

- Kovalevski V. V., Buseck P. R., Cowley J. M.* Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: An X-ray and TEM study // *Carbon*. **2001**. Vol. 39. N 2. P. 243—256.
- Kovalevski V. V., Prikhodko A. V., Buseck P. R.* Diamagnetism of natural fullerene-like carbon // *Carbon*. **2005**. Vol. 43. N 2. P. 401—405.
- Kwiecinska B., Pusz S., Krzesinska M., Pilawa B.* Physical properties of shungite // *Int. J. Coal Geology*. **2007**. Vol. 71. P. 455—461.
- Landis C. R., Castano J. R.* Maturation and bulk chemical properties of a suite of solid hydrocarbons // *Org. Geochem.* **1995**. Vol. 22. N 1. P. 137—149.
- Marsh H., Akitt J. W., Hurley J. M. et al.* Formation of graphitizable carbon from gilsonite pitch and polyvinyl chloride — a mass spectrometric and N. M. R. study // *J. Appl. Chem. Biotechnol.* **1971**. Vol. 21. N 9. P. 251—260.
- Meyer R. F., De Witt W.* Definition and world resources of natural bitumens // *U. S. Geol. Survey Bull.* **1990**. Vol. 1944. P. 1—14.
- Mossman D. J., Nagy B.* Solid bitumens: an assessment of their characteristic, genesis, and role in geological processes // *Terra Nova*. **1996**. N 8. P. 114—128.
- Mossman D. J., Thomson-Rizer C. L.* Toward a working nomenclature and classification of organic matter in Precambrian (and Phanerozoic) sedimentary rocks // *Precambrian Res.* **1993**. Vol. 61. P. 171—179.
- Rogers M. A., McAlary J. D., Bailey N. J. L.* Significance of reservoir bitumens to thermal-maturation studies, Western Canada basin // *AAPG Bull.* **1974**. Vol. 58. N 9. P. 1806.

Поступила в редакцию
25 января 2011 г.

УДК 549.061

ЗРМО, № 3, 2011 г.
Zapiski RMO, N 3, 2011

© Д. чл. Г. Т. СКУБЛОВ,* поч. чл. Ю. Б. МАРИН,**д. чл. С. Г. СКУБЛОВ,***
Л. Н. ЛОГУНОВА,**** Е. С. НЕЧАЕВА,**** д. чл. А. А. САВИЧЕВ**

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОРЕННЫХ ПОРОД, РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И КАТАСТРОФНЫХ МХОВ УЧАСТКА СЕВЕРНОЕ БОЛОТО (РАЙОН ТУНГУССКОЙ КАТАСТРОФЫ 1908 г.)

* e-mail: skublov@land.ru

** Санкт-Петербургский государственный горный институт, 199106, С.-Петербург, 21-я линия, 2;
e-mail: marin@minsoc.ru

*** Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, 199034, С.-Петербург, наб. Макарова, 2;
e-mail: skublov@mail333.com

**** Государственный природный заповедник «Тунгусский»

Впервые проведено минералого-геохимическое изучение коренных пород, рыхлых отложений и катастрофных мхов одного из участков района Тунгусской катастрофы 1908 г. и выделено 7 геохимических ассоциаций. Индикаторное значение имеют: Zr и Hf — с близким уровнем накопления в вулканитах, делювии и зольной фракции катастрофных мхов, свидетельствующем о едином, земном источнике вещества; Rb, Pb, Cs — накапливаются в глинистой фракции делювии; группа петрогенных (Ca), редких (Y, Sc, Sr, Ba), редкоземельных (La-Lu) и рудных (Cu, Mo, U, Th) элементов с максимальными содержаниями в зольной фракции катастрофных мхов. Высказано предположение о возможном газовом составе плюма, инициировавшего Тунгусскую катастрофу и поступавшего на поверхность Земли из нижней мантии.

Ключевые слова: Тунгусская катастрофа 1908 г., геохимические ассоциации, катастрофные мхи, REE, криптовулкан, газовый плюм.

G. T. SKUBLOV, Yu. B. MARIN, S. G. SKUBLOV, L. N. LOGUNOVA, E. S. NECHAEVA, A. A. SAVICHEV.
MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL FEATURES OF PRIMARY ROCKS, LOOSE SEDIMENTS
AND CATASTROPHIC MOSSES IN THE NORTHERN SWAMP AREA
(REGION OF THE TUNGUSKA CATASTROPHE IN 1908)

Mineralogical-geochemical studies of primary rocks, loose sediments and catastrophic mosses carried out, for the first time, for one of areas in the Tunguska catastrophe region (1908), has allowed to distinguish 7 geochemical associations. The following elements have there the indicator meaning: Zr and Hf —

with close level of accumulation in volcanites, talus deposits and the ash fraction of catastrophic mosses, which evidences the unique, terrestrial source of the substance; Rb, Pb, Cs — accumulated in clayey fraction of talus deposits; the group of petrogenetic (Ca), rare (Y, Sc, Sr, Ba), rare-earths (La-Lu) and ore-forming (Cu, Mo, U, Th) elements with the maximum contents in the ash fraction of catastrophic mosses. For these group elements the plutonic source is assumed connected possibly with the carbonatite-forming processes. Zonal distribution of REE has been determined in the ash fraction of catastrophic mosses, the half circle peripheric zone of the supposed crypto-volcanic chimney is characterized by the increased REE contents, and its central zone — by their decrease; by anomalous concentrations of arsenic there was mapped the linear gas-emanating structure. Microprobe analysis of the catastrophic mosses material (plant remnants, ferruginous mosses, carbonic spherules, etc.) has revealed the wide spreading of the element-organic compounds, numerous micron-scaled anomalies of light and heavy elements (Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn), and it correlates with data of G. Longo on micro-particles in resin of catastrophic trees. The assumption is made about possible gas composition of the plume which initiated the Tunguska catastrophe coming to the Earth's surface from the seep mantle. Attention is focused upon importance of geological data in studying the Tunguska phenomenon.

Key words: the Tunguska catastrophe in 1908, geochemical associations, catastrophic mosses, REE, crypto-volcano, gas plume.

Летом 2008 г. авторы статьи провели рекогносцировочные геологические маршруты в районе Тунгусской катастрофы (Международная..., 2008; Сто лет..., 2008, и др.) с целью ответить на вопрос: *является ли Тунгусская катастрофа 1908 г. единственным подобного рода событием в геологической истории района или она знаменует лишь заключительный этап в серии предшествующих катастрофных явлений?* Результатом полевых и камеральных работ был вывод о том, что Тунгусскую катастрофу 1908 г. можно рассматривать как заключительное событие третьей, газовой стадии развития верхнеплейстоцен-голоценового криптовулкана, которой предшествовали извержения валунно-гравийно-песчаного материала и мощный грязевой вулканизм (Скублов и др., 2010). На схеме дешифрирования космического фотоснимка (там же, рис. 4) нами на участке Северное Болото выделена предполагаемая жерловина Куликовского криптовулкана. В 2009 г. на этом участке проведено систематическое изучение коренных пород, рыхлых отложений и катастрофных мхов с отбором проб для выявления геохимической и минералогической специализации зольной фракции мхов, которые большинством исследователей рассматриваются как надежные индикаторы Тунгусского события 1908 г.

МЕТОДИКА РАБОТ

Полевые наблюдения и опробование. На участке Северное Болото было пройдено 5 маршрутов и на 41 пункте наблюдений (рис. 1, А) отобрано 58 проб. При изучении коренных пород особое внимание уделялось выделению всех петрографических разновидностей. В результате среди монотонного поля трапховых долеритов была закартирована мощная дайка трахиандезитов, а среди «экзотических пород» риолитового состава (Скублов и др., 2010) выявлены андезитовые и риодацитовые вулканы, объединенные в андезит-риолитовую формацию. Характерная ее особенность — широкое развитие метасоматически измененных пород и обилие тонкообломочных туффзитов, которые в последние годы выделяются как самостоятельная группа флюидолитов. При изучении рыхлых отложений основное внимание уделялось катастрофному делювию, меньшее — докатастрофным суглинкам. К северу от Суловской воронки (п. 13) обнаружены докатастрофные глины, не содержащие углеродисто-глинистых сферул. Катастрофные мхи, залегающие на глубине 0.2—0.5 м от поверхности, обычно выше зоны летнего оттаивания, характеризуются темно-бурым и черным цветом и содержат большое количество растительного материала и мелкодисперсного минерального вещества. При их изучении обращалось внимание на геоморфологическую обстановку, гидрологическое окружение и характер стратификации. Все эти образования подверглись опробованию. Отобрана 21 проба коренных пород, 16 — рыхлых отложений, 21 — катастрофного мха (вес каждой пробы около 1 кг).

Обработка проб. Пробы коренных и рыхлых пород обрабатывались по ранее описанной методике (Скублов и др., 2010). Для проб катастрофного мха принята такая последовательность операций: 1 — проба высушивалась при температуре до 80 градусов; 2 — половина ее подвергалась озолению в муфельной печи, далее истиралась до аналитического порошка для масс-спектрометрического анализа; 3 — из оставшегося материала мха неодимовым супермагнитом выделялась электромагнитная фракция, которая, как и немагнитная фракция, разделялась по зернистости (10—20 меш, 20—40 меш, 40—60 меш, менее 60 меш); 4 — все фракции просматривались под биноклем и главные типы минеральных обломков, остатки микрофлоры, фауны, углеродистые сферулы и нитевидные высокоуглеродные образования переносились на двусторонний скотч для изготовления прозрачно-полированных шлифов (или шайб) и последующего микронзондового анализа.

Геохимическая характеристика главных типов коренных пород, рыхлых отложений и катастрофных мхов участка Северное Болото
 Geochemical characteristics of principal types of the primary rocks, loose sediments and catastrophic mosses in the Northern Swamp area

| Но- мер | Порода, формация | Геохи- мическая совокуп- ность | Группа г/с | Число проб | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO* | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Be | Sc | V | Cr | Co | Ni |
|------------|--|---|---------------|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 1 | Долерит | 11 | | 5 | 48.24 | 1.73 | 14.34 | 13.62 | 0.20 | 5.10 | 13.27 | 2.50 | 0.69 | 0.16 | 0.79 | 40.63 | 313.51 | 162.95 | 45.45 | 48.67 |
| 2 | Трахандезит | 12 | | 3 | 48.70 | 1.91 | 9.63 | 16.50 | 0.24 | 0.91 | 17.12 | 2.86 | 1.55 | 0.40 | 1.08 | 25.66 | 6.92 | 12.68 | 21.59 | 7.81 |
| 3 | Трапповая формация | 13 | 11—12 | 8 | 48.41 | 1.80 | 12.58 | 14.70 | 0.21 | 3.53 | 14.72 | 2.63 | 1.01 | 0.25 | 0.89 | 34.20 | 75.02 | 62.55 | 34.38 | 24.50 |
| 4 | Андезит | 13 | | 2 | 59.65 | 0.99 | 15.05 | 7.70 | 0.11 | 3.56 | 8.85 | 2.37 | 1.45 | 0.12 | 0.96 | 28.84 | 179.02 | 107.00 | 28.35 | 46.12 |
| 5 | Риодацит | 14 | | 3 | 67.00 | 0.86 | 12.60 | 3.77 | 0.08 | 0.98 | 10.16 | 2.95 | 1.35 | 0.09 | 0.83 | 16.64 | 115.06 | 79.00 | 16.22 | 27.23 |
| 6 | Риолит | 15 | | 2 | 68.30 | 0.47 | 13.00 | 1.48 | 0.07 | 0.38 | 10.57 | 3.21 | 2.22 | 0.10 | 0.81 | 9.84 | 62.47 | 41.78 | 6.36 | 14.84 |
| 7 | Андезит-риолитовая формация | 15 | 13—15 | 7 | 65.27 | 0.78 | 13.41 | 4.24 | 0.09 | 1.55 | 9.90 | 2.86 | 1.63 | 0.10 | 0.86 | 16.76 | 109.80 | 71.82 | 14.56 | 26.61 |
| 8 | Вулканогенные формации | 16 | 11—15 | 15 | 60.64 | 1.13 | 13.18 | 7.64 | 0.12 | 2.08 | 10.50 | 3.09 | 1.30 | 0.15 | 0.93 | 17.81 | 77.42 | 57.22 | 13.81 | 21.03 |
| 9 | Риолит окварцованный | 16 | | 3 | 81.60 | 0.39 | 10.03 | 1.02 | 0.02 | 0.46 | 2.15 | 2.98 | 1.14 | 0.08 | 0.98 | 7.14 | 35.27 | 49.86 | 3.44 | 13.43 |
| 10 | Андезидацит альбитизированный | 17 | | 2 | 61.90 | 0.82 | 19.50 | 1.28 | 0.01 | 0.59 | 8.20 | 5.91 | 1.53 | 0.07 | 1.44 | 6.37 | 84.10 | 22.25 | 2.40 | 9.81 |
| 11 | Дациит высокоглиноземистый | 18 | | 1 | 63.20 | 1.18 | 28.50 | 2.70 | 0.02 | 0.59 | 2.38 | 0.56 | 0.53 | 0.11 | 4.30 | 12.70 | 58.50 | 66.10 | 4.71 | 24.90 |
| 12 | Глина докатастрофная | 21 | | 1 | 60.70 | 0.97 | 14.50 | 7.27 | 0.05 | 1.69 | 11.35 | 1.61 | 1.60 | 0.08 | 4.75 | 16.20 | 162.00 | 105.00 | 21.70 | 46.60 |
| 13 | Делловий докатастрофный | 22 | | 2 | 51.50 | 1.55 | 16.10 | 12.20 | 0.19 | 3.42 | 12.07 | 1.66 | 1.03 | 0.13 | 3.51 | 29.45 | 260.38 | 138.13 | 37.45 | 56.84 |
| 14 | Делловий катастрофный | 23 | | 13 | 55.32 | 1.32 | 15.36 | 9.21 | 0.19 | 2.03 | 13.54 | 1.44 | 1.31 | 0.13 | 3.40 | 18.62 | 182.99 | 104.93 | 27.67 | 44.09 |
| 15 | Делловияльные отложения | 31 | 22—23 | 15 | 54.81 | 1.35 | 15.46 | 9.61 | 0.19 | 2.21 | 13.34 | 1.47 | 1.27 | 0.13 | 3.41 | 19.80 | 191.80 | 108.85 | 28.81 | 45.61 |
| 16 | Песчаная фракция — глина докатастрофный | 31 | | 1 | 85.50 | 0.70 | 12.80 | 2.77 | 0.03 | 0.90 | 0.00 | 2.75 | 2.15 | 0.07 | 1.64 | 9.14 | 76.10 | 53.10 | 9.83 | 17.40 |
| 17 | Песчаная фракция — делловий докатастрофная | 32 | | 2 | 57.60 | 2.19 | 17.65 | 12.00 | 0.22 | 3.23 | 3.67 | 1.95 | 1.21 | 0.10 | 2.46 | 28.38 | 317.67 | 130.50 | 45.70 | 41.61 |
| 18 | Песчаная фракция — делловий катастрофный | 33 | | 10 | 60.63 | 1.74 | 14.87 | 8.66 | 0.27 | 2.37 | 7.80 | 1.96 | 1.44 | 0.10 | 2.24 | 21.78 | 202.43 | 122.96 | 32.68 | 32.98 |
| 19 | Песчаная фракция делловия | 41 | 32—33 | 12 | 60.13 | 1.81 | 15.33 | 9.22 | 0.26 | 2.51 | 7.11 | 1.96 | 1.40 | 0.10 | 2.27 | 22.76 | 218.21 | 124.18 | 34.56 | 34.28 |
| 20 | Алевропелит. фракция — глина докатастрофная | 41 | | 1 | 59.60 | 1.15 | 17.60 | 9.67 | 0.05 | 2.41 | 6.47 | 1.24 | 1.53 | 0.09 | 2.24 | 28.73 | 230.00 | 138.00 | 34.50 | 49.10 |
| 21 | Алевропелит. фракция — делловий докатастрофный | 42 | | 2 | 57.20 | 0.95 | 18.40 | 10.22 | 0.07 | 2.59 | 7.73 | 1.17 | 1.40 | 0.10 | 2.43 | 25.73 | 165.03 | 119.45 | 20.92 | 38.79 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|-------|----|-------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|--------|--------|-------|--------|
| 22 | Алевропелит, фракция — делловый катастрофный | 43 | 10 | 56.89 | 1.02 | 16.03 | 8.39 | 0.08 | 1.80 | 13.08 | 1.15 | 1.30 | 0.11 | 2.09 | 17.83 | 154.36 | 102.43 | 18.29 | 32.51 |
| 23 | Алевропелитовая фракция делловия | 42—43 | 12 | 56.94 | 1.01 | 16.43 | 8.70 | 0.08 | 1.93 | 12.19 | 1.15 | 1.32 | 0.11 | 2.14 | 18.96 | 156.09 | 105.09 | 18.70 | 33.48 |
| 24 | Мох катастрофный — зола с максимальным содержанием REE | 51 | 5 | 18.44 | 0.29 | 9.63 | 17.26 | 0.15 | 1.16 | 49.71 | 0.19 | 0.41 | 2.34 | 8.15 | 61.32 | 273.99 | 111.79 | 49.48 | 277.82 |
| 25 | Мох катастрофный — зола с высоким содержанием REE | 52 | 6 | 33.72 | 0.29 | 9.60 | 9.97 | 0.11 | 0.96 | 41.57 | 0.29 | 0.44 | 2.68 | 5.84 | 46.87 | 205.35 | 88.22 | 38.13 | 273.23 |
| 26 | Мох катастрофный — зола с повышенным содержанием REE | 51—52 | 11 | 26.77 | 0.29 | 9.62 | 13.28 | 0.13 | 1.05 | 45.27 | 0.25 | 0.42 | 2.53 | 6.80 | 52.96 | 234.11 | 98.25 | 42.92 | 275.13 |
| 27 | Мох катастрофный — зола с повышенным содержанием SiO ₂ | 53 | 1 | 56.20 | 0.50 | 7.14 | 12.10 | 0.03 | 0.51 | 20.26 | 0.27 | 0.51 | 2.31 | 2.20 | 54.40 | 91.70 | 88.50 | 19.20 | 62.00 |
| 28 | Мох катастрофный — зола с повышенным содержанием K ₂ O | 54 | 5 | 35.62 | 0.51 | 9.84 | 9.92 | 0.11 | 0.88 | 38.38 | 0.53 | 0.87 | 3.04 | 4.88 | 22.47 | 140.80 | 79.82 | 50.09 | 208.98 |
| 29 | Мох катастрофный — зола с повышенным содержанием CaO | 55 | 4 | 19.60 | 0.32 | 9.50 | 8.82 | 0.08 | 0.94 | 55.94 | 0.38 | 0.52 | 3.49 | 4.82 | 27.85 | 177.28 | 161.29 | 59.50 | 441.84 |
| 30 | Мох катастрофный — зола с повышенным содержанием REE | 53—55 | 10 | 31.27 | 0.43 | 9.43 | 9.70 | 0.09 | 0.87 | 43.59 | 0.45 | 0.69 | 3.15 | 4.48 | 26.75 | 147.91 | 106.85 | 48.76 | 249.69 |
| 31 | Зола катастрофного мха | 51—55 | 21 | 28.91 | 0.36 | 9.53 | 11.57 | 0.11 | 0.96 | 44.47 | 0.34 | 0.55 | 2.82 | 5.58 | 38.25 | 188.13 | 102.26 | 45.61 | 262.71 |

Таблица 1 (продолжение)

| Но- мер | Cu | Zh | Ga | Ge | As | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Sn | Sb | Cs | Ba | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er |
|------------|--------|--------|-------|------|------|-------|---------|--------|--------|-------|------|------|------|------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 1 | 125.17 | 116.22 | 20.67 | 2.28 | 2.19 | 17.16 | 206.57 | 30.28 | 126.07 | 6.04 | 1.00 | 1.63 | 0.09 | 0.43 | 193.05 | 11.13 | 25.48 | 3.57 | 15.17 | 4.36 | 1.39 | 4.90 | 0.87 | 5.19 | 1.12 | 3.30 |
| 2 | 102.51 | 160.88 | 25.74 | 2.77 | 3.10 | 47.55 | 159.76 | 81.22 | 415.03 | 18.98 | 1.97 | 3.95 | 0.17 | 0.54 | 472.04 | 32.26 | 77.21 | 10.48 | 45.68 | 12.03 | 3.27 | 13.79 | 2.49 | 15.07 | 3.09 | 9.29 |
| 3 | 116.14 | 131.29 | 22.44 | 2.45 | 2.50 | 25.15 | 187.60 | 43.83 | 197.09 | 9.28 | 1.29 | 2.27 | 0.12 | 0.47 | 269.95 | 16.59 | 38.62 | 5.35 | 22.94 | 6.38 | 1.91 | 7.22 | 1.29 | 7.74 | 1.64 | 4.86 |
| 4 | 104.70 | 71.73 | 18.10 | 1.49 | 1.91 | 44.78 | 218.94 | 22.70 | 181.67 | 8.49 | 0.77 | 2.40 | 0.15 | 0.73 | 439.78 | 25.30 | 48.94 | 6.26 | 23.77 | 4.88 | 1.26 | 5.02 | 0.81 | 4.42 | 0.81 | 2.52 |
| 5 | 76.29 | 45.77 | 15.21 | 1.84 | 1.90 | 29.90 | 229.81 | 13.37 | 231.02 | 9.56 | 0.71 | 1.67 | 0.33 | 0.50 | 411.52 | 16.82 | 35.25 | 4.03 | 14.11 | 2.64 | 0.87 | 2.57 | 0.40 | 2.42 | 0.50 | 1.47 |
| 6 | 31.41 | 23.46 | 11.97 | 0.79 | 2.09 | 61.21 | 409.63 | 17.49 | 192.48 | 14.06 | 0.76 | 0.81 | 0.14 | 0.42 | 1000.32 | 29.96 | 49.40 | 5.42 | 16.55 | 2.78 | 1.72 | 2.89 | 0.46 | 2.94 | 0.60 | 2.10 |
| 7 | 64.81 | 42.99 | 14.93 | 1.36 | 1.96 | 41.18 | 267.35 | 16.79 | 204.73 | 10.32 | 0.74 | 1.51 | 0.21 | 0.53 | 540.56 | 22.29 | 42.63 | 4.97 | 17.14 | 3.19 | 1.17 | 3.22 | 0.51 | 3.04 | 0.61 | 1.90 |
| 8 | 72.83 | 53.90 | 17.70 | 1.70 | 1.80 | 26.76 | 270.45 | 22.80 | 211.33 | 10.03 | 0.85 | 1.79 | 0.15 | 0.39 | 347.92 | 19.14 | 39.41 | 4.85 | 18.28 | 3.84 | 1.15 | 4.01 | 0.67 | 3.94 | 0.82 | 2.50 |
| 9 | 19.50 | 16.63 | 12.22 | 1.19 | 1.44 | 12.37 | 291.98 | 12.13 | 239.67 | 7.99 | 0.79 | 1.63 | 0.22 | 0.50 | 375.03 | 16.99 | 35.45 | 4.14 | 15.26 | 2.74 | 0.51 | 2.34 | 0.40 | 2.05 | 0.42 | 1.29 |
| 10 | 122.27 | 19.72 | 21.61 | 1.52 | 0.50 | 24.10 | 1084.44 | 12.55 | 258.42 | 17.45 | 0.30 | 1.40 | 0.07 | 0.05 | 183.48 | 23.78 | 38.07 | 3.82 | 12.14 | 1.59 | 0.48 | 1.84 | 0.29 | 1.74 | 0.38 | 1.24 |
| 11 | 12.70 | 45.70 | 56.40 | 1.93 | 1.46 | 17.10 | 90.20 | 103.00 | 531.00 | 46.70 | 4.02 | 1.83 | 0.45 | 1.87 | 486.00 | 166.00 | 282.00 | 28.30 | 97.10 | 15.50 | 2.25 | 16.10 | 2.57 | 14.50 | 3.01 | 10.00 |

Таблица 1 (продолжение)

| Ho-мер | Cu | Zn | Ga | Ge | As | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Mo | Sn | Sb | Cs | Ba | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er |
|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|---------|--------|--------|-------|-------|------|------|------|---------|--------|--------|-------|--------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
| 12 | 53.30 | 74.90 | 17.90 | 1.63 | 5.21 | 60.60 | 339.00 | 24.40 | 178.00 | 9.03 | 0.30 | 2.11 | 0.47 | 2.71 | 537.00 | 25.30 | 52.50 | 6.04 | 21.50 | 4.42 | 1.26 | 4.49 | 0.71 | 4.40 | 0.88 | 2.77 |
| 13 | 100.60 | 108.47 | 22.00 | 1.96 | 5.55 | 43.54 | 205.50 | 29.13 | 165.41 | 8.63 | 0.83 | 2.94 | 0.40 | 2.47 | 317.74 | 19.96 | 45.41 | 5.29 | 21.08 | 5.09 | 1.44 | 5.50 | 0.82 | 5.22 | 1.05 | 3.23 |
| 14 | 54.30 | 107.30 | 20.65 | 1.84 | 4.96 | 61.67 | 206.27 | 21.58 | 186.03 | 11.07 | 0.91 | 2.68 | 0.46 | 3.26 | 442.97 | 21.52 | 48.97 | 4.98 | 18.24 | 3.86 | 1.12 | 3.87 | 0.58 | 3.78 | 0.73 | 2.37 |
| 15 | 58.95 | 107.45 | 20.82 | 1.86 | 5.04 | 58.88 | 206.17 | 22.46 | 183.14 | 10.71 | 0.90 | 2.71 | 0.45 | 3.14 | 423.77 | 21.30 | 48.48 | 5.02 | 18.59 | 4.01 | 1.16 | 4.06 | 0.61 | 3.95 | 0.77 | 2.47 |
| 16 | 19.60 | 37.00 | 13.50 | 1.73 | 3.86 | 56.90 | 620.00 | 15.20 | 143.00 | 11.80 | 0.30 | 1.32 | 0.55 | 1.17 | 863.00 | 18.10 | 36.00 | 4.16 | 15.50 | 3.14 | 1.21 | 2.95 | 0.47 | 2.90 | 0.59 | 1.69 |
| 17 | 89.10 | 20.57 | 23.38 | 1.76 | 3.64 | 48.15 | 256.14 | 24.90 | 166.00 | 12.10 | 1.01 | 3.05 | 0.45 | 2.63 | 386.13 | 19.39 | 47.23 | 4.86 | 19.90 | 4.96 | 1.32 | 4.69 | 0.71 | 4.60 | 1.04 | 2.73 |
| 18 | 45.11 | 106.93 | 20.52 | 1.79 | 3.23 | 54.54 | 249.49 | 18.82 | 184.89 | 12.81 | 1.08 | 2.78 | 0.42 | 2.50 | 474.55 | 16.92 | 42.90 | 3.93 | 14.89 | 3.36 | 1.08 | 3.20 | 0.53 | 3.29 | 0.71 | 2.04 |
| 19 | 50.53 | 81.24 | 20.97 | 1.78 | 3.30 | 53.42 | 250.58 | 19.72 | 181.60 | 12.69 | 1.07 | 2.83 | 0.43 | 2.52 | 458.52 | 17.31 | 43.59 | 4.07 | 15.63 | 3.59 | 1.12 | 3.41 | 0.55 | 3.48 | 0.75 | 2.14 |
| 20 | 78.40 | 109.00 | 23.20 | 2.58 | 6.70 | 76.60 | 237.00 | 34.70 | 161.00 | 12.70 | 0.83 | 5.06 | 0.78 | 4.99 | 421.00 | 32.00 | 64.60 | 7.40 | 29.30 | 6.08 | 1.39 | 6.26 | 1.06 | 6.16 | 1.32 | 3.52 |
| 21 | 119.40 | 105.03 | 22.60 | 1.79 | 3.93 | 72.43 | 215.92 | 28.36 | 152.84 | 11.19 | 0.87 | 3.01 | 0.70 | 4.51 | 392.38 | 25.14 | 49.06 | 6.41 | 25.14 | 5.35 | 1.21 | 5.29 | 0.87 | 5.08 | 1.08 | 3.23 |
| 22 | 58.06 | 83.87 | 20.61 | 1.86 | 2.72 | 72.89 | 182.92 | 18.54 | 160.00 | 12.34 | 1.27 | 3.31 | 0.47 | 4.40 | 438.34 | 20.12 | 40.38 | 4.47 | 16.60 | 3.39 | 0.77 | 3.14 | 0.51 | 3.06 | 0.68 | 1.92 |
| 23 | 65.48 | 87.08 | 20.63 | 1.85 | 2.89 | 72.81 | 188.04 | 19.90 | 158.79 | 12.14 | 1.19 | 3.26 | 0.51 | 4.42 | 430.32 | 20.88 | 41.71 | 4.74 | 17.79 | 3.66 | 0.83 | 3.43 | 0.56 | 3.33 | 0.73 | 2.10 |
| 24 | 325.73 | 91.09 | 8.78 | 1.30 | 17.74 | 11.31 | 874.65 | 296.74 | 222.40 | 4.03 | 12.07 | 1.07 | 1.31 | 0.95 | 722.61 | 135.67 | 212.78 | 37.07 | 162.08 | 40.17 | 8.36 | 43.59 | 6.63 | 43.35 | 9.03 | 29.18 |
| 25 | 256.08 | 138.91 | 8.39 | 0.97 | 6.19 | 12.79 | 769.66 | 190.11 | 139.52 | 4.19 | 10.39 | 1.17 | 0.86 | 1.09 | 646.60 | 106.31 | 165.60 | 29.10 | 120.69 | 30.80 | 6.85 | 30.77 | 4.51 | 29.23 | 5.94 | 18.79 |
| 26 | 285.67 | 114.66 | 8.56 | 1.11 | 9.99 | 12.09 | 815.72 | 232.75 | 172.46 | 4.12 | 11.12 | 1.12 | 1.04 | 1.03 | 680.11 | 118.78 | 185.59 | 32.49 | 138.00 | 34.75 | 7.50 | 36.05 | 5.37 | 34.96 | 7.19 | 22.96 |
| 27 | 131.00 | 68.40 | 9.46 | 0.53 | 2.26 | 21.40 | 225.00 | 64.20 | 138.00 | 5.77 | 6.17 | 1.40 | 0.52 | 1.94 | 314.00 | 65.20 | 123.00 | 16.20 | 63.90 | 14.60 | 3.48 | 14.80 | 2.21 | 13.20 | 2.46 | 6.73 |
| 28 | 171.18 | 198.91 | 10.27 | 0.80 | 5.58 | 23.44 | 815.33 | 59.98 | 132.59 | 7.38 | 8.39 | 2.03 | 1.00 | 1.36 | 836.20 | 40.83 | 77.95 | 10.50 | 41.89 | 9.85 | 2.27 | 9.53 | 1.41 | 9.05 | 1.87 | 6.46 |
| 29 | 369.76 | 160.69 | 7.63 | 0.66 | 5.34 | 15.83 | 1148.33 | 72.43 | 122.08 | 4.79 | 18.01 | 1.25 | 0.83 | 1.29 | 1089.73 | 37.36 | 66.28 | 10.46 | 43.96 | 11.22 | 2.75 | 10.96 | 1.68 | 11.14 | 2.30 | 7.63 |
| 30 | 226.79 | 164.14 | 9.04 | 0.71 | 5.01 | 19.85 | 822.08 | 65.12 | 128.79 | 6.06 | 11.05 | 1.61 | 0.87 | 1.38 | 842.90 | 41.29 | 76.47 | 10.95 | 44.55 | 10.79 | 2.56 | 10.53 | 1.58 | 10.21 | 2.09 | 6.93 |
| 31 | 255.94 | 136.02 | 8.79 | 0.90 | 7.19 | 15.31 | 818.74 | 126.90 | 150.07 | 4.95 | 11.09 | 1.33 | 0.96 | 1.18 | 753.28 | 71.81 | 121.67 | 19.36 | 80.55 | 19.91 | 4.50 | 20.07 | 3.00 | 19.46 | 3.99 | 12.98 |

Таблица 1 (продолжение)

| Ho-мер | Tm | Yb | Lu | Hf | Ta | W | Pb | Th | U | REE | K ₂ O/Na ₂ O | Na ₂ O/P ₂ O ₅ | 100Rb/Sr | Rb/Cs | Sr/Ba | Zr/Hf | Nb/Ta | La/Ho | La/REE | Eu/Er* |
|--------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|--------|------------------------------------|---|----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1 | 0.47 | 2.92 | 0.44 | 3.08 | 0.37 | 0.30 | 5.19 | 1.71 | 0.53 | 80.34 | 0.28 | 16.02 | 8.68 | 39.68 | 1.07 | 41.03 | 16.36 | 9.94 | 0.14 | 0.92 |
| 2 | 1.29 | 8.40 | 1.23 | 10.04 | 1.09 | 0.64 | 7.52 | 5.06 | 1.86 | 235.60 | 0.54 | 7.14 | 29.81 | 88.65 | 0.34 | 41.34 | 17.44 | 10.45 | 0.14 | 0.77 |
| 3 | 0.69 | 4.34 | 0.65 | 4.80 | 0.55 | 0.40 | 5.96 | 2.57 | 0.85 | 120.27 | 0.38 | 12.69 | 16.60 | 53.64 | 0.80 | 41.14 | 16.77 | 10.13 | 0.14 | 0.86 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|------|--------|------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-------|------|------|
| 4 | 0.37 | 2.27 | 0.34 | 3.85 | 0.57 | 0.33 | 7.23 | 5.65 | 1.65 | 127.05 | 0.61 | 19.71 | 20.66 | 61.71 | 0.50 | 47.24 | 14.89 | 31.31 | 0.20 | 0.78 |
| 5 | 0.25 | 1.34 | 0.22 | 5.02 | 0.72 | 0.54 | 3.82 | 6.31 | 1.50 | 83.05 | 0.46 | 31.62 | 13.09 | 60.01 | 0.56 | 46.10 | 13.33 | 34.11 | 0.20 | 1.02 |
| 6 | 0.33 | 2.35 | 0.33 | 4.77 | 0.77 | 0.66 | 9.53 | 29.83 | 3.47 | 118.16 | 0.70 | 34.18 | 15.86 | 146.31 | 0.41 | 40.38 | 18.26 | 50.06 | 0.25 | 2.05 |
| 7 | 0.30 | 1.83 | 0.28 | 4.59 | 0.69 | 0.50 | 5.95 | 9.53 | 1.96 | 103.71 | 0.57 | 28.95 | 16.04 | 78.03 | 0.50 | 44.79 | 15.18 | 37.87 | 0.22 | 1.25 |
| 8 | 0.39 | 2.39 | 0.37 | 4.85 | 0.66 | 0.39 | 5.21 | 5.46 | 1.36 | 104.72 | 0.45 | 28.80 | 13.80 | 67.89 | 1.21 | 43.74 | 15.33 | 29.83 | 0.19 | 0.96 |
| 9 | 0.21 | 1.38 | 0.24 | 4.98 | 0.67 | 0.46 | 4.25 | 7.72 | 1.92 | 83.69 | 0.50 | 36.64 | 8.83 | 24.88 | 0.86 | 48.18 | 12.07 | 41.39 | 0.20 | 0.64 |
| 10 | 0.22 | 1.28 | 0.20 | 5.90 | 1.16 | 0.13 | 2.57 | 9.35 | 1.41 | 87.12 | 0.26 | 80.97 | 2.22 | 482.00 | 5.92 | 43.77 | 15.01 | 63.19 | 0.27 | 0.86 |
| 11 | 1.40 | 9.63 | 1.39 | 11.90 | 3.07 | 2.71 | 4.33 | 32.70 | 7.98 | 649.75 | 0.95 | 5.09 | 18.96 | 9.14 | 0.19 | 44.62 | 15.21 | 55.15 | 0.26 | 0.43 |
| 12 | 0.34 | 2.28 | 0.33 | 4.34 | 0.51 | 0.62 | 18.70 | 5.65 | 1.12 | 127.22 | 0.99 | 19.17 | 17.88 | 22.36 | 0.63 | 41.01 | 17.71 | 28.75 | 0.20 | 0.86 |
| 13 | 0.40 | 2.75 | 0.37 | 3.96 | 0.54 | 0.76 | 14.69 | 4.36 | 0.85 | 117.80 | 0.66 | 12.67 | 21.01 | 17.64 | 0.65 | 41.87 | 16.05 | 19.33 | 0.17 | 0.83 |
| 14 | 0.32 | 2.08 | 0.29 | 4.12 | 0.68 | 0.95 | 18.29 | 5.17 | 1.36 | 113.22 | 0.95 | 11.88 | 30.59 | 18.92 | 0.47 | 45.92 | 16.35 | 30.31 | 0.19 | 0.89 |
| 15 | 0.33 | 2.16 | 0.30 | 4.10 | 0.66 | 0.92 | 17.76 | 5.05 | 1.28 | 113.82 | 0.91 | 11.98 | 29.43 | 18.75 | 0.50 | 45.38 | 16.31 | 28.85 | 0.19 | 0.89 |
| 16 | 0.29 | 1.71 | 0.29 | 3.76 | 2.28 | 0.55 | 25.20 | 4.17 | 1.19 | 89.00 | 0.78 | 40.44 | 9.18 | 48.63 | 0.72 | 38.03 | 5.18 | 30.68 | 0.20 | 1.21 |
| 17 | 0.42 | 2.75 | 0.39 | 4.34 | 0.79 | 0.96 | 13.26 | 6.32 | 1.15 | 115.41 | 0.70 | 18.30 | 20.24 | 18.33 | 0.67 | 38.21 | 15.33 | 19.70 | 0.17 | 0.84 |
| 18 | 0.31 | 2.10 | 0.31 | 4.64 | 0.79 | 0.95 | 19.07 | 5.38 | 1.37 | 97.01 | 0.77 | 20.80 | 23.10 | 21.78 | 0.54 | 39.95 | 16.20 | 25.91 | 0.18 | 1.03 |
| 19 | 0.32 | 2.20 | 0.33 | 4.59 | 0.79 | 0.96 | 17.95 | 5.52 | 1.33 | 99.86 | 0.76 | 20.38 | 22.62 | 21.17 | 0.56 | 39.66 | 16.06 | 24.88 | 0.18 | 1.00 |
| 20 | 0.57 | 3.98 | 0.50 | 4.69 | 1.04 | 1.53 | 22.50 | 9.14 | 1.79 | 164.14 | 1.23 | 13.48 | 32.32 | 15.35 | 0.56 | 34.33 | 12.21 | 24.24 | 0.19 | 0.69 |
| 21 | 0.47 | 3.23 | 0.46 | 4.16 | 0.74 | 1.35 | 12.34 | 7.86 | 1.54 | 132.10 | 1.20 | 11.55 | 33.83 | 16.05 | 0.55 | 36.76 | 15.07 | 23.31 | 0.19 | 0.69 |
| 22 | 0.31 | 2.05 | 0.30 | 4.11 | 0.83 | 1.37 | 13.34 | 6.67 | 1.67 | 97.95 | 1.16 | 10.52 | 41.42 | 16.55 | 0.43 | 39.01 | 14.80 | 30.35 | 0.21 | 0.73 |
| 23 | 0.33 | 2.21 | 0.32 | 4.12 | 0.82 | 1.37 | 13.17 | 6.86 | 1.65 | 102.96 | 1.17 | 10.69 | 40.16 | 16.46 | 0.45 | 38.64 | 14.85 | 29.18 | 0.20 | 0.72 |
| 24 | 3.58 | 27.13 | 3.76 | 6.30 | 0.24 | 0.86 | 4.17 | 17.96 | 6.78 | 764.45 | 2.17 | 0.08 | 1.35 | 11.87 | 1.22 | 35.33 | 17.18 | 15.24 | 0.18 | 0.61 |
| 25 | 2.29 | 16.36 | 2.30 | 4.21 | 0.27 | 0.72 | 4.27 | 13.15 | 5.14 | 571.41 | 1.69 | 0.12 | 1.75 | 11.73 | 1.33 | 33.26 | 15.82 | 18.06 | 0.19 | 0.68 |
| 26 | 2.81 | 20.59 | 2.87 | 5.06 | 0.25 | 0.78 | 4.23 | 15.15 | 5.83 | 652.24 | 1.91 | 0.10 | 1.57 | 11.79 | 1.28 | 34.20 | 16.44 | 16.78 | 0.18 | 0.65 |
| 27 | 0.74 | 4.93 | 0.78 | 3.92 | 0.36 | 0.83 | 3.78 | 14.10 | 8.52 | 332.23 | 1.89 | 0.12 | 9.51 | 11.03 | 0.72 | 35.20 | 16.03 | 26.50 | 0.20 | 0.72 |
| 28 | 0.78 | 5.55 | 0.87 | 3.53 | 0.50 | 1.07 | 10.27 | 8.79 | 3.47 | 219.32 | 1.70 | 0.20 | 3.05 | 17.23 | 0.99 | 37.58 | 14.79 | 22.08 | 0.19 | 0.72 |
| 29 | 0.94 | 6.97 | 1.01 | 3.26 | 0.24 | 6.14 | 3.27 | 11.13 | 4.32 | 215.30 | 1.39 | 0.11 | 1.41 | 12.26 | 1.06 | 37.56 | 20.29 | 16.33 | 0.17 | 0.76 |
| 30 | 0.84 | 6.01 | 0.91 | 3.46 | 0.36 | 2.10 | 5.88 | 10.12 | 4.15 | 226.94 | 1.59 | 0.16 | 3.04 | 14.38 | 0.99 | 37.33 | 17.11 | 20.22 | 0.18 | 0.73 |
| 31 | 1.58 | 11.45 | 1.66 | 4.22 | 0.30 | 1.25 | 4.95 | 12.51 | 4.96 | 394.52 | 1.76 | 0.13 | 2.27 | 12.96 | 1.14 | 35.69 | 16.76 | 18.42 | 0.18 | 0.69 |

Примечание. Составлена по результатам масс-спектрометрического анализа (ICM-MS) с предварительной подготовкой методом сплавления. Содержания петрогенных оксидов даны в весовых процентах и отвечают приближенно-количественному анализу. Параметр СаО* рассчитан как разность между 100 % и суммой остальных оксидов. Количественные определения содержания малых элементов (от Ве до U) даны в г/г; средние значения рассчитаны с учетом логнормального закона распределения этих элементов.

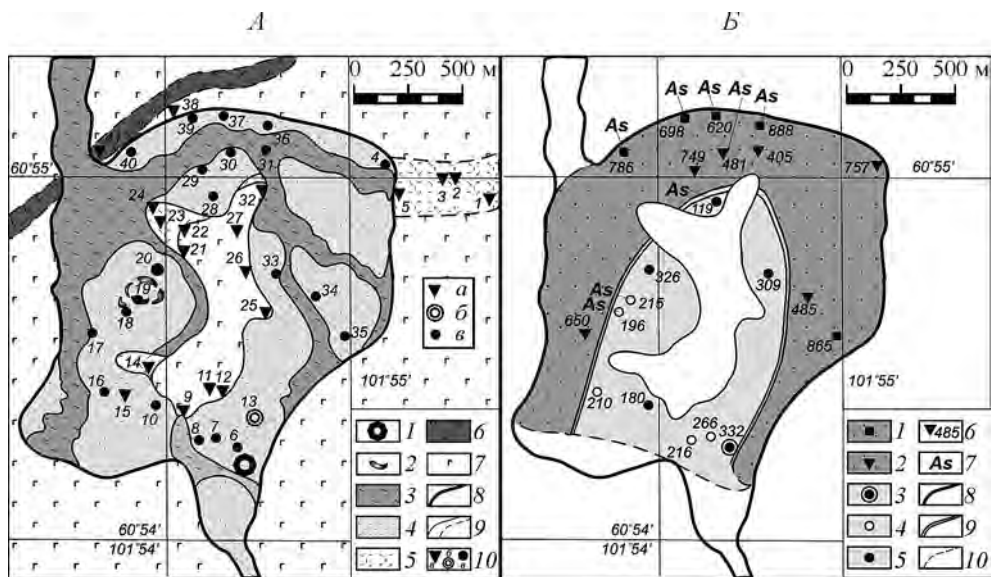


Рис. 1. Схемы отбора проб (А) и распределения редкоземельных элементов в катастрофных мхах (Б) участка Северное Болото.

А: 1 — Суловская воронка; 2 — участки развития «голубых» мхов; 3 — обводненные участки с островками катастрофных мхов; 4 — участки площадного развития катастрофных мхов; 5 — породы андезит-риолитовой формации; 6 — дайка трахиандезитов; 7 — долериты; 8 — контур Северного Болота; 9 — границы, установленные и предполагаемые; 10 — пункты отбора проб коренных пород и делювия (а), докатастрофных глин (б) и катастрофных мхов (в). Пунктам опробования 1—41 соответствуют координаты (по системе карт 1942 г.): 1 — 60° и 54,933' сев. широты; 101° и 55,798' вост. долготы; 2 — здесь и далее приведены только значения минут соответственно по широте и долготе — 54,989 и 55,580; 3 — 54,983 и 55,552; 4 — 55,016 и 55,206; 5 — 54,924 и 55,241; 6 — 54,241 и 54,344; 7 — 54,275 и 54,252; 8 — 54,264 и 54,146; 9 — 54,360 и 54,084; 10 — 54,356 и 53,941; 11 — 54,399 и 54,245; 12 — 54,395 и 54,269; 13 — 54,333 и 54,438; 14 — 54,460 и 53,892; 15 — 54,393 и 53,771; 16 — 54,395 и 53,649; 17 — 54,568 и 53,596; 18 — 54,622 и 53,743; 19 — 54,636 и 53,839; 20 — 54,735 и 53,957; 21 — 54,767 и 54,054; 22 — 54,821 и 54,075; 23 — 54,830 и 53,973; 24 — 54,903 и 53,906; 25 — 54,613 и 54,513; 26 — 54,738 и 54,422; 27 — 54,815 и 54,380; 28 — 54,928 и 54,250; 29 — 55,005 и 54,161; 30 — 55,043 и 54,389; 31 — 55,061 и 54,522; 32 — 54,961 и 54,550; 33 — 54,721 и 54,591; 34 — 54,656 и 54,814; 35 — 54,542 и 54,958; 36 — 55,108 и 54,581; 37 — 55,149 и 54,425; 38 — 55,151 и 54,104; 39 — 54,173 и 54,075; 40 — 55,058 и 53,867; 41 — 55,057 и 53,719. Б: 1, 2 — зона повышенных содержаний REE (1 — геохимическая совокупность 51; 2 — геох. сов. 52; см. табл. 1); 3, 4, 5 — зона пониженных содержаний REE (3 — сов. 53; 4 — сов. 54; 5 — сов. 55); 6 — суммарное количество редкоземельных элементов в конкретных пробах, в г/т; 7 — пробы с содержаниями мышьяка более 10 г/т; 8 — контур периферической зоны повышенных содержаний REE (от 405 до 888 г/т); 9 — граница между зонами повышенных (от 119 до 332 г/т) содержаний REE; 10 — различные границы.

Fig. 1. Scheme of sampling (A) and distribution of rare-earth elements in catastrophic mosses (B) of the Northern Swamp area.

Аналитические исследования. Все пробы коренных пород и рыхлых отложений были подвергнуты рентгенофлуоресцентному силикатному анализу. Эти же пробы, а также песчаная и алевропелитовая фракции рыхлых отложений и зольная фракция катастрофных мхов изучались масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), с предварительной процедурой сплавления с боратом лития (табл. 1). Все анализы выполнены в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ. Ранее (Скублов и др., 2010, см. табл. 1) нами были использованы масс-спектрометрические определения с предварительной процедурой кислотного разложения, что позволяло дополнительно определять концентрации Se, Ag, Cd, In, Te, Tl, V. Однако этот метод не дает сопоставимых с рентгенофлуоресцентным анализом результатов по петрогенным элементам. Поэтому в условиях ограниченного объема материала золы катастрофных мхов был поставлен вопрос о возможности использования метода сплавления для петрохимической характеристики всех изучаемых образований. В результате сравнения анализов коренных и рыхлых пород двумя методами (рентгенофлуоресцентным и ICP-MS методом сплавления) установлено, что коэффициенты корреляции между содержаниями элементов по 2 методам варьируют в пределах от 0,94 (Mn) до 0,96 (Si), 0,97 (Ti, Al, K, P), 0,98 (Mg), 0,99 (Fe, Na). Систематическая ошибка не превышает 5%. Это свидетельствует о возможности использования результатов анализов масс-спектрометрическим методом сплавления как приближенно-количественных данных. Методика микрозондовых исследований рассмотрена ранее (Скублов и др., 2010).

Таблица 2

**Результаты сравнительного анализа с помощью критерия Стьюдента
различных геохимических совокупностей коренных пород, рыхлых отложений
и катастрофных мхов участка Северное Болото**

**Results of comparative analysis, with the Student criterion, of various geochemical sets
of the primary rocks, loose sediments and catastrophic mosses of the Northern Swamp area**

| Параметр | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| N1 | 5 | 5 | 8 | 7 | 7 | 7 | 15 | 15 | 12 | 5 | 5 | 11 | 20 | 20 | 39 |
| N2 | 3 | 5 | 7 | 3 | 2 | 1 | 12 | 12 | 12 | 6 | 4 | 10 | 39 | 21 | 21 |
| SiO ₂ | | -1 | -5 | -3 | | | -2 | | | | 1 | | | 8 | 10 |
| TiO ₂ | | 4 | 6 | 1 | | | -1 | 3 | 2 | | | -1 | | 6 | 10 |
| Al ₂ O ₃ | 2 | 1 | | 2 | -3 | -4 | | | | | | | -3 | 3 | 10 |
| Fe ₂ O ₃ | -3 | 2 | 6 | | | | | | | | | | | | -1 |
| MnO | -2 | | 5 | 1 | 1 | | | 2 | 2 | | | | | | |
| MgO | 4 | | | | | | | | | | | | | 1 | 6 |
| CaO* | | | 1 | 2 | | 1 | -3 | | -2 | | -1 | | | -10 | -10 |
| Na ₂ O | | | | | -4 | 2 | -2 | 1 | 4 | | | -2 | 9 | 10 | 10 |
| K ₂ O | -5 | | -1 | | | | | | | | 1 | -2 | | 6 | 10 |
| P ₂ O ₅ | -5 | | 1 | | 1 | | 1 | | | | | -1 | 1 | -10 | -10 |
| V | 5 | 3 | | 2 | | | | | | | | 1 | -3 | -2 | |
| Cr | 5 | 2 | | | 1 | | | | | | -1 | | -4 | -1 | |
| Ni | 5 | 2 | | | 1 | | | 1 | | | -1 | | -3 | -10 | -10 |
| Cu | | 2 | 1 | 1 | | 1 | | | | | -2 | | | -6 | -10 |
| As | | | | | 2 | | 1 | 2 | | 1 | | | -5 | -5 | -3 |
| Rb | -2 | | | 1 | | | | -1 | -2 | | | -3 | -7 | 2 | 10 |
| Sr | 2 | -1 | -1 | | -3 | 1 | -1 | | 2 | | -3 | | 1 | -7 | -10 |
| Zr | -5 | | | | | -3 | | 1 | | | | | 1 | 1 | |
| Nb | -6 | | | | -1 | -2 | -1 | | | | | -2 | | 5 | 10 |
| Mo | -2 | | 2 | | 5 | -5 | | | | | | | | -10 | -10 |
| Sn | -1 | | | | | | | -1 | | | | -1 | -5 | 1 | 10 |
| Sb | | | | | 1 | | | | | | | | -10 | -10 | -9 |
| Cs | | | | | 4 | -1 | | -2 | -4 | | | -1 | -10 | -5 | 10 |
| Ba | -4 | | -1 | | 1 | | | | | | | | -1 | -5 | -9 |
| La | -7 | | | | | -3 | | | | | | 6 | | -8 | -10 |
| Ce | -6 | | | | | -3 | | 1 | | | | 5 | | -8 | -10 |
| Eu | -5 | | 1 | 1 | 1 | | | 2 | 1 | | | 7 | | -7 | -10 |
| Er | -6 | | 2 | | | -2 | | | | 1 | | 7 | | -8 | -10 |
| Lu | -5 | | 2 | | | -3 | | -1 | | 1 | | 6 | | -8 | -10 |
| Hf | -6 | | | | | -2 | | | | | | 1 | | | |
| Ta | -5 | | | | 2 | -4 | -1 | -2 | | | 2 | -1 | | 6 | 10 |
| W | -3 | | | | 2 | -2 | | -3 | -2 | | -3 | -2 | -10 | -5 | |
| Pb | | | | | | | | 1 | 1 | | | | -10 | | 6 |
| Th | -3 | | -2 | | | | | -2 | | | | 1 | | -3 | -10 |
| U | -5 | | -1 | | | -1 | | | | | | | | -8 | -10 |
| REE | -7 | | | | | -3 | | | | | | 7 | | -9 | -10 |
| K ₂ O/Na ₂ O | -4 | | -1 | | 1 | -1 | | -2 | -3 | | | | -7 | -10 | -10 |
| Na ₂ O/P ₂ O ₅ | 4 | | -3 | | -4 | 1 | -6 | | 7 | | | | 3 | 6 | 10 |
| 100Rb/Sr | -4 | | | | 2 | | 1 | -2 | -3 | | 1 | | -6 | 5 | 10 |

Таблица 2 (продолжение)

| Параметр | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----------|----|---|---|----|----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|-----|
| Sr/Ba | 5 | | | -1 | -8 | 2 | | | 1 | | | | 2 | | -10 |
| Nb/Ta | -2 | | | | | | | 2 | 1 | | -2 | | | | |
| Eu/Eu* | 1 | | | | | | | 2 | 2 | | | -2 | | 1 | 3 |

Примечание. Таблица составлена по результатам статистической обработки результатов масс-спектрометрического анализа (ICP-MS) (табл. 1). Каждому столбцу отвечает одна из задач по проверке гипотез о значимости различий между совокупностями А и Б, представленных соответствующим числом проб (N1 и N2). В задаче 1 сравнивались совокупности 11 (А) и 12 (Б) или при краткой записи (зад. 1 = А11—Б12); зад. 2 = А13,14—Б15,16; зад. 3 = А11,12—Б13,14,15; зад. 4 = А13,14,15—Б16; зад. 5 = А13,14,15—Б17; зад. 6 = А13,14,15—Б18; зад. 7 = А22,23—Б32,33; зад. 8 = А22,23—Б42,43; зад. 9 = А32,33—Б42,43; зад. 10 = А51—Б52; зад. 11 = А54—Б55; зад. 12 = А51,52—Б53,54,55; зад. 13 = А11,12,13,14,15,16,17—Б22,23,32,33,42,43; зад. 14 = А11,12,13,14,15,16,17—Б51,52,53,54,55; зад. 15 = А22,23,32,33,42,43—Б51,52,53,54,55. При отсутствии статистических различий при 5%-ном уровне значимости ячейки таблицы не заполнялись. В противном случае указывался t-cod со знаками (+) при А > Б и (-) при А < Б. Абсолютное значение параметра t-cod указывает, при каком уровне отвергается гипотеза об отсутствии значимых различий между совокупностями А и Б: 1 = 5%-ный уровень, 2 = 1, 3 = 0.1, 4 = 0.01, 5 = 0.001, 6 = 0.0001, 7 = 0.00001, 8 = 0.000001, 9 = 0.0000001, 10 = 0.00000001%-ный уровень.

Статистическая обработка данных. Матрица исходных данных (84 пробы) представлена обобщенными и геологическими сведениями (8 признаков), результатами рентгенофлуоресцентного анализа (11), масс-спектрометрическими определениями петрогенных оксидов (10), элементов-примесей (41) и индикаторными геохимическими параметрами (10 признаков). Она обрабатывалась с использованием программного комплекса «Статистика» (Боровиков, 2003) с учетом логнормального закона распределения элементов-примесей. Использовался критерий Стьюдента (табл. 2), рассчитывались корреляционные матрицы, а методом главных компонент (Белонин и др., 1982) — ведущие факторы распределения и выделялись ассоциации химических элементов (рис. 2). Типизация магматических пород проведена по известным петрохимическим критериям (Петрографический..., 2009). Рыхлые отложения разделены на геохимические совокупности по генетическим признакам. Выделение геохимических типов катастрофных мхов осуществлялось на основе выявленной закономерности распределения REE в пределах участка Северное Болото (рис. 1, Б) с использованием результатов факторного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Геолого-геоморфологическая обстановка на участке Северное Болото. На изученной территории площадью 2 × 3 км была выделена жерловина четвертичного криптовулкана (Скублов и др., 2010), ориентированная в субмеридиональном направлении и имеющая размер 1700 × 2100 м. Большая часть участка занята торфяными буграми высотой до 10 м, в верхней части которых развита моховая подушка 0.4—0.7 м мощности, предохраняющая от оттаивания горизонт вечной мерзлоты. Торфяные бугры испещрены многочисленными изометричными и неправильной формы «термокарстовыми воронками» размером от 3 до 100 м в поперечнике (средний размер около 30 м). Наиболее крупные воронки типа Суловской прекрасно дешифрируются на космофотоснимке. В центральных частях воронок отсутствует торфяник, широко развита осока, отмечается сильная обводненность, а глубина оттаивания составляет 1—2 м; нередко обнаруживаются заполненные водой ямы глубиной до 3 м и более. В настоящее время катастрофный слой на Северном Болоте залегает на глубине 25—50 см. Видимая мощность докатастрофного торфяника достигает 4 м. Если учесть, что коэффициент уплотненности докатастрофного мха и торфяника составляет 1.5—3 (среднее — 2.0), можно рассчитать минимальный возраст докатастрофного торфяника — он составит более 2700 лет. Однако возраст воронок находится в более широких пределах — от 100 до 117 000 лет (Скублов и др., 2010). Наиболее молодые воронки, скорее всего, связанные с Тунгусским взрывом 1908 г., имеют поперечник не более 5 м. Древние воронки типа Суловской, по-видимому, имеют возраст более 100 000 лет, что подтверждается их большой глубиной (более 30 м) и возрастом (15 900 лет) жирных вязких глин, отобранных с глубины более 3 м. Торфяные бугры Северного Болота рассечены линейными ветвящимися 50—100-метровой ширины зонами интенсивной обводненности, которые мы связываем с третьей, газовой стадией развития Куликовского криптовулкана. Эти зоны протяженностью до 1 км как бы «разъедают» более древние воронки и соединяются вместе в северо-западной части Северного Болота в виде изометричного разлапистого тела с поперечником около 400 м.

Центральную часть Северного Болота занимает массив 600 × 1200 м, описанный в литературе как Кабаев остров. Здесь наблюдаются скальные выходы долеритов, элювиальные высыпки андезитов, дацитов, риолитов и туффзитов, почти повсеместно перекрытые делювиально-почвен-

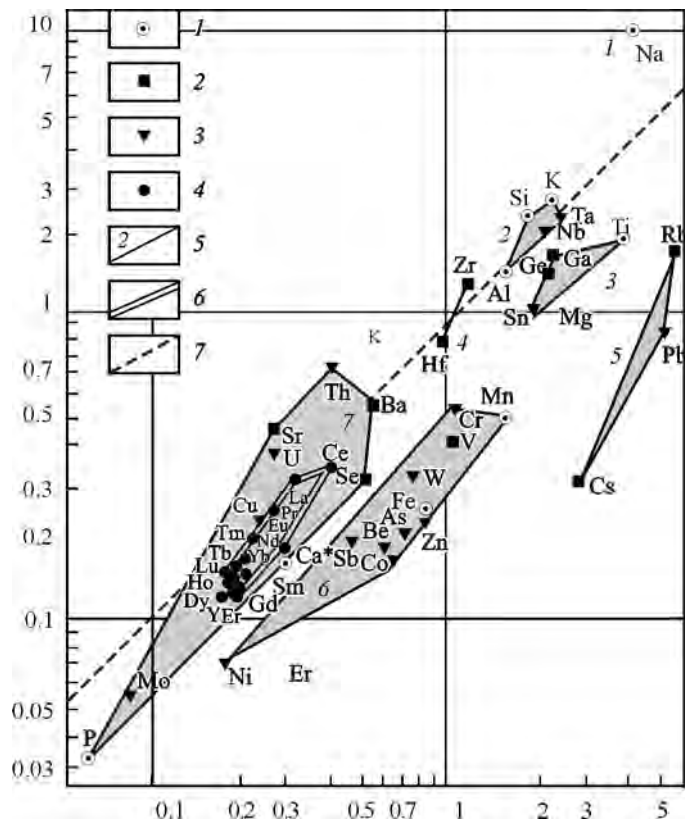


Рис. 2. Диаграмма относительного распределения химических элементов в породах андезит-риолитовой формации, делювиальных отложениях и катастрофных мхах на участке Северное Болото.

Показаны относительные концентрации петрогенных (1), редких (2), рудных (3) и редкоземельных (4) элементов в делювиальных отложениях (ось абсцисс) и породах андезит-риолитовой формации (ось ординат) по отношению к зольной фракции катастрофных мхов. Номерами и контурными линиями (5) выделены семь главнейших ассоциаций химических элементов, а также редкоземельная ассоциация (6). Пунктирной линией (7) обозначена биссектриса бинарной диаграммы.

Fig. 2. Diagrammatic representation of relative distribution of chemical elements in the andesite-rhyolite formation rocks, talus deposits and catastrophic mosses of the Northern Swamp area.

ным горизонтом. Обнаженность коренных пород на Кабаевом острове крайне низкая. По обрамлению Северного Болота наблюдаются низкогорные массивы, сложенные в основном породами трапповой формации. К востоку находится жерловина Куликовского палеовулкана, а к северу — мощностью 40 м дайка трахиандезитов.

Минералого-геохимические особенности коренных пород. На геологической карте 1 : 200 000 масштаба (Котков и др., 1977) в пределах участка Северное Болото показаны верхнепермские вулканогенно-осадочные образования, локализованные в пониженных частях рельефа, и нижнетриасовые траппы. Наши наблюдения свидетельствуют о том, что отнесенные к верхней перми породы образуют неправильной формы дайкообразное тело мощностью более 100 м, прослеженное в СВ-направлении почти на 2 км (пункты наблюдений — т. 1, 2, 3, 5, 14, 23, 24; рис. 1). Здесь резко преобладают лавы и туффизиты риолитового состава, которым подчинены породы риодацитового и андезитового составов. Спорадически встречаются элювиальные обломки окварцованных риолитов, альбитизированных андезидацитов и высокоглиноземистых дацитов. Коренные породы Северного Болота можно разделить на две вулканогенные формации: трапповую, представленную долеритами покровной фации и трахиандезитами дайкообразного тела, и андезит-риолитовую (табл. 1).

Трапповая формация. Долериты Кабаева острова (т. 12, 22, 27) представлены темно-зелеными слабо порфировыми разновидностями, содержащими до 20 % вкрапленников оливина и клинопироксена размером 1—3—мм, погруженных в мелкозернистую (0.1—0.6 мм) пироксен-плаггиоклазовую основную массу, с редкими кристаллами титаномагнетита и единичными — циркона. Долериты ха-

рактируются устойчивыми содержаниями петрогенных оксидов и выделяются высокими концентрациями Sc, V, Cr, Co и пониженными — Nb, Ta, Zr, Hf, Ba, Th, U, La, Ce. Трахиандезиты, слагающие дайку на севере участка (т. 39, 41), выделяются ярким темно-зеленым цветом, наличием 1—2 мм лейст плагиоклаза, обилием аксессуарных минералов и развитием участков актинолит-хлоритовых изменений. Отличаются они от долеритов (табл. 1) повышенными в 3 раза содержаниями K_2O и P_2O_5 и пониженными в 1.5—2 раза — Al_2O_3 , MgO и CaO . Менее контрастные различия устанавливаются по SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 и параметру ППП (потери при прокаливании, их высокие значения в трахиандезитах). Микроэлементный состав этих пород определяется (табл. 1) повышенными в 3 раза концентрациями всех редкоземельных элементов, в 2 раза — Y, Nb, Ta, Zr, Hf, U, Ba. Вместе с тем они обеднены V (в 40 раз), Cr (в 15 раз), Ni (в 7 раз) и в меньшей степени — Sc, Co, Sr. Принадлежность трахиандезитов к трапповой формации подчеркивается характерным спектром редких земель и постоянством величин La/No отношения — от 9.1 до 10.6 у долеритов и от 10.2 до 10.6 у трахиандезитов. У пород андезит-риолитовой формации этот параметр варьирует в пределах от 27.1 до 53.2.

Андезит-риолитовая формация представлена андезитами (т. 3; ппш-9010), риодацитами (т. 1; ппш-9006) и риолитами (т. 23; ппш-9048) с отчетливым преобладанием пород кислого состава. Слабо измененные разновидности пород характеризуются отсутствием вкрапленников и кристаллокластическим обликом кислых разновидностей. Минеральный состав их закономерно изменяется от пироксен-плагиоклаз-кварцевого до плагиоклаз-калищпат-кварцевого. Риолиты заметно обогащены Sr, Ba, Th. Породы андезит-риолитовой формации резко отличаются от трапповых образований повышенным содержанием кремнезема и пониженным в 2—3 раза — оксидов Ti, Fe, Mn, Ca, P (табл. 1) и соответственно (+/-) микроэлементов (+Sr, Ba, Th, U; -Y, REE, Sc, Ga, Ge, Co, Cu). Метасоматически измененные разновидности представлены окварцованными риолитами (т. 1; ппш-9005), альбитизированными андезидацитами (т. 3; ппш-9012) и высокоглиноземистыми дацитовыми флюиолитами (т. 1; ппш-9007) с характерными микрокристаллокластическими структурами и теньевыми текстурами псевдостратификации. Они резко отличаются от слабо измененных пород повышенными (+) и пониженными (-) содержаниями многих элементов: в окварцованных (+Si, -Ti, Al, Fe, P, Sc, V, Co, Cu, Zn, Rb, Eu, Tm), альбитизированных (+Al, Na, Ga, Sr, Nb; -Mn, P, Sc, Cr, Co, Ni, As, Mo, Sb, Cs, Ba, Sm, Eu, Dy, Ho, Ta, W), высокоглиноземистых (+Al, Be, Ga, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, REE, Hf, Ta, W, U; -Na, Cu, Sr) породах (табл. 3). Обращают на себя внимание высокоглиноземистые флюиолиты с очень низким содержанием K и Na и аномально высокими концентрациями элементов, характерных для глубинных зон Земли.

Ассоциации химических элементов. Корреляционный анализ (сов. 11—17; табл. 1) показал, что структуру связей элементов определяет известный фактор кремнекислотности (Марин и др., 1983), по которому петрогенные элементы группируются в ряд: Si, Al, Na, K—Mg—Ti, Fe, Mn, Ca—P. Выделенным группам элементов отвечают 4 ассоциации редкоземельных элементов: La, Ce, Pr, Nd — Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho — Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb — Ho, Er, Tm, Yb, Lu, каждая из которых имеет сильные положительные связи с соответствующей группой петрогенных элементов. Определяющими индикаторными элементами являются Si, Ce, с одной стороны, и Fe, Ho — с другой. Весьма информативно Se/No отношение. Между всеми редкоземельными элементами установлены положительные коэффициенты корреляции (от 0.45 до 1.00) со средним значением 0.80. Остальные химические элементы разделяются на 4 группы следующим образом: (Si, Ce) — Be, Rb, Zr, Sn, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Pb, Th, U; (Mg, Gd) — Zn, As; (Fe, Ho) — Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Mo; (P, Yb) — Y.

Минералогическая характеристика рыхлых отложений. Выделены три разновидности этих образований: 1 — докатастрофные глины (т. 13); 2 — докатастрофные элювиально-делювиальные отложения (т. 12, 27); 3 — катастрофный элюво-делювий (т. 2, 5, 9, 11, 14, 15, 21, 24, 25, 26, 27, 32, 39).

Глины докатастрофные. Встречены в одном месте — в 250 км к СВ-С от Суловской воронки, где рядом с родникового типа мочажинной в мерзлотных трещинах на глубине 50—70 см выступают вязкие жирные глины, аналогичные обнаруженным (Скублов и др., 2010) в отвалах Суловской воронки. В обрыве между мочажинной и мерзлотными трещинами с глубины 1.2 м взята проба глин, из которых были выделены песчаная и алевропелитовая фракции. Сравнительный анализ (табл. 1, сов. 21, 31, 41) показывает, что проба глины характеризует средние содержания химических элементов; песчаная фракция является аномальной пробой с формулой (+Si, Na, K, Sr, Ba; -Fe, Mg, Ca, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, REE); отсутствие в ней углеродисто-глинистых сферул, характерных для песчаной фракции глин Суловской воронки, и обилие голтованных округлых зерен кварца позволяют параллелизовать ее с пробами кварцитовидных пород участка Камень Джона (Скублов и др., 2010); алевропелитовая фракция обогащена Mo, Sn, Cs, W, Th, U и тяжелыми REE. Величины La/No отношения в этих пробах (от 24 до 31) близки к аналогичным параметрам пород андезит-липаритовой формации (от 31 до 50) и сильно отличаются от пород трапповой формации (от 9 до 11), свидетельствуя о ничтожной роли траппов как источника для образования докатастрофных глин.

Докатастрофный делювий. Представлен 2 пробами, взятыми среди ареала развития трапповых образований. По геохимическим особенностям слабо отличаются (табл. 1) от докатастрофных глин и катастрофного делювия, что может указывать на единый механизм их образования. Сравнение проб докатастрофного делювия (сов. 22, табл. 1), песчаной (сов. 23) и алевропелитовой (сов. 24) фракций

показывает их слабые различия; песчаная фракция характеризуется формулой (+Si, Ti; -Ca, Zn), а алевропелитовая — (+Si, Rb, Sb, Cs, W; -Ca, Mn). Повышенное содержание кремнезема и присутствие голтованного кварца позволяет предполагать участие глубинных источников при образовании докатастрофного делювия. Докатастрофный делювий по сравнению с катастрофным обогащен (табл. 1) Mg, Sc, Cu, что указывает на заметную роль траппов при его образовании.

Катастрофный делювий. Специализацию катастрофного делювия определяют редкоземельные элементы. Если между докатастрофным (сов. 22) и катастрофным (сов. 23) делювием по REE не обнаружены значимые различия (табл. 2), то между соответствующими пробами песчаной и алевропелитовой фракций они весьма существенны. В песчаной фракции от докатастрофного к катастрофному делювию закономерно уменьшаются содержания 7 элементов (Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm), а в алевропелитовой фракции — всех 14 REE (табл. 1); при этом концентрации некоторых уменьшаются в 1.5 раза. Это позволяет сделать вывод, что в катастрофном делювии REE концентрируются в глинистой и углеродистой фракциях суглинков. Геохимическая характеристика делювия (сов. 22 + 23, см. табл. 1), песчаной (сов. 32 + 33) и алевропелитовой (сов. 42 + 43) фракций может быть представлена формулами: (+P, As, Gd; -Ta, Th); (+Si, Ti, Na, Sr; -Ca, Cs); (+Rb, Cs, W; -Ti, Mn, Na, Ni, Pb).

Ассоциации химических элементов. Ведущую роль в образовании связей между элементами играет антагонизм — Si, K, Sr, Ba, Ta и Mg, Fe, Ti, V, Cr, Ni. Это влияние фактора кремнекислотности, разделяющего делювиальные обломки пород андезит-риолитовой и трапповой формаций. Между REE устанавливаются положительные связи — коэффициенты корреляции варьируют в пределах от 0.06 до 0.97, составляя в среднем 0.60. Они отчетливо разделяются на две группы — La, Ce, Pr, Nd и остальные REE. Легкие REE коррелируют с фельсифилами, а тяжелые — с фемафилами. Результаты факторного анализа подтверждают это — первый фактор весом 39 % разделяет на диаграмме значительных факторов делювиальных проб по траппам (т. 11, 12, 21, 25, 27, 32) и породам андезит-риолитовой (т. 5, 14, 24) формации.

Минерало-геохимические особенности катастрофных мхов. Катастрофный горизонт, залегающий на глубине 0.2—0.5 м, легко диагностируется по резкой смене современного светло-серого, почти белого мха на бурый, темно-бурый, иногда черный мох. Мощность его составляет 3—10 см. Как правило, бурые мхи тяготеют к южной, темно-бурые — к центральной, а черные — к северной части Северного Болота. При предварительном изучении обращено внимание на высокий уровень содержания в зольной фракции катастрофных мхов REE, а при построении моноэлементных геохимических карт — на зональное распределение всех REE. 11 проб с содержанием суммы REE от 405 до 888 г/т оказались локализованными в виде полукольца по периферии криповулканической жерловины (рис. 1), а остальные 10 проб, приуроченные к центральной зоне криповулкана, имеют низкий уровень накопления — от 119 до 332 г/т. По результатам факторного анализа эти две группы проб удалось разделить на 5 однородных геохимических совокупностей (табл. 2) и произвести их сравнение.

Геохимические типы катастрофных мхов. Мхи с максимальной концентрацией REE в золе (сов. 51, табл. 1) расположены на севере участка (т. 35, 36, 37, 38, 40); в пробах отмечены максимальные содержания всех REE, Fe, Be, Sc, Ge, As, Sr, Y, Zr и минимальные — Si, K, Na, Zn, Rb, Pb. При этом они могут быть обогащены как легкими (т. 36, пр. 9063), так и тяжелыми (т. 40, пр. 8070) REE. Мхи с высокими содержаниями REE (сов. 52, табл. 1) расположены в периферической полукольцевой зоне (т. 4, 17, 29, 30, 31, 34) и включают в себя пробы с максимальными для зола концентрациями V, Zn, Mo, U и минимальными — Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Be, Co, Cu, Ga, Zr, Nb, Sn, Sb, Cs, Hf, Ta, W, Pb. Наиболее низким уровнем накопления большинства перечисленных элементов характеризуются пробы 9056 (т. 29) и 9058 (т. 31). Сравнение этих двух геохимических типов мхов с помощью критерия Стьюдента (табл. 2) показывает, что в сов. 51 обнаруживаются более высокие концентрации As, Gd, Tb, Dy, Er, Lu (5%-ный уровень значимости) и Y, Ho, Tm, Yb (1%-ный уровень). По содержаниям мышьяка все пробы разделяются на обогащенные As (от 16 до 35 г/т; т. 30, 36, 37, 38, 40) и обедненные (от 3 до 7 г/т; т. 4, 17, 29, 31, 34, 35).

Среди катастрофных мхов с пониженным содержанием REE выделены (табл. 1) три геохимических типа — с повышенными концентрациями SiO₂ (сов. 53; т. 6; пр. 9029), K₂O (сов. 54; т. 7, 8, 16, 18, 19) и CaO (сов. 55; т. 10, 20, 28, 33). В первом из них зафиксированы максимальные содержания SiO₂ и минимальные — Ca, Ni, Sr, Ba; эта проба расположена между Суловской воронкой и пр. 9036 докатастрофных глин, песчаная фракция которых обогащена кварцем. Геохимический тип мхов с повышенным K₂O содержит пробы с максимальными концентрациями Ti, Mn, Na, K, Ga, Rb, Nb, Sn, Sb, Cs, Ta, Pb и минимальными — P, V, Cr, Ge, As, Mo, Th; наиболее высокие содержания элементов отмечены в 2 пробах — 9039 (т. 16; +Ti) и 9042 (т. 19; +Mn, Na, K). Характерные особенности катастрофных мхов пр. 9042 — черный цвет, повышенная магнитность, отсутствие послекатастрофного живого мха, наличие 1—3 мм голубой корочки; они развиты на площадке с поперечником более 20 м. В третьем геохимическом типе содержатся пробы с максимальными величинами Al, Ca, Be, Cr, Co, Ni, Cu, W и с минимальными Y, La—Lu, U; наиболее представительны пробы 9043 (т. 20; +Al) и 9055 (т. 28; +Ca). Статистически значимые различия между K и Ca типами (табл. 2) фиксируются формулой для K-типа (+Si, K, Ta; -Ca, Cr, Ni, Cu, Sr, W). В пределах ареала пониженных содержаний REE в катастрофных мхах (сов. 53—55) обнаружены 3 точки (т. 18, 19, 28) с высокими концентрациями

мышьяка (10—22 г/т). Наибольшие различия выявлены при сравнении сов. 51 + 52 и сов. 53 + 54 + 55 (табл. 1, 2). Первые обогащены Y и всеми REE (в 3—4 раза), в то время как концентрации Be, Sc, V, Ge, Hf, Th увеличены в 1.5—2 раза. Противоположные тенденции обнаруживают Ti, Na, K, P, Rb, Nb, Sn, Cs, Ta, W, присутствующие в повышенных количествах во мхах с низким уровнем REE.

Ассоциации химических элементов. Устанавливаются очень сильные корреляции между REE (от 0.83 до 1.00), что обуславливает суммарное накопление всех REE в конкретных пробах. К ним примыкают Be, Sc, Ge, Y, Zr, Hf, Th, U, имеющие сильные коэффициенты корреляции с REE. Следующая группа (Fe, Mn, Mg, V, As, Sb) фиксирует слабые связи с REE. Незначимые близкие к нулю связи обнаруживает другая группа коррелированных между собой элементов (Ca, Cr, Co, Ni, Cu, Ga). Особняком стоят два петрогенных элемента, не связанные с другими (Al) или имеющие отрицательные связи (Si) с большинством элементов. Значимые отрицательные коэффициенты корреляции с REE наблюдаются у Ti, Na, K, P, Zn, Rb, Nb, Sn, Cs, Ba, Ta, W, Pb. Таким образом, намечается последовательный ряд петрогенных элементов по степени убывания корреляций с редкими землями: REE—Fe, Mn, Mg—Ca—Al—Si—Ti, Na, K, P.

Микрозондовое исследование катастрофных мхов. Проведено изучение фракций обломочного материала более 1 мм (результаты ниже) и менее детально — фракций менее 0.4 мм (частично использованы при обсуждении). Выводы носят предварительный характер. Катастрофные мхи на Северном Болоте имеют среднюю мощность не более 10 см, занимают площадь 2 кв. км. Из них 85 % приходится на мхи, 1 % — на сучки кустарников, 1 % — на обгоревшую древесину и редко встречающиеся остатки семян и панцири насекомых. Повсеместно отмечаются 20—300-микронные частицы сажистого материала (5 %). Алюмосиликатный материал составляет не более 5 % от объема мха, размер обломков 30—500 микрон, а минералы скальных пород присутствуют в подчиненном количестве. Экзотические образования (2 %) представлены «голубыми мхами», редко встречающимися обломками вспененного углерода, единичными углеродистыми сферами и наиболее редкими нитевидными углеродистыми образованиями.

Изучено 6 морфологических типов обломков (рис. 3). Сажистые обособления выделяются черным цветом, иногда пузырчатой структурой и повышенными по отношению к слабо измененному растительному веществу содержаниями Fe и S (табл. 3). Даже на слабо измененных сучках фиксируются следы лучистого ожога (рис. 3,2), которые трассируются микронными зернами муассанитоподобного материала, обособляющего по радиальному и концентрическому растительным структурам (рис. 3,3). Крупные остатки обгоревшей древесины полностью сохраняют текстурный рисунок дерева (рис. 3,4) и также изобилуют зернами муассанитоподобных фаз. Впервые нами выделены так называемые «голубые мхи» (рис. 3,15), представляющие собой псевдоморфозы существовавшего железистых элементоорганических соединений (ЭОС) по омертвевшему мху; наружная 3—5 мм корочка этих образований выделяется ярким голубым цветом. Здесь же отмечены концентрической формы обломки вспененного углерода с реликтовой текстурой мха (рис. 3,5 и 3,6), местами переполненные ступковыми выделениями ЭОС с очень высокими концентрациями K (до 2.7), Na (до 8.2) и Cl (до 9.7 %). Уникальной находкой можно считать обломок зонального пеноуглерода, пересыщенного неправильно-изометричными полостями и многочисленными зернами муассанитоподобных фаз. В периферической части обломка отмечаются ячеисто-флюидальная текстура и высокие концентрации P (2.9), Mn (до 6.2) и Fe (до 23.8 %). Углеродистые сферы, составляющие не более 80 штук на 1 кг мха, подразделяются на массивные, полые и брекчиевидные разновидности размером 300—1500 микрон. Нередко центральные части сферул обогащены хлором (до 7.9 %); повсеместно развиты обломки муассанитоподобных фаз и точечные микронные аномальные зерна ЭОС с Ca (до 10.5), Ti (до 38), Fe (10 %). Встречаются единичные полые сферы и их обломки, переполненные микронными муассанитоподобными фаз; отмечены 2 необычных зерна — силицида железа и ЭОС с концентрацией Zn до 39 %. Впервые в этом районе обнаружены высокоуглеродистые нитевидные образования, отдаленно напоминающие киришиты (Скублов и др., 2007; Марин и др., 2010).

Попытка классифицировать данные микрозондовых исследований по генетическому принципу (табл. 3) привела к выводу, что 15 выделенных типов можно разделить на 4 группы: а) растительные остатки, в различной степени измененные под действием лучистого ожога (сов. 1—5); суммарное содержание неорганических элементов составляет 1—6 %, в среднем около 3 %; аномалии ЭОС практически отсутствуют, а муассанитоподобные фазы редки; б) ЭОС, объединяющие типы 6—13 и выделяющиеся крайней пестротой состава, высоким уровнем накопления неорганических элементов (в среднем 20 %); здесь выделяются «голубые мхи» и сопутствующие им K, Na, Cl — специализированные ЭОС, подтвержденные коэффициентами корреляции от 0.63 до 0.85; особняком стоит пеноуглерод с высокими концентрациями P, Mn, Fe; для ЭОС характерны многочисленные точечные микроаномалии; в) муассанит и муассанитоподобные фазы (типы 12, 13) присутствуют повсеместно, иногда переполняя зерна пеноуглерода и сферы; формирование их связывается с действием лучистого ожога и различных кавитационных процессов; г) объединены силициды Fe и аномалии Cu и Zn.

Исследования 24 зерен муассанитоподобных фаз (изучено 87 спектров) показали, что фаза SiC встречается в большинстве случаев, реже отмечаются фазы SiC₂ и Si₂C; остальные фазы присутству-

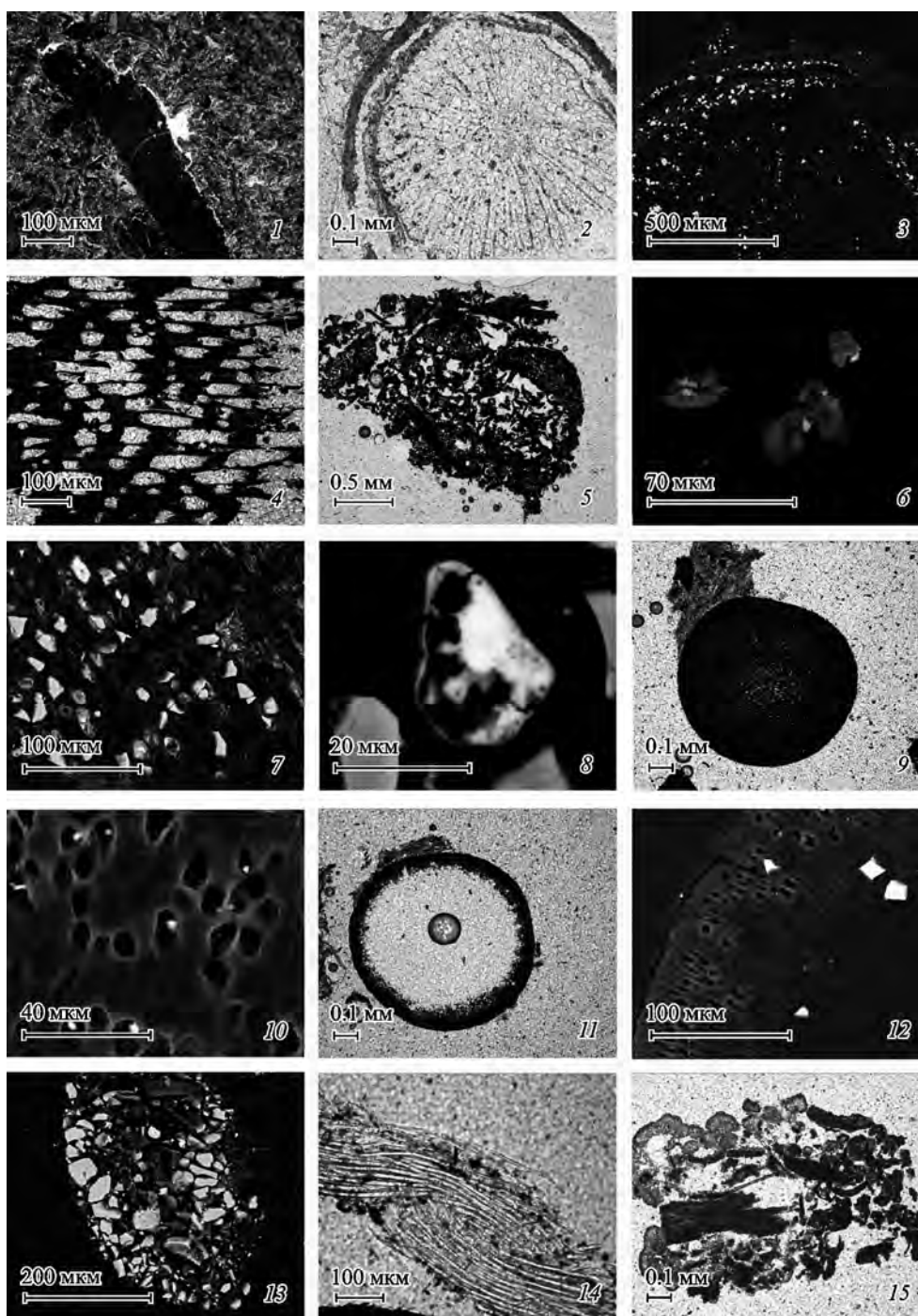


Рис. 3. Фотографии обломков из катастрофного мха участка Северное Болото.

Фотографии выполнены на оптическом микроскопе в проходящем свете (фото 1, 2, 4, 5, 9, 11, 14, 15) и на электронном микроскопе (остальные фото) в обратноотраженных электронах. Морфологические типы обломков: 1 (фото 1, зерно 20103, пункт № 36 на рис. 1, А) — слабо измененный мох с обломками сажистого материала; 2 (фото 2, 3, 4) — сучок со следами лучистого ожога (зерно 20610, п. 20) и обломок древесины (зерно 20101, п. 36), обгоревшей в результате лучистого ожога; 3 (фото 5—8) — вспененный углерод, с реликтовой текстурой мха (фото 5, 6, зерно 20616,

ют в подчиненном количестве. В одном из зерен размером 15×30 микрон через каждые 3 микрона был сделан профиль из 7 точек и установлена зональность (табл. 4), где от кислородсодержащей фазы ЭОС (спектр 1) к высокоуглеродистой муассанитоподобной фазе (спектр 7) наблюдается закономерная смена максимумов содержаний элементов по схеме (O—Cl—Ca—Fe—SiC—SiC₂).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

О геохимических ассоциациях. Ассоциации химических элементов (АХЭ) магматитов определяются фактором кремнекислотности с закономерной сменой Si, Al, Na, K на Mg, Fe, Ca и далее на P и постепенными переходами от легких REE к промежуточным и тяжелым; корреляции между редкими элементами сильные. В делювиальных отложениях влияние фактора кремнекислотности ослабевает, что связано с перемешиванием обломочного материала магматитов с глинистыми частицами; при этом REE разделяются только на группы — легкие и все остальные элементы. АХЭ катастрофных мхов резко отличаются от ассоциаций коренных пород и рыхлых отложений — для мхов характерны очень сильные связи между всеми REE и преимущественное накопление их в периферической полукольцевой зоне, одновременно с Fe, Mn, Mg. Два главных элемента магматитов (Si, Al) не участвуют в формировании АХЭ. На участках с пониженным содержанием REE наблюдается менее контрастное разделение элементов на две подгруппы: Ca, Cr, Co, Ni, Cu и Na, K, P, Ti, Zn, Sn, W, Pb, Nb, Ta, Ba, Rb, Cs. В связи с резким изменением структуры связей между элементами от магматитов к катастрофным мхам проведен анализ уровней их концентраций в главных типах образований. В качестве реперного объекта использованы данные по зольной фракции катастрофных мхов. Анализ диаграммы (рис. 2) позволил выделить семь АХЭ.

1 — натрий; это единственный элемент, которым породы андезит-риолитовой формации в 4—10 раз обогащены по отношению к делювию и катастрофным мхам;

2 — Si, Al, K, Nb, Ta; эта ассоциация примерно в равных пропорциях накапливается в среднекислых вулканитах и делювии (в 2 раза обогащены по сравнению с катастрофными мхами);

3 — Mg, Ti, Sn, Ge, Ga; на фоне статистически значимого накопления элементов в делювии наблюдается заметное преобладание их в вулканитах по сравнению с катастрофными мхами;

4 — Zr и Hf; близость содержаний этих элементов во всех типах изучаемых образований один из аргументов земного, а не космического происхождения вещества зольной фракции катастрофного мха;

5 — Rb, Pb, Cs — индикаторные элементы делювиальных отложений, в основном концентрируются в глинистой фракции; при этом Rb чаще ассоциирует с вулканитами, а Cs — только с глинистой фракцией делювия, в связи с чем Rb/Cs может оказаться чутким индикатором процессов грязевого вулканизма;

6 — Ni, Co, Sb, Be, As, Zn, Fe, W, V, Cr, Mn; эта ассоциация представлена элементами, не характерными для пород андезит-риолитовой формации и присутствующими примерно в равных количествах во мхах и делювии (Fe, Mn, Cr, V, Zn, W) или заметно преобладающими в катастрофных мхах (Ni, Co, Sb, Be, As);

7 — наиболее многочисленная группа петрогенных (Ca), редких (Y, Sc, Sr, Ba), всех редкоземельных (La—Lu) и некоторых рудных (Mo, Cu, U, Th) элементов; они являются аномально-индикаторными для катастрофных мхов и присутствуют в близких количествах в вулканитах и делювии; предполагается глубинный источник перечисленных элементов и возможная связь их с карбонатитовыми процессами; все элементы упорядочены вдоль биссектрисы диаграммы и могут быть разделены на две большие группы: а — легкие REE и тесно связанные с ними Sc, Sr, Ba, U, Th; б — тяжелые REE и Y, Mo, P.

О зональном распределении редкоземельных элементов в катастрофных мхах. Установленная нами зона повышенных концентраций всех REE картируется в виде полукольцевой структуры с поперечником около 1500 м (рис. 1, Б). Намечается северо-восточная ориентировка этой структуры. В этом же направлении прослеживается (т. 18, 19, 28, 30, 36, 37, 38, 40) зона повышенных содержаний As (10—35 г/т). В качестве одного из возможных вариантов интерпретации этого можно рассматривать зону как глубинный разлом или путь миграции предшествующей Тунгусскому взрыву 1908 г. газовой субстанции, резко обогащенной P, Ca, As, REE, Y, Sc, Sr, Ba и некоторыми рудными элементами. Можно предполагать, что ось этой газовыводящей структуры под углом 30—45° погружается

п. 19) и с псевдокластогенной структурой (фото 7, 8, зерно 20109, п. 40); 4 (фото 9—13) — углеродистые сферулы: массивная (фото 9, 10, зерно 20901, пункт 16), полая (фото 11, 12, зерно 20903, пункт 16) и брекчиевидная (фото 13, зерно 20918, п. 6), с обильными включениями муассанитоподобных фаз; 5 (фото 14, зерно 20905, п. 16) — нитевидные углеродистые образования; 6 (фото 15, зерно 20613, п. 19) — «голубой мох», сильно измененный.

Fig. 3. Photographs of fragments from catastrophic moss of the Northern Swamp area: with optical microscope in transparent light and the back-scattered electron images.

Таблица 3

**Результаты микрозондового анализа главнейших типов обломочных частиц
из катастрофных мхов участка Северное Болото**
**Results of microprobe analyses of principal types of clastic particles
from catastrophic mosses of the Northern Swamp area**

| Зерно | МТ | ГТ | C | O | Na | Mg | Al | Si | Cl | K | Ca | Fe |
|-------|----|----|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|
| 20103 | 1 | 1 | 61.96 | 34.18 | 0.53 | | 0.57 | 1.16 | | | 1.22 | 0.38 |
| 20103 | 1 | 6 | 50.90 | 40.91 | | | 1.14 | | | | 4.06 | 2.23 |
| 20103 | 1 | 13 | 51.55 | | | | | 48.45 | | | | |
| 20610 | 2 | 2 | 70.06 | 27.71 | | | | 2.00 | 0.23 | | | |
| 20610 | 2 | 3 | 51.90 | 43.24 | | | 0.79 | | | | 3.19 | 0.88 |
| 20610 | 2 | 14 | | | | | | 55.77 | | | | 43.87 |
| 20101 | 2 | 4 | 78.25 | 19.20 | | | | | 2.54 | | | |
| 20101 | 2 | 5 | 62.11 | 34.13 | 0.60 | | 0.55 | | | | 1.80 | 0.32 |
| 20101 | 2 | 12 | 29.30 | | | | | 70.70 | | | | |
| 20101 | 2 | 13 | 89.58 | | | | | 10.42 | | | | |
| 20616 | 3 | 8 | 44.93 | 25.34 | 8.19 | | 1.75 | | 9.68 | 9.10 | 1.01 | |
| 20616 | 3 | 8 | 41.82 | 18.67 | 2.08 | 3.83 | 1.21 | 14.63 | 1.28 | 0.57 | 7.21 | 8.70 |
| 20109 | 3 | 9 | 14.55 | 48.33 | | | 2.93 | 0.27 | | | 1.03 | 23.80 |
| 20109 | 3 | 9 | 44.84 | 33.09 | | | 0.80 | 0.26 | | | 0.79 | 16.53 |
| 20109 | 3 | 9 | 51.03 | 35.10 | 0.55 | | 1.19 | 3.04 | | | 2.87 | 5.22 |
| 20109 | 3 | 13 | 32.44 | | | | | 67.56 | | | | |
| 20109 | 3 | 13 | 66.93 | | | | | 33.07 | | | | |
| 20109 | 3 | 15 | | 17.93 | | | | 14.73 | | | 0.94 | 1.84 |
| 20901 | 4 | 10 | 51.71 | 44.62 | | | 0.80 | | | | 2.87 | |
| 20901 | 4 | 11 | 52.58 | 27.62 | | | | 2.86 | | | 6.93 | 10.01 |
| 20901 | 4 | 11 | 38.36 | 38.30 | 5.05 | 1.57 | | 14.79 | | | 1.93 | |
| 20903 | 4 | 10 | 92.11 | | | | | | 7.89 | | | |
| 20903 | 4 | 11 | 39.83 | 20.67 | | | | 0.82 | 0.29 | | 0.59 | |
| 20903 | 4 | 11 | 69.34 | 13.99 | | | | | 0.61 | | | 0.62 |
| 20903 | 4 | 12 | 21.89 | | | | | 78.11 | | | | |
| 20903 | 4 | 13 | 36.88 | | | | | 63.12 | | | | |
| 20918 | 4 | 10 | 57.34 | 35.80 | | | | 2.55 | 0.28 | | 2.87 | |
| 20918 | 4 | 11 | 14.63 | 19.89 | | | | | | | 65.48 | |
| 20918 | 4 | 12 | 24.96 | | | | | 75.04 | | | | |
| 20918 | 4 | 14 | | | | | | 28.28 | | | | 71.72 |
| 20918 | 4 | 15 | 19.28 | 19.83 | | 1.28 | 2.38 | 13.49 | 2.67 | 0.25 | 1.62 | |
| 20905 | 5 | 11 | 34.14 | 50.11 | | | 1.36 | | | 0.63 | 11.78 | 1.97 |
| 20905 | 5 | 13 | 55.05 | | | | | 44.95 | | | | |
| 20612 | 6 | 7 | 55.52 | 41.84 | | | 0.64 | 1.06 | 0.19 | | 0.36 | 0.39 |
| 20612 | 6 | 7 | 48.83 | 19.47 | | | | | | | | 31.70 |
| 20612 | 6 | 13 | 34.89 | | | | | 65.11 | | | | |

Примечание. В таблице приведены номера зерен (первые три цифры — номер шайбы, следующие две — номер зерна). Морфологические типы (МТ) зерен отвечают указанным на рис. 3. Генетические типы (ГТ) представлены следующими разновидностями: 1 — катастрофный мох; 2 — сердцевина сучка; 3 — кора сучка; 4, 5 — ячеистая (4) и перегородчатая (5) части древесины, подвергшейся лучистому ожогу; 6 — обломки сажистых образований в катастрофном мхе; 7 — «голубой мох»; 8, 9 — элементорганические соединения с отчетливо выраженной специализацией на K-Na-Cl (8) и P-Fe-Mn (9); 10 — элементорганические соединения объемного типа; 11 — точечные микронные аномалии элементорганических соединений; 12, 13 — зерна муассанитоподобных фаз с содержаниями кремния более (12) и менее (13) семидесяти процентов; 14 — силицид железа; 15 — зерна с аномальными содержаниями Cu и Zn. Содержания элементов приведены в мас. %. Дополнительно в пробах обнаружены: пр. 2 — S = 0.76 %; пр. 6 — Ni = 0.26; пр. 8 — S = 0.49; пр. 13 — P = 2.89; Mn = 6.19; пр. 14 — P = 1.64; Mn = 2.05; пр. 15 — P = 0.8; Mn = 0.19; пр. 18 — Cu = 64.56; пр. 23 — Ti = 37.8; пр. 24 — Ti = 5.45; пр. 27 — Ti = 1.16; пр. 31 — Zn = 39.19 %.

Результаты микрозондового анализа муассанитоподобной фазы

Results of microprobe analysis of the moissanite-like phase

| № | Спектр | C | O | Si | Cl | Ca | Fe | C-at | C-at% | O-at% | Si-at% | Cl-at% | Ca-at% | Fe-at% |
|---|-----------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 201-5-1-1 | 63.76 | 14.25 | 21.74 | 0.13 | 0.12 | 0 | 5.308 | 76.051 | 12.764 | 11.089 | 0.053 | 0.043 | 0 |
| 2 | 201-5-1-2 | 56.71 | 6.35 | 36.31 | 0.11 | 0.21 | 0.30 | 4.722 | 73.486 | 6.169 | 20.121 | 0.048 | 0.082 | 0.084 |
| 3 | 201-5-1-3 | 46.98 | 0 | 52.44 | 0 | 0.25 | 0.32 | 3.911 | 67.549 | 0 | 32.245 | 0 | 0.108 | 0.099 |
| 4 | 201-5-1-4 | 29.93 | 0 | 70.07 | 0 | 0 | 0 | 2.492 | 49.970 | 0 | 50.030 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 201-5-1-5 | 30.78 | 0 | 69.22 | 0 | 0 | 0 | 2.563 | 50.975 | 0 | 49.025 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 201-5-1-6 | 40.66 | 0 | 59.34 | 0 | 0 | 0 | 3.385 | 61.572 | 0 | 38.428 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 201-5-1-7 | 51.62 | 0 | 48.38 | 0 | 0 | 0 | 4.298 | 71.387 | 0 | 28.613 | 0 | 0 | 0 |

Примечание. В левой части таблицы приведены содержания элементов в весовых процентах, а в правой — в атомных процентах. Суммы содержаний элементов приведены к 100 %.

от Кабаева острова в ЮЗ-Ю направлении. Если это предположение верно, можно ожидать очень высоких концентраций As в северо-западной части криптовулканической кальдеры и тем самым обосновать угнетенный характер растительности на этой территории. В юго-восточной части кальдеры предполагается широкое распространение муассанита и муассанитоподобных фаз (Скублов и др., 2010).

О возможном газовом составе плюма, связанного с Тунгусской катастрофой 1908 г. В последние годы многие геологи рассматривают водородную и углеводородную дегазацию Земли как один из важнейших факторов ее эндогенной активности, как причину многочисленных катастроф в истории Земли и как первоисточник таких необычных образований, как природные шлаки, волховиты и киришиты (Маракушев, 1999; Ларин 2005; Скублов и др., 2007—2010). По данным В. Н. Ларина, более 15 % территории европейской части России занимают воронки водородной дегазации четвертичного возраста. Многие исследователи пользуются термином «протонно-водородная дегазация», акцентируя внимание на исключительно важной роли еще слабо изученной протонной субстанции, поступающей на поверхность Земли из ядра и мантии (см.: Царев, 2007).

Геохимией водорода в районе Тунгусской катастрофы практически никто не занимался. Нам известна только работа В. А. Алексеева и соавторов (Alexseev et al., 2009), указывающая на существование в районе Суловской воронки и некоторых других участках интенсивных современных водородных аномалий. В одном из наших совместных с Н. Г. Алексеевой маршрутов на гору Стойкович также были обнаружены две водородные аномалии. К сожалению, современная аппаратура не позволяет различать водородные, нейтронно-протонные и протонные аномалии. Газовый плюм, возможно, имел протонно-нейтронно-водородный состав и сформировался на границе ядра Земли и мантии. Дальнейшая эволюция плюма шла по пути частичного его преобразования в гидриды и оксиды по мере перехода от восстановительных условий к окислительным — от нижних частей мантии к верхним. В условиях верхней мантии плюм насыщался элементоорганическими соединениями различных тяжелых металлов и на глубинах 100—150 км заимствовал P, REE, Ca из сохранившихся очагов карбонатитовых расплавов. В условиях литосферы происходило незначительное извлечение литофильных элементов. Выход плюма на дневную поверхность происходил в течение достаточно длительного времени. Необходимо подчеркнуть, что взрыв происходил в резко восстановительных условиях, при очень высоких локальных температурах и сверхвысоких давлениях. Обращает на себя внимание резко дискордантное положение веера «тунгусской бабочки взрыва» по отношению к полукольцевой зоне редкоземельных элементов на участке Северное Болото, что свидетельствует о одновременном образовании этих структур.

О модели Тунгусского феномена. Приведенные данные по участку Северное Болото не противоречат предложенной криптовулканической модели Тунгусского феномена (Скублов и др., 2010), а существенно дополняют ее. Еще раз обратим внимание на ярко выраженную геохимическую специализацию зольной фракции катастрофных мхов на P, Ca, REE, Fe, Mn, As и другие элементы, на возможную роль карбонатитовых расплавов при формировании плюма, на полукольцевую геохимическую зональность в распределении REE, на аномальные линейные зоны As, являющегося индикатором участков дегазации Земли.

Наиболее сложной представляется проблема Тунгусского события 1908 г. Можно предполагать, что Тунгусское космическое тело (ТКТ) не являлось объектом дальнего космоса (метеорит—астероид—комета). Важно дальнейшее микрозондовое исследование микрочастиц, связанных с взрывом. Уникальные результаты, полученные итальянскими учеными (Longo et al., 1994) при изучении 7163 частиц из смолы хвойных деревьев Тунгусского района, хорошо согласуются с нашими

предварительными данными по микрочастицам из катастрофных мхов Северного Болота — спектры легких элементов полностью совпадают, а в пробах смолы и катастрофного мха обнаружены тяжелые элементы Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn (отсутствие Cr, Ba, Au в нашем списке объясняется меньшей представительностью нашей выборки — соответственно 154 и 5854 анализа).

Таким образом, результаты исследований подтверждают необходимость дальнейшего изучения Тунгусской проблемы и предостерегают от поспешных выводов о несостоятельности ранее предложенных гипотез. Целесообразно решение Тунгусской проблемы в рамках сравнительного геолого-геофизико-геохимического изучения трех объектов: 1 — Патомского кратера, который может оказаться эталонным полигоном, характеризующим начальную стадию развития Тунгусского криптовулкана; 2 — Хушминского мезокайнозойского карбонатитового массива, являющегося связующим звеном между триасовым Куликовским трапповым вулканом и Тунгусским верхнеплейстоцен-голоценовым криповулканом; 3 — Киришской голоценовой структуры с уникальными новообразованиями — волховитами и киришитами. В рамках такого подхода неизбежно встанет проблема Австрало-Азиатского тектитового пояса, впервые выделенного Э. П. Изохом (1997). Предполагается (Скублов и др., 2007), что этот пояс протягивается на северо-запад от кратера Жаманшин до Финляндии, в связи с чем был назван Австрало-Скандинавским. Судя по опубликованным данным (Firestone et al., 2006, 2007), пояс прослеживается от озера Саймаа в Финляндии до Баффинового залива и далее через Североамериканский континент до границы с Мексикой (Маррей-Спринг, Аризона).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулируем основные результаты проведенных исследований.

1. Впервые для одного из участков (Северное Болото) района Тунгусской катастрофы 1908 г. проведено минералого-геохимическое изучение коренных пород, рыхлых отложений и катастрофных мхов. По характеру распределения химических элементов в этих образованиях выделено 7 ассоциаций; индикаторное значение имеют: Na — с максимальными концентрациями в породах впервые выделяемой в районе андезит-риолитовой формации; Zr и Hf — с близким уровнем накопления в вулканитах, делювии и зольной фракции катастрофных мхов, что свидетельствует о едином, земном источнике вещества; Rb, Pb, Cs — накапливаются в глинистой фракции делювия; группа петрогенных (Ca), редких (Y, Sc, Sr, Ba), редкоземельных (La-Lu) и рудных (Cu, Mo, U, Th) элементов с максимальными содержаниями в зольной фракции катастрофных мхов, предполагается глубинный источник этих элементов и возможная связь их с карбонатитовыми процессами.

2. Установлено зональное в плане распределение REE в зольной фракции катастрофных мхов; периферическая полукольцевая зона предполагаемой жерловины криповулкана характеризуется повышенным содержанием REE, а центральная — пониженным; по аномальным концентрациям As выделена линейная газывыводящая структура северо-восточного простирания.

3. Микронзондовое исследование материала катастрофных мхов (растительные остатки, ожелезненные мхи, углеродистые сферулы, нитевидные углеродистые образования и др.) позволило установить широкое развитие элементоорганических соединений, нередко с ярко выраженной геохимической специализацией (ассоциации K, Na, Cl и P, Mn, Fe); с лучистым ожогом связано образование многочисленных зерен муассанита и разнообразных муассанитоподобных фаз; выявлены многочисленные микронного размера аномалии легких и тяжелых (Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn) элементов, что коррелирует с данными Г. Лонго по микрочастицам в смоле катастрофных деревьев.

4. Высказано предположение о возможном газовом составе плюма, инициировавшего Тунгусскую катастрофу 1908 г. и поступавшего на поверхность Земли из нижней мантии. Предлагаются новые подходы к решению Тунгусской проблемы и акцентируется внимание на исключительно важной роли геологических данных при изучении Тунгусского феномена.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам Государственного природного заповедника «Тунгусский» за помощь в организации и проведении полевых работ, Г. А. Олейниковой — за консультации при выполнении аналитических исследований, А. В. Антонову — за проведение микронзондовых исследований в ЦИИ ВСЕГЕИ, Д. Г. Скублову — за большой вклад в решение компьютерных задач.

Список литературы

- Белонин М. Д., Голубева В. А., Скублов Г. Т. Факторный анализ в геологии. М.: Недра, 1982. 269 с.
- Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. СПб., 2003. 688 с.
- Изох Э. П. Австрало-азиатские тектиты и глобальная катастрофа около 10 000 лет тому назад, вызванная столкновением Земли с кометой // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 3. С. 638—660.
- Котков В. Н., Завацкая Р. М., Глушков В. М. и др. Государственная геологическая карта СССР, масштаб 1 : 200 000, Тунгусская серия, Р-47-XXX, Всероссийская геологическая библиотека, 1977.

- Ларин В. Н.* Наша Земля (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли). М.: Агар, **2005**. 248 с.
- Маракушев А. А.* Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М.: Наука, **1999**. 255 с.
- Марин Ю. Б., Скублов Г. Т., Ванштейн Б. Г.* Петрохимическая эволюция фанерозойских гранитоидных формаций. Л.: Недра, **1983**. 151 с.
- Марин Ю. Б., Скублов Г. Т., Юшкин Н. П.* Киришиты — новый тип природных высокоуглеродистых образований. Докл. РАН. **2010**. Т. 430. № 1. С. 99—101.
- Международная конференция «100 лет Тунгусскому феномену: прошлое, настоящее, будущее».* М., **2008**. 238 с.
- Петрографический кодекс России.* СПб.: ВСЕГЕИ, **2009**. 199 с.
- Скублов Г. Т., Марин Ю. Б., Семиколенных В. М., Скублов С. Г., Тарасенко Ю. Н.* Волховиты — новый тип тектитоподобных стекол // ЗРМО. **2007**. № 1. С. 50—68.
- Скублов Г. Т., Марин Ю. Б., Скублов С. Г., Тарасенко Ю. Н.* О геохимических типах волховитов и возможной алмазности ареалов распространения голоценовых флюидизитов // ЗРМО. **2007**. № 5. С. 22—44.
- Скублов Г. Т., Марин Ю. Б., Скублов С. Г., Васильев Е. В., Гембицкая И. М., Нечаева Е. С., Тарасенко Ю. Н.* Киришиты — волосовидные высокоуглеродистые образования, ассоциирующие с волховитами // ЗРМО. **2009**. № 1. С. 20—35.
- Скублов Г. Т., Марин Ю. Б., Скублов С. Г., Бидюков Б. Ф., Логунова Л. Н., Гембицкий В. В., Нечаева Е. С.* Геологические и минералого-геохимические особенности рыхлых и коренных пород из эпицентра Тунгусской катастрофы 1908 г. // ЗРМО, **2010**. № 1. С. 111—135.
- Скублов Г. Т., Марин Ю. Б., Скублов С. Г., Ванштейн Б. Г., Гембицкая И. М., Ларин Н. В., Тарасенко Ю. Н.* Волховиты, углеродистые флюидизиты, газортутные и водородные аномалии — индикаторы глубинных зон голоценовой дегазации Земли (на примере Киришской структуры) // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы. М.: ГЕОС, **2008**. С. 459—462.
- Сто лет Тунгусской проблеме.* М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, **2008**. 447 с.
- Царев Б. А.* Как мир устроен. Физика Вселенной. Законы пульсационной теории. Санкт-Петербург: Моринтех, **2007**. 216 с.
- Alekseev V. A., Kopeikin V. V., Alekseeva N. G.* Georadar and hydrogen studies of the Tunguska meteorite crater // International Conference Asteroid-Comet Hazard — 2009, September 21—25, St. Petersburg, Russia. Book of Abstracts. IAA RAS, **2009**. P. 129—130.
- Firestone R., West A., Warwick-Smith S.* The cycle of cosmic catastrophes: flood, fire, and famine in the history of civilization, **2006**. 392 p.
- Firestone R. B., West A., Kennet J. R. et al.* Evidence for an extraterrestrial impact 12, 900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling. PNAS, October, 9, **2007**. Vol. 104. N 41. P. 16 016—16 121.
- Longo G., Serra R., Cecchini S., Galli M.* Search for microremnants of the Tunguska cosmic body // Planetary and Space Science, **1994**. Vol. 42. N 2. P. 163—177.

Поступила в редакцию
30 сентября 2010 г.