.1	24.8	33.8	20.6	30.	28.	20.2
	66.4	84.6	6.4	25.4	2 .1	66.6	8 .1	114	5.5	.02
	6.4	236.4	256.	205.4	208.	114.20	/	/	/	/
	48.0	44.1	4 .0	4.	103	44.1	/	/	/	/
a	12.0	11.1	11.2	14.	13.6	12.0	/	/	/	/
	0.58	1.420	1.0 0	3.130	3.2 0	0.583	4.	18.1	22.0	1 .2
	1	1 50	5	2 0	24	686	1	831	1118	6
	13.0	13.0	13.2	21.1	22.	12.5	13.2	13.2	14.	20.1
	54.	42.3	41.5	144	154	52.8	243	133	164	151
	1.2	0.84	0.855	11.315	11. 85	1.25	20.2	12.	21.	12.2
	0.025	0.030	0.02	0.051	0.052	0.028	/	/	/	/
	0.381	0.286	0.328	1.560	1.450	0.360	/	/	/	/
	0.288	1. 20	1.030	0.365	0.406	0.336	/	/	/	/
a	11	3 2	346	825	50	84.3	/	/	/	/
a	10. 0	.840	.610	26.40	26.80	10.50	30.6	32.2	40.1	26.4
e	23.00	18. 0	18.40	51.50	54. 0	22.30	5 .8	62.	82.3	52.5
	2. 0	2.520	2.510	5. 50	6.180	2.6 0	6.	.84	10.5	6.4
	11.80	11. 0	11.60	22.30	24.30	11.60	2 .5	31.2	43.1	24.4
	2.540	2. 00	2.6 0	4.4 0	4. 00	2.3 0	4.5	5.28	6.8	4.85
	0.8 6	0. 18	0. 0	1.163	1.25	0.883	1.45	1.58	2.0	1.03
	2.480	2.813	2. 54	4.14	4.46	2.522	3.56	4.01	5.35	4.23
	0.3 6	0.38	0.3	0.612	0.660	0.384	0.4	0.54	0.64	0.63
	2.180	2.150	2.220	3.420	3.680	2.130	2.5	2.	3.24	3. 5
	0.468	0.446	0.444	0. 28	0. 5	0.468	0.4	0.52	0.5	0. 8
	1.350	1.230	1.240	2.120	2.2 0	1.310	1.32	1.3	1.45	2.25
	0.1 0	0.16	0.1 5	0.304	0.328	0.1 4	0.1	0.2	0.2	0.34
	1.210	1.050	1.120	1. 60	2.110	1.210	1.25	1.23	1.24	2.13
	0.1 4	0.164	0.165	0.2 1	0.323	0.1 3	0.20	0.1	0.1	0.34
	1.3 0	0. 41	1.040	3.2 0	3.510	1.460	5.3	3.2	4.16	3. 2
a	0.084	0.062	0.051	0.5	0.644	0.0	1.35	0.68	1.16	0.68
	0.151	2.0	1.50	2. 5	1.88	0.33	/	/	/	/
	0.3 4	0.206	0.200	45.20	35.10	0.41	8.13	8.0	4.18	21.06
	1. 0	0. 61	0. 1	8.860	.2 0	1. 80	4.50	2.63	3.20	.41
	0.500	0.304	0.302	2.830	3.480	0.501	1.	0.6	1.46	2.5

e . e e e, a , a a , a a c a e e, / e e ec .
a a a e 04 06, 04 26, 04 2 a 04 1 a e *et al*. (200 *a*).

a e 2. c c e a a e a e a a ea

a e	c e	( )	( )	8 / 86	8 / 86 (1σ)	(8 / 86)	( )	( )	14 / 144	143 / 144	143 / 144 (1σ)	(143 / 144)	ε (t)
2013 01 3	a a (2)	0.36	3 2	0.002	0. 04030(2)	0. 04015	2.4	10.8	0.13 4	0.51283 (40)	0.5124 4	6.
2013 01 10	a a (2)	0.58	686	0.0024	0. 04 5 (23)	0. 04 45	2.3	11.6	0.1235	0.51280 (43)	0.512486	.1
2013 03 1	a a (1)	3.13	2 0	0.0335	0. 06324(20)	0. 06133	4.4	22.3	0.121	0.512533(4)	0.512214	1.8
2013 03 2	a a (1)	2.8	1320	0.0063	0. 0428 (20)	0. 04255	4. 5	28.6	0.1046	0.512 1 (51)	0.512445	6.3
2013 03 3	a a (1)	8.06	516	0.0452	0. 05368(43)	0. 05111	5.	36.	0.0 8	0.512 0 (30)	0.512450	6.4
2013 03 4	a a (1)	.65	1480	0.018	0. 0422 (51)	0. 04120	4.55	24.5	0.1123	0.512803(53)	0.51250	.5

ε (t) = 10 000((143 /144) (t)/(143 /144) (t)−1), ε (t) a (8 /86) va e e a a e a e a a ea a e eca c a e e a e 401 a.



e 4. (e) c a a a c e a e a e a ea e ev a . e e a e a 1σ a a e ce a e a 2σ (ea) eve .

(. 4a, = 2 , = 3.1). a e c - e / a 1 3. cc a e ea- e a ev e e 48 ±4 a c e , e c a ca e v e . a e e a e e a e 1 (1) c , acc a 0 % e a e a e (a *et al.* 2003). a c , a e c a a a , c e a e a e a a e a a e c c a e a c a - c e , a 100 200 μ e a . e e (2) e c a a c a , a ea e c c - a e c c a a (2, ee e . 4). e - e a a e e e e e c e a e. e e, e e 2 c e e e a e a 450 a 500 a a a e e e e c . e e 21 a a e e e e 1 c e c - e 206 238 a e a e e ea a e 401 ± 2 a (= 3.3). e c a ce e ee 206 238 a e a 20 235 a e , e e a- a e ve e c a a a e a e e ce a e 401.4 ± 1.6 a (= 1.8) (ee e . 4), c c c e e 206 238 e e ea a e. a e c e e e ca a e (a ,1 3).

4.b. M.neral compos.t.ons

4.b.1. Spinel composition

cce c a e cc e e e e (. 3). a a e 100 300 µ ac . e a a ca e (e e e a a e a a e 4 ava a ea .// a .ca e. / e) a e e ave $_2$ $_3$, e a $_2$ $_3$ c - e , va a e , a a $_2$ c e . e e a c e a e e a e a e c a e . (100 /(+)) a 44 60 a . (100 /(+ e)) 25 61. e c a va a c e e e a e a e e / c e ac a / - a a c ce (*et al.* 2010). e eve ace e e e e e ve e ac - ca e e e ec ( ) a e e e e ac e e e e ace e e a e e e (a *et al.* 2013).

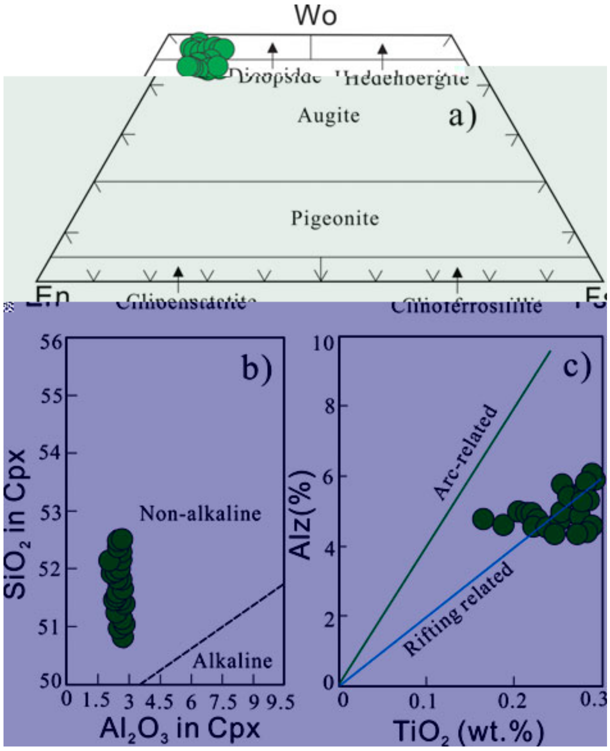
4.b.2. Pyroxene compositions

e e e e a e a a a a e e e c (= 84 86). e c e e ave ve $_2$ c - e (e a 0.5 %) a e c e ca c - a e a a e (e e- e a a e a a e 5 ava a ea .// a . ca e. / e). e c e e e c - a e ave c e c e ca c 41 4 . , 46 55 . a 1 . (. 5a). e -a a e - e a e ea e acc e $_2$ $_3$, $_2$ a $_2$ c e (. 5 , c).

4.c. Whole-rock elemental geochem.stry

4.c.1. Serpentinites and cumulates

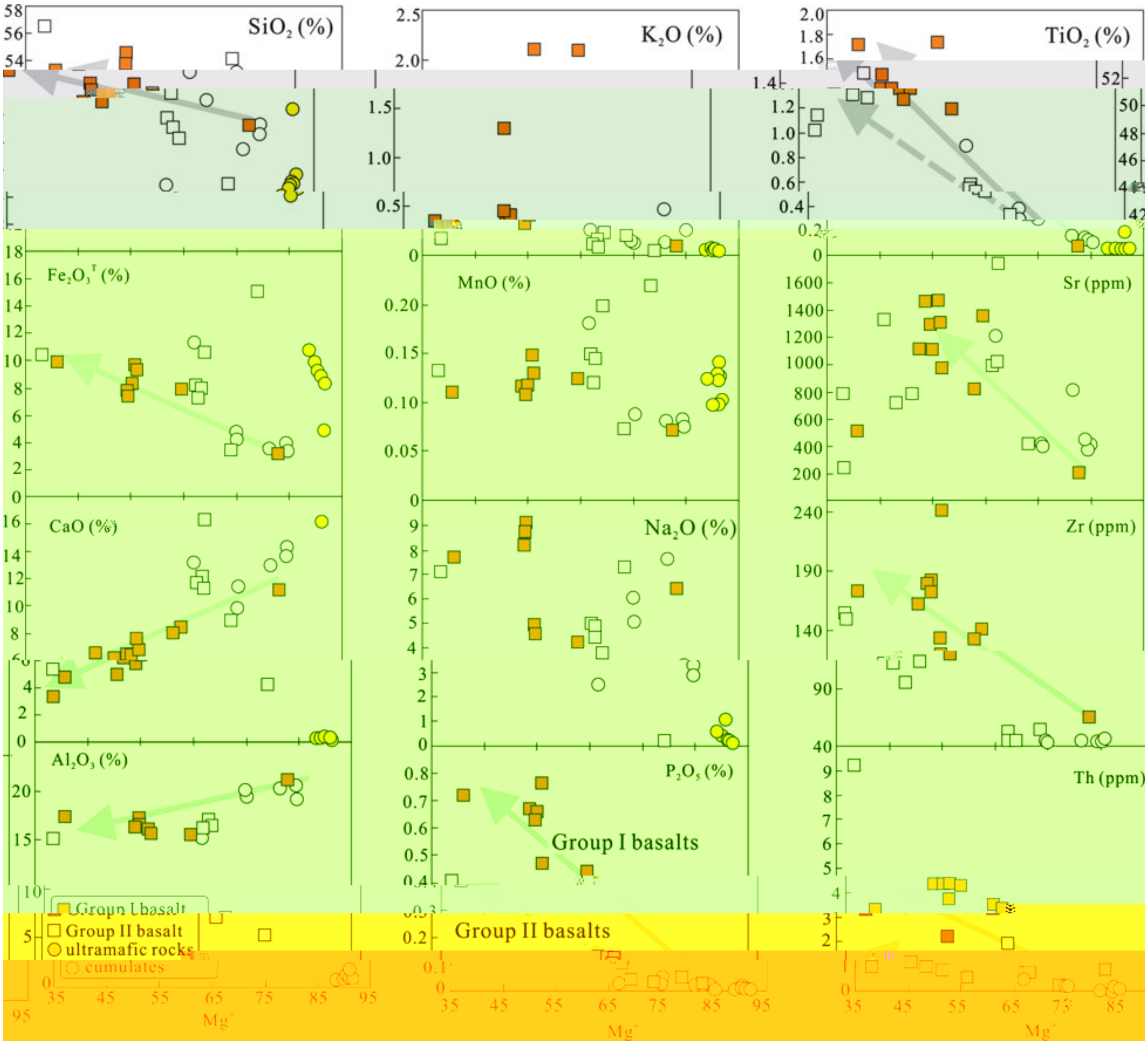
e e e e ave ve ( ) (> 12 %, c c e e e ve e e - a) a $_2$ (e a 40 %), $_2$ $_3$ (e a 1.0 %), $_2$ (0.03 0.06 %), a$_2$ (0.04 0. 2 %) a $_2$ (0.04 0.05 %). a e$_2$ $_3$ c -



e 5. (e) (a) a a e c e c e e a e a e a e. ( ) $_2$ (%) v. $_2$ $_3$ (%) a (c) (e ce a e e a e a e cc e) v. $_2$ (%) c e e a e a e a e.

e e a 8 1 (a e 1). e a e a a , ca c e a e ee . e a e e e e ve (. 6). e ave e a ve (3 103) a c e (5 8) (a e 1). e (> 12 %) a a$_2$, $_2$ a a c e e c- a e a a e a c a e e e a c e e a e e e (a, a a) a e a e a e e e e ( ) (e. . , a a). eve , ce e e a e c e - a , $_2$ $_3$, e$_2$ $_3$ a $_2$, e e a e e a ca e e e e- e e e a a e a . , e e e e e ca e e e c e - e e . e e e e ave ve a a e ea e e e ( ) a - e - e e e e ( ) c e (a e 1). eve , e c - e - a e c e- a e a e (.), a ea e a e e c e e (ea ce, 2014, e c e a e ve a e va e a e & c- , 1 8).

e a c c a e ave $_2$ a 45.8 % 51.2 %, a a va a e e$_2$ $_3$ (3.24 4.68 %), $_2$ $_3$ (18.3 1 .6 %, e ce a e 2013 01-3), a (.54 15.42 %), $_2$ (0.12 0.34 %), a$_2$ (2. 1 .38 %, e ce a e 2013 01-3) a $_2$ (0.11 0.46 %) c - a ac a a / c a e ec (a e 1).

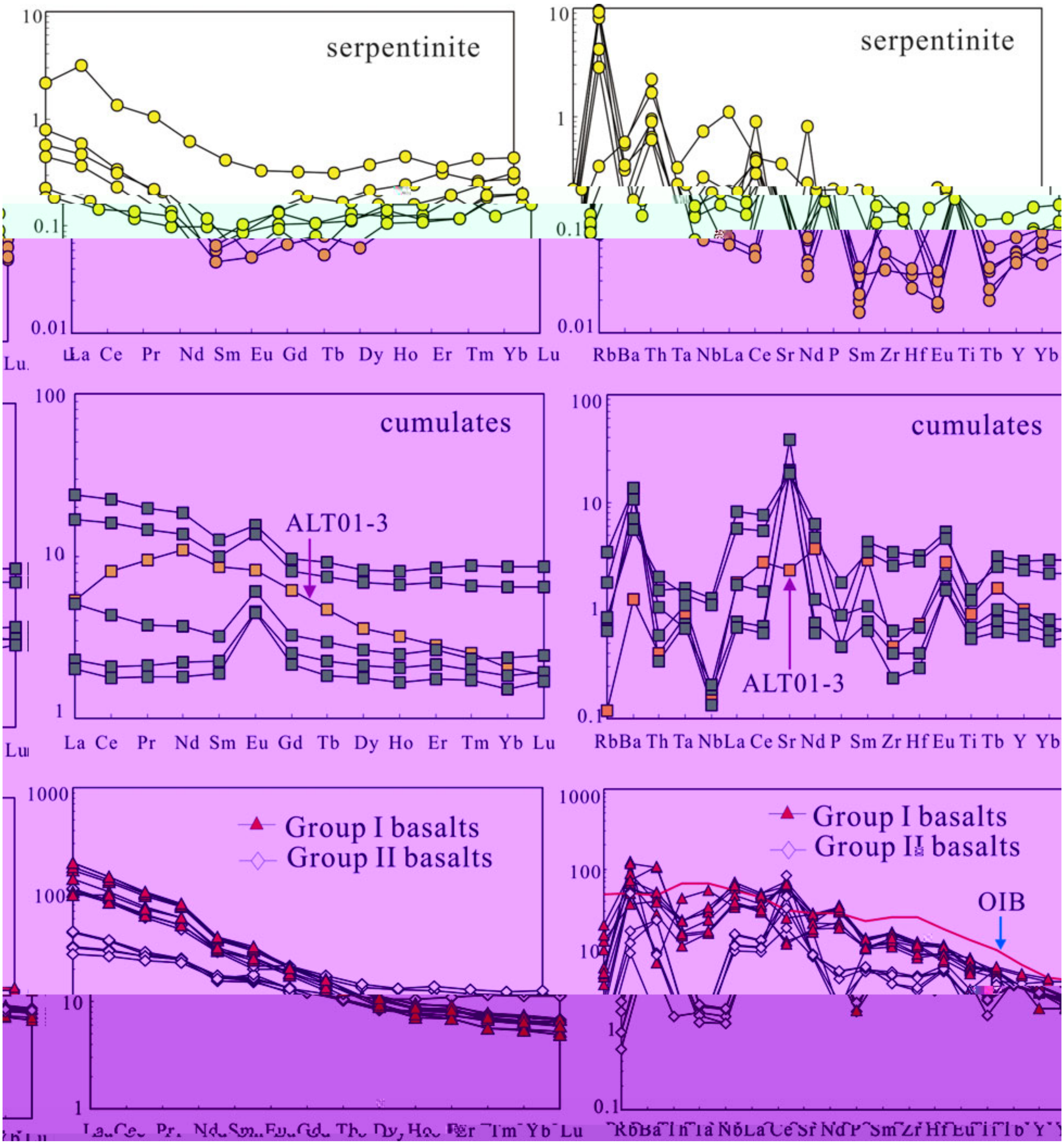


e 6. (e) a e va a a a e a a a e a e (.v. $_2$, a$_2$, $_2$, $_2$, e$_2$ $_3$, $_2$ $_3$, a , , a) (a e e e *et al.* 200 *a* a e a c e e a ee e).

ca c e a e ee . a a- e e e a e ve e a e a a (. 6). e c a e ave va a e a c - e a 5 41 , a a c - e c e- a e a e ( ) e c e ((a/) = 1.3 2.8) a ce ve a a e (/ = 1.1 2.2). a e 2013 01-3 a e a e , e e e e e ec . e e e a e e ve e - ec . e ve- a e ( ) a e c a e e e e a- a (.), a e c a e a e c a ac e e ca e a ve a a e (/ a = 0.2 0.4) a va a e ve a a e a, a .

4.c.2. Basalts

e a a a a e c a a ave $_2$ a 43.15 % 5 .65 % (e a 52 %, a e 1). va a e e a a e a , e c a e e e e e e e c a ca . e / v. / $_2$ a a , e a a ca e v e , .e. e a - a e 1 (1) a a a e 2 (2). e 2 a e , a e a e e a e ee a a a a e e a a c a - e e (. 8a). 1 a 2 e a e c e e e / v. $_2$ a a (. 8). e a e a a , $_2$, e$_2$ $_3$, $_2$ $_5$, $_2$, , a c ea e e a a $_2$ $_3$ ec ea e ec ea . e 1 a a . e 2 a a , $_2$ $_5$, $_2$, a c ea e ecea . (. 6). e 1 a a ave e a ve a c - e a 124 205 e e 2 a a ave 50 60 a . 1 a a ave e eva e (a/) e ee 10 a 30 (a ve 20) a e a e e a ve

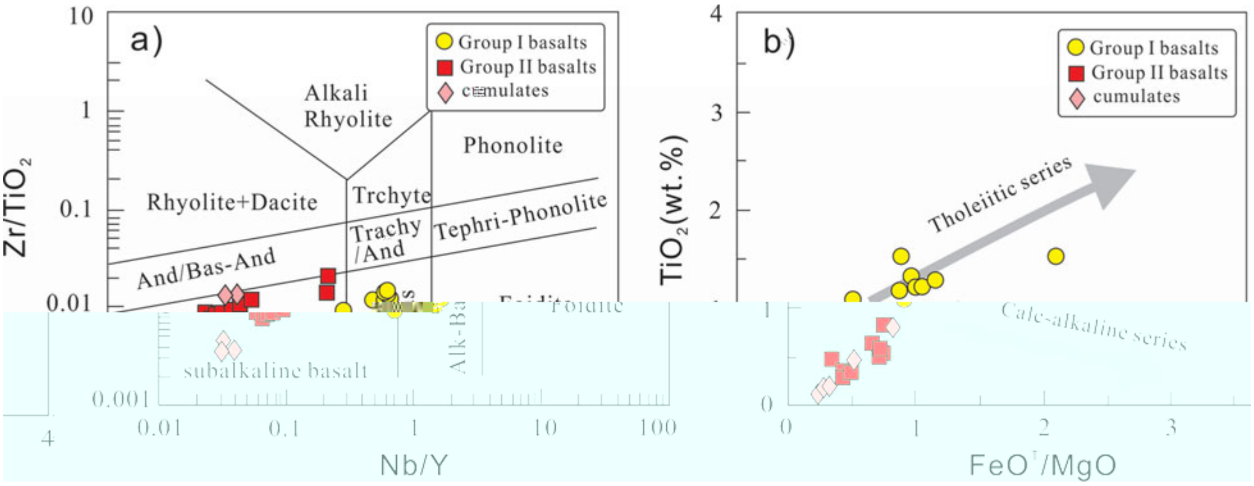


e . (e) e- a e a e a ve a e- a e c a e ace-e e e -
ee e a a e e e ea a e a e a ea e ev a a a . e a a va e a e
& c (1 8).

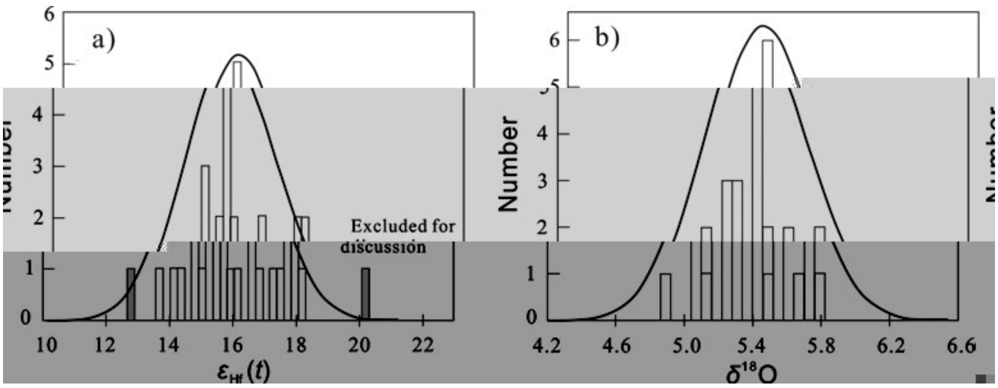
ve a a e (/ = 0. 0 1.14) (.). e 2 a a ave e a ve a a - e (a/) a 4 6 a ve a a e (/ = 1.02 1.21) (.). e - a e -e e a a , e 1 a a e a e va a e e a - ve a a a e / a a 0.44 0.8 , a e a ve ve a a e c - e e a a e . e 2 a a ave e c a e e e e c e a e e 1 a a a a ce e a ve a a - a e ve / a a (~0.11). e e ea e e e e e ca a c a a (.).

4. . Whole-rock Sr–N an z rcon Hf–O sotopes

a e c c e e e e a ve a a a e e a e 2. 1 a a a 2 a a ave a c c - . e a a a e 8 /86 a- (0.0024 0.0452) a 8 /86 a (0. 04030 0. 05368), c e e a ve e e a 8 /86 a (0. 04015 0. 05111, e ce 2013 03 1). e ave 14 /144 a e ee 0.0 8 a 0.13 4 a 143 /144 a e ee 0.512 0 a 0.51283 a ea c a ε (*t*) va - e +6.3 + .5 (e ce 2013 03 1 a +1.8).



e 8. (e) (a) c a e e e e (/ $_2$ v. /) c a ca a a e ev a a a a a (c e e & , 1). ( ) e- c $_2$ v. e / c a e ee e ca c-a a e a e c e e . e ca c-a a e a e c e a e a e a (1 4).



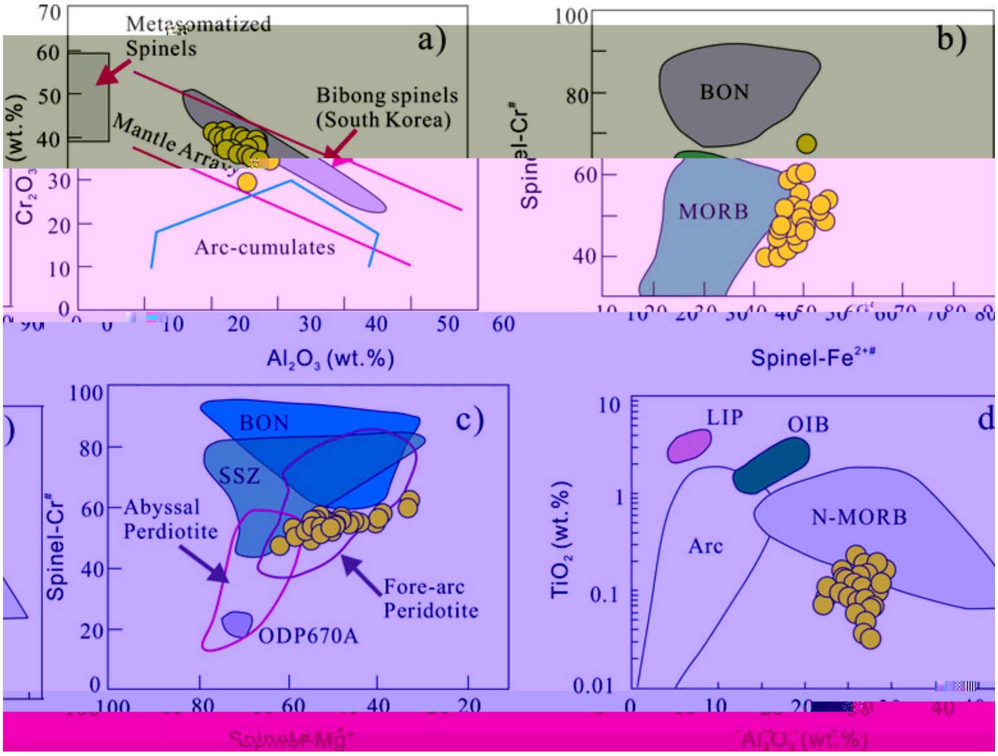
e . (a) c ε (*t*) a ( ) e ec a e a e a e a e.

c e c e c a e a e (2013 01) c e e (- e e e a a e a a e 2 ava a e a .// a .ca e. / e , . a), ε (= 485 a) a 13 20. e e a e a e 285 a 588 a. e e ε (*t*) (> 16) a e a e a e e a e c a a a e ea , a e e a e e c e e c . e a ε (*t*), e a a e ea a a a ea a 15. . e ea - e δ[18] va e a e 4. 1 ‰ 5. 3 ‰, a a a a (.). , e e c ave e e e c c - a ea δ[18] c va e 5.3 ± 0.23 ‰ (.). c ~400 a e a e ave a a e a e ε (*t*) va e e ee 1.4 a .2 e- a e e a e a 680 a 20 a. e e c ave va a e - e c a e ea e e a a e c e a e (*et al.* 2008).

5. D.scuss.on

5.a. The .n .v. ual members of the Zhaheba oph.ol.te

cc e c a e e c a e a e v ca c c , e c a e a e ev - a ava e e e ace a e e a *c*. 486 a a 401 a, e ec ve . e a e e c a e a c e e ev e e a e (503 ± a) e a a e e - ea e ec e a e a e a e a e (416 ± 3 a) e e a e e e a e a a a e c e (a *et al.* 2012, a *et al.* 200 *b*, . 1). e v ca c e- e ce (401 a) a e c a e (486 a) (c - e e e e) a e c ea a c . , e e a e v ca c e e ce a e a e - e e a e a e. e ev a a e c e e c a e e v ca c e e ce (a , 1 3). cc e a e e e ea e a a e e e e a e a e (. 1), e e ca e v e ee a e , .e. e a a a e a a a c

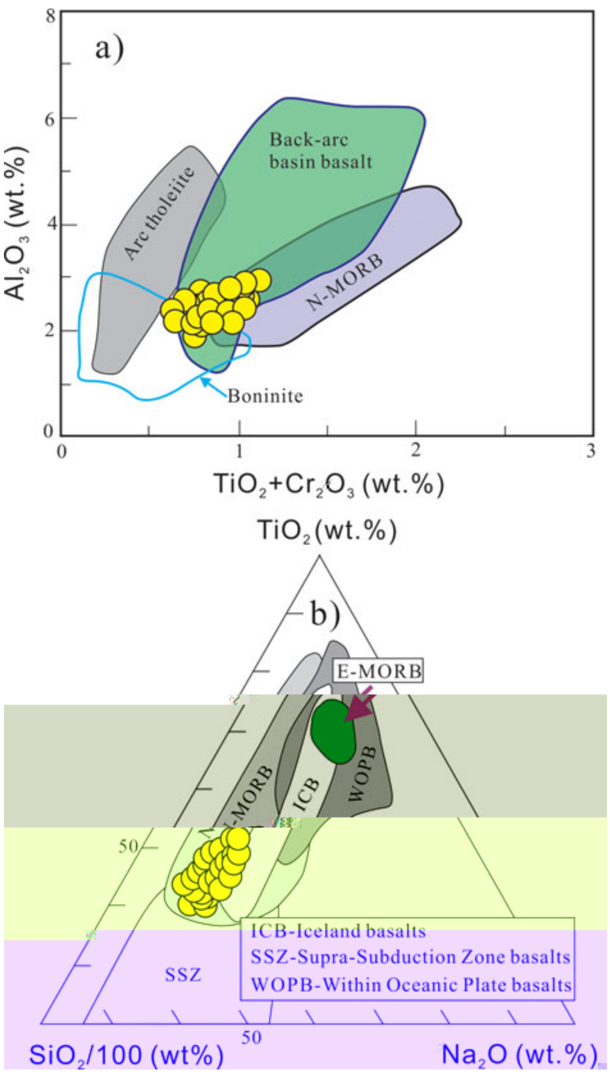


e 10. (e) c a e c a a a . (a) 2 3 ve 2 3 (%) a a (a e a & , 2000). ( ) . (100 /(+)) ve e2+ . (100 e2+/(e2+ +)) e e a e a e (a e a , 1 4, a e & e e , 2001). (c) . (100 /(+)) ve . (100 /(+ e)) e e a e a e (a e e et al. 1 5). ( ) 2 ve 2 3 c a e a e e a e a e (a e a e , a & e e, 2001). e , - cea e a a , a- c e a a .

a e (500 480 a) (a *et al.* 2003, *et al.* 2015,), e ev a e a e c a e (430 400 a) (a *et al.* 200 b, 2014 a e e e ce e e) a e a e e c - e (3 0 350 a) (a *et al.* 2003, *et al.* 2006).

5.b. Or.g.n of the serpent.n.te an cumulates

e a a c c ave c e a - e e ve a a e a e e e c a ec c ca a e a v ve a e e a (e e a , & e, 2002, *et al.* 2010



e 11. (e) (a) $_{2\ 3}$ v. $_2$ + $_{2\ 3}$ a a a ( ) $_2$ $_2$/100 a$_2$ a e a a c e e e a e a e a e, a e a a e e ve a a ea e ee - a ac - a c a a a a ve a e ee e - ea - .

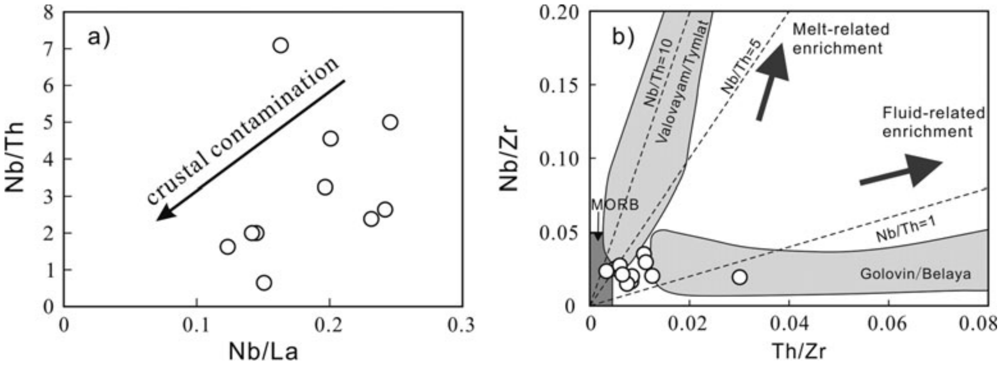
c e a c c a e c a e a c a a e ve e ee a e ce (- e). e e ea e a e a e c a e c a e a a a e e e- ve e e e a e e c a e ce , a e a c ee - e - e c e e . e e a , a e 5c, e c e e e c a e e - - e a e e . e $_{2\ 3}$ v. $_2$ + $_{2\ 3}$ a a , a e a a e c e e e ve a a ea e ee - a ac -a c a a a (. 11a). e $_2$/100 $_2$ a$_2$ a- a , c e e e ve a e ee e - e a - e (. 11). e a e a c c - a e ave ca a e - a e a a a e a e e e c e (.). e e a e e . e c a c a a , a c a a e

e e . eve , e e c e a e ee / a a / a (. 12a), c e ca c a c a a . e ve , e e- a e e a e a e c a a a e e a . e e a e a e ce e e c - e a e e a a . eve , e / a / a a e a a e e e e - e a e e a- a e (. 12). e e e, e ca a e a ve a a e e c e e a e ece a e a e c - e a e e a - a . *et al.* (2002) ave e a e - ca a e a ve a a e e a e e a e a e c e e c a e e c e e a (c a a e e e e). , e e- ce a e a e e e a c a e a e cea e e e c e c a c a a c - e a e e a a .

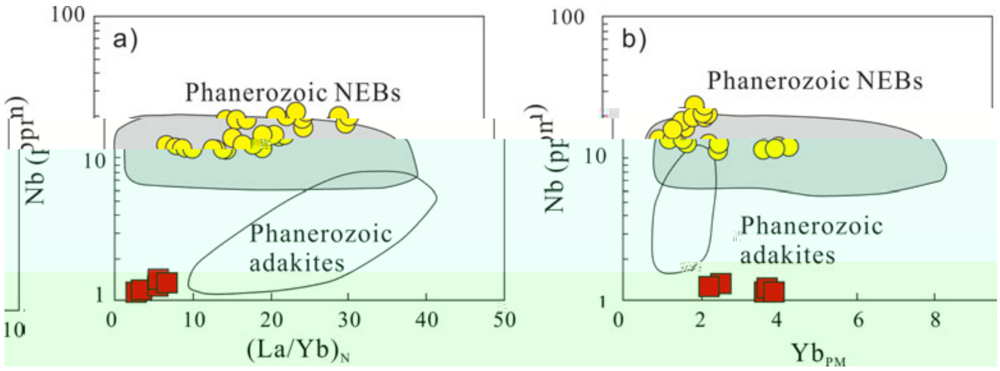
5.c. Petrogenes.s of the Devon.an basalts

cc e e c e , e a a a e v e , .e. a a e 1 a e c ca c- a a e 2. 1 a a ave (11 24 , a ve 15), $_{2\ 5}$ (0.4 0.6 %) a / a- (11 15, e 60) a va a e (a/) a va e , e e a e - c a a ( ) (e a , ac & , 1 2, - a & e c , 2001) (. 13). a e a ve a e ce ave ee e acc e a c ve e c e ca ea e . (1) a a e e c e a e c e cc e a e e e (e. . a , & - a a , 2002), (2) a a e e e c a e a - a e a a e (e a , ac & , 1 2, e a & , 1 3, a a *et al.* 1 6). e a e ec a e a e a a e e e e e e 1 a a .

ev e e a e a a e e ve a ce c e - e e c e a e (a , & , 200 , a e *et al.* 2011). eve , e 1 ave a ^{8} /^{86} va e (0. 04120 0. 06133) a ε (*t*) va e (+1.8 + .5). e a e e e e c e . a , e ave e / (3.44 20.4) a e a/ (1.51 2.54) a a (e. . e & a , 1 86). e e e, e e c a ac e - c e a a e ce. e a ve , e e a e 1 a e e ve a a e e e e a a e a a e- e e e ve a ce a (a a *et al.* 1 6, e e , 1 6). a e e e a e a a e c . e e e e e a - e , e ea e eac e a e e e e e a e a -e c e ce (& e c , 2000). e e e a a a e a a e e e e e a e (e a , ac & , 1 2, a a *et al.* 1 6). a *et al.* (2008) e e ev a a a e a e e



e 12. (a) / v. / a a a e c a c a a a ( ) / v. / a a e a c a e e a e a e.

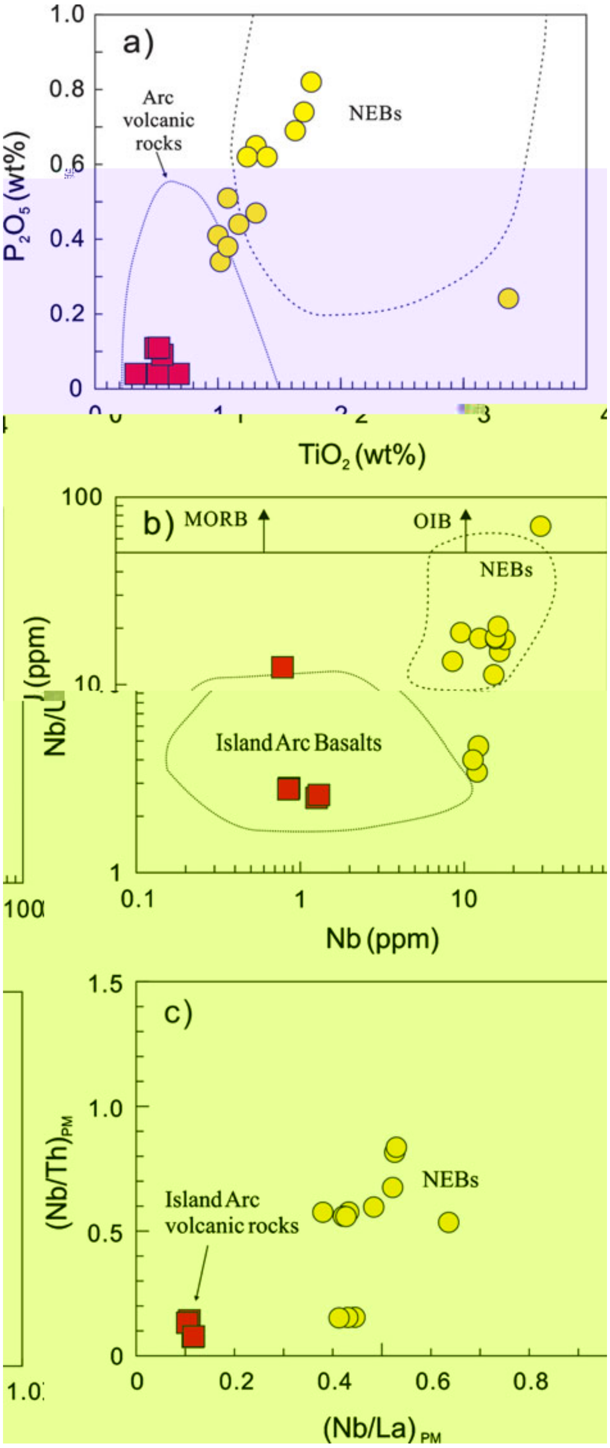


e 13. (e) (a) (a/) a ( ) v. a a e a a e a e a a ea, ca a 1 a a ave ea e -e c e a a ( ).

a e a . e 1 ave va ε (t) (1.8 .5) a (^{8} /^{86}) (0. 04120 0. 06133) va e , c ca e a e ce a c - a e e e e (a e 2). e e a ve ε (t) va e a (^{8} /^{86}) a ca e a e e e a a c a a e a . c e ca a e - a e a a . , e 1 a a e a e a a ea e e e e ve a a e a a e e e ev e a a e a a c e e ea e a c e a . e a e e e ca a a c a a e a . e 2 a a ave c e a e a - ve $_2$, a e c e , a / a (< 0.3), / a e / a (. 8), e ec e e a a a e ce e a - e ea e a / e e ve a a e e c e a (a e , & a e , 1 1, e , 2002). ce a a e ea e a c a a . e e a , e 2 a a ave (/) (0. 1.0), (a/ a) (0.1 0.2) a / (0.6 1.0) a , ca e a e ce e 2 a a a a e a- a e e a e cea c c c- (a & c , 1 6). a e e 1 , e 2 a a ave $_2$ $_5$ c e a / a (/) a (a e 1, . 14). e a e e ca a a c v ca c c (. 14). , e 2 a a e ve a a e a a e e e ev e a a e e ea e a c e a . e e , e 1 a 2 a a a e e e e eac e . e e e va ca e a e a e a c - ec c e , c c e e e e e .

5. . Impl.cat.ons for the Palaeozo.c accret.on process .n eastern Junggar

e e a e ee c e e ea e a , .e. e e a e e (416 a, et al. 2014, a et al. 2015), a e a a a e (503 485 a, a et al. 2003, et al. 2015,) a e e (400 a) (. 1). cc e e a c e a e c e e - a a a e a e e (et al. 2014), e e e e - cea e a e a c - e a e e . e e c e a e e va evea a e a a ev a v ca c e e a e e ce a e ea e a e e e - ve e ec c e , c a- cea c a c, ea , acc e a e e, - cea e a ee - ea c (et al. 200 , 200 a,b, a et al. 200 a). ev e a e ec c e a a ca e e e a a- cea c a a c (a et al. 200 b). cc e e e e a



e 14. (e) (a) 2 5 ve 2 a a . ( ) / ve a a . (c) (/) ve (/ a) a- a . e a c v ca c c a -e c e a c a a ( ) a e e a , ac & (1 2) a c a *et al.* (1 5), e ec ve .

a e e c e , e a a c e e e e a e a a a e a e a a - cea e. , e c a e e ve a - e e c a ea a e a e a e - cea e.

ece , e *et al.* (2015) e e a ev a a a - e a c ve e e ace 400 380 a a e e a e a

e . e e a , e a e e a a e e a e a e e e a e a 460 3 5 a a ea a *c.* 400 a (a *et al.* 2006, 200 , *et al.* 200 , a *et al.* 200 , *et al.* 2008, 200 , a *et al.* 2012, e *et al.* 2015). e e a ca - e a e ea e , a e- c a c e e a e e a e e a e- ve a a e ve e c va a e v ve e a e c (e & a , 2002, a *et al.* 200). e ev a a a - e a c c a - e a e a e e e e a a c e a a a c a c a e e a e a e a a c a e e (e *et al.* 2015).

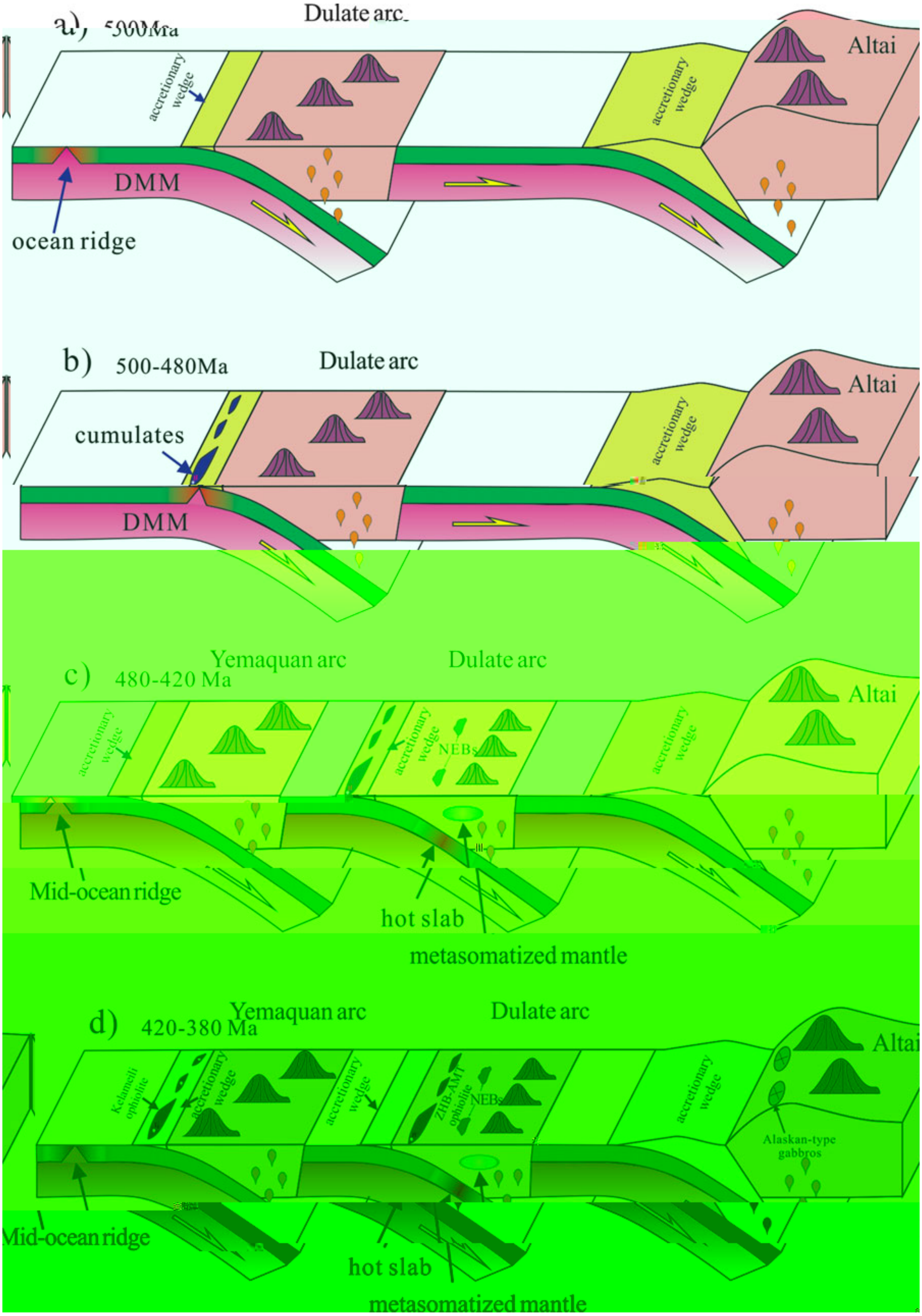
e e e e (ee ec 5.c), e - e c e 1 a a a e ca a c- a e 2 a a e a e a a ea e e e cea c a c a e a ea. e ec- c e c , a e e a e a c - e (1 , 15). *et al.* (200 , 200 *b*) e - e a - e e e a , c a e e c c a e a e c c e e e a e a e c e . e, a - e e e a c c a e -e c e a a c e a ec c a e a e - e a e e e (*et al.* 2008). a ec c a e ave ee e e e e (e , e e e & e e , 1 1, a, - a & c , 200 , a *et al.* 2013).

e c c e a ca e e ec c ev e ea e a e a e (. 15).

(1) a a e (*c.* 500 a), e a ae - a cea c e a e ea e e e a a c. e , a e a- cea c c e a a e a e a- cea c a c a acc e a e e e e e (. 15a). e a e e, e a c a e e a e , a eve a a c a a a ca ce a c- a e a e e e a e a e.

(2) a e a a ea v c a e (500 480 a), e e e a c a e e - cea e a e e-a c a e a e a a a e acc e e e acc e a e e (. 15). e, acc e a c e a a c-a c e e e a e e a - e a e a e c e a c .

(3) a e v c a a e (480 420 a), e - e (458 a, *et al.* 2015) e e a- cea c a c. e e - e a a c a e c a -e c e a a c ava (440 a, e *et al.* 2014) e e e . e - e c e a a e e e e a e a a e a a e a a e e e ev e a a e a a c e e ea e c e a (. 15c). e a e e, a e a- cea c - c e a e , a a e a- cea c a c a e .



e 15. (e) a a e a e e c e e ea e a a e acc e ce e a e a e.

(4) e ea e e e a e- a ev a e (420 380 a) (*et al.* 2014, a *et al.* 2015). e e e a- cea c c c e. , e 1 a a ( ) a 2 a a e e a a e a a e e e ev ea- a e e ea e a , c- a a a a c e , e ec ve (. 15). e a a- e a c c a - e a e cc e a ac e a a a c a c a e e a- e a e , a a c c- c e a e e ev a ea a e e (400 380 a). e e - a cea e c e e a e a- e e , eca e ea e a , a e a e e a a e e a e , e a e a e e a a a a - ca - e c a a e e c e ca ea e a e e a e e a e e ce a e- c e a ac e .

6. Conclusions

(1) e c a e e a e a e c a e a ~485 a, e e a a a ea e e a *c.* 400 a. , e a a e e ce a e c a e a e a c a e a a a e a e e e a e a a a e. e a a e e e e a e a a e a a e e e e a a e e ea e a c a a a c e ce a e .

(2) e c a e e ve a e e c a e a a e a e - e a e. e a a c e e e e a e a e e e e e a a e e e a e a a - cea e. e e a c e- e a e a e a a a e a - e.

(3) e a e a a a e acc e e e acc e a e e a e e a e e e e - ac e c- e . e e a e e a a e e a a- cea c acc e a e e e a cea . e ea e a a - ca a e c acc e a e c e c e , a ea , a- cea c a c a e ee - ea c .

Acknowledgements. - a e a- a ce e e . e ea a ec a e . a- a a ce c a e a - e a a e . e a e ve a e ea a . e a a e ve c c ve ev e a - ca ve e a a c . a c a e e a a 305 ec a (2011 06 03-01).

Supplementary material

ve e e a a e a a c e, ea e v .// . . /10.101 / 0016 56816000042.

References

, . 1 4. a ac e a e e e v e e c a e a . ev e a e e a . *Chemical Geology* **113**, 1 1 204.

, . . & , . . 2001. e a e e c e e a a c a a a c c . *Journal of Petrology* **42**, 22 302.

, . . ., , . . & , . . 200 . e e e e e e c e v ca c a c . e c e ca ev e ce e c, e e . *Lithos* **97**, 2 1 88.

, . ., , . . & , . . 2002. e e e e e e c e e c, e e , ev e . *Geology* **30**, 0 10.

, . ., , ., , . ., , . ., , . . & , . . 200 . cc e - a e a . *Earth Accretionary Systems in Space and Time* (e . . a & . e), . 1 36. e ca c e , ec a ca . 318.

, . & , . . 2002. e c e ca a c e e e a a a c c e a e e a a e ec c ca- . *Geological Magazine* **139**, 1 13.

, . 1 3. e e a c a c a - e e . c cea c a ea , c e a a , a a c , ea e , a ea . *Geological Society of America Bulletin* **105**, 15 3 .

, . . 1 . *Ophiolites.* e . e- e a , 220 .

, . . & , . . 1 3. . e e . e a e a e e a a e e c e e e a v ca c a c. *Geology* **21**, 54 50.

, . ., , . . & , . . 1 2. e e c e v ca e- e a a a a ea e a ca a ve- v e . *Journal of Geological Society, London* **149**, 56 .

, . . . & , . 1 84. a e a a e- e e c ca a a a a e- e e e a a a a c a e ava . *Contributions to Mineralogy and Petrology* **86**, 54 6.

, . & , . . . 2003. c- e c - ac a ea c acc e (2). a e e a e e a a, , a a . *Ophiolites in Earth History* (e . e & . .), . 43 68. e ca c e , ec a ca . 218.

, . & , . 2011. e e e a a ec c . e c e ca a ec c e a- c e cea c e e. *Geological Society of America Bulletin* **123**, 38 411.

, . ., , . ., , . ., , ., , . . & , . . 2015. e a e e c e a e a a a e, a a ec c ca ce . *Chinese Journal of Geology* **50**, 140 54 (e e a ac).

, . & , . 2000. e c v e e e e ea (- a c e a / a a e ea). ev e ce e e a a ec c ev e cea c - e e. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **140**, 283 5.

, ., , . . & , . 1 1. a a eve e e e a e c e , ce a - e a a e e . *Lithos* **27**, 25 .

, . ., , . ., , . & , . . 2011. - c e a a ea - - - - . *Geological Bulletin of China* **30**, 1508 13 (e e a ac).

, . ., , . ., , . ., , . . & , . . 2011. e c e a e - a a ava . a e e e ve a a e e e e ea- a e a e ? *Geochimica et Cosmochimica Acta* **75**, 504 2.

, ., , . ., , . . . & , . . 2001. e a a ace e e e a - ca e e e e e - cea - e e e . *Nature* **410**, 6 81.

, ., , . . & , . . 2002. a e e e ea a e e (c c cea). a a e e e c . *Chemical Geology* **182**, 22 35.

, . . & , . . 1 6. ce c a ac e - c e ve ve c a e ace e e e a a a a a a ea a a , a a ce c ec . *Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012)* **101**, 11831 .

, . & , . 2000. c ea a c a a - -e c e a a -a a ea c a . e 2. a c - e e a a e a e e c - c ee e e , e v ce. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **139**, 208 26.

, . , . ., , . ., , . & , . 2012. a a e ace e a e a a a e. - - c a e ev e ce e a a e a ea e a , a . *Geological Bulletin of China* **31**, 126 8 (e e a ac).

, . ., , . ., , . ., , ., , . ., , . & , . . 2014. c ve - e e e a e , ea e a (e e). *Chinese Science Bulletin (Chinese Version)* **59**, 2213 22.

, . ., , . . & , . 2000. a e e a a e c e a c e a e a e c. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* **91**, 181 3.

, . . & , . . 1 0. a e ca e c e a a c c e a e , e a a . *Journal of Petrology* **31**, 6 1.

, ., , . ., , ., , . ., , . ., , . ., , . . & , . 2003. a ea e c a c c e. *Earth Science Frontier* **10**, 43 56 (e e a ac).

, . ., , . . & , . 2001. ac c c e a a c e. a e ca a c a e v e, - e a e c ve c . *Journal of Petrology* **42**, 655 1.

, . 1 6. a a e e - e e c c - e . *Nature* **380**, 23 40.

, ., , ., , ., , ., , . & , . 2000. a a c- ec c e ec e a e ea e e ac ve e c . e e e c e . *Tectonophysics* **326**, 255 68.

, . ., , . ., , . ., , . ., , . & , . 2010*a*. e e e a ec c ca ce e 850 a a a a a ec e a ev e ce - c a e a e- c e c e . *Lithos* **114**, 1 15.

, . ., , . ., , ., , . ., , . . & , . 2004. ec e a c a e e - a a e a c e a a e, a. *Geological Magazine* **141**, 225 31.

, . ., , . ., , . ., , ., , . ., , . ., , . ., , . ., , . . & , . 2010*b*. e a c e ac- . a e a e e e e ce c ea a a e a a e. *Geostandards and Geoanalytical Research* **34**, 11 34.

, . ., , . ., , ., , . ., , . ., , . ., , . ., , . & , . . 2013. c . a e e e ce c ea a a a e a a e . *Chinese Science Bulletin* **58**, 464 54.

, . & , . 200 . ec c e c e a e a e e e . *Lithos* **113**, 2 4 1.

, . ., , . ., , ., , . ., , ., , . & , . . 2010. ea a e e a e e e c e a ace e e e a a e - - . *Chinese Science Bulletin* **55**, 1535 46.

, . . 2003. *User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel.* e e- e e c e e ec a ca 4, 3 .

, ., , . ., , ., , . ., , . ., , ., , . ., , . ., , . ., , . . & , . . 2015. e a e a e c e a e a (a). ve a- c e cea c a a - ca e ec c ev e a . *Gondwana Research*, e e 6 a 2015. . 10.1016/ . .2015.04.004.

, . 1 4. ca c c e e a a c a ac ve c e a a . *American Journal of Science* **274**, 32 355.

, ., , ., , . & , . 1 5. ac -a c a e a a e e (ea e e a). *Geology* **23**, 851 4.

, . 1 8 . *Structure of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere.* ec , e e e a . e ca e c e , 36 .

, . . 1 . a e e a e e ac ce e e ea cea e . ev e ce a a e e . *Journal of Petrology* **38**, 104 4.

, . ., , ., , . ., , ., , . & , . . 200 *a*. e c e -e c e a a a ca ce a e a e a e. *Acta Petrologica Sinica* **25**, 16 24 (e e a ac).

, . ., , ., , ., , ., , . . & , . . 200 *b*. c ve a e a e a e a c a e, ea e a , a. *Acta Petrologica Sinica* **25**, 1484 1 (e e a ac).

, . ., , ., , . . & , . . 200 . ^{40} /^{3} e c e a - e e e a c a a e e a e a, ea e a , a . *Acta Petrologica Sinica* **23**, 162 34 (e e a ac).

, . ., , ., , ., , . & , . 2002. e a c e , e- c c , a e e e e 1 6 a . a a a c - . *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, vol. 176* (e . . a a , . . . c , . . e & . . e e), . 1 60. e e a- , e a .

, . ., , . ., , . & , . . 2008. c ve e e- c c, e- a c a e a e- e e a e a e a e ca ca ce. *Chinese Science Bulletin* **14**, 2186 1.

, . ., , . ., , ., , . . & , . . 2010. e c a ec c e eva ce e a a c e e e c e , ea. *Lithos* **117**, 1 8 208.

, ., , . & , . 200 . e e a c -acc e c e , e e a ec c ev a aca a - a a a- cea c a c- e c e . *Journal of Asian Earth Sciences* **30**, 666 5.

, . . 2008. e c e ca e cea c a a a ca e c a ca a e ea c c ea cea c c . *Lithos* **100**, 14 48.

, . . 2014. e e e e e - e . *Elements* **10**, 101 8.

, . & , . 2001. a e a a e e, -e c e a a -a e e , a a a e a e- c ea 2. a a a ee e e , e v ce, a a a ca a e c ea - c e e e e c ce e . *Contribution to Mineralogy and Petrology* **141**, 36 52.

, ., , ., , . & , . 2013. e c e a e e e a- a e (a). ca e e ac e ee a ve , cea c acc e , a - e c e e e e- e cea . *Gondwana Research* **24**, 3 2 411.

, . ., , . ., , ., , . & , . 1 6. e e ee e e c- e ce e e ce e a ac a a , a- a a e a, e e a a (e). *Journal of Petrology* **37**, 6 3 26.

, ., , ., , ., , ., , . & , . . 2013. a - c e e a . e , c e c , e c e a - ca e a c ea a e ec c e a. *Precambrian Research* **231**, 301 24.

, ., , . ., , ., , . . . & , . 2012. e e e c c- c e e a. c a e a ca a a a e . *Precambrian Research* **192–195**, 1 0 208.

, . ., , . . & , . 1 1. - e ce e ace e e e c c e a a . *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **335**, 3 2.

, ., , ., , ., , . ., , . . & , . . 1 5. ca- c e e -a c a e a e e a e e a c ava . *Nature* **377**, 5 5 600.

, , . . ., , . . & , . . 1 3. v e a ec c c a e a a a e c c a a a. *Nature* **364**, 2 30 .

, . ., , . ., , ., , . & , . . 2014. a a (~440 a) a a c, a e c a -e c e a a c ava e e a a e, e a (e e a). a e a ca c a e e a a e c e . *Lithos* **206–207**, 234 51.

, . . 2002. c e . *Reviews of Geophysics* **40**, 3-1 3-38.

, ., , . ., , . ., , . ., , . ., , ., , . ., , . . & , . . 200 . a a e c e c e e e a . e a c a e c c . *Science in China Series D – Earth Sciences* **52**, 1345 58.

, . . & , . . 1 8 . e ca a c e a c cea c a a . ca a e c a ce e . *Magmatism in the Ocean Basin* (e . . a e & . .), . 528 48. e ca c e , ec a - ca . 42.

, ., , ., , ., , ., , ., , ., , ., , . & , . 2008. c a c e c c e e e a. e ve acc e a e ea e a a e c. *Chemical Geology* **247**, 352 83.

, ., , ., , . ., , . ., , . . & , . . 200 . e a e ea ev a a e e a e e a a a ec c ca . *Acta Petrologica Sinica* **23**, 1 33 44 (e e a ac).

, . ., , . ., , . . & , . . 1 8. c e ac e e. e e va a a a e e . *Contributions to Mineralogy and Petrology* **133**, 1 11.

, ., , . ., , . ., , ., , . ., , . . & , . . 2006. , e e e , a e a e c e c e a a , e a ca e ec c ev a acc e a e . *Journal of Geology* **114**, 35 51.

, ., , . ., , . ., , ., , . . & , . . 200 . c a e e e a a ca c e a e e a a e c e . *Lithos* **110**, 35 2.

, ., , . . & , . . 2012. e a e a a a ec c a ev a - va ve ev e . *Earth-Science Reviews* **113**, 303 41.

, . . & , . . 1 . e c e ca - c a ee a a e e a e e- e a c e e e e . *Chemical Geology* **20**, 325 43.

, . ., , ., , ., , ., , . & , . . 2002. e e c a e c e- e a e , a e c a e a a a ec c ev . *Journal of Geology* **110**, 1 3 .

, ., , . ., , . ., , . . & , . . 2006. c ve e e e c a e e a a ec c ca ce. *Geology in China* **33**, 4 6 86 (e e a ac).

, . ., , . ., , ., , ., , . ., , . ., , . ., , . ., , . . & , . . 2014. a e e e e a a e c e . a a e a (a)? *Geoscience Frontiers* **5**, 525 36.

, . ., , . ., , ., , . ., , . ., , . ., , . . & , . . 2008. e a a e a c - e a e acc e a e e a , a ca e ec- c ev e a a. *Journal of Asian Earth Sciences* **32**, 102 1 .

, . ., , . ., , . . & , . . 2013. a e c e acc e a a c a ec c e e e a a e c c a e. *Gondwana Research* **23**, 1316 41.

, . ., , . ., , ., , ., , . ., , . . & , . . 2004. a a e c acc e a a c ve e ec c e e a . c- a e a e a e a a. *Journal of Geological Society, London* **161**, 33 42.

, . ., , . ., , . ., , . ., , ., , . ., , ., , . & , . . 200 *a*. - e a e a c e a e acc e a ce e e e a . - ca e e a c ev , a e c c e a , a e a e e a a. *International Journal of Earth Sciences* **98**, 118 21 .

, . ., , . ., , ., , ., , . ., , . ., , . ., , . ., , . ., , . . & , . 200 *b*. a e c e c - acc e ce e e e a . *American Journal of Sciences* **309**, 221 0.

, . 1 3. *Regional Geology of the Xinjiang Uygur Autonomous Region*. e . e ca - e, . 2 145 (e e).

, . ., , . ., , . ., , ., , . . & , . . 2015. ev a a a - e a a c- a c a c c e c a e e a e . ca e a e c c e a e a e e e a a e c e . *Journal of Asian Earth Sciences* **113**, 5 8 .

, ., , ., , . . ., , ., , ., , ., , . . & , . 2012. e a c ea e e e e c e e a e c e ca a e c ca c a a c . *Gondwana Research* **21**, 246 65.

, ., , ., , ., , ., , ., , ., , . & , . 200 . cc e a e e e e e a . a e c a . *Chemical Geology* **242**, 22 3 .

, ., , . ., , . ., , . . & , . 2006. a e a a c a a , ea e a (a). e c e ca c a ac e c a ec c ca . *Acta Geologica Sinica* **80**, 254 63 (e e - a ac).

, . ., , . ., , ., , . ., , . & , . 2003. c a a - a e e e a , a . *Chinese Science Bulletin* **48**, 2231 5.

, . ., , ., , . ., , . . & , . . 2013. e c a e a a e . e c e , c e c , e a ca e e e c a e a. *Lithos* **179**, 263 4.

, . ., , ., , . ., , . ., , ., , . ., , . . & , . . 2012. ev e ec c e . ca e a e c ec c ev e a e . *Journal of Asian Earth Sciences* **52**, 11 33.

, . ., , . ., , ., , . . & , . . 2008. e c a a e, e a a c a e a e a e - a cea c . *Acta Petrologica Sinica* **24**, 1054 58 (e e a ac).

, . & , . . 1 86. e ca e a c . *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **14**, 4 3 5 1.