

ПОСТПИРОГЕННЫЙ ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В СОСНОВОМ БОРУ (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

И. С. Журкова, Б. Л. Щербов, В. В. Будашкина

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Россия

Поступила в редакцию 3 апреля 2018 г.

Аннотация: Ежегодно на территории России происходит около 30 тысяч лесных пожаров. Большинство из них (552 млн. га или 80 % российских лесов) в Сибири. Объектом исследования послужил верховой пожар 2006 года в сосновом бору. Для выгоревшей территории по сравнению с фоновой площадью увеличиваются значения зольности и pH почвы, изменяется элементный состав почвенного покрова. Сопоставление химического состава почв на фоновой территории и на горелых участках позволило выделить две группы элементов: активные мигранты (Cd, Pb, Mn, Cu) и пассивно накапливающиеся в пределах сгоревшей площади (Fe, Al, Mg, K, Na, Ni, V).

Ключевые слова: лесные пожары, кадмий, свинец, почвенно-растительный покров, Караканский бор, верховой пожар, почва, атомно-абсорбционный метод, марганец, тяжелые металлы, ванадий.

Abstract: Annually there are about 30 thousand forest fires on the territory of Russia. Most of them (552 million ha or 80 % of Russian forests) are in Siberia. The top tree fire of 2006 in a pine forest served as object of a research. For burned territory, in comparison with background area, the values of ash content and soil pH are increased and elemental composition of land cover is changed. Chemical content comparison of soils on the background territory and on the burnt areas allowed us to identify two groups of elements: active migrants (Cd, Pb, Mn, Cu) and passively accumulated within the burned area (Fe, Al, Mg, K, Na, Ni, V).

Key words: forest fires, cadmium, lead, soil-vegetation cover, Karakan pine forest, soil, atomic absorption method, manganese, heavy metals, vanadium.

Лесной массив Сибири занимает 552 млн га, что составляет около 80 % покрытой лесом площади России. Здесь ежегодно возникает около 30 тысяч пожаров [4]. Пожары, уничтожая лесные насаждения, места обитания огромного числа видов животных, птиц и микроорганизмов, повышают эрозионные свойства почв, нарушают водный баланс, заболачивают территории, приводят к изменению климата [15, 21]. Горение лесных массивов сопровождается выносом в атмосферу органических соединений, искусственных радионуклидов и тяжелых металлов [1, 2, 19], что вызывает изменения элементного состава почв. В целом, послепожарные изменения почв делятся на две группы: пирогенная трансформация отдельных свойств почв (поверхностные изменения) и пирогенная трансформация процессов почвообразования (ор-

гано-деструктивные изменения почв) [13]. Масштабы таких изменений зависят от ряда факторов: погодные условия, география нахождения пожара, тип пожара (низовой, верховой) [7, 16]. Низовой пожар характеризуется температурой горения около 700 °С, высотой пламени 2,5 м и скоростью движения по ветру 0,25-5 км/ч. Несмотря на слабую силу огня, нагар на стволах деревьев с подветренной стороны нередко доходит до 5-6 м, иногда и 7-8 м. При низовом пожаре сгорает лесная подстилка, лишайники, мхи, травы, опавшие на землю ветки [18].

Температура верхового повального пожара 900-1200°С, скорость распространения 5-30 км/ч. Такой пожар затрагивает листья, хвою, ветви и всю крону, может охватить травяно-моховой покров почвы и подрост. Верховые и низовые пожары могут быть ураганными, устойчивыми или поваль-

Координаты точек отбора проб

Точки отбора	Фоновая поверхность	Точки отбора	Верховой пожар
1	N 54°17'20.3" E 082°08'27.0"	7	N 54°18'32.4" E 082°07'26.2"
2	N 54°16'56.4" E 082°08'17.9"	8	N 54°21'22.5" E 082°06'38.1"
3	N 54°16'06.8" E 082°06'43.0"	9	N 54°20'01.9" E 082°08'00.5"
4	N 54°21'36.2" E 082°05'46.7"	10	N 54°19'55.1" E 082°05'08.3"
5	N 54°18'46.9" E 082°00'57.2"	11	N 54°17'17.1" E 081°59'41.7"
6	N 54°20'29.5" E 082°03'41.5"	12	N 54°18'34.0" E 082°01'51.8"

ними. При поавальных пожарах лес, охваченный огнем, выгорает полностью, при этом выгорают не только наземные ЛГМ (лесные горючие материалы), но и древостой. Кроме видимых ландшафтных изменений, выражающихся в исчезновении лесов и опустынивании площадей, пожары несут с собой геохимические изменения [17], вследствие чего происходит перераспределение химических элементов, в результате атмосферной миграции части из них, с одной стороны, и накопления в выгоревшей площади – с другой.

Таким образом, миграция элементов приводит к изменению элементного состава почвенно-растительного покрова и на растения [18], произрастающих на поверхности.

Объектом исследования выбран Караканский бор, расположенный в Ордынском районе Новосибирской области. Его территорию пересекает множество речек и ручьев, впадающих в Новосибирское водохранилище. Лесной массив Караканского бора имеют водоохранное, рекреационное, научно-просветительное, а также народнохозяйственное значение [6]. Многие редкие растения, произрастающие в Караканском бору, включены в региональную Красную книгу Российской Федерации [10]. Каракан имеет сложное геологическое строение, сочетающее в себе относительно рыхлый однородный материал речных террас со скальными породами различного возраста и генезиса. На территории бора расположено пять крупных поселений с численностью населения около 6 тыс. чел. В летне-осенний период в Караканский бор собирается до 15 тысяч туристов со всей Новосибирской области [6]. Такая обстановка приводит к повышенному уровню загрязнения и пожароопасной ситуации. Площадь бора изобилует пожарными, возникшими в разное время.

В мае 2006 года на территории Караканского бора произошел пожар, возникший одновременно в четырех местах через короткие промежутки вре-

мени, что свидетельствует о преднамеренном поджоге. Температура воздуха на момент возникновения пожара составляла 26-28°C при юго-западном ветре со скоростью 15-18 м/с. Сложная поверхность бора и множество болотистых участков способствовали образованию смешанного пожара, сочетающего низовой и поавально-верховой.

Чтобы оценить изменения в элементном составе почвенно-растительного покрова в постпирогенное время после верхового пожара нами был проведен отбор проб почв в 12 точках (по 6 точек на фоновой и горелой поверхности) стандартным стальным кольцом (диаметр 82 мм, высота 50 мм, объем 264 см³), применяемым при экогеохимических исследованиях [18]. В таблице 1 приведены координаты точек отбора почв.

Кольцо впрессовывалось в верхние 5 см наземных лесных горелых материалов (ЛГМ), куда входили травы, опад, подстилка и верхний слой почв. На пожарных пробы представлены продуктами сгоревших ЛГМ и верхним слоем почвы.

В фоновых и горелых почвах определены величина рН водных суспензий и зольность (%). Величина рН определена по опубликованной методике [12], зольность весовым методом [3].

Подготовка проб к анализам проведена по схеме: высушивание – измельчение – квартование – взвешивание – аналитический анализ. Атомно-абсорбционный анализ выполнен на приборе Solaar M6 (фирмы Thermo Electron, Англия) с зеемановским и дейтериевым корректором фона. Аналитические работы проведены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН. Результаты анализов приводятся на воздушно-сухое состояние вещества. Диапазон определяемых элементов – от 0,00001 до 20 %. Пределы обнаружения в зависимости от исследуемого материала приведены в [8]. Точность анализа подтверждена выполнением государственных стандартных образцов почв: ЗУА-1, ЗУК-1, ТР-1, ЛБ-1.

Показатели величины рН и зольности в фоновых и горелых почвах

Фоновая площадь		Горелая площадь	
рН	Зольность, %	рН	Зольность, %
5,51	54	5,40	94
5,32	65	5,17	88
5,07	41	6,42	89
4,50	68	5,54	87
5,53	73	5,56	95
$x = 5,2$	$x = 60,2$	$x = 5,6$	$x = 90,6$

Примечание: x – среднее значение, фоновая площадь – не горелая площадь; горелая площадь – площадь после верхового пожара.

Количественное определение выноса или накопления в пожарище различных элементов (%) проведено отношением их среднего содержания на пожарище к значениям на фоновой площади.

Значения рН водной вытяжки и зольность для почв, отобранных на фоновой и горелой поверхности, составили 5,2 и 60,2 %, 5,6 и 90,6 %, соответственно (таблица 2).

Тенденция роста значений рН почв после лесного пожара отмечена многими исследователями [5, 8, 14].

Повышение рН на горелой площади вызвано образованием водорастворимых соединений, содержащих в своем составе щелочноземельные элементы, которые насыщают поглощающий комплекс, вызывая сдвиг рН к нейтральному диапазону.

Атомно-абсорбционным методом определены содержания порообразующих и редких элементов (Fe, Al, Ca, Mg, K, Na, Ba, Co, Ni, Cu, Pb, Cd, V, Mn) в почвах фоновых и горелых площадей. При сравнении их содержания были выделены две группы: элементы, мигрирующие в атмосферу (Mn, Cd, Cu, Pb) и элементы, входящие в состав огнестойкого минерального комплекса почв, накопившегося на выгоревшей площади (Fe, Al, K, Na, Ni, V) (рис.).

Перераспределение элементов, имеющих T° кипения близкую к T° пожара, находится в прямой зависимости от типа пожара, поскольку, чем выше температура горения, тем большее число элементов выносятся в атмосферу, тогда как другая часть накапливается на площади объекта [18].

Содержание свинца в почве снизилось на 27,2 %, с выносом в атмосферу. Содержание кадмия в горелой почве снизилось в два раза. Кадмий относится к тяжелым металлам с температурой кипения 770°C. Сравнивая его содержание в почвах,

отобранных на площадях низового (0,12 мг/кг) и верхового (0,12 мг/кг) пожаров, с фоновыми значениями (0,26 мкг/г), делаем вывод, что 53,8 % кадмия выносятся в атмосферу уже при низовом пожаре, температура которого 700°C [11].

Имеется ряд элементов, которые не попадают под это правило. Содержание марганца на горелой площади на 78 % ниже фоновой, при температуре его кипения 2500°C, что значительно выше температуры верхового пожара. Марганец и цинк участвуют в метаболических процессах растений [9] и, соответственно, в случае сгорания почвенно-растительного покрова активно выносятся из пожарищ.

Повышение содержания ванадия на горелой поверхности на 69 % связано с тем, что при сгорании верхних горизонтов почв, обедненных ванадием, открывается нижележащий слой, содержание ванадия в котором у подзолистых почв превышает верхние слои [9].

Таким образом, повально-верховой пожар в отличие от низового уничтожает всю растительность, что приводит к полному изменению геохимического состава почвенно-растительного покрова: горелые почвы обогащаются одними элементами и обедняются другими. Это в конечном счете отражается и в элементном составе растений, произрастающих на пожарищах, что важно знать для собирателей дикорастущих грибов, ягод.

Площадь пожара, с одной стороны очищается от тяжелых металлов (Cd, Pb), которые активно выносятся в атмосферу, а с другой на горелой поверхности снижается содержание элементов, участвующих в метаболических процессах растений (Mn, Zn).

Ниже приведем некоторые практически полезные сведения, касающиеся изменения геохимичес-

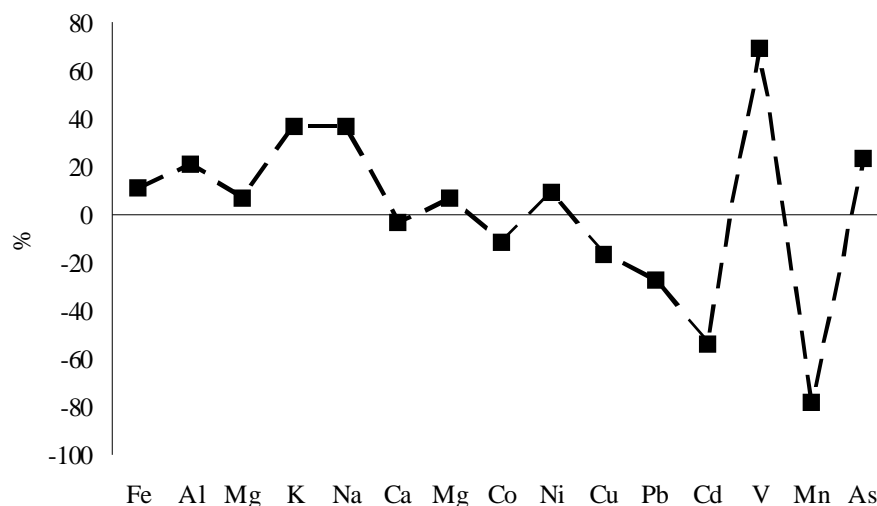


Рис. Вынос/накопление химических элементов после пожара

кого состава почв выгоревших площадей. Повышение на пожарищах содержания элемента-биофила калия (за счет выгорания растительности и увеличения зольного материала) сопровождается сменой видового состава растительности или повышения урожайности и полезных составляющих химического состава некоторых дикоросов (например, Иван-чая), употребляемых человеком в пищу. А вот повышенные содержания ванадия в почвах, возникшие при сгорании ее верхних горизонтов, могут оказывать фитотоксическое действие (хлороз, ослабление темпов роста) на некоторые растения [20]. Такие примеры для постпирогенных площадей не единичны. Поэтому нам представляется необходимым тщательное геохимическое обследование почвенно-растительного покрова на постпирогенных площадях в районах с аномальным содержанием каких-либо химических элементов. Следует отметить, что выгоревшие почвы активно меняют свой исходный геохимический состав, очищаясь от одних элементов с канцерогенными свойствами (например, Hg, Pb, Cd) и обогащаясь биологически полезными (например, K). Все это, в свою очередь, отражается и в растительном покрове.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 0330-216-0011 и при финансовой поддержке грантов РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00408 мол_а (проведены аналитические исследования в «ЦКП Многоэлементных и изотопных анализов ИГМ СО РАН») и РГО № 17-05-41076 РГО_л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурагимов И. М. Еще об одном аспекте экологических последствий Чернобыля / И. М. Абдурагимов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1990. – № 10. – С. 20-25.

2. Азаров С. И. Загрязнение атмосферы ^{137}Cs при лесных пожарах в Чернобыльской зоне / С. И. Азаров // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – № 4. – С. 506-515.

3. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – Москва : Издательство Московского государственного университета, 1970. – 491 с.

4. Валендик Э. Н. Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири / Э. Н. Валендик // Сибирский экологический журнал. – 1996. – № 1. – С. 1-8.

5. Горбунова Ю. С. Состояние почвенного и растительного покрова березняка Усманского бора после пожара / Ю. С. Горбунова, Т. А. Девятова, А. Я. Григорьевская // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2013. – № 2. – С. 113-116.

6. Грицкевич О. В. Развитие рекреационного потенциала территории на примере Караканского бора Ордынского района Новосибирской области / О. В. Грицкевич, Е. О. Ушакова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 3, № 1. – С. 46-51.

7. Жарикова Е. А. Влияние пожаров на свойства подзолов восточного побережья северного Сахалина / Е. А. Жарикова // Вестник Дальневосточного отделения РАН. – 2015. – № 5. – С. 9-14.

8. Журкова И. С. Миграция химических элементов при лесном низовом пожаре (Алтайский край) / И. С. Журкова, Б. Л. Щербов // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Науки о Земле. – 2016. – Т. 16. – С. 30-41.

9. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – Москва : Мир, 1989. – 439 с.

10. Красная книга Российской Федерации : Растения и грибы / Ю. П. Трутнев [и др.]. – Москва : ООО Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 885 с.

11. Краткий справочник по геохимии. – Москва : Недра, 1977. – 184 с.

12. Пустовалов Л. В. Методы определения pH и Eh в осадочных породах / Л. В. Пустовалов, Е. И. Соколова // Методы изучения осадочных пород. – Москва, 1957. – Т. 2. – С. 116-127.

13. Сапожников А. П. Роль огня в формировании лесных почв / А. П. Сапожников // Экология. – 1976. – № 1. – С. 42-46.

14. Тарасов П. А. Оценка пирогенного влияния на почвы ленточных боров Алтая / П. А. Тарасов, А. С. Михно, А. Ф. Сизина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2011. – № 1. – С. 26-30.

15. Украинцев А. В. Использование химического состава снега для оценки долгосрочного влияния лесных пожаров на экологическое состояние территорий / А. В. Украинцев, А. М. Плюснин, Д. И. Жамбалова // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2016. – № 2. – С. 56-62.

16. Цибарт А. С. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) / А. С. Цибарт, А. Н. Геннадиев // Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 783-792.

17. Щербов Б. Л. Биогеохимические особенности постпирогенных площадей в ленточных борах Западной Сибири / Б. Л. Щербов // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2011. – № 3 (17). – С. 41-50.

18. Щербов Б. Л. Лесные пожары и их последствия / Б. Л. Щербов, Е. В. Лазарева, И. С. Журкова. – Новосибирск : ГЕО, 2015. – 154 с.

19. Щербов Б. Л. Миграция искусственных радионуклидов и тяжелых металлов при лесных пожарах в Сибири / Б. Л. Щербов, В. В. Будашкина, В. Д. Страховенко // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2006. – № 1 (1). – С. 113-121.

20. Davis R. D. Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley / R. D. Davis, P. H. T. Beckett, E. Wollan // Plant and Soil. – 1978. – P. 49.

21. Smith C. D. The wide spread smoke layer from Canadian forest fires during late September 1950 / C. D. Smith // Monthly Weather Rev. – 1950. – Vol. 78. – P. 180-184.

REFERENCES

1. Abduragimov I. M. Eshche ob odnom aspekte ekologicheskikh posledstviy S Chernobylya / I. M. Abduragimov // Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh. – 1990. – № 10. – S. 20-25.

2. Azarov S. I. Zagryazneniye atmosfery ¹³⁷Cs pri lesnykh pozharakh v Chernobyl'skoy zone / S. I. Azarov // Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. – 1996. – № 4. – S. 506-515.

3. Arinushkina E. V. Rukovodstvo po khimicheskoy analizu pochv / E. V. Arinushkina. – Moskva : Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta, 1970. – 491 s.

4. Valendik E. N. Ekologicheskiye aspekty lesnykh pozharov v Sibiri / E. N. Valendik // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. – 1996. – № 1. – S. 1-8.

5. Gorbunova YU. S. Sostoyaniye pochvennogo i rastitel'nogo pokrova bereznyaka Usmanskogo bora posle pozhara / YU. S. Gorbunova, T. A. Devyatova, A. YA. Grigor'yevskaya // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2013. – № 2. – S. 113-116.

6. Gritskovich O. V. Razvitiye rekreatsionnogo potentsiala territorii na primere Karakanskogo bora Ordynskogo rayona Novosibirskoy oblasti / O. V. Gritskovich, E. O. Ushakova // Inter-ekspo Geo-Sibir'. – 2015. – Т. 3, № 1. – S. 46-51.

7. ZHarikova E. A. Vliyaniye pozharov na svoystva podzolov vostochnogo poberezh'ya severnogo Sakhalina / E. A. ZHarikova // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN. – 2015. – № 5. – S. 9-14.

8. ZHurkova I. S. Migratsiya khimicheskikh elementov pri lesnom nizovom pozhare (Altayskiy kray) / I. S. ZHurkova, B. L. SHCHerbov // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle. – 2016. – Т. 16. – S. 30-41.

9. Kabata-Pendias A. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh / A. Kabata-Pendias, KН. Pendias. – Moskva : Mir, 1989. – 439 s.

10. Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii : Rasteniya i griby / YU. P. Trutnev [i dr.]. – Moskva : OOO Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. – 885 s.

11. Kratkiy spravochnik po geokhimmii. – Moskva : Nedra, 1977. – 184 s.

12. Pustovalov L. V. Metody opredeleniya rN i Eh v osadochnykh porodakh / L. V. Pustovalov, E. I. Sokolova // Metody izucheniya osadochnykh porod. – Moskva, 1957. – Т. 2. – S. 116-127.

13. Sapozhnikov A. P. Rol' ognya v formirovaniy lesnykh pochv / A. P. Sapozhnikov // Ekologiya. – 1976. – № 1. – S. 42-46.

14. Tarasov P. A. Otsenka pirogennoy vliyaniya na pochvy lentochnykh borov Altaya / P. A. Tarasov, A. S. Mikhno, A. F. Sizina // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 1. – S. 26-30.

15. Ukraintsev A. V. Ispol'zovaniye khimicheskogo sostava snega dlya otsenki dolgosrochnogo vliyaniya lesnykh pozharov na ekologicheskoye sostoyaniye territoriy / A. V. Ukraintsev, A. M. Plyusnin, D. I. ZHambalova // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geografiya. Geoekologiya. – 2016. – № 2. – S. 56-62.

16. TSibart A. S. Vliyaniye pozharov na svoystva lesnykh pochv Priamur'ya (Norskiy zapovednik) / A. S. TSibart, A. N. Gennadiyev // Pochvovedeniye. – 2008. – № 7. – S. 783-792.

17. SHCHerbov B. L. Biogeokhimicheskiye osobennosti postpirogennykh ploshchadey v lentochnykh borakh Zapadnoy Sibiri / B. L. SHCHerbov // Problemy biogeokhimmii i geokhimicheskoy ekologii. – 2011. – № 3 (17). – S. 41-50.

18. SHCHerbov B. L. Lesnyye pozhary i ikh posledstviya / B. L. SHCHerbov, E. V. Lazareva, I. S. ZHurkova. – Novosibirsk : GEO, 2015. – 154 s.

19. SHCHerbov B. L. Migratsiya iskusstvennykh radionuklidov i tyazhelykh metallov pri lesnykh pozharakh v Sibiri / B. L. SHCHerbov, V. V. Budashkina, V. D. Strakhovenko // Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoy ekologii. – 2006. – № 1 (1). – S. 113-121.

20. Davis R. D. Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley / R. D. Davis, P. H. T. Beckett, E. Wollan // Plant and Soil. – 1978. – P. 49.

21. Smith C. D. The wide spread smoke layer from Canadian forest fires during late September 1950 / C. D. Smith // Monthly Weather Rev. – 1950. – Vol. 78. – P. 180-184.

Журкова Инна Сергеевна
младший научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, т. 8-952-905-4418, E-mail: zhurkova@igm.nsc.ru

Zhurkova Inna Sergeyevna
Junior Researcher of the Institute of Geology and Mineralogy named after V.S. Sobolev of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, tel. 8-952-905-4418, E-mail: zhurkova@igm.nsc.ru

Щербов Борис Леонидович
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, т. 7 (383) 330-81-10, E-mail: boris@igm.nsc.ru

Shcherbov Boris Leonidovitch
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher of the Institute of Geology and Mineralogy named after V.S. Sobolev of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, tel. 7(383)330-81-10, E-mail: boris@igm.nsc.ru

Будашкина Вера Владимировна
научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, т. 7 (383) 330-81-10, E-mail: budash@igm.nsc.ru

Budashkina Vera Vladimirovna
Researcher of the Institute of Geology and Mineralogy named after V.S. Sobolev of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, tel. 7(383)330-81-10, E-mail: budash@igm.nsc.ru