



Содержание

Научные статьи

Минералого-геохимические свойства твёрдых битумов в контексте прогноза нефтегазоносности (на примере Минусинского межгорного прогиба)

В. И. Силаев, М. А. Т. М. Брокманс, В. А. Петровский, А. Е. Сухарев, А. Ф. Хазов 3

Термодинамические условия метаморфизма верхнепротерозойских отложений Полярного Урала

О. В. Гракова 13

Выявление участков опасности осадочно-просадочных процессов в грунтах в условиях вибросейсмического поля урбанизированных территорий (на примере Сыктывкара)

А. Н. Вихоть, В. А. Лютое 20

Морфометрический анализ рельефа Юго-Западного Притиманья и прогнозная эколого-геологическая оценка устойчивости Тракт-Синдорского участка магистрального газопровода в зоне геодинамически нестабильных структур

М. П. Тентюков, В. Ф. Лысова 27

Влияние минерального состава пород на результаты карбонатного анализа

И. Х. Шумилов 32

Новые тренды в механизмах повышения производительности материалов на минеральной основе

Т. Н. Щемелинина, О. Б. Котова, М. Хария, Е. М. Анчугова, И. Пеловский, И. Кретеску 40

Хроника, события, факты

Прикладная минералогия: из Бари в Белгород 43

Хроника 45

Экспедиционный сезон — 2017 46

Минералог с большой буквы (к 70-летию юбилею д. г.-м. н. Валерия Ивановича Силаева) 49

Королева палинологии (к 60-летию юбилею к. г.-м. н. Н. В. Ильиной) 50

На высоких широтах... 51

Мастер спектрального анализа (к 80-летию к. г.-м. н. Тамары Ивановны Ивановой) 52

Главный редактор А. М. Асхабов, зам. главного редактора О. Б. Котова,
ответственный секретарь Т. М. Безносова, тех. редактор Г. Н. Каблис, зав. редакцией Т. А. Некучаева

Редакционный совет — 2017:

А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
И. Н. Бурцев, Сыктывкар, Россия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
Н. Н. Герасимов, Сыктывкар, Россия
И. В. Козырева, Сыктывкар, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
Р. И. Конеев, Ташкент, Узбекистан
В. А. Коротеев, Екатеринбург, Россия

С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
Ж. К. Мелгарехо, Барселона, Испания
Ф. Мон, Пекин, Китай
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удорткина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия



June, No. 6 (270), 2017

Vestnik



Institute of Geology of Komi Science Center of Ural Branch RAS

Scientific information edition founded by Academician N. P. Yushkin in 1995

Content

Scientific articles

- | | | | |
|--|----|--|----|
| Mineral-geochemical properties of solid bitumen in the context of forecast for oil and gas (on the example of Minusinsk intermountain trough)
<i>V. I. Silaev, M. A. T. M. Brockmans, V. A. Petrovsky, A. E. Sukharev, A. F. Khazov</i> | 3 | Morphometric analysis of the Southwestern Timan region relief and predictive ecology-geological assessment of stability of the Tract-Sindorskiy section of the main gas pipeline in the zone of geodynamically unstable structures
<i>M. P. Tentyukov, V. F. Lisova</i> | 27 |
| Thermodynamic conditions of metamorphism of Upper Proterozoic deposits of Polar Urals
<i>O. V. Grakova</i> | 13 | Influence of mineral composition of rocks on carbonate analysis results <i>I. Kh. Shumilov</i> | 32 |
| Detection of hazardous areas of settlement-subsidence processes in soils under conditions of vibroseism field of urbanized territories (on the example of Syktyvkar)
<i>A. N. Vikhot, V. A. Lutoev</i> | 20 | New trends in the mechanisms of increasing productivity of mineral-based materials
<i>T. N. Shchemelinina, O. B. Kotova, M. Harja, E. M. Anchugova, Y. Pelovski, I. Cretescu</i> | 40 |

Chronicle, events, facts

- | | | | |
|---|----|--|----|
| Applied Mineralogy: from Bari to Belgorod..... | 43 | The queen of palynology (to the 60 th anniversary of N. V. Ilyina)..... | 50 |
| Chronicle..... | 45 | In high latitudes... .. | 51 |
| 2017 — expedition's season | 46 | Master of spectral analysis (celebrating Tamara Ivanovna Ivanova's 80 th anniversary) | 52 |
| Mineralogist with a capital M (70 th anniversary of Dr. Geol.-Min. Sc. Valery Ivanovich Silaev)..... | 49 | | |

Chief Editor A. M. Askhabov, **Deputy Chief Editor** O. B. Kotova,
Executive Director T. M. Beznosova, **Technical Editor** G. N. Kablis, **Managing Editor** T. A. Nekuchaeva

Editorial Board:

- | | |
|---|--|
| <i>Anna I. Antoshkina</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Sergey V. Krivovichev</i> , Saint Petersburg, Russia |
| <i>Maarten A.T.M. Broekmans</i> , Trondheim, Norway | <i>Sergey K. Kuznetsov</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Igor N. Burtsev</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Maximiliano de Souza Martins</i> , Ouro Preto, Brazil |
| <i>Dmitry A. Bushnev</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Tatyana P. Mayorova</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Yury L. Voytekhovsky</i> , Apatity, Russia | <i>Joan Carles Melgarejo</i> , Barcelona, Spain |
| <i>Alexey D. Gvishiani</i> , Moscow, Russia | <i>Fancong Meng</i> , Beijing, China |
| <i>Nikolay N. Gerasimov</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Peep Mannik</i> , Tallinn, Estonia |
| <i>Irina V. Kozyreva</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Alexander M. Pystin</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Marko Komac</i> , Ljubljana, Slovenia | <i>Constance M. Soja</i> , Hamilton, NY, USA |
| <i>Rustam I. Koneev</i> , Tashkent, Uzbekistan | <i>Oksana V. Udoratina</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Viktor A. Koroteev</i> , Ekaterinburg, Russia | <i>Mikhail A. Fedonkin</i> , Moscow, Russia |

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ БИТУМОВ В КОНТЕКСТЕ ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ МИНУСИНСКОГО МЕЖГОРНОГО ПРОГИБА)

В. И. Силаев¹, М. А. Т. М. Брокманс², В. А. Петровский¹, А. Е. Сухарев¹, А. Ф. Хазов¹

¹Институт геологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия; silaev@geo.komisc.ru

²Геологическая служба Норвегии (NGU), Тронхейм, Норвегия; marten.atm.broekmans@gmail.com

Охарактеризована геологическая ситуация битумопроявлений в девонских андезибазальтовых лавах в Минусинском межгорном прогибе. Обсуждаются особенности химического и молекулярного составов, рентгеноструктурных, спектроскопических, термических и изотопно-геохимических свойств природных битумов. Сделан вывод о важной роли твердых миграционных битумов для прогноза региональной нефтегазоносности.

Ключевые слова: Минусинский прогиб, кериты, минералого-геохимические исследования, нефтегазоносность

MINERAL-GEOCHEMICAL PROPERTIES OF SOLID BITUMEN IN THE CONTEXT OF FORECAST FOR OIL AND GAS (ON THE EXAMPLE OF MINUSINSK INTERMOUNTAIN TROUGH)

V. I. Silaev¹, M. A. T. M. Brockmans², V. A. Petrovsky¹, A. E. Sukharev¹, A. F. Khazov¹

¹Institute of Geology, Komi Science Center Ural Branch of RAS, Syktyvkar, Russia

²Geological Survey of Norway, Trondheim, Norway

The geological situation of bitumen manifestations in the Devonian andesite basalts lavas in the Minusinsk intermountain trough has been characterized. The features of chemical and molecular compositions, X-ray diffraction, spectroscopic, thermal and isotope-geochemical properties of natural bitumen are discussed. A conclusion is made about the important role of solid migratory bitumens for forecasting for regional oil and gas potential.

Keywords: Minusinsk trough, kerites, mineralogical-geochemical studies, oil and gas potential

Исследования природных конденсированных битумных веществ представляют собой одно из важнейших направлений современной минералогии, во многом определившееся академиком Н. П. Юшкиным. Актуальность этого направления может быть обоснована композицией нескольких фундаментальных и прикладных научных задач: 1) развитием систематической минералогии в части знаний о минералоидах и минералоид-минеральных взаимодействиях [35, 37]; 2) изучением конституции природных битумов и познанием закономерностей их трансформации в геологических условиях [21—23, 25, 31—34]; 3) оценкой роли миграционно-переотложенных битумов в формировании рудных месторождений и перспективностью самих битумов как минерального сырья [6, 10, 24, 28]; 4) изучением твердых битумов в качестве дистальных индикаторов региональной нефтегазоносности и анализом нефтегазоносности как феноменального следствия геосферного развития [5, 17, 29].

Очевидным подтверждением практической полезности фундаментальных исследований природных битумов является раскрывающаяся буквально на наших глазах их ценность как поискового признака, указывающего на существование еще не вскрытых нефтегазовых аномалий, которые могут достигать гигантских масштабов. Одним из примеров такого рода может служить история топонимических исследований в пределах Пайхой-Вайгач-Южно-Новоземельской складчатой области. В результате многолетних исследований в этом регионе были выявлены и изучены многие десятки, если не сотни проявлений наложенной антраксолитизации [2, 6, 10, 24, 34, 36], объединяющихся в громадную дугу с центром кривизны в Карском море. А недавно вблизи этого центра были открыты не только крупное нефтяное месторождение, но и весьма перспективная нефтегазовая провинция (рис. 1).



Рис. 1. Дуга антраксолитовых минерализаций, окаймляющая гигантскую нефтегазовую аномалию под Карским морем

Fig. 1. An arc of anthraxolite mineralization, bordering a giant oil and gas anomaly Under the Kara Sea

Предметом наших исследований послужили проявления природных твердых битумов, выявленных на территории Минусинского межгорного прогиба [4, 15, 16] и уже неоднократно рассматривавшихся в качестве индикаторов нефтегазоносности [15, 17, 19].

Геологическая обстановка

Минусинский прогиб общей площадью около 50 тыс. км² располагается между горными сооружениями Куз-

нецкого Алатау (с запада), Западного (с юга) и Восточно-Саяна (с востока), представляя собой серию девонских впадин (с севера на юг) — Назаровской, Агульской, Северо-Минусинской, Средне-Минусинской, Кузнецкой, Южно-Минусинской (рис. 2). Котловины заполнены фациально-изменчивыми вулканогенно-осадочными отложениями девонского возраста, залегающими с региональным несогласием на породах фундамента молодой платформы — карбонатолитах раннесреднекембрийского возраста и эффузивах дацит-трахибазальтовой и риолит-базальтовой серий [14, 15]. Особенностью известняков, прорванных ордовикскими гранитоидами *тигертышского* комплекса, является их серая, в отдельных слоях до черной окраска, косвенно указывающая на наличие тонкодисперсного битумного вещества.

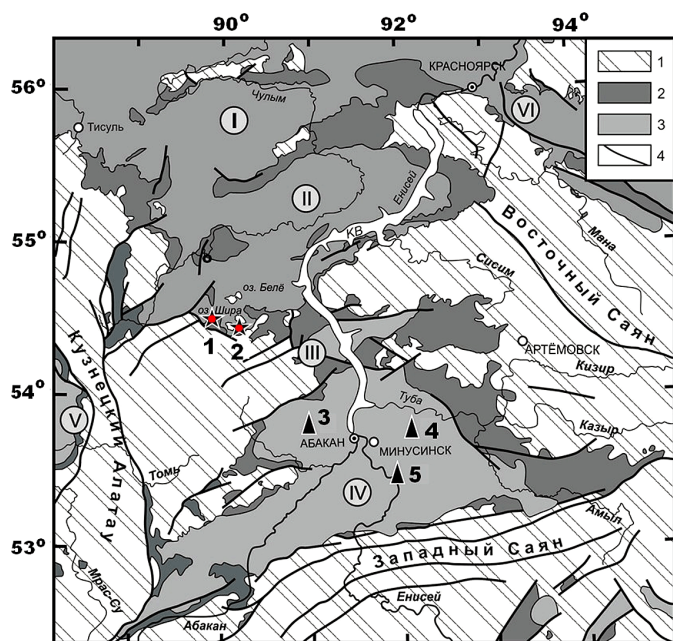


Рис. 2. Геологическое строение и местонахождения твердых битумов (звездочки) и нефтегазопоявлений (треугольники) в Минусинском межгорном прогибе (северная часть Алтае-Саянской складчатой области): 1 — кембро-ордовикский фундамент; 2 — быскарская вулканогенно-осадочная серия D_{1-2} , интродуцированная долеритовыми силлами; 3 — терригенные отложения D_{2-3} с лавами миндалекаменных андезибазальтов; 4 — тектонические нарушения. Девонские впадины: I — Назаровская, II — Северо-Минусинская, III — Средне-Минусинская, IV — Южно-Минусинская, V — Кузнецкая, VI — Агульская. Местонахождения твердых битумов: 1 — Сохочульское и Мельничное (Ширинско-Марченгашский участок), 2 — Красногорское и Шунетское (Шунет-Матаракский участок). Нефтегазопоявления: 3 — Соль-Заводское, 4 — Тагарское, 5 — Алтайское

Fig. 2. Geological structure and locations of solid bitumens (asterisks) and oil and gas occurrences (triangles) in the Minusinsk intermountain trough (northern part of the Altai-Sayan folded region): 1 — Cambridge-Ordovician basement; 2 — the Byskarskaya-volcanogenic sedimentary series D_{1-2} , intruded by dolerite sills; 3 — terrigenous deposits D_{2-3} with lavas of amygdaloid andesite-basalts; 4 — tectonic dislocations. Devonian depressions: I — Nazarovskaya, II — North Minusinsk, III — Middle Minusinsk, IV — South Minusinsk, V — Kuznetsk, VI — Agul'skaya. Locations of solid bitumens: 1 — Sochukulskoye and Melnichnoye (Shirinsk-Marchengashsky site), 2 — Krasnogorskoye and Shunetskoye (Shunet-Mataraksky area). Oil and Gas: 3 — Sol-Zavodskoye, 4 — Tagarskoye, 5 — Altai

В разрезе девонского платформенного чехла наблюдаются красноцветные терригенные, эффузивно-осадочные и эффузивные отложения, а также пёстроцветные лагунно-морские терригенно-карбонатные осадки. Магматиты на территории Минусинского прогиба представлены долеритовыми силлами, телами нефелинит-фонолитов и лавами базальтоидов, трахидацитов, трахириолитов. Кроме того, в центральных частях некоторых впадин встречаются карбон-пермские и юрские отложения, иногда угленосные.

В тектоническом отношении Минусинский прогиб рассматривается как часть обширной рифтогенной области. Его расчленение на впадины было обусловлено несколькими поперечными валами субширотного простирания [12]. В процессе предыдущих исследований в пределах рассматриваемого прогиба было выявлено несколько локальных куполовидных поднятий с нефтегазовыми проявлениями, а на юго-западном фланге Северо-Минусинской впадины на двух участках — Ширинско-Марченгашском и Шунет-Матаракском — найдены проявления твердых битумов [13].

На Ширинско-Марченгашском участке (Сохочульское и Мельничное битумопоявления) разрез раннедевонских отложений начинается *сохочульской* свитой, залегающей на гранитоидах *улень-туимского* плутона. В составе свиты преобладают трахиандезитовые лавобрекчии и туфоконгломераты, перекрытые пачкой чередующихся туфов и туфолав среднего состава с редкими прослоями туфогравелитов, туфопесчаников и алевролитов. В нижней части свиты имеется пластовое тело крупнопорфировых долеритов. Среди отложений верхней части свиты отмечены трахириодациты и трахиандезибазальты, а также силлы долеритов. Выше располагается *придорожная* свита, состоящая из трех пачек (снизу вверх) — гравелито-известняковой, известняково-песчаниковой и туфопесчаниковой с пластовыми телами базальтоидов, в миндаликах которых содержатся твердые битумы. Эта свита с предполагаемым несогласием перекрыта проблематичной *марченгашской* свитой, сложенной лавами базальтов, андезибазальтов, трахибазальтов с прослоями и линзами конгломератов, гравелитов и красноцветных песчаников с растительными остатками. По всему ее разрезу распределены силлы и штоки долеритов.

В геологическом строении Шунет-Матаракского участка (Красногорское и Шунетское битумопоявления) принимают участие отложения (снизу вверх) имирской, матаракской, шунетской и арамчакской свит, составляющих быскарскую серию, несогласно залегающую на сложнодислоцированных кембрийских известняках. К *имирской* свите отнесены литокластические туфы кисло-среднего состава, переслаивающиеся с потоками трахириодацитов и трахиандезитов и интродуцированные маломощными силлами крупнопорфировых долеритов. В *шунетскую* свиту включены зеленовато-серые известняковые алевролиты. В разных ее частях обнаружены от двух до четырех долеритовых силлов *кузьменского* комплекса, характерной особенностью которых являются эндоконтактовые зоны из миндалекаменных базальтов. Мощность таких зон зависит от состава вмещающих пород, достигая максимума на контактах с алевролитами и туфобрекчиями. Миндалины сложены кальцитом, пренитом и твердым битумом. *Арамчакская* свита представлена преимущественно красноцветными терригенными псефитами с незначительным участием вулканогенных пород.

Объекты и методы исследований

Твердые битумы на рассматриваемой территории обнаружены главным образом в связи с лавами миндалекаменных базальтоидов и в гораздо меньшей степени — в силлах долеритов [4, 16, 30]. Кроме того, в Сохочульском местонахождении в трещинах базальтоидов наблюдались вязкие битумы. Следует отметить, что локализация природных битумов в эффузивных магматитах далеко не редкость [1, 3]. В рассматриваемом случае такие лавы сложены массивной буроватой породой с первично-пузыристой текстурой, преобразованной в миндалекаменную вследствие заполнения полостей твердыми битумами, карбонатами, пренитом и слюдисто-хлоритовым материалом (рис. 3, а, б). По форме миндалины варьируются от субизометричных, иногда угловатых, до линзовидных (коэффициент удлинения — 1.55 ± 0.46). Поперечный размер миндалинок колеблется от первых мм до 10 см (рис. 3, с–ф).

В ходе исследований битумоносных базальтоидов нами были использованы следующие методы: оптическая микроскопия (компьютеризированный комплекс OLYMPUS BX51), аналитическая СЭМ (JSM-6400 Jeol),

рентгенофлуоресцентный анализ (XRF-1800 Shimadzu), определение содержания $C_{\text{орг}}$ в горных породах методом кулонометрического титрования по величине pH (АН-7529М), полуколичественный спектральный анализ, термография (автоматический дериватограф Shimadzu DTG-60A/60AH), рентгеновская дифрактометрия (Shimadzu XRD-6000), рамановская спектроскопия (LABRAM HR800, лазер Ar 488 нм), элементный анализ битумов (газовый хроматограф EA 1110 (CHNO–O)), изотопная масс-спектрометрия (Delta V Advantage).

Согласно полученным данным, битумоносные базальтоиды представляют собой титанистые, глиноземистые и умеренно-магнезиальные трахиандезибазальты (мас. %): SiO_2 (52.40–52.84); TiO_2 (1.29–1.40); ZrO_2 (0–0.03); Al_2O_3 (18.98–19.34); Cr_2O_3 (0.04–0.05); Fe_2O_3 (9.53–10.0); MnO (0.02–0.2); NiO (0–0.01); MgO (5.79–6.07); CaO (4.20–4.52); SrO (0–0.02); Na_2O (5.0–5.13); K_2O (0.28–0.42); P_2O_5 (0.94–1.21). Валовое содержание $C_{\text{орг}}$ в андезибазальтах колеблется в пределах 7.96–8.5 мас. %. Твердые битумы, заполняющие миндалины, характеризуются буровато-черным цветом, матовой поверхностью, низкой твердостью и существенной микрокавернозностью (рис. 4). Содержание золы, оцененное по потере мас-

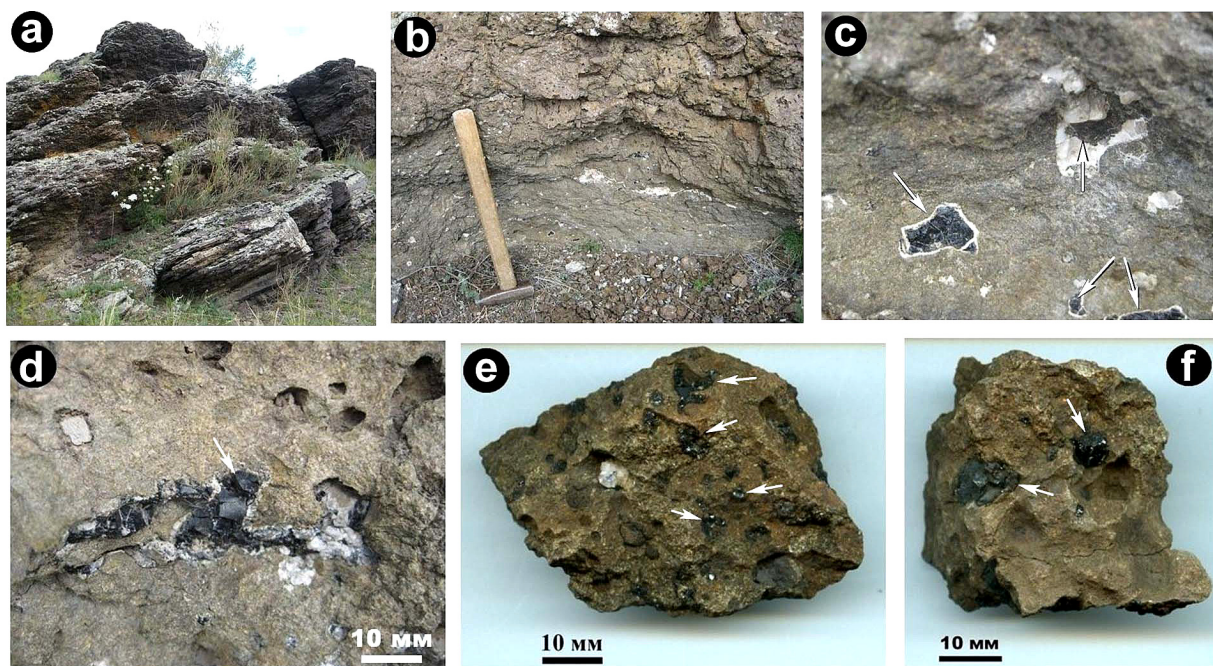


Рис. 3. Лавы миндалекаменных базальтоидов с заполнением первичных пустот твердыми битумами (показаны стрелками)

Fig. 3. Lavas of amygdaloid basalts with filling of primary voids with solid bitumens (shown by arrows)



Рис. 4. Внешний вид (а) и микрокавернозность (б, СЭМ-изображение в режиме вторичных электронов) твердых битумов из миндалекаменных андезибазальтов

Fig. 4. Appearance (a) and microporosity (b, SEM image in the secondary electron mode) of solid bitumen selected from amygdaloid andesite basalts

сы при нагревании до 600 °С, колеблется в пределах 15—20 %. Химический состав неорганической примеси в битумах существенно отличается от вышеприведенного состава вмещающих андезитбазальтов (мас. %): SiO₂ (24.73—41.33); TiO₂ (1.65); Al₂O₃ (9.19—14.51); Fe₂O₃ (9.23—13.07); MgO (5.00—6.26); CaO (10.07—18.57); Na₂O (0—2.75); K₂O (1.22—1.82); P₂O₅ (1.22—2.13); SO₃ (7.01—30.35). Из микроэлементов установлены типичные для битумов (г/т) Ba (20—40); Sr (10—20); Ni (20—25); V (3—4); Cu (3—5). Под сканирующим электронным микроскопом в минусинских битумах не выявляются псевдоминеральные металл-углеродные образования, весьма характерные для антраксолитов [22], что свидетельствует о низкой степени карбонизации исследуемых объектов.

Химизм битумов

Элементный состав органического матрикса в исследуемых твердых битумах (мас. %): C = 86.08; H = 9.89; N = 0.59; O = 3.44. Отсюда значения водородного и кислородного атомных индексов составят соответственно 1.38 и 0.03. На диаграмме Кревелена—Корнелиуса [38] полученные данные отвечают асфальтитам—низшим ке-

ритам, т. е. слабокарбонизированным твердым битумам, а именно растворимому в CS₂ гилсониту и нерастворимому в CS₂ альбертиту (рис. 5, а). На диаграмме твердых битумов Европейского Северо-Востока России [24] исследуемые образцы едва достигают уровня низших керитов (рис. 5, б). На диаграмме первоисточников [8] точка исследуемых твердых битумов располагается в поле нефтей (рис. 5, с), указывая тем самым на нефтяное происхождение битумного органического вещества. Таким образом, можно прийти к выводу, что локализованные в миндалинах андезитбазальтовых лав в Минусинском прогибе твердые битумы являются по первоисточнику нефтяными, по способу образования — миграционными [39], но подверглись карбонизации вследствие экстракций и переотложений (рис. 5, d) лишь в незначительной степени.

Молекулярный состав

Органическая химия рассматриваемых битумов исследовалась Ву Ван Хаем и проф. О. В. Серебрянниковой масс-хроматографическим методом [9, 19, 20]. В результате были получены следующие данные (рис. 6).

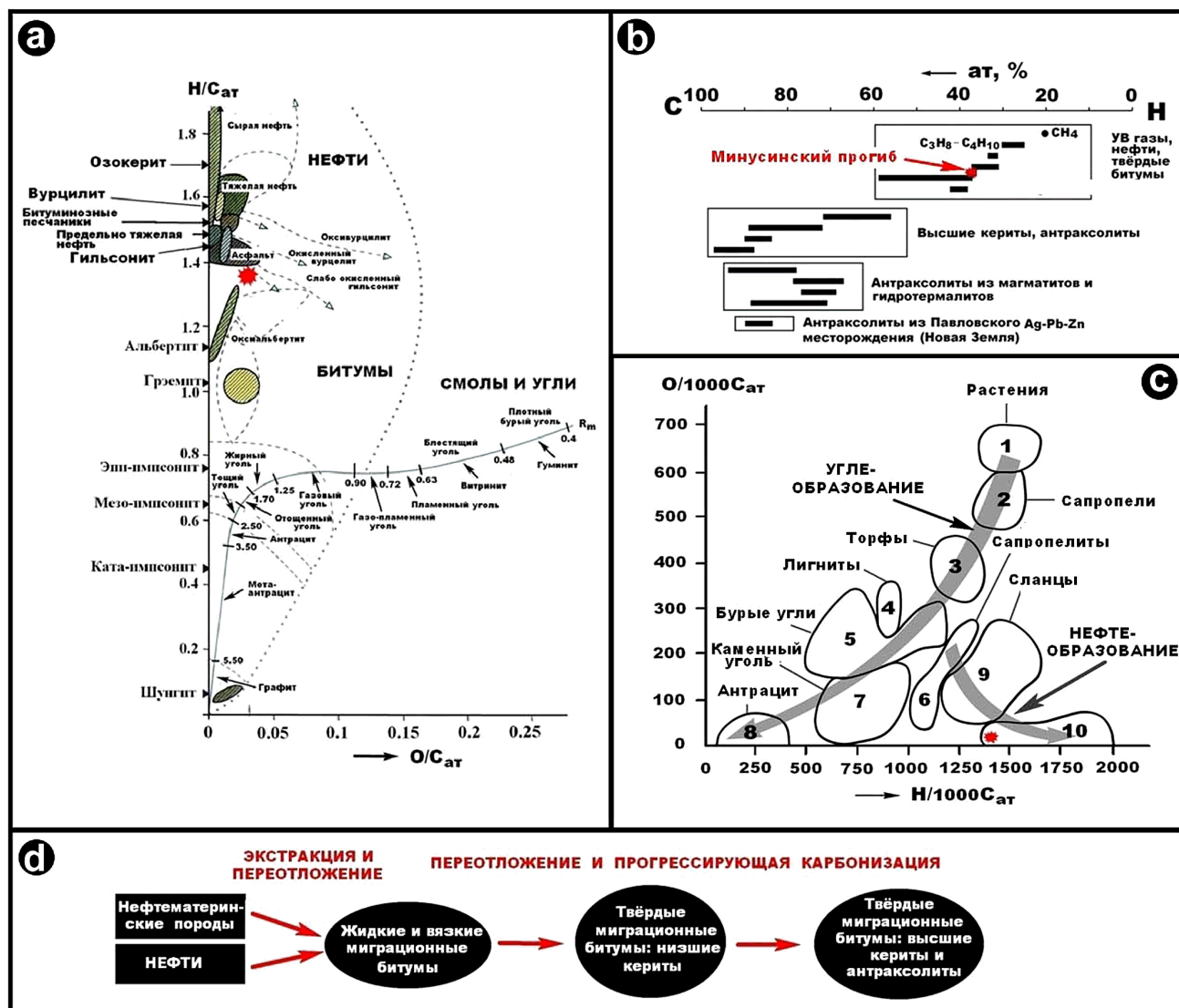


Рис. 5. Степень карбонизации (а, б), определение первоисточника (с) и схема образования (d) твердых битумов, локализованных в миндалинах андезитбазальтовых лав в Минусинском прогибе

Fig. 5. The degree of carbonization (a, b), the determination of the primary source (c), and the scheme of formation (d) of solid bitumens localized in the amygdulites of andesite basalt lavas in Minusinsk trough

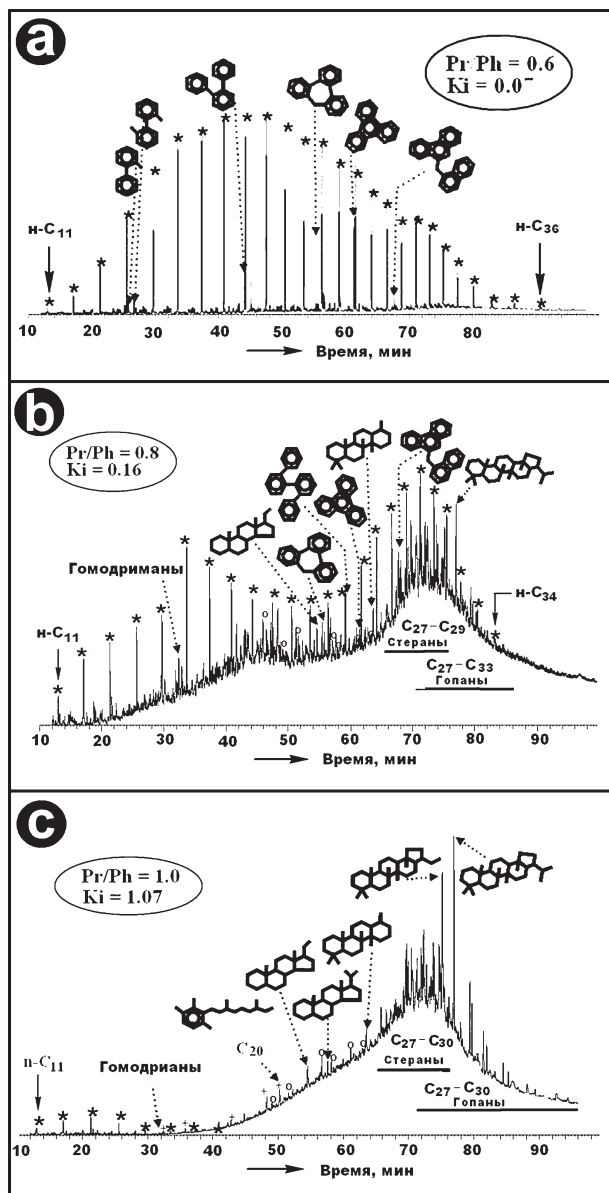


Рис. 6. Состав насыщенных углеводородов в твердых битумах из андезибазальтовых лав (а), долеритовых силлов (б) и в вязких битумах из трещин в андезибазальтах (с)

Fig. 6. The composition of saturated hydrocarbons in solid bitumen from andesitebasalt lavas (a), dolerite sills (b) and in viscous bitumen from cracks in andesitebasalt (c)

Углеводородный состав твердых и вязких битумов из миндалекаменных андезибазальтов и долеритов Минусинского прогиба определяется композицией н-алканов, алкилзамещенных циклогексанов, би- и полициклических терпанов, стеранов и ароматических соединений. Пропорции между указанными группами углеводородов кардинально и при этом упорядоченно изменяются в направлении от твердых битумов в миндалекаменных андезибазальтах к твердым битумам в долеритах и вязким битумам в трещинах в базальтоидах. Это изменение выражается в сокращении почти на два порядка содержания н-алканов и пропорциональном возрастании суммарного содержания терпанов и стеранов. Кроме того, наблюдаются многократное увеличение содержания циклогексанов и ароматических углеводородов, а также рост относительного содержания изопреноидных алканов (Ki) и величины пристан-фитанового отношения (Pr/Ph).

Таким образом, данные органической химии свидетельствуют о том, что твердые и вязкие битумы из миндалекаменных андезибазальтов и долеритов весьма существенно различаются по степени биодegradации, показателем которой является пропорция между полициклическими соединениями и алканами (КБД = (терпаны + стераны)/алканы). Так, наименее измененными в рассматриваемом ряду являются твердые битумы в миндалекаменных андезибазальтах, сложенные на 87–88 % алканами (КБД = 0.01). Твердые битумы в долеритах характеризуются более чем двукратным преобладанием суммы терпанов и стеранов над содержанием алканов (КБД = 2.24). Вязкие битумы из трещин в андезибазальтах почти нацело состоят из терпанов и стеранов (КБД = 38.96), что свидетельствует о наибольшей степени изменения. Можно предполагать, что столь существенные колебания степени биодegradации обусловлены не разным возрастом битумов и не различием геологических условий локализации, а их консистенцией: чем конденсированнее битум, тем медленнее он подвергается биопереработке.

Фазовая диагностика

Фазовая диагностика твердых битумов осуществлялась рентгеноструктурным и КР-спектроскопическим методами.

На рентгеновской дифрактограмме исследуемых образцов (рис. 7, а) наблюдается один довольно интенсивный, но диффузный пик в области 15–30° углов 2θ с максимумом при d/n = 0.42 нм и незначительным перегибом на плече пика при 25° углов 2θ. Кроме того, в области 40–45° углов 2θ наблюдается еще один очень малоинтенсивный и весьма диффузный пик. Эти данные свидетельствуют о некоторой структурной трансформации минусинских битумов. Как известно, углеродистое вещество первичных битумов дает еще более диффузный рентгеновский пик при 0.5 нм, обусловленный сильным рассеянием непосредственно на структурах алифатических и алициклических групп органических соединений [41]. В рассматриваемом случае доминантный пик в малоугловой области может быть приписан так называемой полинафтенной фазе (Нф), образующейся пачками парафиновых цепей с шагом 0.40–0.54 нм. Более слабые отражения с максимумом около 25° и 43° углов 2θ отвечают

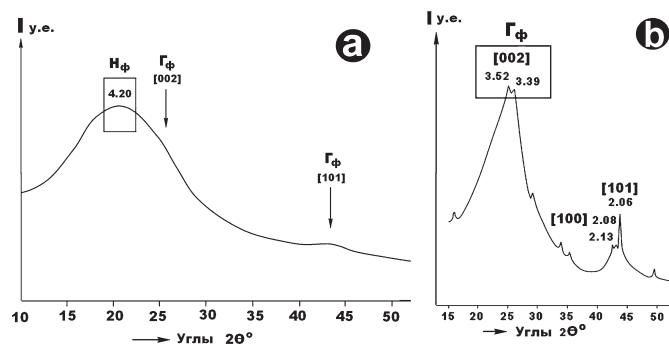


Рис. 7. Рентгеновская дифрактограмма твердого битума из миндалекаменных андезибазальтов (а) в сравнении с типичной дифрактограммой новоземельского атраксолита (б)

Fig. 7. X-ray diffraction pattern of solid bitumen of their amygdaloid andesite-basalts (a) in comparison with a typical diffraction pattern of the Novaya Zemlya anthracolite (b)

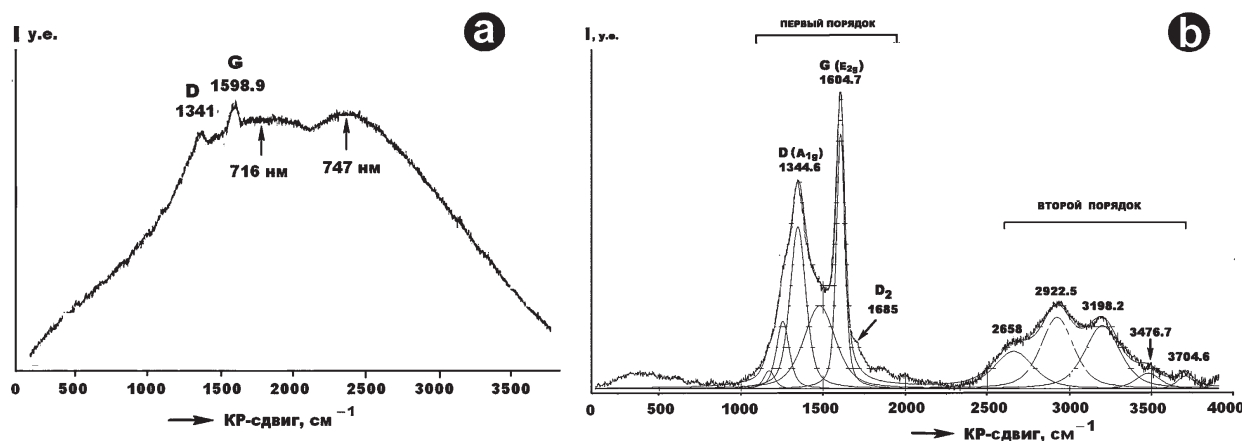


Рис. 8. Исходный (а) и отфильтрованный от люминесценции (б) КР-спектры, характеризующие твердые битумы из миндалекаменных андезитабазальтов

Fig. 8. Initial (a) and filtered from luminescence (b) Raman spectrum, characterizing solid bitumen from amygdaloid andesite basalt

так называемой графитоподобной фазе (Гф), в основе строения которой лежат гексагональные сетки, как у графита, но короткие, дефектные и разупорядоченные. Известно [11, 18], что в сильно карбонизированных твердых битумах — вышших керитах и антраксолитах — резко преобладает именно графитоподобная фаза. Это приводит к доминированию в рентгеновских дифрактограммах интенсивных уширенных пиков, приходящихся на область отражений от плоскостей (002), (100) и (101) в структуре графита (рис. 7, b).

Таким образом, полученные рентгеновские результаты показывают, что исследуемые нами минусинские твердые битумы на 75—80 % сложены полинафтенной фазой, что характеризует их как слабокарбонизированные асфальтиты—низшие кериты.

KР-спектры исследуемых битумов сильно аккомпанированы люминесценцией с максимумами в красной области (рис. 8, а). В спектре отфильтрованной рамановской компоненты (рис. 8, б) присутствуют три сильно уширенные линии первого порядка — D_1 ($1340\text{--}1346\text{ см}^{-1}$), G ($1595\text{--}1605\text{ см}^{-1}$), D_2 ($1650\text{--}1700\text{ см}^{-1}$) и серия плохо дифференцированных линий второго порядка в области $2500\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. Отношение интенсивностей линий первого порядка D_1/G варьируется в пределах $0.63\text{--}0.70$, что характерно для термически немодифицированных битумов [33]. Значения FWHM, отражающие степень уширения этих линий, составляют для линии D_1 $125\text{--}150\text{ см}^{-1}$, а для линии G $80\text{--}85\text{ см}^{-1}$. Все полученные спектроскопические данные значительно отличаются от аналогичных параметров высших керитов-антраксолитов [7, 18, 25], что подтверждает сделанные выше выводы о низкой степени карбонизации исследуемых твердых битумов.

Термические свойства

На кривых нагревания исследуемых битумов наблюдаются два сильных и довольно устойчивых по положению экзотермических эффекта, отвечающих выгоранию углеродистого вещества (рис. 9). Температурные параметры эффектов оцениваются следующим образом: низкотемпературный пик — начало выгорания 230—250 °С, экстремум 345—350 °С; высокотемпературный пик — начало выгорания 350—355 °С, экстремум 375—380 °С. На кривой взвешивания этим термическим эф-

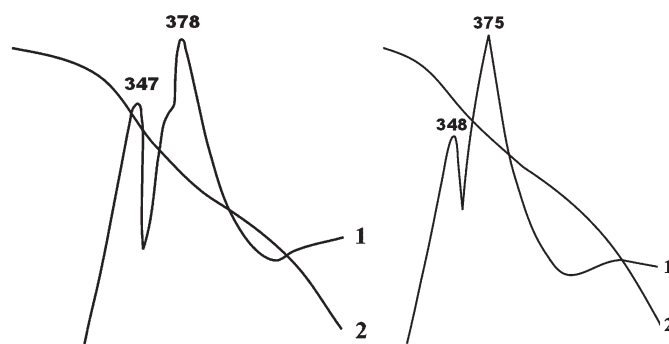


Рис. 9. Термические свойства твердых битумов из миндалекаменных андезибазальтов. 1, 2 — кривые соответственно нагревания и взвешивания

Fig. 9. Thermal properties of solid bitumens from amygdaloid andesite basalts. 1, 2 — curves for heating and weighing, respectively

фактам отвечает плоходифференцированный этап потери 78—86 % исходной массы образцов. На генеральной диаграмме термических свойств углеродных веществ [23] исследуемые битумы попадают на ступень низших керитов, что вполне комплементируется со всеми вышеприведенными данными.

Изотопный состав углерода

Изотопный состав углерода, а часто углерода и азота является традиционным и эффективным источником генетической информации об органических веществах [26]. В настоящее время известно, что в биогенных твердых битумах изотопный состав углерода варьируется в широком диапазоне значений коэффициента $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ от -25 до -42 ‰, в рамках которого объединяются интервалы колебаний углеродного изотопного коэффициента во всех основных органических резервуарах — морском планктоне, гумино-сапропелевом органическом веществе морских илов, в углях и нефтях [27]. Важно подчеркнуть, что именно нефти наиболее полно перекрывают диапазон колебаний $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ в твердых битумах (рис. 10).

Установлено, что природные твердые битумы характеризуются двумя модами значений углеродного изотоп-



Рис. 10. Изотопный состав углерода в природных битумах. 1—6 — антраксолиты из шунгитонесных пород из проявлений в Онежской структуре Карельского кратона [31], соответственно Максаково, Захогино, Красная Горка, Шардонские острова, Шуньга, Нигозеро; 7 — антраксолит из углеродистых Ag-Pb-Zn руд Павловского месторождения на Новой Земле [24]; 8 — исследуемые твердые битумы из миндалекаменных андезибазальтов. I, II — твердые битумы с соответственно изотопно-тяжелым и изотопно-лёгким углеродом. Вариационная кривая — распределение по изотопному составу органического углерода протерозойских углеродистых пород из эталонных углеродистых формаций докембрия в структуре Садбери [40]. Ниже оси абсцисс показаны интервалы варьирования изотопного состава в важнейших органических веществах земной коры [27].

Fig. 10. Isotopic composition of carbon in natural bitumen. 1—6 — anthraxolites from shungitonic rocks from manifestations in the Onega structure of Karelia [31], respectively Maksakovo, Zazhogino, Krasnaya Gorka, Chardonnay islands, Shunga, Nigerozero; 7 — anthraxolite from carbonaceous Ag-Pb-Zn ores of Pavlov deposit on Novaya Zemlya [24]; 8 — investigated solid bitumens from amygdaloidal andesite-basalts. I, II — solid bitumens with respectively isotope-heavy and isotopically-light carbon. The variation curve is the distribution by the isotope composition of organic carbon of Proterozoic carbonaceous rocks from the Precambrian reference carbonaceous formations in the Sudbury structure [40]. Below the axis of abscissas, the ranges of variation of the isotope composition in the most important organic substances of the earth's crust are shown [27].

ного коэффициента: при $-26\ldots-28$ и $-35\ldots-38$ ‰. Считается [31, 32], что причиной этой бимодальности послужили различия в природе первичного ОВ и в протяженности миграции битумообразующего вещества. Антраксолиты первого типа (с относительно изотопно-тяжелым углеродом) имели источником автотрофную биоту и более длинную миграционную историю. Антраксолиты второго типа (с более изотопно-лёгким углеродом) образовались за счет метанотрофной биоты, и их вещество претерпело меньшую миграцию.

Проведенные исследования показали, что твердые битумы из Минусинского прогиба характеризуются устойчивым и при этом весьма изотопно-легким углеродом, сближаясь по этому признаку с антраксолитами второго типа. Возможно, это свидетельствует об относительно короткой миграционной истории вещества исследуемых битумов, на что указывают и приведенные выше данные

об относительно низкой степени их карбонизации. Следует также отметить, что, принимая для исследуемых битумов с аномально изотопно-лёгким углеродом нефтяную модель первоисточника, можно предположить и дофанерозойский возраст соответствующего нефтяного коллектора, поскольку именно с такими коллекторами статистически коррелируются наиболее изотопно-лёгкие по углероду нефти.

Заключение

Таким образом, твердые битумы, выявленные в Миусинском прогибе в связи с миндалекаменными андезибазальтами являются пассивно наложенными по отношению к вмещающим породам, нефтяными по природе первоисточника углеродистого вещества, миграционными и незрелыми — карбонизированными лишь до степени асфальтитов-нижних керитов. Судя по этим данным, минусинские битумы имели относительно короткую миграционную историю, т. е. нефтяной первоисточник их углеродистого вещества был, возможно, местным. На основании аномально-легкого изотопного состава углерода в битумах можно предполагать, что упомянутый нефтяной первоисточник локализуется не в чехле, а в фундаменте прогиба. В целом, полученные данные указывают на вероятную нефтегазонасыщенность Северо-Минусинской впадины.

Статья подготовлена в сотрудничестве с д. г.-м. н., проф. Г. С. Федосеевым (часть образцов и раздел «Геологическая обстановка»), к. г.-м. н. М. Л. Махлаевым, к. г.-м. н. Ю. С. Симаковой, инженерами-исследователями И. В. Смоленской, С. Т. Неверовым и Е. А. Тропниковым, которым авторы выражают глубокую признательность.

Исследования выполнены при поддержке гранта программы фундаментальных исследований РАН № 15-11-5-33 «Развитие инновационных технологий эффективного и комплексного использования минерального сырья и получение новых материалов на минеральной основе».

Литература

1. Александров А. И. Шунгит в породах и жилах спилито-альбитофировой формации окрестностей г. Красноуральска (Средний Урал) // Записки ВМО. 1956. Ч. 85. № 3. С. 418—419.
2. Алфёров Б. А. Геологические исследования в районе Костина Шара // Труды Арктического института. 1935. Т. 26. 97 с.
3. Аршинов В. В. О включениях антраксолита в изверженных горных породах Крыма. М., 1914. 14 с.
4. Баженов В. А., Макаренко Н. А., Родыгин С. А. Битумопроявления в вулканогенных породах Хакасии // Вопросы геологии Сибири. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1992. Вып. 1. С. 155—160.
5. Баженова Т. К., Кушмар И. А. Основные черты геологии и геохимии природных битумов домезозойского мегабассейна Сибирской платформы // Природные битумы и тяжелые нефти. СПб.: Недра, 2006. С. 132—145.
6. Безруков В. М., Винокуров И. Ю., Суханов А. А. Антраксолиты Новой Земли как ванадийсодержащее сырье // Углерод. Минералогия, геохимия, космохимия: Материалы международной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2003. С. 126—127.
7. Бискэ Н. С. Рамановские спектры углеродного вещества контактово-метаморфизованных пород: на примере шунгитовой залежи Лебещина // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 15. Петрозаводск, 2012. С. 70—76.

8. Ван Кревелен Д. В. Графостатистический метод изучения структуры и процессов образования угля // Химия твердого топлива. Сборник № 2. М.: Изд-во ИЛ, 1951. С 11—44.
9. Ву Ван Хай, Серебренникова О. В. Состав насыщенных углеводородов битумов Северной Хакасии // Известия ТПУ. 2012. Т. 321. № 3. С. 161—165.
10. Клубов Б. А., Безруков В. М. Антраксолиты Новой Земли // Советская геология. 1992. № 4. С. 55—64.
11. Королёв Ю. М. Рентгенографическая характеристика нафтидов // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 6. С. 955—968.
12. Лучицкий И. В. Вулканизм и тектоника девонских впадин Минусинского межгорного прогиба. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 276 с.
13. Макаренко Н. А., Архипов А. Л., Парначёв В. П. Некоторые проблемы генезиса нафтидов урочища Сохочул (Республика Хакасия) // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 372. С. 180—183.
14. Метелкин Д. В., Козьмин Д. Г. Палеомагнитная характеристика кембрия Батеневского кряжа: к вопросу эволюции Кузнецко-Алатауской островной дуги на Юге Сибири // Геология и геофизика. 2012. Т. 53 (1). С. 50—66.
15. Парначев В. П. Геология и полезные ископаемые Северной Хакасии. Томск: Изд-во Томского университета, 1998. С. 97.
16. Петровский В. А., Федосеев Г. С., Силаев В. И., Сухарев А. Е. Твердые битумы из базальтов Северной Хакасии // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2016). Сыктывкар: Геопринт, 2016. С. 158—159.
17. Ростовцев В. Н., Ростовцев В. В. От дискуссий к поиску палеозойской нефти // Вестник науки Сибири. 2012. № 5 (6). С. 12—19.
18. Сафронов А. Н., Германов Е. П. Структурные особенности шунгитов из анализа дифракционного профиля (002) // Структура и типоморфизм нерудных минералов Карелии. Петрозаводск: Изд-во Кар НЦ РАН, 1988. С. 29—34.
19. Серебренникова О. Б., Васильев Б. Д., Туров Ю. П. Нефтепроявление «Сохочул» в Северной Хакасии // Известия Томского политехнического университета. 2002. Т. 305. С. 78—82.
20. Серебренникова О. В., Васильев Б. Д., Туров Ю. П., Филиппова Т. Ю. Нафтиды в базальтах нижнего девона Северо-Минусинской впадины // Доклады РАН, 2003. Т. 390. № 4. С. 525—527.
21. Силаев В. И., Голубев Е. А., Симакова Ю. С., Петровский В. А., Хазов А. Ф. Сравнительное исследование графита, антраксолита и шунгита в связи с оценкой характера и пределов трансформации конденсированных углеродистых веществ в геологических условиях // Кристаллическое и твердое некристаллическое состояние минерального вещества: Материалы минералогического семинара с международным участием. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 182—187.
22. Силаев В. И., Ильченко В. О., Лютоев В. П., Филиппов В. Н., Голубев Е. А., Ковалева О. В. Аутигенная псевдоминерализация в антраксолите // Проблемы геологии и минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 283—314.
23. Силаев В. И., Ковалева О. В., Меньшикова Е. А., Петровский В. А. «Лестница сгорания» Шарля Жерара, или Шкала термической устойчивости углеродистых веществ в приложении к геологии // Органическая минералогия: Материалы III Российского совещания по органической минералогии. Сыктывкар: Геопринт, 2009. С. 42—47.
24. Силаев В. И., Лютоев В. П., Ильченко В. О., Голубев Е. А., Ковалева О. В. Твердые битумы в рудных месторождениях (на примере Новоземельского антраксолита) // Проблема минералогии, петрографии и металлогении: Материалы научных чтений памяти П. Н. Чирвинского. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2006. Вып. 9. С. 56—76.
25. Силаев В. И., Лютоев В. П., Петровский В. А., Хазов А. Ф. Опыт исследований природных углеродистых веществ и некоторых их синтетических аналогов методом рамановской спектроскопии // Минералогический журнал, 2013. Т. 35. № 3. С. 33—47.
26. Силаев В. И., Смолева И. В., Антошкина А. И., Чайковский И. И. Опыт сопряженного анализа изотопного состава углерода и азота в углеродистых веществах разного происхождения // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Материалы научных чтений памяти П. Н. Чирвинского. Пермь: Изд-во ПГУ, 2012. № 15. С. 342—366.
27. Силаев В. И., Хазов А. Ф. Изотопное диспропорционирование карбоатного углерода в процессах гипергенно-экзогенной перегруппировки вещества земной коры: Программа фундаментальных исследований РАН. № 3. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 41 с.
28. Силаев В. И., Хазов А. Ф., Пискунова Н. Н. Оценка минеральных месторождений: химия, геохимия или минералогия // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов. Петрозаводск: Карельский НЦ УрО, 2011. С. 35—47.
29. Соколов Б. А. Феноменальные особенности нефтегазовой геологии // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 9. С. 66—72.
30. Федосеев Г. С., Фадеева В. П., Меленевский В. Н. Жильный пиробитум в долеритах Кузьминского комплекса (Минусинский межгорный прогиб) // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 7. С. 1110—1117.
31. Филиппов М. М. Антраксолиты. СПб.: ВНИГРИ. 2013. 296 с.
32. Филиппов М. М., Черевко Н. К., Голубев Е. А. Антраксолиты нафтидного, нафтидо-нафтоидного и нафтоидного рядов природных битумов // Углерод. Минералогия, геохимия, космохимия: Материалы международной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2003. С. 113—115.
33. Холодкевич С. В., Березкин В. И., Давыдов В. Ю. Особенности структуры и температурная стойкость шунгитового углерода к графитизации // Физика твердого тела, 1999. Т. 41. Вып. 8. С. 1412—1415.
34. Черевко Н. К. Твердые битумы Европейского Северо-Востока России. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1999. 101 с.
35. Юшкин Н. П. Биоминеральные взаимодействия. М.: Наука, 2002. 60 с.
36. Юшкин Н. П. Опыт среднемасштабной топоминералогии. Л.: Наука, 1980. 376 с.
37. Юшкин Н. П. Теория и методы минералогии (избранные проблемы). Л.: Наука, 1977. 291 с.
38. Cornelli C. D. Classification of Natural Bitumen: A Physical and Chemical Approach // Exploration for Heavy Crude Oil and Natural Bitumen. 1984. P. 165—170.
39. Curiale J. A. Origin of solid bitumens with emphasis on biological marker results // Aav. Org. Geochem., 1986. V. 10. P. 559—580.
40. Heymann D., Dressler B., Bissada K. Biogenic carbon in rocks of the Sudbery impact Structure // Lunar and Planetary Science. Abstr. Conf. Houston, 2000. V. 28. P. 268—269.
41. Yen T. F. Structure of petroleum asphaltene and its significance // Energy Sources, 1974. V. 1. P. 447—463.



References

- Aleksandrov A. I. *Shungit v porodah zhilah spilito-al'bitirovoj formacii okrestnostej g. Krasnoural'ska (Srednij Ural)* (Shungite in the veins of the spili-albitophyre formation in the vicinity of Krasnouralsk (Middle Urals)) // *Zapiski VMO*, 1956. V. 85. № 3. P. 418—419.
- Alferov B. A. *Geologicheskie issledovaniya v rajone Kostina Shara* (Geological investigations in the area of Kostin Shara) // *Proceedings of the Arctic Institute*, 1935. Vol. 26. 97.
- Arshinov V. V. *O vkluchenijah antraksolita v izverzhennyh gornyh porodah Kryma*. (On inclusions of anthraxolite in igneous rocks of the Crimea). M., 1914. 14 p.
- Bazhenov V. A., Makarenko N. A., Rodygin S. A. *Bitumoprojaveniya v vulkanogennyh porodah Hakassii* (Bitumen reinforcement in volcanogenic rocks of the Khakassia) // *Questions of geology of Siberia*. Tomsk: Publishing house of Tomsk University, 1992. Issue. 1. P. 155—160.
- Bazhenova T. K., Kushmar I. A. *Osnovnye cherty geologii i geohimii prirodnih bitumov domezozojского megabassejna Sibirskoj platformy* (Basic features of geology and geochemistry of natural bitumens of the Domo-zozoic megabasin of the Siberian platform) // *Natural bitumen and heavy oil*. St. Petersburg: Nedra, 2006. pp. 132—145.
- Bezrukov V. M., Vinokurov I. Yu., Sukhanov A. A. *Antrak-solity Novoj Zemli kak vanadijsoderzhashhee syr'e* (Anthraxolites of Novaya Zemlya as Vanadium-containing raw materials) // *Carbon. Mineralogy, geochemistry, cosmochemistry: Materials of the international conference*. Syktyvkar: Geoprint, 2003. pp. 126—127.
- Biske N. S. *Ramanovskie spektry uglerodnogo veshhestva kontaktovo-metamorfizovannyh porod: na primere shungitovoj zalezhi Lebeskhina* (Raman spectra of carbon matter of contact-metamorphosed rocks: on the example of shungite deposit, Lebeskhina) // *Geology and Minerals of Karelia*. Issue. 15. Petrozavodsk, 2012. P. 70—76.
- Van Crevelen D. V. *Grafostatisticheskij metod izuchenija struktury i processov obrazovaniya uglja* (Graphostatistical method for studying the structure and processes of coal formation) // *Chemistry of Solid Fuel*. Collection № 2. Moscow: Izd-vo IL, 1951. From 11—44.
- Wu Wang Hai, Serebrennikova O. V. *Sostav nasyshhennyh uglevodorodov bitumov Severnoj Hakassii* (The composition of saturated hydrocarbons of bitumen of Northern Khakassia) // *Izvestia TPU*, 2012. Vol. 321. № 3. P. 161—165.
- Klubov B. A., Bezrukov V. M. *Antrak-solity Novoj Zemli* (Anthraxolites of the New Earth) // *Soviet Geology*, 1992. № 4. P. 55—64.
- Korolev Yu. M. *Rentgenograficheskaja karakteristika naftidov* (X-ray diffraction of naphthydes) // *Lithology and Minerals*, 1998, № 6. P. 955—968.
- Luchickij I. V. *Vulkanizm i tektonika devonskih vpadin Minusinskogo mezhgornogo progiba* (Volcanism and tectonics of the Devonian basins of the Minusinsk intermountain trough). M.: Izd-vo AN SSSR, 1960. 276 s.
- Makarenko N. A., Arhipov A. L., Parnachjov V. P. *Nekotorye problemy genezisa naftidov urochishha Sohochul (Respublika Hakassija)* [Some problems of the genesis of naftides of the tract of Sohochul (Republic of Khakassia)] // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013. № 372. S. 180—183.
- Metelkin D. V., Koz'min D. G. *Paleomagnitnaja karakteristika kembrija Batenevskogo krjazha: k voprosu jevoljucii Kuznecko-Alatau-skoj ostrovnogoj dugi na Juge Sibiri* (Paleomagnetic characteristics of the Cambrian of the Batenevsky ridge: the evolution of the Kuznetsk-Alatau island arc in the South of Siberia) // *Geologija i geofizika*, 2012. T. 53 (1). S. 50—66.
- Parnachev V. P. *Geologija i poleznye iskopaemye Severnoj Hakassii* (Geology and minerals of Northern Khakassia). Tomsk: Publishing House of Tomsk University, 1998. P. 97.
- Petrovsky V. A., Fedoseev G. S., Silaev V. I., Sukharev A. E. *Tverdye bitumy iz bazal'tov Severnoj Hakassii* (Solid bitumens from the basalts of Northern Khakassia) // *Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin readings — 2016)*. Syktyvkar: Geoprint, 2016. P. 158—159.
- Rostovtsev V. N., Rostovtsev V. V. *Ot diskussij k poisku paleozojskoj nefti* (From discussions to the search for Paleozoic oil) // *Bulletin of Science in Siberia*, 2012. № 5 (6). Pp. 12—19.
- Safronov A. N., Germanov E. P. *Strukturnye osobennosti shungitov iz analiza difrakcionnogo profilja (002)* (Structural features of shungites from the analysis of the diffraction profile (002)) // *Structure and typomorphism of nonmetallic minerals in Karelia*. Petrozavodsk: Publishing House KarRC RAS, 1988. P. 29—34.
- Serebrennikova O. B., Vasilyev B. D., Turov Yu. P. *Nefteprojavlenie «Sohchul» v Severnoj Hakassii* (Oil manifestation of “Sokhchul” in Northern Khakassia) // *Izvestiya of Tomsk Polytechnic University*, 2002. T. 305. P. 78—82.
- Serebrennikova O. V., Vasilyev B. D., Turov Yu. P., Filippova T. Yu. *Naftidy v bazal'tah nizhnego devona Severo-Minusinskoj vpadiny* (Naphthydes in the Basalts of the Lower Devonian of the North Minusinsk Depression) // *Doklady RAS*, 2003. T. 390. № 4. P. 525—527.
- Silaev V. I., Golubev E. A., Simakova Yu. S., Petrovsky V. A., Khazov A. F. *Sravnitel'noe issledovanie grafit, antraksolita i shungita v svyazi s ocenкой haraktera i predelov transformacii kondensirovannyh uglevodistyh veshhestv v geologicheskikh uslovijah* (A comparative study of graphite, anthraxolite and shungite in connection with the evaluation of the character and limits of transformation of condensed carbonaceous materials in Geological conditions) // *Crystalline and solid non-crystalline state of a mineral substance: Materials of a mineralogical seminar with international participation*. Syktyvkar: Geoprint, 2012. P. 182—187.
- Silaev V. I., Il'chenko V. O., Lytoev V. P., Filippov V. N., Golubev E. A., Kovaleva O. V. *Autigennaja psevdomineralizacija v antraksolite* (Authigenic pseudomineralization in the anthraxolite) // *Problems of geology and mineralogy*. Syktyvkar: Geoprint, 2006. pp. 283—314.
- Silaev V. I., Kovaleva O. V., Men'shikova E. A., Petrovsky V. A. *«Lestnica sgoranija» Sharlja Zherara ili shkala termicheskoj ustojchivosti uglevodistyh veshhestv v prilozhenii k geologii* (“The Ladder of Combustion” by Charles Gerard or the scale of thermal stability of carbonaceous substances in application to geology) // *Organic Mineralogy: Proceedings of the III Russian Meeting On organic mineralogy*. Syktyvkar: Geoprint, 2009. S. 42—47.
- Silaev V. I., Lutoev V. P., Il'chenko V. O., Golubev E. A., Kovaleva O. V. *Tverdye bitumy v rudnyh mestorozhdenijah (na primere Novozemel'skogo antraksolita)* (Solid bitumens in ore deposits (on the example of the Novozemelsky anthraxolite)) // *The problem of mineralogy, petrography and metallogeny: Materials of scientific readings in memory of P. N. Chirvinsky*. Perm: Publishing House of Perm University, 2006. Issue. 9. P. 56—76.
- Silaev V. I., Lutoev V. P., Petrovsky V. A., Khazov A. F. *Opyt issledovanij prirodnih uglevodistyh veshhestv i nekotoryh ih sinteticheskikh analogov metodom ramanovskoj spektroskopii* (Experience of studies of natural carbonaceous substances and some of their synthetic analogs using the Raman spectroscopy method) // *Mineralogical Journal*, 2013. Vol. 35. № 3. P. 33—47.
- Silaev V. I., Smoleva I. V., Antoshkina A. I., Tchaikovskiy I. I. *Opyt soprazhennogo analiza izotopnogo sostava ugleroda i azota v uglevodistyh veshhestvakh raznogo proishozhdenija* (The experience of the conjugate analysis of the isotope composition of carbon and ni-

trogen in carbonaceous substances of different origin) // Problems of Mineralogy, Petrography and Metallogeny: Proceedings of Scientific Readings Memory of P.N. Chirvinsky. Perm: Izd-vo PGU, 2012. № 15. S. 342—366.

27. Silaev V. I., Khazov A. F. *Izotopnoe disproportionirovanie karboatnogo ugleroda v processah gipergenno-jekzogennoj peregruppirovki veshhestva zemnoj kory* (Isotopic disproportionation of carbonate carbon in the processes of hypergenic-exogenous rearrangement of the crustal matter): The Program of Basic Research of the Russian Academy of Sciences. №. 3. Syktyvkar: Geoprit, 2003. 41 p.

28. Silaev V. I., Khazov A. F., Piskunova N. N. *Ocenka mineral'nyh mestorozhdenij: himija, geohimija ili mineralogija* (Evaluation of mineral deposits: chemistry, geochemistry or mineralogy) // Mineralogical and technological assessment of mineral deposits and the problem of the disclosure of minerals. Petrozavodsk: Karelian Center of UrO, 2011. P. 35—47.

29. Sokolov B. A. *Fenomenal'nye osobennosti neftegazovoj geologii* (Phenomenal features of oil and gas geology) // Soros Educational Journal, 1998. № 9. P. 66—72.

30. Fedoseev G. S., Fadeeva V. P., Melenevsky V. N. *Zhil'nyj pirobitum v doleritah Kuz'minskogo kompleksa (Minusinskij mezhgornyj progib)* (Residential pyrobitumen in the dolerites of the Kuzminsky complex (Minusinsk intermountain trough)) // Geology and Geophysics, 2001. 42. №. 7. P. 1110—1117.

31. Filippov M. M. *Antraksolity* (Anthraxolites). SPb: FGUP "VNIGRI". 2013. 296 p.

32. Filippov M. M., Cherevko N. K., Golubev E. A. *Antraksolity naftidnogo, naftido-naftoidnogo i naftoidnogo rjadov prirodnih bitumov*

(Anthraxolites of naphthoid, naphthid-naphthoid and naphthoid series of natural bitumens) // Carbon. Mineralogy, geochemistry, cosmochemistry: Materials of the international conference. Syktyvkar: Geoprint, 2003. pp. 113—115.

33. Holodkevich S. V., Berezkin V. I., Davydov V. Ju. *Osobennosti struktury i temperaturnaja stojkost' shungitovogo ugleroda k grafitizacii* (Features of the structure and thermal resistance of shungite carbon to graphitization) // Fizika tverdogo tela, 1999. Vol. 41. Issue 8. S. 1412—1415.

34. Cherevko N. K. *Tverdye bitумы Evropejskogo Severo-Vostoka Rossii* (Solid bitumen of the European North-East of Russia). Ekaterinburg: Izd-vo UB RAS, 1999. 101 p.

35. Yushkin N. P. *Biomineal'nye vzaimodejstvija* (Biomineal interactions). Moscow: Nauka, 2002. 60 pp.

36. Yushkin N. P. *Opyt srednemashtabnoj topomineralologii* (Experience of medium-scale toponomy). L.: Nauka, 1980. 376 p.

37. Yushkin N. P. *Teorija i metody mineralologii (izbrannye problemy)* (Theory and methods of mineralogy (selected problems)). L.: Nauka, 1977. 291 p.

38. Cornelli C. D. Classification of Natural Bitumen: A Physical and Chemical Approach // Exploration for Heavy Crude Oil and Natural Bitumen. 1984. P. 165—170.

39. Curiale J. A. Origin of solid bitumens with emphasis on biological marker results // Aav. Org. Geochem., 1986. V. 10. P. 559—580.

40. Heymann D., Dressler B., Bissada K. Biogenic carbon in rocks of the Sudbury impact Structure // Lunar and Planetary Science. Abstr. Conf. Houston, 2000. V. 28. P. 268—269.

41. Yen T. F. Structure of petroleum asphaltene and its significance // Energy Sources. 1974. V. 1. P. 447—463.



ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

О. В. Гракова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

ovgrakova@geo.komisc.ru

Впервые на основе минералогических геотермометров проведена оценка РТ-параметров метаморфизма верхнепротерозойских отложений Харбейского антиклинория Центрально-Уральской мегазоны Полярного Урала. Установлено, что значения температуры и давления расположены в пределах 350—500 °С и 3—5 Кбар. Метаморфиты няровейской серии образовались в условиях эпидот-мусковит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации и нижней части эпидот-амфиболитовой фации, на фоне средних и повышенных температур и умеренных давлений.

Ключевые слова: верхнепротерозойские отложения, метаморфизм, геотермометры.

THERMODYNAMIC CONDITIONS OF METAMORPHISM OF UPPER PROTEROZOIC DEPOSITS OF POLAR URALS

O. V. Grakova

Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch of RAS, Syktyvkar

The PT parameters of metamorphism of Upper Proterozoic deposits of the Nyarovey series of the Polar Urals were estimated for the first time on the basis of mineralogical geothermometers. Among the rocks of the Nyarovey series, two main groups of rocks are distinguished: quartz-epidote-chlorite-actinolite rocks (metabasalts) and micaceous-quartz schists (metapelites). The mineralogical analysis showed that the metabasalts are composed of the following rock-forming minerals — quartz, chlorite, albite, muscovite, amphibole, fluorapatite, epidote and accessory — zircon, titanite, rutile, magnetite, pyrite, chalcopryite, galena. In the metapelites — quartz, chlorite, albite, muscovite, biotite, potassium feldspar, calcite, fluorapatite, epidote, allanite; accessory and ore — zircon, apatite, garnet, titanite, rutile, tourmaline, ilmenite, magnetite, sphalerite, pyrite, chalcopryite. When calculating geothermometric parameters, a plagioclase-amphibole geothermometer for metabasites and a muscovite geothermometer for metapelites were used. Our estimation of pressure and temperature values in the metabasites and metapelites did not reveal any strong differences. It was established that the values of temperature and pressure were within 350—500 °C and 3—5 Kbar. At the same time, the temperature range turned out to be higher than assumed in previous studies. The metamorphic rocks of the Nyarovey series were formed under the conditions of the epidote-muscovite-chlorite subfacies of the greenschist facies and the lower part of the epidote-amphibolite facies, under medium and elevated temperatures and low pressures.

Keywords: Upper Proterozoic deposits, metamorphism, geothermometers.

Одним из важнейших аспектов исследования метаморфических образований является установление температур и давлений, при которых формировались их минеральные парагенезисы.

Верхнепротерозойские отложения няровейской серии, представленные нижней — верхнехарбейской и верхней — минисейшорской свитами [3], находятся в Центрально-Уральской структурно-формационной мегазоне Полярного Урала, в обрамлении глубокометаморфизованных пород харбейского и марункеуского комплексов [6, 7]. Возраст серии принимается условно среднерифейским по залеганию ниже мраморизованных известняков немурьюганской свиты, содержащих микрофитолиты IV (укского) комплекса рифея.

Верхнехарбейская свита распространена преимущественно в западном обрамлении Харбейско-Марункеуского антиклинорного блока-террейна в виде отдельных полос северо-северо-восточного простирания шириной 2—6 км, общей протяженностью более 50 км (рис. 1). Наиболее полно она представлена по ручью Саль-Тальба, рекам Гена-Хадата, Пэсавей-Яха, Паатарка. Свита сложена метаморфизованными терригенно-осадочными отложениями [3]: переслаивающимися слюдяно-кварц-полевошпатовыми кварцитопесчаниками и гравелитами с подчинёнными пластами и пачками хлорит-слюдяно-кварц-альбитовых, хлорит-серицит-альбит-кварцевых, графитовидных сланцев, редко линзами кварцитов и мраморов. Мощность свиты составляет 400—500 м.

Минисейшорская свита распространена в междуречье рр. Щучья—Байдарата, Бол. Хадата—Щучья и бассейне р. Лонготъеган. Свита представлена метабазами, филлитовидными, эпидот-хлорит-амфиболовыми, эпидот-альбит-хлоритовыми и магнетитовыми сланцами с подчинённым развитием углеродистых и карбонатных разностей [3]. В сланцах содержатся прослои, пласты и пачки алевролитов кварцитовидных, алевропесчаников кварц-альбитовых, иногда встречаются прослои и пласты светлых кварцитов. Наиболее полные разрезы отмечаются по рр. Орангъеган, Паатарка. Мощность свиты 1200—1400 м.

Формирование вулканогенно-осадочного материала в няровейское время, скорее всего, происходило в окраинно-океанической или окраинно-морской обстановке в умеренно-климатической зоне [3]. Породы метаморфизованы в условиях фации зеленых сланцев. По мнению А. М. Пыстина, температура метаморфизма, определенная на основе анализа минеральных парагенезисов пород, составляла 400—450 °С, давление 3—5 Кбар [4].

Актуальность проведенных исследований определяется тем, что отложения няровейской серии остаются малоизученным объектом в отношении уровня метаморфизма.

Целью данной работы является уточнение РТ-параметров метаморфизма пород няровейской серии на количественной основе с использованием минералогических геотермометров.

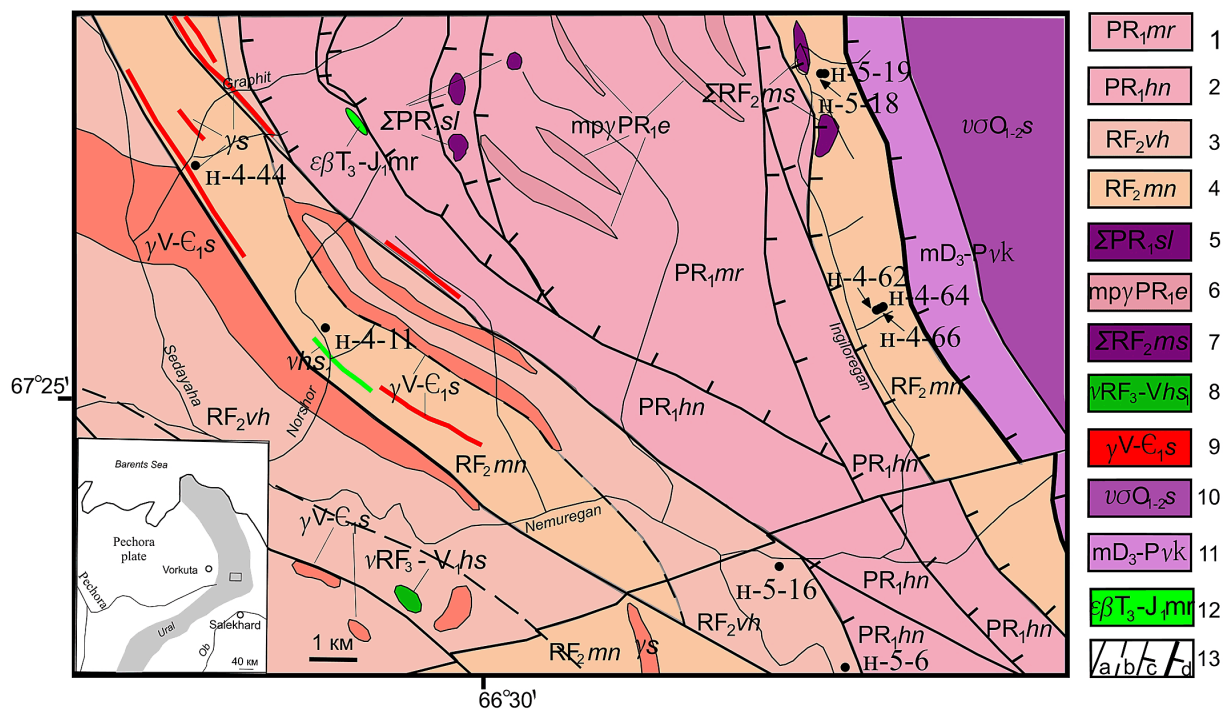


Рис. 1. Схематическая геологическая карта нижнего течения р. Немурьюган (Полярный Урал) (по [3]). Условные обозначения: 1—2 марункеуский комплекс: 1 — марункеуская свита, 2 — ханмейхойская свита; 3—4 — няровейская серия: 3 — верхнехарбейская свита, 4 — минисейшорская свита; 5 — слюдяногорский комплекс габбро-гипербазитовый эклогитизированный plutонический; 6 — ев-юганский комплекс мигматит-плагиогранитовый plutонический; 7 — минисейский комплекс измененных гипербазитов плуто-нический; 8 — харбей-собский комплекс габбро-гранодиоритовый; 9 — сядатояхинский комплекс гранитовый plutонический; 10 — сьумкеуский комплекс дунит-гарцбургитовый plutонический; 11 — войкаро-кемпирсайский комплекс тектонитов; 12 — марун-ский комплекс щелочно-базитовый; 13 — разрывные нарушения: а — сдвиги, b — неустановленной кинематики, с — взбросо-надви-ги второстепенные, d — взбросо-надвиги главные. Точками показаны места отбора проб с номерами проб

Fig. 1. A schematic geological map of the lower reaches of the river Nemuryugan (Polar Urals) (for Dushin, 1997). Legend: 1—2 Marunkey complex: 1 — Marunkey series, 2 — Hanmeyhoys series; 3—4 — Nyarovey series: 3 — Verhneharbey series, 4 — Miniseyshor series; 5 — Slyudyanyogorsky complex gabbro-ultramafic plutonic eclogitized; 6 — Evyugansky complex migmatite plagiogranite plutonic; 7 — Mini-seysky complex ultramafic plutonic; 8 — Harbeysobsky complex gabbro-granodiorite; 9 — Syadatoyahinsky complex granite plutonic; 10 — Syumkeusky complex harzburgite-dunite plutonic; 11 — Voikar-Kempirsay complex tectonites; 12 — Marunsky complex alkaline basite; 13 — faults: a — shifts, b — unknown kinematics, c — reversed strike-thrusts minor, d — reversed strike-main thrusts. Points show the sampling points with sample numbers

Методы исследования

Были проведены петрографическое и минералогическое исследования пород няровейской серии. Химические составы минералов были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой Instruments X-Max (аналитик С. С. Шевчук) в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН (9 аншлифов, 150 микронзондовых анализов). Для расчета геотермометрических параметров метаморфизма применялись амфибол-плагиоклазовые геотермометры программы PetroExplorer v.3.2 (Blundy, Holland [8]; Holland, Blundy [9]; Jaques et al. [10]; Spear [11]) и мусковитовый геотермометр (Wu, Chen [12]).

Минералого-петрографическая характеристика пород

Нами изучены сланцевые толщи няровейской серии по безымянным притокам р. Ингилорьеган и вдоль руч. Нярошор и Графитовый бассейна р. Немурьеган (рис. 1). По химическому составу образования няровейской серии разделяются на орто- (метабазалты, метатифы) и паропороды (метапелиты, метаморфизованные граувакковые песчаники и алевролиты, аркозовые и кварцевые песчаники) [5].

По минеральному составу среди образований няровейской серии нами были выделены две разновидности: кварц-эпидот-хлорит-актинолитсодержащие породы и слюдисто-кварцевые сланцы.

Кварц-эпидот-хлорит-актинолитовые породы (метабазалты) имеют сланцеватую, иногда слабосланцеватую и массивную текстуру, нематолепидогранобластовую, редко порфиробластовую структуру. Они представлены эпидотом (5—40 %), амфиболом (преимущественно актинолитом) (15—35 %), альбитом (3—30 %), хлоритом (5—25 %), кварцем (1—10 %), кальцитом (0—10 %), мусковитом (1—3 %). Минералогический анализ показал, что в составе метабазалтов встречаются следующие акцессорные и рудные минералы: циркон, титанит, рутил, магнетит, пирит, халькопирит, галенит (рис. 2).

Слюдисто-кварцевые сланцы (метапелиты) по количеству темноцветных минералов делятся на меланократовые (50 % и более), мезократовые (30—50 %) и лейкократовые (менее 30 %) разновидности. Меланократовые породы включают в себя альбит-эпидот-мусковит-кварцевые, альбит-мусковит-хлорит-кварцевые, альбит-кварц-актинолитовые-мусковитовые, биотит-хлорит-эпидот-кварцевые, мусковит-альбит-биотит-эпидот-хлорит-кварцевые, кварц-мусковитовые, эпидот-мусковит-хло-

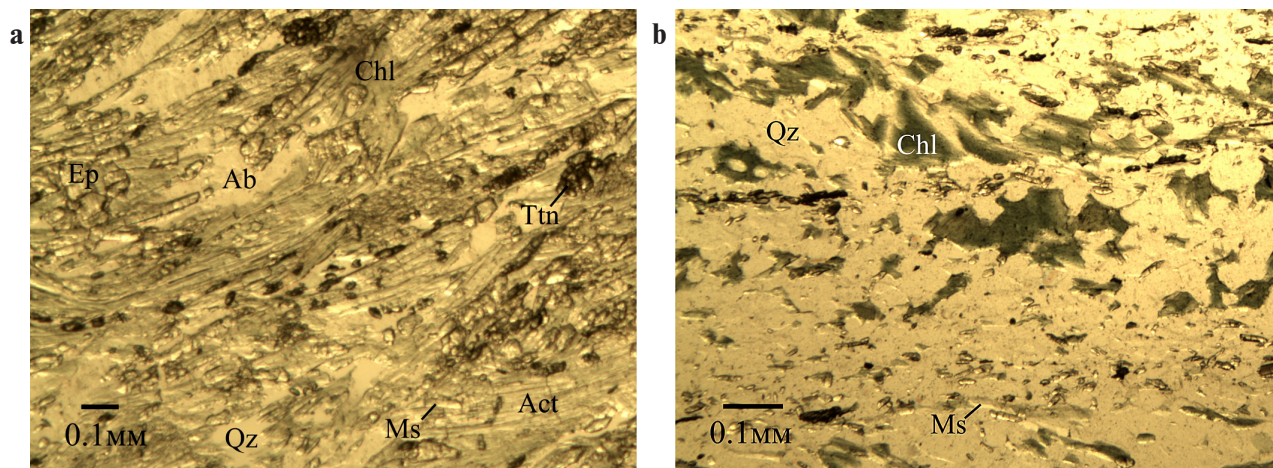


Рис. 2. Метабазиты (а) и метапелиты (б) няровейской серии (в проходящем свете): Qz — кварц, Chl — хлорит, Ab — альбит, Ms — мусковит, Act — актинолит, Ep — эпидот, Ttn — титанит

Fig. 2. Metabasites (a) and metapelites (b) of the Nyarovey series (in the transmitted light): Qz — quartz, Chl — chlorite, Ab — albite, Ms — muscovite, Act — actinolite, Ep — epidote, Ttn — titanite

Таблица 1

Химические составы и эмпирические формульные единицы плагиоклазов из метабазитов няровейской серии

Table 1

Chemical compositions and empirical formula units of plagioclases from metabasites of nyaroveyskaya series

Свита / Suite	Верхнехарьбейская / verkhnekharbeyskaya				Минисейшорская / Miniseyshorskaya				
№ пробы / Sample No	н-5-16				н-5-18		н-5-19		
№ анализа в табл. 4 Analysis No in Table 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	70.95	70.82	71.44	71.78	68.74	69.67	70.46	72.69	71.26
Al ₂ O ₃	20.47	20.71	20.92	20.56	20.18	20.09	20.95	20.91	20.66
Na ₂ O	11.7	11.58	11.67	11.69	11.05	11.34	11.83	11.91	11.94
CaO	н.о.	0.32	н.о.	0.28	0.28	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Сумма / Total	103.12	103.43	104.03	104.31	100.25	101.1	103.24	105.51	103.86
Si	3.01	3.00	3.01	3.02	3.01	3.01	2.98	3.02	3.00
Al	1.02	1.03	1.04	1.02	1.04	1.02	1.05	1.02	1.03
Na	0.96	0.95	0.95	0.95	0.94	0.95	0.97	0.96	0.98
Ca	н.о.	0.02	н.о.	0.01	0.01	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Ab	1.00	0.98	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
An	—	0.02	—	0.01	0.01	—	—	—	—
Or	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—
Свита / Suite	Минисейшорская / Miniseyshorskaya								
№ пробы Sample No	н-5-19		н-4-44			н-4-62		н-4-64	
№ анализа в табл. 4 Analysis No in Table 4	10	11	12	13	14	15	16	17	
SiO ₂	68.95	69.37	72.58	70.49	72.08	67.15	69	70.2	
Al ₂ O ₃	20.06	20.26	21.16	20.74	20.16	19.61	19.51	20.28	
Na ₂ O	11.79	11.27	12.42	12.08	11.71	11.15	11.53	11.67	
CaO	н.о.	н.о.	н.о.	0.19	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
FeO	н.о.	0.36	0.33	0.42	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
Сумма / Total	100.8	101.26	106.49	103.92	103.95	97.91	100.04	102.15	
Si	2.99	3.01	2.98	2.96	3.04	3.01	3.02	3.01	
Al	1.02	1.04	1.02	1.03	1.01	1.03	1.01	1.02	
Na	0.99	0.95	0.99	0.99	0.96	0.97	0.98	0.97	
Ca	н.о.	н.о.	н.о.	0.01	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
Fe ²⁺	н.о.	0.01	0.01	0.02	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
Ab	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	
An	—	—	—	0.01	—	—	—	—	
Or	—	—	—	—	—	—	—	—	

Примечание: н.о. — не обнаружен. Note. н.о. — not detected

рит-кварцевые, углеродистые хлорит-мусковит-кварцевые, кальцит-биотит-хлорит-мусковит-кварцевые, гранат-альбит-эпидот-хлорит-мусковит-кварцевые, гранат-хлорит-мусковит-кварцевые сланцы с полосчатой текстурой, порфиروبластовой и лепидогранобластовой структурой. В их состав входят: кварц (20—60 %), мусковит (5—40 %), хлорит (0—30 %), актинолит (0—20 %), эпидот (0—20 %), альбит (1—10 %), биотит (0—10 %) и гранат (0—2 %). К мезократовым образованиям относятся кальцит-гранат-мусковит-эпидот-хлорит-кварцевые, гранат-мусковит-хлорит-альбит-кварцевые, хлорит-эпидот-мусковит-кварцевые, эпидот-альбит-хлорит-мусковит-кварцевые, хлорит-биотит-мусковит-альбит-кварцевые и мусковит-альбит-кварцевые сланцы. Породообразующие минералы представлены кварцем (50—70 %), мусковитом (10—

30 %), эпидотом (0—20 %), хлоритом (0—15 %), альбитом (0—10 %), биотитом (0—5 %), кальцитом (0—3 %), гранатом (0—2 %). К лейкократовым образованиям отнесены мусковитные кварциты, часто углеродистые, мусковит-клинозоизит-хлорит-кварцевые, хлорит-мусковит-кварцевые сланцы с содержаниями кварца (70 % и более), мусковита (0—20 %), хлорита (0—15 %), эпидота (0—10 %), с мощностью выходов 2—7 м. Эти породы плотные, с заметной сланцеватой текстурой. В них практически отсутствует плагиоклаз. В составе метapelитов присутствуют следующие аксессуарные и рудные минералы: циркон, апатит, гранат, титанит, рутил, турмалин, ильменит, магнетит, сфалерит, пирит, халькопирит (рис. 2).

Минералого-петрографическая характеристика верхнепротерозойских отложений няровейской серии пока-

Таблица 2

Химические составы и эмпирические формульные единицы амфиболов из метабазитов няровейской серии

Table 2

Chemical compositions and empirical formula units of amphiboles from metabasites of nyaroveyskaya series

Свита / Suite	Верхнехарьбейская / Verkhneharbeyetskaya				Минисейшорская / Miniseyshorskaya				
№ пробы Sample No	н-5-16				н-5-18		н-5-19		
№ анализа в табл. 4 Analysis No in Table 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	54.75	53.49	55.14	55.37	54.55	55.75	58.7	57.72	54.99
Al ₂ O ₃	2.59	3.79	1.87	2.41	2.54	2.08	2.8	2.51	2.72
FeO	16.81	18.18	16.92	17.3	11.55	9.39	9.74	10.77	10.59
MnO	н.о.	н.о.	0.31	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.34
MgO	13.36	12.52	13.63	13.24	16.42	18.08	18.68	18.58	17.39
CaO	12.91	12.7	13.06	12.83	11.56	11.94	12.23	13.16	12.62
Na ₂ O	н.о.	0.82	н.о.	0.37	0.63	0.87	0.88	н.о.	0.52
Сумма / Total	100.42	101.5	100.93	101.52	97.25	98.11	103.03	102.74	99.17
Si	7.78	7.58	7.80	7.78	7.84	7.81	7.82	7.77	7.69
Al ^{IV}	0.22	0.42	0.20	0.22	0.16	0.19	0.18	0.23	0.31
Al ^{VI}	0.21	0.21	0.11	0.18	0.27	0.15	0.26	0.16	0.14
Fe ³⁺	0.01	0.12	0.09	0.08	0.04	0.17	0.09	0.07	0.18
Fe ²⁺	1.98	2.04	1.91	1.95	1.23	0.93	0.99	1.14	1.06
Mn	н.о.	н.о.	0.04	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.04
Mg	2.83	2.64	2.87	2.78	3.52	3.78	3.71	3.73	3.62
Ca	1.97	1.93	1.98	1.93	1.78	1.79	1.75	1.90	1.89
Na	н.о.	0.23	н.о.	0.10	0.18	0.24	0.23	н.о.	0.14
Тип / Amf	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act
Свита / Suite	Минисейшорская / Miniseyshorskaya								
№ пробы / Sample No	н-5-19		н-4-44			н-4-62		н-4-64	
№ анализа в табл. 4 Analysis No in Table 4	10	11	12	13	14	15	16	17	
SiO ₂	54.99	56.06	56.6	55.8	54.55	54.03	53.93	54.56	
Al ₂ O ₃	2.5	2.48	1.26	2.16	1.02	1.66	1.84	3.71	
FeO	10.36	10.68	12.37	13.35	13.4	13.88	13.99	13.04	
MnO	н.о.	н.о.	0.3	0.41	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
MgO	16.92	17.22	16.93	16.06	15.56	14.74	14.75	15.47	
CaO	12.21	11.72	12.6	12.34	12.01	11.68	11.84	12.5	
Na ₂ O	0.6	0.97	0.34	0.57	0.54	0.63	0.68	0.46	
Сумма / Total	97.58	99.13	100.4	100.69	97.08	96.62	97.03	99.74	
Si	7.79	7.81	7.87	7.77	7.88	7.86	7.82	7.66	
Al ^{IV}	0.21	0.19	0.13	0.23	0.12	0.14	0.18	0.34	
Al ^{VI}	0.21	0.22	0.08	0.12	0.06	0.15	0.13	0.27	
Fe ³⁺	0.10	0.14	0.09	0.16	0.13	0.10	0.15	0.12	
Fe ²⁺	1.13	1.10	1.35	1.39	1.49	1.59	1.55	1.41	
Mn	н.о.	н.о.	0.04	0.05	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	
Mg	3.58	3.58	3.51	3.33	3.35	3.20	3.19	3.24	
Ca	1.85	1.75	1.88	1.84	1.86	1.82	1.84	1.88	
Na	0.17	0.26	0.09	0.15	0.15	0.18	0.19	0.13	
Тип / Amf	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	Act	

Примечание: н.о. — не обнаружен. Note. н.о. — not detected



Химические составы и эмпирические формульные единицы мусковитов из метапелитов няровейской серии

Таблица 3

Table 3

Chemical compositions and empirical formula units of muscovites from metapelites of nyaroveyskaya series

№ пробы / Sample No	н-4-11	н-4-66
№ анализа в табл. 5 Analysis No in Table 5	1	2
SiO ₂	50.33	50.69
TiO ₂	0.51	0.36
Al ₂ O ₃	29.95	31.53
FeO	4.91	2.93
MgO	2.15	2.55
Na ₂ O	0.68	0.48
C ₂ O	10.53	11.29
Сумма / Total	99.06	99.83
Si	3.28	3.25
Ti	0.03	0.02
Al ^{IV}	0.73	0.75
Al ^{VI}	1.57	1.63
Fe ²⁺	0.27	0.16
Mg	0.21	0.24
Na	0.09	0.06
C	0.87	0.92
Sid	0.56	0.39
Eas	0.44	0.61
Ann	—	—
Phl	—	—
Mus	Фенгит Phengite	Фенгит Phengite

зала, что по составу минеральных ассоциаций, в том числе по отсутствию низкотемпературных минералов (пиррофиллит, парагонит и др.), можно говорить о метаморфизме не ниже эпидот-мусковит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации и не выше нижней части эпидот-амфиболитовой фации [2]. Для определения максимальных термобарометрических параметров формирования выделенных парагенезисов минералов различных типов пород (метапелитов и метабазитов) и уточнения фаций метаморфизма использованы расчеты РТ-параметров метаморфизма на основе минералогических геотермометров.

Результаты микронзондовых анализов минералов, используемых для определения РТ-условий метаморфизма (плаггиоклазов, амфиболов и мусковитов), приведены в таблицах 1—3.

Расчет термодинамических условий метаморфизма

При расчете геотермометрических параметров, как уже было отмечено выше, мы использовали плаггиоклаз-амфиболовый геотермометр программы PetroExplorer v.3.2 для метабазитов, а также мусковитовый геотермометр для метапелитов. Температура метаморфизма ильменитсодержащих метапелитов, определяемая по содержанию Ti в мусковите, была рассчитана по формуле $\ln[T(^{\circ}\text{C})] = 7.258 + 0.289 \ln(\text{Ti}) + 0.158[\text{Mg}/(\text{Fe} + \text{Mg})] + 0.031 \ln[\text{P}(\text{kbar})]$ [12].

Для расчета давления нами были взяты значения 3—5 Кбар, полученные ранее по результатам анализа минеральных парагенезисов [4].

Вычисленные значения температур по минеральной ассоциации «альбит—актинолит» в метабазальтах верхнехарьейской свиты варьируют в пределах 340—500 °С, в отложениях минисейшорской свиты — 340—480 °С (табл. 4).

Таблица 4

Определение температуры в породах няровейской серии по амфибол-плаггиоклазовому геотермометру (Hbl-Pl)

Table 4

Temperature in the rocks of nyaroveyskaya series by amphibole-plagioclase geothermometer (Hbl-Pl)

Свита / Suite	Верхнехарьейская / Verkhnekharbeyskaya										Минисейшорская / Miniseyshorskaya					
№ анализа Analysis No	1	2				3	4				5				6	
По автору By author	а	а	б	в	г	а	а	б	в	г	а	б	в	г	а	
Параметры Parameters	Т, °С															
Р, кбар	3	439	499	389	383	354	427	422	384	374	346	389	397	423	384	401
	4	428	488	392	384	351	417	412	386	374	343	380	401	423	380	391
	5	418	477	394	384	348	407	402	388	374	340	370	404	423	377	382
Свита / Suite	Минисейшорская / Miniseyshorskaya															
№ анализа Analysis No	7	8	9	10	11	12	13				14	15	16	17		
По автору By author	а	а	а	а	а	а	а	б	в	г	а	а	а	а		
Параметры Parameters	Т, °С															
Р, кбар	3	395	450	465	412	396	388	434	394	396	363	364	373	398	474	
	4	385	440	454	403	386	379	424	396	396	359	355	364	388	463	
	5	376	429	444	393	377	369	414	396	396	356	346	355	379	452	

Примечание: а — по Blundy, Holland, 1990; б — по Holland, Blundy, 1994; в — по Jaques et al., 1982; г — Spear, 1981. По автору а получились все значения, по авторам б—г в анализах 1, 3, 6—12, 14—17 получились отрицательные значения.

Note: a — according to Blundy, Holland, 1990; б — according to Holland, Blundy, 1994; в — according to Jaques et al., 1982; г — Spear, 1981. All values for author a, for authors б-г negative results of analyses 1, 3, 6—12, 14—17

В качестве дополнительных исследований мы использовали также мусковитовый термометр, хотя он и используется при давлении 1.5 Кбар. По содержанию титана в мусковите, в метапелитах няровейской серии значения температур составляют 490—510 °С (табл. 5). Ранее нами

Таблица 5

Оценка температуры в сланцах няровейской серии по мусковитовому геотермометру (содержание титана в мусковите — Ms^{Ti})

Table 5

Temperature in shales of nyaroveyskaya series by muscovite geothermometer (titanium composition in muscovite — Ms^{Ti})

№ анализа / analysis No		1	2
Параметры / Parameters		Т, °С	
Р, кбар	0.5	500	486
	1	510	496

была рассчитана температура образования углеродистого вещества в углеродсодержащих сланцах минисейшорской свиты, она составляет 500 (± 50) °С [1]. Эти данные хорошо сопоставимы со значениями РТ-параметров метаморфизма, полученных на основе минералогических геотермометров.

Проведенные оценки РТ-условий для альбит-актинолитовой ассоциации показали следующие величины: от 350 до 500 °С для температуры и от 3 до 5 Кбар для давления. Мусковит образовался при температуре 490—510 °С. Известно, что образование мусковита происходит при температуре не менее 250 °С [2]. Кроме того, в породах няровейской серии отсутствуют низкотемпературные минералы. Следовательно, можно выделить среднетемпературную эпидот-мусковит-хлоритовую субфацию зеленых сланцев.

Выводы

В результате проведенных исследований были оценены значения РТ-параметров метаморфизма верхнепротерозойских отложений Полярного Урала. При расчете геотермобарометрических параметров был использован плагиоклаз-амфиболовый геотермометр для метабазальтов и мусковитовый геотермометр для метапелитов няровейской серии. Установлено, что значения давления и температуры не имеют сильного различия и расположены в пределах 350—500 °С и 3—5 Кбар. Эти расчеты согласуются с данными по температуре образования углеродистого вещества. Анализ состава минеральных ассоциаций также не противоречит оценке РТ-условий метаморфизма. При этом диапазон температур оказался шире, чем это предполагалось в предыдущих работах [4].

Таким образом, можно с достаточной степенью уверенности говорить, что метаморфиты няровейской серии образовались в условиях эпидот-мусковит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации и нижней части эпидот-амфиболитовой фации в условиях средних и повышенных температур и пониженных давлений.

Автор выражает благодарность профессору д. г.-м. н. А. М. Пыстину и к. г.-м. н. Н. С. Уляшевой за ценные рекомендации. Работа выполнена при финансовой поддержке

РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00146 мол. а. также при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 15-18-5-17.

Литература

1. Гракова О. В., Уляшева Н. С. Металлогенические особенности верхнепротерозойских углеродсодержащих сланцев няровейской серии (Полярный Урал) // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 9 (254). С. 16—21.
2. Добрецов Н. Л., Соболев В. С., Хлестов В. В. Фации регионального метаморфизма умеренных давлений. М.: Недра, 1972. 288 с.
3. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Листы Q-42-I, II. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 340 с.
4. Литосфера Тимано-Североуральского региона: геологическое строение, вещество, геодинамика, минерагения / А. М. Пыстин, Л. В. Махлаев, А. И. Антошкина и др.: Сыктывкар: Геопринт, 2008. 234 с.
5. Уляшева Н. С., Гракова О. В. Первичный состав пород няровейской серии (Полярный Урал) // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 2. С. 24—35.
6. Уляшева Н. С. Метабазиты харьбейского комплекса. Отв. ред. А. М. Пыстин. Сыктывкар, 2012. 98 с.
7. Уляшева Н. С. Термодинамическая эволюция метаморфизма пород харьбейского комплекса (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 9. С. 2—6.
8. Blundy J. D., Holland T. J. B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer // Contrib. Mineral. and Petrol., 1990. V. 104, P. 208—224.
9. Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // Contrib. Mineral. Petrol., 1994. V. 116. P. 433—447.
10. Jaques A. L., Blake D. H., Donchak P. J. T. Regional metamorphism in the Selwyn Range area, North-west Queensland // BMR Journal of Australian Geology and Geophysics, 1982. V. 7, №3. P. 181—196.
11. Spear F. S. Amphibole-plagioclase equilibria: a empirical model for the relation albite + tremolite = edenite + quartz // Contrib. Mineral. and Petrol., 1981. V. 77, № 4. P. 355—364.
12. Wu C. M., Chen H. X. Calibration of a Ti-in-muscovite geothermometer for ilmenite- and Al_2SiO_5 -bearing metapelites // Lithos, 2015. V. 212—215. P. 122—127.

References

1. Grakova O. V., Ulyasheva N. S. Metallogenicheskie osobennosti verhneproterozoiskih uglerodsoderzhashchih slantsev nyaroveiskoi serii (Polyarnyi Ural) (Metallogeny of carboniferous shales of the Nyarovey series (Polar Urals)). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2016, No. 9 (254), pp. 16—21.
2. Dobretsov N. L., Sobolev V. S., Khlestov V. V. Fatsii regional'nogo metamorfizma umerennykh davlenii (Facies of regional metamorphism of moderate pressures). Moscow: Nedra, 1972, 288 p.
3. Dushyn V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1:200000 (State Geological Russian Federation map scale of 1: 200.000). Second Edition. Series Polar Urals. Sheets Q-42-I, II. Explanatory letter. St. Petersburg: VSEGEI, 2007, 340 p.



4. Litosfera *Timano-Severouralskogo regiona: geologicheskoe stroenie, veschestvo, geodinamika, minerageniya* (Lithosphere of the Timan-North Urals region: geological structure, matter, geodynamics, minerageny) A. M. Pystin, L. V. Makhlaev, A. I. Antoshkina and others: Syktyvkar: Geoprint, 2008, 234 p.
5. Ulyasheva N. S., Grakova O. V. *Pervichnyi sostav porod nyaroveiskoi serii (Polyarnyi Ural)* (Primary composition of rocks of the nyarovey series (Polar Urals)) Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2016, No. 2, pp. 24—35.
6. Ulyasheva N. S. *Metabazity harbeiskogo kompleksa* (Metabasites of the Harbey complex). Ed. A. M. Pystin. Syktyvkar, 2012, 98 p.
7. Ulyasheva N. S. *Termodinamicheskaya evolyutsiya metamorfizma porod harbeiskogo kompleksa (Polyarnyi Ural)* (The thermodynamic evolution of the metamorphism of the rocks of the Harbey complex (the Polar Urals)) Vestnik IG Koomi SC UB RAS, Komi Science Centre, 2011. No. 9, pp. 2—6.
8. Blundy J. D., Holland T. J. B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contrib. Mineral. and Petrol.*, 1990, V. 104, pp. 208—224.
9. Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1994, V. 116, pp. 433—447.
10. Jaques A. L., Blake D. H., Donchak P. J. T. Regional metamorphism in the Selwyn Range area, North-west Queensland. *BMR Journal of Australian Geology and Geophysics*, 1982. V. 7, № 3, pp. 181—196.
11. Spear F. S. Amphibole-plagioclase equilibria: a empirical model for the relation albite + tremolite = edenite + quartz. *Contrib. Mineral. and Petrol.*, 1981. V. 77, No. 4, pp. 355—364.
12. Wu C. M., Chen H. X. Calibration of a Ti-in-muscovite geothermometer for ilmenite- and Al_2SiO_5 -bearing metapelites. *Lithos*, 2015, V. 212—215, pp. 122—127.

ВЫЯВЛЕНИЕ УЧАСТКОВ ОПАСНОСТИ ОСАДОЧНО-ПРОСАДОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГРУНТАХ В УСЛОВИЯХ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЛЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ СЫКТЫВКАРА)

А. Н. Вихоть, В. А. Лютоев

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
vikhota.anna@mail.ru, valutoev@geo.komisc.ru

В условиях интенсивного роста уровня урбанизации окружающая среда не способна воспринять полностью поступающую в избытке энергию техногенных физических полей. Происходит нарушение естественных геоэкологических условий. В качестве района исследований выбран г. Сыктывкар. В результате исследований методом вибросейсмической съемки с привлечением геологических и гидрогеологических данных выявлены участки, наиболее подверженные воздействию повышения значений амплитуд вибросейсмических колебаний в подстилающих грунтах-основаниях зданий непосредственно в условиях плотной городской застройки.

Ключевые слова: геологическая среда, вибросейсмическая съемка, деформационные процессы.

DETECTION OF HAZARDOUS AREAS OF SETTLEMENT-SUBSIDENCE PROCESSES IN SOILS UNDER CONDITIONS OF VIBROSEIS FIELD OF URBANIZED TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF SYKTYVKAR)

A. N. Vikhot, V. A. Lutoev

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The environment cannot completely absorb the technogenic physical fields energy that is abundant in conditions of an intensive urbanization level growth. Natural geoecological conditions are disrupted. Syktyvkar city was chosen as a research area. Our researches by vibroseis survey method determined areas most prone to increasing vibroseis amplitudes in building foundation soil in restrained urban conditions using geological and hydrogeological data.

Keywords: geological environment, vibroseis survey, deformation processes.

Введение

В последние годы в связи с интенсивным ростом уровня урбанизации все большее внимание уделяется изучению техногенного физического загрязнения городской среды: воздушной, водной, геологической. В таких условиях окружающая среда не способна воспринять полностью поступающую энергию техногенных физических полей, поэтому избыточную энергию она «расходует» на изменение своих свойств, активизацию и поддержание экзогенных геологических процессов, таких, например, как оползни и осадки/просадки грунтов под фундаментами зданий и инженерных сооружений. Оползневые процессы в долинах рек Вычегды и Сысолы в окрестностях города и их протекание под воздействием техногенной нагрузки в виде вибросейсмических колебаний были изучены ранее [9, 12].

Среди микросейсмических волновых полей особую значимость для оценки сейсмической опасности грунтов и сооружений имеют поля техно- и эндогенного происхождения в диапазоне 1—100 Гц. Микросейсмы эндогенного происхождения в диапазоне 1—20 Гц называют региональными высокочастотными сейсмическими шумами. Источники экзогенных микросейсм искусственного, или техногенного, происхождения — это движущийся транспорт, горно-рудные предприятия, предприятия энергосистемы и т. д. Сила таких вибраций аналогична землетрясениям 3—7 баллов на расстоянии до 25—40 м от источника колебаний [2]. Поэтому выявим последствия воздействия повышения значений амплитуд микросейс-

мических колебаний в подстилающих грунтах-основаниях инженерных сооружений и коммуникаций непосредственно в условиях плотной городской застройки.

Геологические и инженерно-геологические данные

В пределах территории плотной городской застройки четвертичные отложения залегают непосредственно на породах нижнего триаса, к востоку и юго-востоку от города — на породах средней и верхней юры.

В составе четвертичных отложений выделены неоплейстоценовые и голоценовые отложения. В основании разреза залегают осадки чирвинского межледниковья, реже — помусовского горизонта. В разрезе неоплейстоцена прослеживаются два ледниковых горизонта — вычегодский и печорский, отличающихся по положению в разрезе, литологическим особенностям, текстуре, окраске. Эти горизонты относятся к двум ледниковым периодам, а разделяющие их песчано-глинистые осадки — к межледниковому родионовскому. Верхняя часть неоплейстоцена сложена аллювиальными (озерно-аллювиальными) отложениями II и III надпойменных террас рек Вычегды и Сысолы. Разрез голоцена представлен аллювиальными отложениями пойм и I надпойменной террасы рек, отложениями долин мелких водотоков и болот. Мощность отложений достигает 60—87 м*. Схема инженерно-геологических условий района исследований представлена на рис. 1.

* Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000 для целей ме-
лиорации на Средневычегодском массиве / В. Ф. Лапицкая, В. Б. Зарудный, А. В. Король. Сыктывкар, 1990.

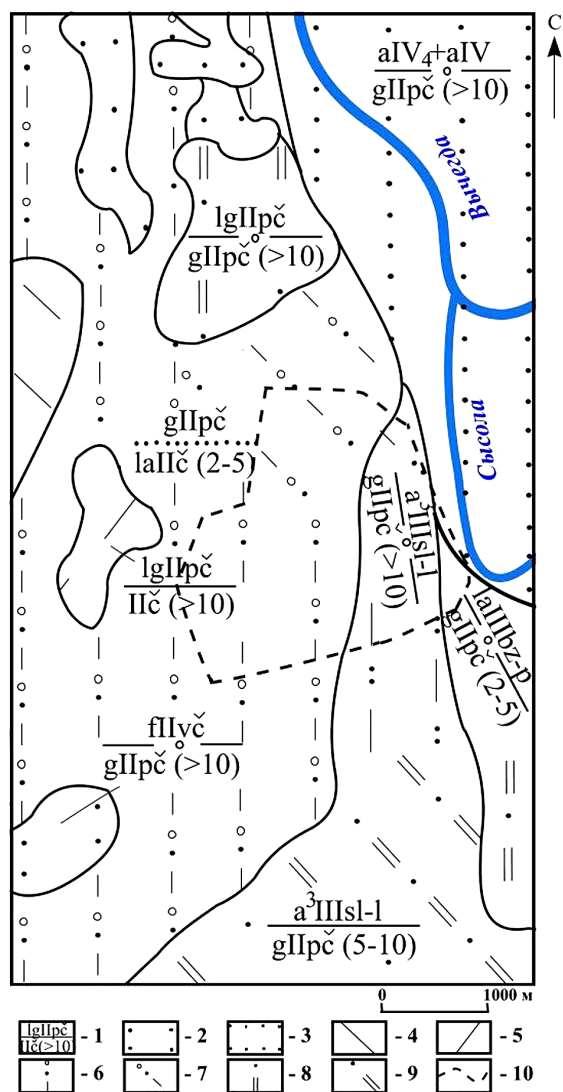


Рис. 1. Схема инженерно-геологических условий района г.Сыктывкара*:

1 — числитель — геологический индекс первого от поверхности стратиграфо-генетического комплекса, знаменатель — индекс второго комплекса, его мощность (м), знак дроби — литологический состав второго комплекса:

..... — пески, - o - — суглинки валунные, ———— глины; глубина залегания грунтовых вод: состав и мощность (м) отложений первых от поверхности стратиграфо-генетических комплексов: 2 — пески (>10); 3 — пески (<10); 4 — суглинки (>5); 5 — суглинки (<5); 6 — суглинки валунные (>10); 7 — суглинки валунные (<10); 8 — суглинки с прослоями и линзами песков и супесей (>10); 9 — суглинки с прослоями и линзами песков и супесей, (5—10); 10 — территория виброрейсейсмической съемки

Fig. 1. Scheme of engineering-geological conditions of the Syktyvkar area*:

1 — numerator — a geological index of the first genetic stratigraphic sequence from a surface, denominator — an index of the second sequence, its thickness (m), fraction bar — a lithological composition of the second sequence:

..... — sands; - o - — boulder loams; ———— clays; groundwater depth: sediments composition and thickness of (m) of first genetic stratigraphic sequences from a surface: 2 — sands (>10); 3 — sands (<10); 4 — loams (>5); 5 — loams (<5); 6 — boulder loams (>10); 7 — boulder loams (<10); 8 — loams with bands and lans of sands and sandy loams (>10); 9 — loams with bands and lans of sands and sandy loams (5—10); 10 — vibroseis survey area

Постоянные горизонты грунтовых вод в основном приурочены к русловому аллювию и ледниковым отложениям. К аллювиальным отложениям террас и флювиогляциальным отложениям водоразделов привязаны сезонно-водоносные горизонты, которые формируются под влиянием атмосферных осадков.

Методология

Возможность использования сейсмометрических методов для оценки степени вибрационных воздействий на грунты-основания зданий объясняется существованием связи между их сейсмическими параметрами и основными инженерно-геологическими свойствами [1, 5, 10, 11, 13].

В системе наблюдений «грунт — сооружение» при регистрации вибродинамической нагрузки является достаточным регистрация амплитуды смещения частиц и/или ее производных — амплитуд виброскорости или виброускорения [4, 7]. Однако для грунтов в настоящее время не существует однозначного критерия соотношения этих показателей, определяющего предельные значения данных параметров и зафиксированного в каких-либо нормативных документах. Также не стоит забывать, что проявление усталостных эффектов зданий может быть дополнительно связано с суффозией, вспучиванием грунта и др. явлениями. В зарубежной литературе и строительных нормах и правилах говорится о том, что основным параметром допускаемой величины вибрации являются пиковое и среднеквадратичное значения скорости. Если значение скорости колебаний 0.4×10^{-3} м/с и выше и значение амплитуды смещения и коэффициент затухания колебаний на данном участке незначительны, то ввиду высоких значений упругих сил восстановления первоначальных прочностных параметров горной породы участок явления осадки/просадки не подвержен. Более подробно алгоритм выделения таких зон как наиболее опасных, влияющих на скорость износа жилых зданий, приведен А. Н. Вихоть и В. А. Лютоевым [3]. В ISO 4866:1990 (он же ГОСТ Р52892-2007) для зданий второй категории (жилые здания и здания, имеющие аналогичную конструкцию или назначение) предельное значение виброскорости на фундаменте составляет 5 мм/с. При ускорениях, превышающих значение $0.003g$, строительные конструкции зданий и сооружений считаются эксплуатируемыми в условиях повышенных вибрационных нагрузок; при вибрациях со скоростью перемещения частиц грунта $(0.4—1.2) \times 10^{-3}$ м/с уже происходят сверхнормативные осадки фундаментов, возникают повреждения в старых зданиях, а при скорости $(5—8) \times 10^{-3}$ м/с возможны серьезные повреждения зданий с бетонными перекрытиями. Иными словами, ввиду изменения эпюры напряжения в конструкции зданий идет перераспределение моментов сил в узлах конструкции с внешними проявлениями в виде трещин на стыках панельных плит и в кирпичной кладке. В более менее полной степени А. Д. Жигалин и Г. П. Локшин (см. таблицу) приводят последствия вибрационного воздействия на грунтовую толщу и инженерные сооружения по соотношению среднеквадратичных значений виброскорости и виброускорения в целом по Восточно-Европейской платформе. На эти соотношения будем опираться при интерпретации данных виброрейсейсмической съемки.

* Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50 000 для целей ме-
лиорации на Средневычегодском массиве / В. Ф. Лапицкая, В. Б. Зарудный, А. В. Король. — Сыктывкар, 1990.

Последствия вибрационного воздействия на грунтовую толщу и инженерные сооружения [6]

Consequences of a vibration impact on soils and engineering constructions

Уровень вибрации Vibration level		Последствия вибрационного воздействия Consequences of vibration impact
Виброскорость Vibrospeed, 10^{-3} м/с	Виброускорение Vibroacceleration, м/с ²	
0.4	0.05	Незначительные (до 2 мм/год) осадки фундаментов зданий в слабых грунтах
1.2	0.15	Незначительные (до 2 мм/год) осадки фундаментов в плотных грунтах. Возможны легкие повреждения старых зданий
2.4	0.3	Незатухающие осадки (3—5 мм/год) фундаментов в слабых грунтах
3.0	0.4	Превышение допустимой вибрации для особо нуждающихся в виброзащите зданий
4.0	0.5	Значительные (более 5 мм/год) незатухающие осадки в слабых грунтах и незатухающие осадки (3—5 мм/год) фундаментов в плотных грунтах
5.0	0.6	При превышении этого уровня вибрации возможны повреждения зданий с деревянными перекрытиями
8.0	1.0	При превышении этого уровня вибрации возможны повреждения каменных зданий с бетонными перекрытиями
12.0	1.5	При превышении этого уровня вибрации возможны повреждения зданий из железобетона

Аппаратурное обеспечение

По ГОСТ Р52892-2007 измерения проводились в частотном диапазоне 0.3—200 Гц с помощью 24-разрядной цифровой сейсмической станции ZET 048-С. Основным оценочным параметром являлось пиковое значение скорости, измеряемое в направлении трех взаимно перпендикулярных осей x , y (имели горизонтальные направления N—S и E—W соответственно) и z (была направлена вертикально вниз). Обработка вибросейсмических сигналов осуществлялась с помощью программы ZETLab SEISMO. Блок программы «Виброметр» позволял измерять среднеквадратичные и пиковые значения ускорения, создавать виртуальные каналы мгновенных значений виброскорости и виброперемещения. Выходные сигналы для этой программы получены с трехкомпонентного акселерометра BC-1313 с максимальной возможностью измерения ускорения 10 м/с^2 при чувствительности $0.53 \text{ В/(м/с}^2)$. В блоке «Параметры спектрального анализа» были заданы настройки регистратора, что давало возможность представлять результаты расчетов по спектральной плотности, спектральной мощности, сред-

не-квадратичным и пиковым значениям (в линейном масштабе — в выбранной единице измерения, в логарифмическом — в дБ).

Результаты

По принятой в сейсмологии классификации повреждения зданий на территории г. Сыктывкара и прилегающих населенных пунктов относятся ко всем трем группам по ГОСТ Р52892-2007: легкие, умеренные и тяжелые.

Для района исследований фоновые значения амплитуд смещения грунта, зарегистрированные в ночное время для горизонтальных компонент, составляют в среднем $2 \cdot 10^{-7}$ м, для вертикальной — 10^{-7} м [8]. Это относительно небольшие значения по отношению к шумам в дневное время, поэтому регистрацию природно-техногенных микросейсм осуществляли именно в дневное время. Фоновые значения уровня микросейсм служили отправной точкой сравнения кратности увеличения шумов в дневное время. Эти значения могут меняться в сторону уве-

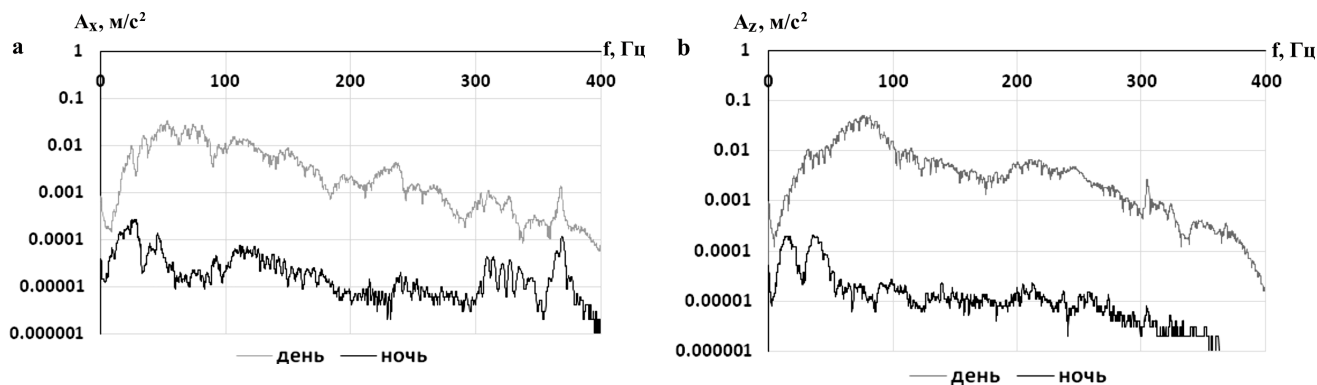


Рис. 2. Диаграммы уровня амплитуд ускорения шумов:

а — для горизонтальной компоненты X ; б — для вертикальной компоненты Z

Fig. 2. Diagrams of a noise acceleration amplitudes level: а — for a radial component X ; б — for a vertical component Z

личения в десятки раз. На рис. 2 приведены уровни амплитуд ускорений шумов вблизи крупного предприятия, расположенного в зоне городской застройки, в дневное и ночное время.

Кроме постоянных наведенных микросейсмических дневных и ночных шумов были зафиксированы импульсные сигналы, излучаемые объектами строительства, на которых проводились работы по забивке свай. Такие воздействия имеют кратковременный сильный характер, проявляющийся в виде высоких значений амплитуды ускорения колебаний в грунтах, и могут наносить существенный вред стоящим вблизи зданиям. В зависимости от веса молота определяется предельное расстояние, на котором могут произойти негативные последствия для окружающих зданий и инженерных сооружений. Обычно эта дистанция выдерживается до 17–21 м. Нужно учитывать также и другие факторы: продолжительность действия колебаний, частотный спектр, грунтовые условия, тип строения, тип несущего фундамента и др. На рис. 3,а приведен импульсный сигнал от удара в ближней зоне воздействия — в радиусе 20 м от источника колебаний, когда основной импульс удара, имеющий относительно низкую преобладающую частоту, распространяется в условиях наложения высокочастотных сигналов, порождаемых ответной реакцией неоднородных грунтов в зоне удара.

Рис. 3,б показывает характер изменения импульсного сигнала с увеличением расстояния: амплитуды сигнала

ла в зависимости от категории грунта имеют разный характер затухания и поглощения средой; продолжительность действия в грунте самих колебаний зависит от добротности среды. В глинах и суглинках с увеличением расстояния от источника фиксируется более сильный и длительный сигнал, чем в песчаных грунтах. Таким образом, приходим к выводу, что в несвязных грунтах возникают свои амплитудно-частотные колебания, зависящие от глинистости, водонасыщенности и других инженерно-геологических показателей.

Схема расположения пунктов наблюдения (ПН) вибросейсмической съемки центральной части города представлена на рис. 4. Графическое выражение характеристик вибрационного поля и амплитуды колебаний методом изолиний представлено на рис. 5.

Рассматривая диапазон максимальных среднеквадратичных значений пиковых ускорений (рис. 5,А), можно утверждать, что территория города повсеместно, за исключением прибрежной зоны р. Сысолы, находится в условиях повышенной вибронагрузки. Точечно сверхнормативные значения амплитуд ускорения и скорости колебаний вибрационного воздействия зарегистрированы в ПН 1, 8, 11, 14, 18, 27, 29, 32, 42, 48, 58, 77, 82, 83, 97, 129, 133, 150, 155–157, 159, 160, 177, 204, 205, 207, 209, 210. Эти участки мы относим к умеренно опасным. Здесь в случае высоких значений амплитуды смещения имеют место вибрационные воздействия стационарных источников колебаний, расположенных внутри зданий.

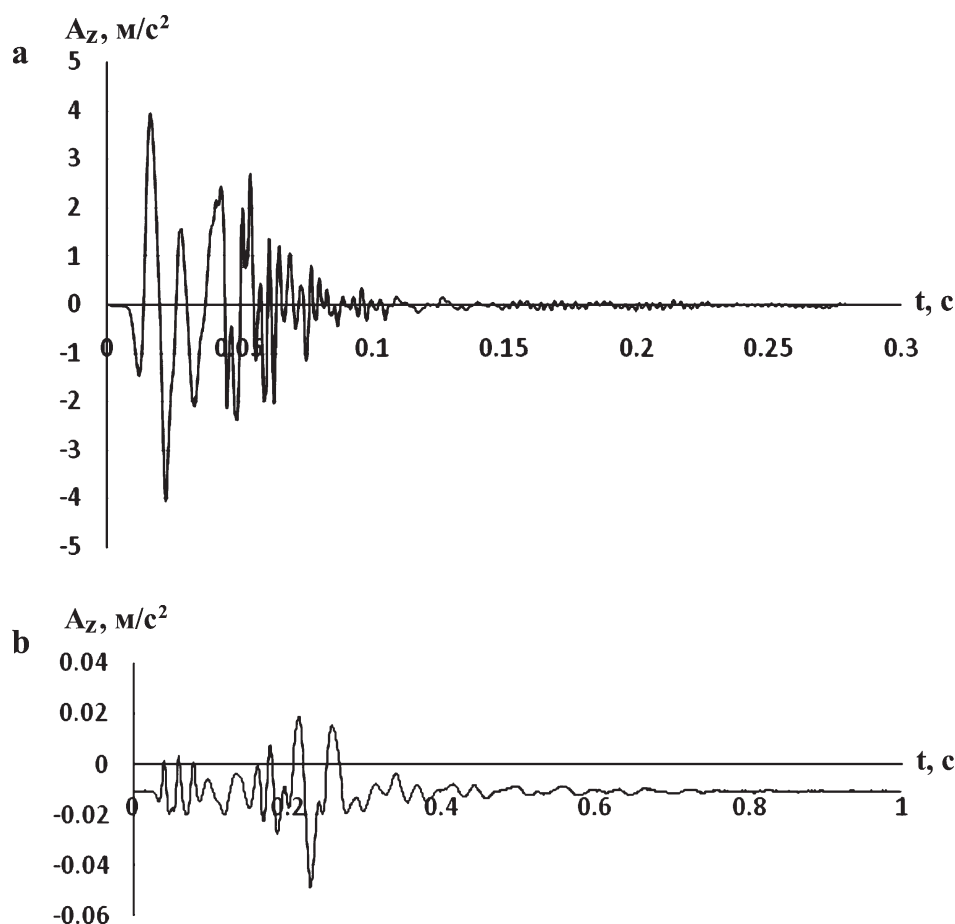


Рис. 3. Акселерограммы колебаний в грунтах от удара сваебойной машины:
а — на удалении 20 м от источника; б — на удалении 50 м от источника (запись по вертикальной компоненте)

Fig. 3. Accelerograms of oscillations from a piling machine impact in soils:
а — at a distance of 20 m from the source; б — at a distance of 50 m from the source (recording of a vertical component)



Рис. 4. Схема пунктов наблюдения вибросейсмической съемки, г. Сыктывкар

Fig. 4. Scheme of vibroseis survey observation points, Syktyvkar

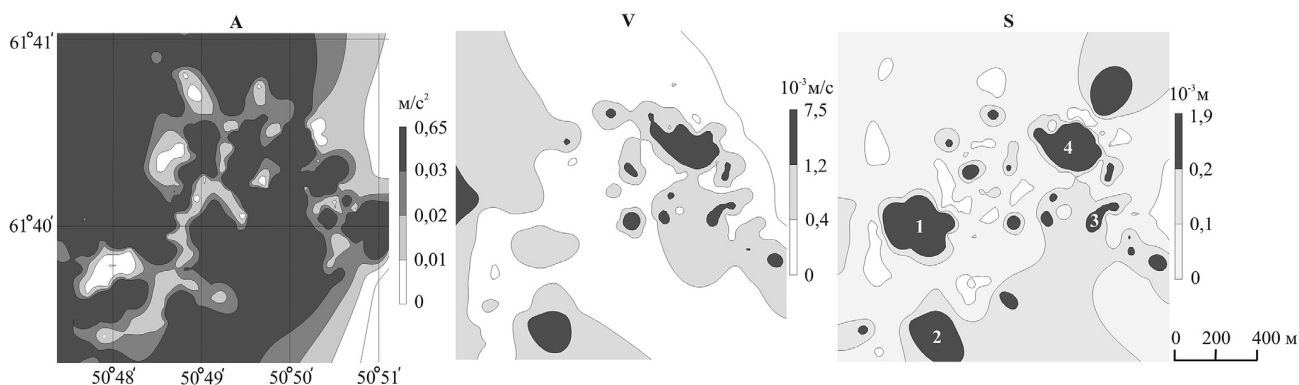


Рис. 5. Схема вибросейсмических параметров максимальных средневзвешенных значений ускорения (А), скорости (V) и смещения грунта (S) методом изолиний, г. Сыктывкар

Fig. 5. Scheme of vibroseis parameters of the maximum root-mean-square acceleration (A), speed (V) and displacement (S) values by isolines, Syktyvkar

В ПН 65 (пересечение улиц Кирова и Горького, гости-ница «Югор») и ПН 202 (пересечение ул. К. Маркса и Октябрьского пр-та) высокие значения амплитуды смещения зарегистрированы в условиях значений виброускорения и виброскорости ниже нормативных. Такие показатели могут характеризовать природные процессы в грунтах — в нашем случае движение грунтовых вод в условиях склонов.

Максимальные средневзвешенные значения амплитуды смещения зафиксированы на следующих участках как наиболее подверженных явлениям осадки/просадки в грунтах оснований фундаментов (рис. 5, S):

1. Участок № 1, ограниченный ПН 131, 134, 135 с севера ул. Оплеснина, с юга — ул. Коммунистической, с востока — ул. Старовского, с запада — Октябрьским проспектом.

2. Участок № 2: район ПН 171–173, пересечение ул. Старовского и Димитрова.

3. Участок № 3 — ПН 13, 43, 44, район ул. Куратова между ул. Ленина и Советской.

4. Участок № 4, ограниченный ПН 1, 4, 58, 59–61 с севера ул. Свободы, с юга — ул. Орджоникидзе, с востока — ул. Ленина, с запада — ул. Кирова.

Среднеквадратичные значения амплитуды смещения на выделенных участках в ближней зоне зафиксированы в условиях различных значений виброускорения и виброскорости, сверхнормативных и ниже нормы. От соотношения этих величин зависит степень опасности явления просадки.

Сводные данные свидетельствуют о неблагоприятной геологической и/или гидрогеологической обстановке:

1) на участках № 1 и 2, находящихся в зоне геологического комплекса ледниковых отложений, которые являются надежным основанием для строительства. Они представлены супесями и суглинками. Мощность достигает 20, в редких случаях 40 м. Деформации при умеренных нагрузках имеют упругий характер, при повышенных — пластический. Модуль деформации суглинков уменьшается от легких разностей к тяжелым и составля-

ет от 77 до 237 МПа. В нашем случае осложняющим фактором служат широко развитые прослой озерно-ледниковых песчаных отложений. Степень обводненности таких участков средняя и высокая. Глубина залегания грунтовых вод менее 2 м. Модуль деформации на порядок ниже — 51–65 МПа;

2) на участках № 3 и 4, находящихся в зоне геологического комплекса аллювиальных отложений, а именно II и III надпойменных террас р. Сысолы. Данные осадки служат удовлетворительным основанием для малоэтажного строительства. Они состоят из песков и супесей со средней и высокой степенью увлажнения. Мощность — до 27 м. Угол трения/откоса в сухих песках составляет 44–49°, в водонасыщенных — 27–31°. Модуль деформации — 45–63 МПа.

Аналогично проводилась интерпретация данных для районов Орбита и Эжва.

По объединенным данным оценки рисков развития деформационных процессов в основаниях фундаментов инженерных сооружений в условиях вибросейсмического поля составлена схема зон ослабленных грунтов, подверженных осадочным/просадочным процессам вследствие воздействия вибросейсмических колебаний на грунты г. Сыктывкара и прилегающих территорий (рис. 6).

Выводы

Проведенные исследования иллюстрируют возможность применения метода вибросейсмической съемки в выделении и картировании зон грунтов в геологической среде урбанизированных территорий на примере г. Сыктывкара, в которых могут происходить и/или происходят процессы осадки/просадки фундаментов зданий и нарушения целостности строительных конструкций вследствие воздействия вибрационной нагрузки на эти грунты. К преимуществам применяемой современной геофизической аппаратуры можно отнести оперативность сбора данных и их обработки. Поэтому данный метод рекомендуется использовать как экспресс-метод для предварительной оценки устойчивости грунтов. Алгоритм получения результатов может быть использован:

— при геоэкологическом мониторинге района исследований и территорий с аналогичными условиями;

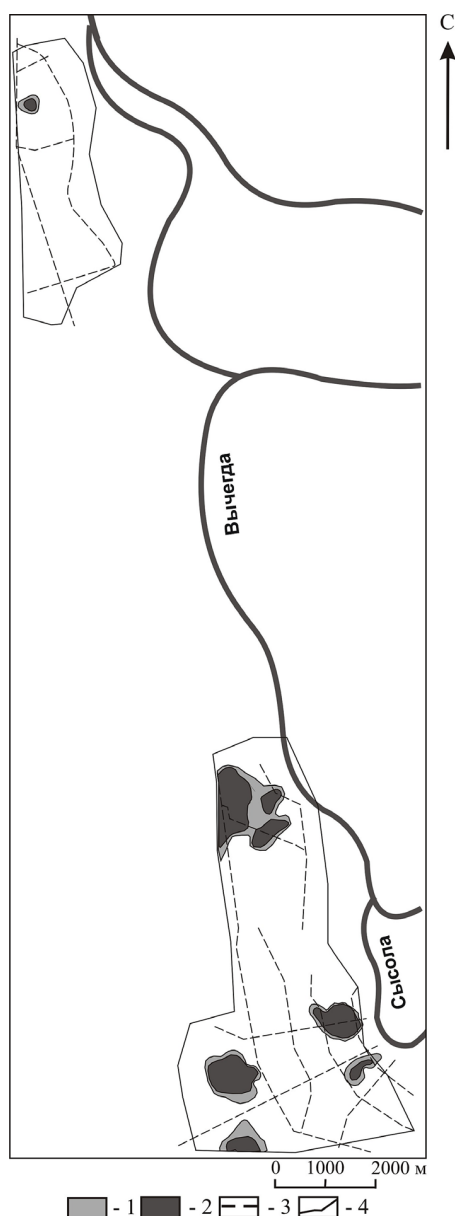


Рис. 6. Схема зон грунтов, подверженных осадочным/просадочным процессам вследствие воздействия вибросейсмических колебаний на территории г. Сыктывкара:

зоны грунтов: 1 — подверженные незначительным сверхнормативным осадкам фундаментов зданий; 2 — подверженные незатухающим значительным осадкам фундаментов зданий; 3 — главные улицы; 4 — территория вибросейсмической съемки

Fig. 6. Soils zones scheme subject to settlement/subsidence processes due to a vibroseis influence on the territory of Syktyvkar:

soils zones: 1 — subject to nonthreatening excess building bases settlements; 2 — subject to persistent threatening building bases settlements; 3 — main streets; 4 — vibroseis survey area

— при проектировании и последующем гражданском и промышленном строительстве, в частности на территории г. Сыктывкара и Республики Коми, что позволит научно обоснованно выбирать участки под строительные площадки в условиях минимальных рисков по осадке/просадке грунтов, продлить сроки эксплуатации строительных сооружений, а также в исключительных случаях в моменты землетрясений снизить балльность разрушений.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН №15-18-5-11.

Литература

1. Антоновская Г. Н., Капустян Н. К., Баскина И. М. Сейсмометрические методы прогноза ударных и вибрационных воздействий на проектируемые или реконструируемые здания // Геотехнические проблемы мегаполисов: Труды Международной конференции по геотехнике. Москва, 2010. Т. 5. С. 1719—1727.
2. Башилов И. П., Манукин А. Б., Попов Е. И. Комплекс аппаратуры для изучения деформационных процессов в геофизической среде и инженерных сооружениях // Докл. РАН. 1995. Т. 34. № 4. С. 539—541.
3. Вихоть А. Н., Лютоев В. А. Использование геофизических методов для обнаружения ослабленных зон Сыктывкара // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 4. С. 14—18.
4. Вознесенский Е. А. Энергетический подход в динамике грунтов // Вестник МГУ. 2001. Сер. 4. Геология. № 2. С. 76—78.
5. Вознюк А. Б., Капустян Н. К., Марченков А. Ю. Мониторинг грунтов оснований высотных зданий методом ветровых колебаний // Инженерно-экологические изыскания в строительстве: теоретические основы, методика, методы, практика. 2006. Вып. 8. С. 271—274.
6. Жигалин А. Д., Локшин Г. П. Формирование вибрационного поля в геологической среде // Инженерная геология. 1987. № 3. С. 86—92.
7. Капустин В. В., Монахов В. В. К вопросу об экспериментальной оценке вибрационных нагрузок на грунтовые массивы // Геотехника. 2012. № 3. С. 30—41.
8. Лютоев В. А. Сейсмическое районирование Республики Коми и микросейсмическое районирование г. Сыктывкара: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 2000. 169 с.
9. Лютоев В. А., Шушкова А. Н., Лютоева Н. В. Изучение оползней геофизическими методами // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 10. С. 21—23.
10. Ляховицкий Ф. М. Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989. 252 с.
11. Острецов В. М. Высотные здания — активный элемент геологической среды города // Сергеевские чтения. 2004. Вып. 6. С. 417—421.
12. Шушкова А. Н. Распределение электрических полей внутри оползневых тел и оползневых склонов на р. Вычегде вблизи г. Сыктывкара // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. 2014. Т. 2. С. 94—96.
13. Юдахин Ф. Н., Капустян Н. К., Антоновская Г. Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 153 с.

References

1. Antonovskaya G. N., Kapustyan N. K., Baskina I. M. *Seismometricheskie metody prognoza udarnykh i vibratsionnykh vozdeystvii na proektiruemye ili rekonstruiруемые zdaniya* (Seismometric methods of prediction of impact and vibrational influence on projected or reconstructed buildings). *Geotekhnicheskie problemy megapolisov* (Geotechnical problems of megapolises): Proceedings. Moscow, 2010, V. 5, pp. 1719—1727.
2. Bashilov I. P., Manukin A. B., Popov E. I. *Kompleks apparatury dlya izucheniya deformatsionnykh protsessov v geofizicheskoi srede i inzhenernykh sooruzheniyah* (Complex of devices for study of deformation processes in geophysical environment and engineering constructions). *Dokl. RAN*. 1995, V. 34, No. 4, pp. 539—541.
3. Vihot A. N., Lyutov V. A. *Ispolzovanie geofizicheskikh metodov dlya obnaruzheniya oslablennykh zon Syktyvkara* (Application of geophysical methods for determination of weakened zones of Syktyvkar). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2015, No. 4, pp. 14—18.
4. Voznesenskii E. A. *Energeticheskii podhod v dinamike gruntov* (Energy approach in soil dynamics). *Vestnik MGU*, 2001, 4, *Geologiya*, No. 2, pp. 76—78.
5. Voznyuk A. B., Kapustyan N. K., Marchenkov A. Yu. *Monitoring gruntov osnovanii vysotnykh zdaniy metodom vetrovykh kolebaniy* (Monitoring of foundation soils of high buildings by the method of wind oscillations). *Inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya v stroitelstve: teoreticheskie osnovy, metodika, metody, praktika* (Engineering ecological researches in building: theory, methods, practice). 2006, No. 8, pp. 271—274.
6. Zhigalin A. D., Lokshin G. P. *Formirovanie vibratsionnogo polya v geologicheskoi srede* (Formation of vibration field in geological environment). *Inzhenernaya geologiya*. 1987, No. 3, pp. 86—92.
7. Kapustin V. V., Monahov V. V. *K voprosu ob eksperimentalnoi otsenke vibratsionnykh nagruzok na gruntovye massivy* (Experimental assessment of vibration loads on soil massifs). *Geotekhnika*, 2012, No. 3, pp. 30—41.
8. Lyutov V. A. *Seismicheskoe raionirovanie Respubliki Komi i mikroiseimoraionirovanie g. Syktyvkara* (Seismic zoning of Komi Republic and microzoning of Syktyvkar City). PhD Dissertation, Syktyvkar, 2000, 169 pp.
9. Lyutov V. A., Shushkova A. N., Lyutova N. V. *Izuchenie opolznei geofizicheskimi metodami* (Researches of landslides by geophysical methods). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2013, No. 10, pp. 21—23.
10. Lyahovitskii F. M. *Inzhenernaya geofizika* (Engineering geophysics). Moscow: Nedra, 1989, 252 pp.
11. Ostretsov V. M. *Vysotnye zdaniya — aktivnyi element geologicheskoi sredy goroda* (High buildings — active element of geological environment of city). *Sergeevskie chteniya*, 2004, No. 6, pp. 417—421.
12. Shushkova A. N. *Raspredelenie elektricheskikh polei vnutri opolznevykh tel i opolznevykh sklonov na r. Vychegde vblizi g. Syktyvkara* (Distribution of electrical fields inside landslide bodies and slopes on Vychegda river near Syktyvkar City). *Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii* (Geology and mineral resources of European North-East of Russia). 2014, V. 2, pp. 94—96.
13. Yudahin F. N., Kapustyan N. K., Antonovskaya G. N. *Inzhenerno-seismicheskie issledovaniya geologicheskoi sredy i stroitelnykh konstrukttsii s ispolzovaniem vetrovykh kolebaniy zdaniy* (Engineering-seismic researches of geological environment and building constructions with use of wind oscillations of buildings). *Ekaterinburg: UB RAS*, 2007, 153 pp.



МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИТИМАНЬЯ И ПРОГНОЗНАЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ТРАКТ-СИНДОРСКОГО УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА В ЗОНЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ НЕСТАБИЛЬНЫХ СТРУКТУР

М. П. Тентюков, В. Ф. Лысова

Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, Сыктывкар
tentukov@yandex.ru, valentina271162@rambler.ru

В работе приводятся результаты морфометрического анализа рельефа Юго-Западного Притиманья на примере Вымско-Вишерского междуречья. В пределах Тракта-Синдорского участка магистрального газопровода выделены Трактовский и Синдорский морфоструктурные блоки, для которых дана прогнозная эколого-геологическая оценка устойчивости геосреды. Показано, что степень сейсмической уязвимости магистрального газопровода выше при пересечении им Синдорской площади, тогда как для Трактовской риск возникновения аварийных ситуаций связан с активизацией геомеханических процессов, обусловленных суффозионными и солифлюкционными процессами. Полученные данные повышают эффективность использования сил и средств при обеспечении безопасной эксплуатации магистральных газопроводов в районах геодинамически нестабильных структур.

Ключевые слова: морфометрия рельефа, геодинамическая нестабильность, неотектоника, магистральный газопровод, геологическая среда, аварии газопроводов.

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE SOUTHWESTERN TIMAN REGION RELIEF AND PREDICTIVE ECOLOGY-GEOLOGICAL ASSESSMENT OF STABILITY OF THE TRACT-SINDORSKIY SECTION OF THE MAIN GAS PIPELINE IN THE ZONE OF GEODYNAMICALLY UNSTABLE STRUCTURES

M. P. Tentyukov, V. F. Lisova

Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, Syktyvkar

The results of a morphometric analysis of the southwestern Timan region relief on the example of the Vymsko-Visher interfluvies have been presented in the paper. Within the Tract-Sindor section of the main gas pipeline the Tract and Sindor morphostructural blocks have been identified, for which a predictive ecological-geological assessment of the geological environment stability is given. It is shown that the degree of seismic vulnerability of the main gas pipeline is higher when it crosses Sindor area, while for the Tract area the risk of emergencies is associated with the activation of geomechanical processes caused by suffusion and solifluction processes. The data obtained increase the efficiency of the forces and assets use in the safe ensuring of gas trunkline operation in regions of geodynamically unstable structures.

Keywords: relief morphometry, geodynamic instability, neotectonics, main gas pipeline, geological environment, gas pipeline accidents.

Введение

Считается, что крупные техногенные и природные катастрофы, несущие людям гибель, разрушение важнейших объектов экономики и недопустимые воздействия на окружающую среду оказались неустраняемыми в прошлом и не могут быть полностью исключены в будущем. Принципиальным является факт, что техногенные и природные катастрофы находятся в прямом и косвенном взаимодействии, что не позволяет принять принцип раздельного предотвращения опасностей. Поэтому аварии и катастрофы стали уже специальным предметом фундаментальных научных и прикладных разработок во всех странах мира. В таких условиях крайне важно своевременно получить надежную информацию о характере возможных природно-техногенных опасностей в регионе. Для этого нужны специальные исследования территории, позволяющие выявить зоны наибольшей концентрации потенциально опасных объектов.

Постановка проблемы. Платформенный чехол северо-востока Европейской равнины наследует активные тектонические зоны, заложенные в кристаллическом фундаменте, которые дешифрируются на поверхности,

образуя своеобразный рисунок (рис. 1). Подвижки блоков литосферы в пределах данных геодинамически активных зон исследователями рассматриваются как следствие проявления общих колебательных процессов и локальных движений, которые в условиях новейшей тектонической активизации связаны с существующей сетью разрывных нарушений [6, 8]. В результате возникает мозаичная структура геодинамических зон. Предполагается, что эти участки характеризуются колебательными движениями разного порядка. При их пересечении магистральным газопроводом они могут рассматриваться как зоны повышенного риска возникновения аварий геодинамической природы. Выделение таких зон является актуальной проблемой, поскольку эти зоны редко обнаруживают себя при исследованиях трассы магистрального газопровода на предпроектном этапе. Риск возникновения аварий геодинамической природы возрастает уже при эксплуатации газопровода. Выявление его потенциально опасных участков предполагает проведение районирования линейного участка газопровода в геодинамически активной зоне. Оно основывается на обнаружении морфоструктурных, геофизических, геомеханических индикационных при-

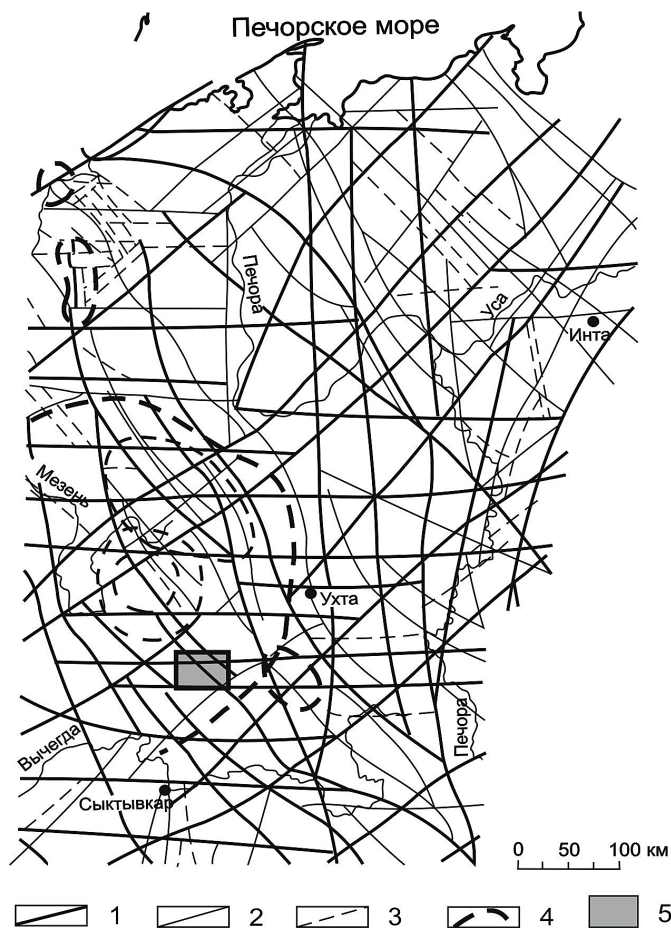


Рис. 1. Схема дешифрирования линеаментов северо-востока Европейской платформы по космическим снимкам (По [6]). Линеаменты: 1 — надрегиональные, 2 — региональные, 3 — локальные, 4 — кольцевые структуры; 5 — район исследований

Fig. 1. Scheme of the lineaments deciphering of the northeast of the European Platform from space images (By: [6]). Lineaments: 1 — supra-regional, 2 — regional, 3 — local, 4 — ring structures; 5 — research area

знаков геодинамически нестабильных структур с привлечением уточняющих и корректирующих почвенно-биологических, ландшафтно-геохимических показателей состояния геологической среды. При этом начальным звеном исследований является морфометрический анализ рельефа.

Методические аспекты решения проблемы. В основе модели прогнозного геодинамического районирования трассы магистрального газопровода лежат представления о блочном строении литосферы, неотектонической природе современной активности литосферных блоков и их иерархической подчиненности [5]. Считается, что наиболее активными движениями отличаются структуры более высокого иерархического уровня, но максимальные концентрации геодинамических напряжений чаще приурочены к структурам самого низшего масштабного уровня, что делает актуальным их выявление. При прохождении газопровода по таким участкам возникает риск аварий геодинамической природы, который многократно возрастает при пересечении газопроводом зон сопряжения разнотипных геодинамически активных структур. В их пределах на линейных участках трубопровода возможны

аномальные проявления растягивающих напряжений, возникающих вследствие медленных вертикальных и/или субгоризонтальных перемещений почвенных масс. Предполагается, что для данных участков характерна относительно высокая повторяемость аварийных ситуаций.

Методика морфометрического анализа рельефа

Определение потенциально опасных зон вдоль газопровода осуществлялось на основе морфометрических исследований геодинамически активных зон в пределах линейной части магистрального газопровода путем выделения проблемных участков по степени расчлененности рельефа. В качестве ключевого участка выбрана линейная часть магистрального газопровода в пределах Вымско-Вишерского междуречья (Княжпогостский район, Республика Коми). Морфометрические исследования осуществлялись с помощью картометрии, предполагающей получение сведений о количественных характеристиках расчленения рельефа и составления карты вертикальной расчлененности рельефа, позволяющей определить направленность и относительную интенсивность новейших тектонических движений. Морфометрический анализ проводился с использованием топографической карты масштаба 1:100000 с сечением рельефа 20 м (основные горизонталы) и 10 м (дополнительные). Все поле карты было разделено на квадраты с длиной стороны 4 см и площадью 16 см². В каждом квадрате определялись значения наибольшей и наименьшей абсолютных высотных отметок. Амплитуда абсолютных высот вычислялась как разность между наибольшей и наименьшей абсолютными отметками в пределах квадрата. Значения амплитуд относились к центрам квадратов, между которыми методом интерполяции проводились изолинии. В результате проведенных исследований была составлена карта вертикальной расчлененности рельефа. Теоретически считается, что полученная таким образом вершинная поверхность адекватно отражает поверхность неотектонического рельефа [7, 10].

Результаты и их обсуждение

Сравнительная оценка степени расчлененности рельефа Вымско-Вишерского междуречья. В пределах исследуемой территории максимальная высотная отметка превышает 172 метра и приурочена к водоразделу в верховье реки Черная (Седью), являющейся левым притоком реки Весляны. Минимальная высотная отметка находится в долине Весляны, на крайнем западе рассматриваемой территории, и составляет около 80 метров. Значения амплитуд абсолютных высот рельефа изменяются от 3 до 51 м. Минимальные значения встречены в юго-восточной части на правом берегу р. Кычанью. Максимальные значения наблюдаются в долине реки Весляны, в районе её резкого поворота перед спрямленным участком в центральной части территории. Значительными амплитудами высот (более 30 метров) характеризуется практически вся территория вдоль долины Весляны, территория к востоку и северо-востоку от населенного пункта Синдор (до 39 м), а также участок, приуроченный к междуречью Лунвожа и Шервожа (более 40 метров). Небольшие амплитуды абсолютных высот (менее 20 метров) наблюдаются на междуречье Весляны и Кытловки, а также на территории,

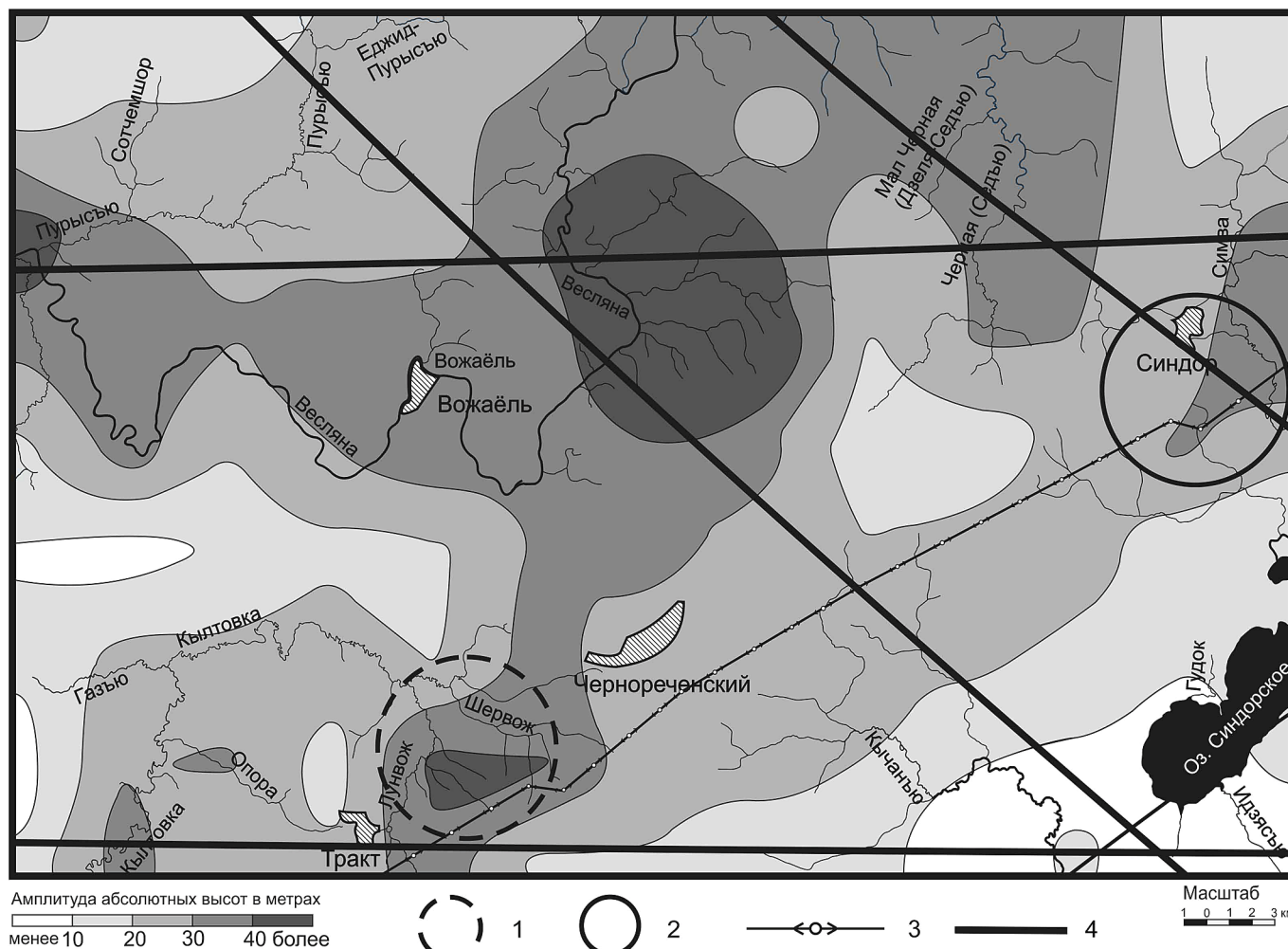


Рис. 2. Карта-схема вертикальной расчлененности рельефа Вымско-Вишерского междуречья

I — морфоструктурные блоки: 1 — Трактковский, 2 — Синдорский; II — дополнительные обозначения: 3 — транспортный коридор магистрального трубопровода, 4 — линейменты

Fig. 2. Map-scheme of the vertical dismemberment of the Vymsko-Visherskiy interfluvium relief

I — morphostructural blocks: 1 — Traktovskiy, 2 — Sindorskiy; II — additional symbols: 3 — transport corridor of main pipelines, 4 — lineaments

расположенной к юго-западу от Синдорского озера (менее 10 метров). Следует отметить, что для участков со значительной вертикальной расчлененностью рельефа характерна повышенная густота речной сети.

В построенной таким образом цифровой карте рельефа геодинамически активные структуры представляют собой границы морфоструктурных блоков с контрастирующими показателями вершинной поверхности, с присущими только им геоэкологическими различиями и локальными проявлениями аномальных свойств и состоянием геологической среды. Таких морфоструктурных блоков с контрастирующими показателями вершинной поверхности в пределах ключевого участка выделено два — Трактский и Синдорский (рис. 2), для каждого из них характерна высокая степень расчлененности рельефа. Ниже дана их эколого-геологическая характеристика.

Трактский морфоструктурный блок. Зональный тип растительности — среднетаежные еловые леса. На междуречье много вырубок, лесовозобновление слабое. В почвенном покрове доминируют торфяно-подзолисто-глебовые иллювиально-гумусовые почвы с легким механическим составом (пески, супеси), подстилаемые моренными суглинками [3]. Для почв характерен активный про-

мывной режим. По климатическим характеристикам территория относится к умеренно-теплому району с пониженной годовой суммой активных температур (1200°C) и равномерным распределением годовой суммы осадков [1], скорость разложения растительных остатков (минерализация и гумификация) невелика. В почвогенезе ведущими являются подзолообразование и торфонакопление. Последнее активно сопровождается накоплением фульвокислот, нейтрализация которых осуществляется Fe и Al из состава почвенных минералов. В итоге в почвах возникают легкорастворимые фульваты металлов и создаются условия для кислого выщелачивания. Типоморфными элементами-индикаторами процесса являются H^{+} и Fe^{2+} , а также растворенное органическое вещество почв.

Синдорский морфоструктурный блок. Растительный покров образован елово-сосновыми среднетаежными лесами. Много вырубок, на которых первичные леса сменяются мелколесным древостоем. Почвенный покров представлен торфянисто-подзолисто-глебоватыми почвами. На хорошо дренируемых участках развиваются небольшие ареалы глеево-сильноподзолистых почв. Эти почвы, подстилаемые моренными суглинками, имеют легкий механический состав и представлены преимуще-

щественно супесчано-песчанистыми разностями. Почвенно-грунтовые воды слабокислые, с pH 4.5–5.5, в них много железа и растворенного органического вещества.

Отличием данного района является наличие дерново-карбонатных почв, развивающихся на карбонатных моренных суглинках. Характерно карстообразование. В почву поступает много органических веществ, при этом в поглощающем комплексе часть водородных ионов нейтрализуется почвенными основаниями, поднимая pH в верхней части профиля до 6,5 [3]. В почвенно-грунтовых водах из катионов преобладают Ca^{2+} , а из анионов — HCO^- . Ион кальция — сильный коагулятор, поэтому в пределах развития карбонатных почвообразующих пород поверхностные воды чисты и прозрачны, поскольку содержат очень мало растворенного органического вещества.

Геодинамические условия на Тракте-Синдорском участке магистрального газопровода. Выше отмечалось, что литосфера характеризуется блоковым строением. Оно отчетливо отражается по рисунку разломных зон (часто хорошо дешифрируемых по линеamentам), которые являются границами блоков, разделяющих геоструктуры разного возраста, порядка и генезиса [9]. При этом разломы, контролирующие границы между блоками, могут с глубиной изменять угол падения (выполаживаться). Другими словами, границы блоков в верхней части земной коры в реальности не являются вертикальными. Существующая слоисто-блоковая модель [4], предусматривающая горизонтальную расслоенность и вертикальную раздробленность литосферы на тектонически самостоятельные блоки, допускает латеральное смещение пород при разгрузке напряжений геодинамически нестабильных геологических структур. Сопоставление современного структурного плана показало, что в различных геоблоках платформенного чехла Европейского Севера России степень унаследования неотектонической активности разная [9]. Следует заметить, что оба ключевых участка расположены в пределах Вымского мегаблока, который в настоящее время испытывает слабое опускание и которому в неотектоническом плане отвечает умеренное поднятие Среднетиманского мегавала [6, 9]. При этом Синдорский морфоструктурный блок расположен вблизи линии, разделяющей геоблоки, испытывающие разнонаправленное движение, что делает сейсмоопасным Синдорский участок магистрального газопровода. Подтверждением данного заключения служит аварийный разрыв газопровода в результате локального землетрясения силой 3.5 балла, произошедшего летом 2005 г. (устное сообщение сотрудника ИГ Коми НЦ УрО РАН В. В. Удоратина). Другой причиной сейсмического события может быть изменение напряжения горных пород, обусловленных карстовыми процессами [2]. Между тем Трактовский морфоструктурный блок в плане возможных сейсмических событий — более спокойный участок. Однако, учитывая высокую степень расчлененности рельефа и широкое распространение почв с активным промывным режимом, можно предполагать, что для данной территории вероятность возникновения аварий геодинамической природы во многом будет обусловлена солифлюкционными и суффозионными процессами. В результате возможно медленное смещение трубопро-

вода одновременно с почвенно-грунтовой массой по уклону местности. Такое осевое смещение трубопровода увеличивает напряжение трубного металла, что в итоге ведет к повреждению труб. Так, весной 2010 г. на Трактовской площади произошел разрыв газопровода, которому сопутствовало возгорание леса*. Годом ранее также было зафиксировано аналогичное аварийное событие (устное сообщение местного жителя), сопровождавшееся только выбросом газа.

Заключение

Выполнен морфометрический анализ рельефа юго-западного Притиманья на примере Вымско-Вишерского междуречья и выделены два морфоструктурных блока — Трактовский и Синдорский, для которых дана эколого-геологическая оценка устойчивости геологической среды. На Тракте-Синдорском участке магистрального газопровода дана оценка риска возникновения аварий геодинамической природы. Установлено, что для данного участка наличие геомеханических признаков геодинамической нестабильности геологических структур (проявление ползучести (крип), суффозии, солифлюкции, эрозии) выражено слабо.

С учетом положения Тракте-Синдорском участка магистрального газопровода по отношению к ближайшим крупным геодинамически активным системам установлено, что степень сейсмической уязвимости газопровода выше при его пересечении Синдорской площади, чем при Трактовской. Для Трактовского морфоструктурного блока риск возникновения аварийных ситуаций в большей степени связан с латеральным сдвигом почво-грунтов, вызванным активизацией геомеханических процессов (изменение механической прочности почвогрунтов при росте тиксотропности почв, изменении степени обводненности рыхлых подстилающих пород) при вырубке лесов, мелиоративных работах, карьерной эксплуатации месторождений общераспространённых полезных ископаемых.

Литература

1. Атлас Коми АССР. Москва: ГУГК ГГК СССР, 1964. 112 с.
2. Вагин В. А. Прогнозирование воздействия геоэкологических факторов на устойчивость магистральных газопроводов (на примере ООО «Севергазпром»): Автореф. ... дис. канд. техн. наук. Ухта, 2005. 20 с.
3. Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 343 с.
4. Запорожцева И. В., Пыстин А. М. Слоисто-блоковая модель дофанерозойской литосферы Европейского Севера России. СПб.: Наука, 1994. 112 с.
5. Пейве А. В. Избранные труды: Глубинные разломы и их роль в строении и развитии земной коры / Отв. ред. А. Л. Книппер, А. В. Лукьянов. М.: Наука, 1990. 352 с.
6. Рыжов И. Н. Неотектоника Европейского Севера СССР. Л.: Наука, 1988. 96 с.
7. Спиридонов А. И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 175 с.
8. Структура платформенного чехла Европейского Севера СССР / Под ред. В. А. Дедеева. Л.: Наука, 1982. 200 с.

* Событие зарегистрировано в www.ИАС «Лесные пожары».



9. Удоратин В. В. Глубинное строение и сейсмичность южных районов Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 71 с.

10. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1975. 230 с.

References

1. Atlas of Komi ASSR. Moscow, GUGK GKG SSSR, 1964, 112 pp.

2. Vagin V. A. *Prognostirovanie vozdeistvie geoeekologicheskikh faktorov na ustoichivost magistralnykh gazoprovodov (na primere OOO "Severgazprom")* (Prognosing of impact of geoeecological factors on stability of pipelines (example of Severgazprom): Extended abstract of PhD dissertation: Ukhta, 2005, 20 pp.

3. Zaboieva I. V. *Pochvy i zemelnye resursy Komi ASSR* (Soils and land resources of Komi ASSR). Syktyvkar, 1975, 343 pp.

4. Zaporozhtseva I. V., Pystin A. M. *Sloisto-blokovaya model dofanerozoiskoi litosfery Evropeiskogo Severa Rossii* (Laminated-block

model of Pre-Phanerozoic lithosphere of European North of Russia). St. Petersburg: Nauka, 1994, 112 pp.

5. Peive A. V. *Izbrannye trudy: Glubinnye razlomy i ih rol v stroenii i razviti zemnoi kory* (Selecta: Abyssal faults and their role in structure and development of earth crust). Ed. A. L. Knipper, A. V. Lukyanov, Moscow: Nauka, 1990, 352 pp.

6. Ryzhov I. N. *Neotektonika Evropeiskogo Severa SSSR* (Neotectonics of European North of the USSR). Leningrad: Nauka, 1988, 96 pp.

7. Spiridonov A. I. *Geomorfologicheskoe kartografirovanie* (Geomorphological mapping). Moscow: Nedra, 1975, 175 pp.

8. *Struktura platformennogo chehla Evropeiskogo Severa SSSR* (Structure of platform cover of European Northern USSR). Ed. V. A. Dedeev. Leningrad: Nauka, 1982, 200 pp.

9. Udoratin V. V. *Glubinnoe stroenie i seismichnost yuzhnykh raionov Respubliki Komi* (Abyssal structure and seismicity of southern areas of Komi Republic). Ekaterinburg: UB RAS, 2002, 71 pp.

10. Filosofov V. P. *Osnovy morfometricheskogo metoda poiskov tektonicheskikh struktur* (Basics of morphometric method of search for tectonic structures). Saratov: Saratov University, 1975, 230 pp.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОРОД НА РЕЗУЛЬТАТЫ КАРБОНАТНОГО АНАЛИЗА

И. Х. Шумилов

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

shumilov@geo.komisc.ru

На примере девонских терригенных пород с высоким содержанием шамозита рассмотрена корректность результатов карбонатного анализа. Приведено сравнение результатов исследований минерального и химического состава различными методами, выполнена математическая (статистическая) обработка данных. Установлено, что почти весь магний и существенная часть железа при обработке HCl поступает из растворимых силикатов.

Ключевые слова: Средний Тиман, девонские отложения, карбонатный анализ, шамозит.

INFLUENCE OF MINERAL COMPOSITION OF ROCKS ON CARBONATE ANALYSIS RESULTS

I. Kh. Shumilov

Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

By the example of Devonian terrigenous sediments with a high content of chamosite the correctness of the carbonate analysis results is considered. Comparison of results of researches of mineral and chemical composition is given by various methods, mathematical (statistical) data processing is executed. It is established that almost all magnesium and an essential part of iron occur from soluble silicates while processing HCl.

Keywords: Middle Timan, Devonian sediments, analyses of carbonates, chamosite.

Введение

Карбонатные образования в терригенной толще среднего-верхнего девона на Цилемской площади Среднего Тимана относительно редки и представлены четырьмя разновидностями: раннедиагенетическими шарообразными или эллипсоидальными конкрециями, развитыми в некоторых пластах песчаников (рис. 1, а); микроконкреционные

ми слоями перерывов осадконакопления (МКПОН), приуроченными к кровлям элементарных циклитов (рис. 1, б); слабо развитыми калькретами (карбонатными панцирями), также локализующимися в кровлях ритмов (рис. 1, с); довольно редко встречающимся карбонатным цементом в алевролитах и песчаниках от развитого редкими пятнами до базального пойкилитового (рис. 1, в).

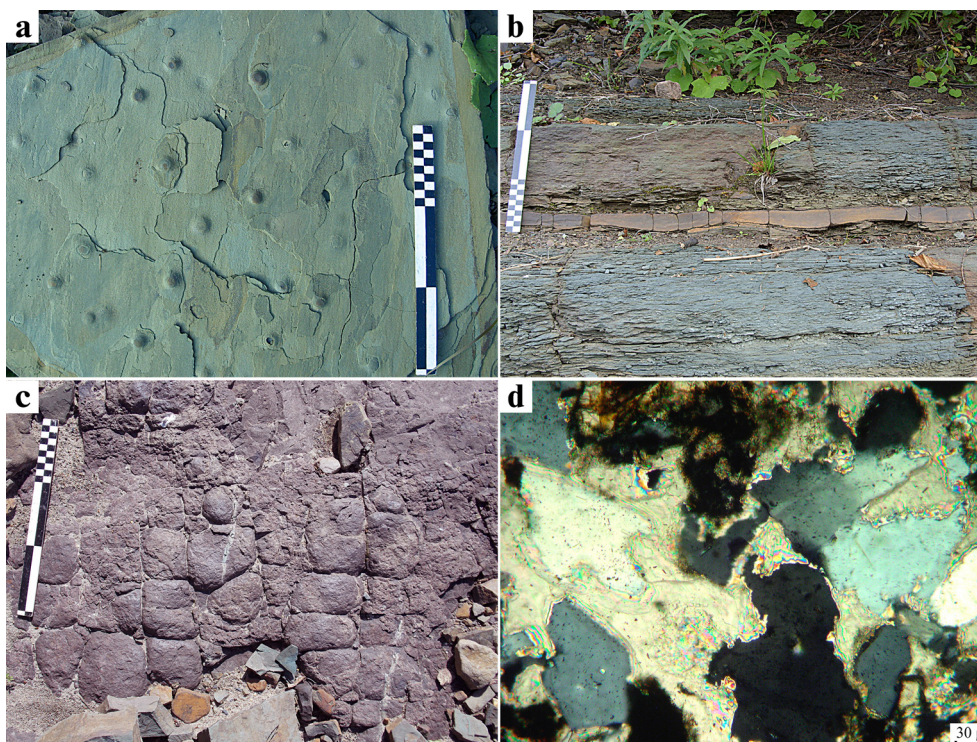


Рис. 1. Карбонатные образования: а — шарообразные раннедиагенетические конкреции в песчанике (обн. 62); б — слой микроконкреций перерыва осадконакопления (обн. 68); с — поверхность карбонатного панциря с инситу корнями (обн. 86); д — карбонатный базальный цемент в песчанике (обн. 110)

Fig. 1. Carbonaceous forms: а — early-diagenetic sphere concretions in sandstone (outcrop 62); б — microconcretions layer of sedimentary pause (outcrop 68); с — surface of calcrete with roots in situ (outcrop 86); д — basal carbonaceous cement in sandstone (outcrop 110)



Состав карбонатов сильно зависит от типа образований. Так, панцири представлены исключительно кальцитом, МКПОН в подавляющем большинстве случаев сложены сидеритом с примесью родохрозита, цемент в породах в основном сидеритовый, реже кальцитовый, диагенетические конкреции почти в равной степени представлены кальцитом и сидеритом, и только в пределах небольшого участка были обнаружены малочисленные доломитовые образования.

Исследование химического состава карбонатных образований помогает в решении вопросов реконструкции условий осадконакопления, например, по количеству магниальной составляющей можно судить о солёности бассейна седиментации [1, 3—5]. Однако давно известно, что если CaO и MnO в солянокислой вытяжке практически всегда образуется за счёт карбонатов, то часть MgO и FeO может извлекаться и из Mg-хлоритов, монтмориллонита (сметитов) и других силикатов [5].

В сложении вмещающей карбонатные образования терригенной девонской толщи значительную роль играют упомянутые минералы, поэтому содержание магния и железа в результатах карбонатного анализа аномально завышено и имеет весьма отдалённое отношение к реальному их содержанию в исследуемых породах.

Таким образом, целью предлагаемой статьи является оценка влияния минерального состава пород на результаты карбонатного анализа, попытка их пересчёта до более реальных значений на примере карбонатных образований из толщи с высоким содержанием растворимых в соляной кислоте силикатов, в состав которых входят магний и железо.

Материалы и методы исследования

В статье использованы результаты литологических, минералогических, химических исследований карбонатных образований (более 170 образцов) и вмещающих пород (более 270 образцов).

Минералогические и литологические исследования петрографических шлифов проводились с помощью оптических тринокулярных микроскопов ПОЛАМ-Р312, ЛабоПол-3, Olympus BX51 в поляризованном проходящем свете; электронных микроскопов JSM-6400 с энергодисперсионным спектрометром ISIS Link и волновым спектрометром Microspec (ЦКП «Геонаука» ИГ КНЦ УрО РАН¹, аналитик В. Н. Филиппов), TESCAN VEGA3 с энергодисперсионной приставкой Oxford instruments X-Max (аналитик С. С. Шевчук).

Диагностика минералов выполнялась с помощью высокоразрешающего рамановского спектрометра HR800 (Horiba Jobin Yvon) с использованием встроенного Ar-лазера (аналитик С. С. Исаенко), рентгенодифрактометрический анализ ориентированных образцов глинистых фракций (аналитик Ю. С. Симакова) и структурный контроль минеральной принадлежности (аналитик Б. А. Макеев) производились на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 (излучение CuK_α).

Химический состав карбонатов и пород определялся с помощью рентгено-флуоресцентного силикатного анализа (РФСА) на спектрометре MESA-500W (аналитик С. Т. Неверов) и карбонатного анализа.

Литологические, минералогические и литохимические характеристики отложений

Терригенная осадочная толща среднего и верхнего девона представлена ритмичными отложениями пестроцветной формации. Породы окрашены в основном в серые, серо-зелёные, зелёные и голубые цвета, в кровлях свит развиты красноцветные разности. В целом осадки сложены произвольными смесями песчаной, алевролитовой и глинистой фракций. Песчаники и алевролиты содержат, как правило, глинистый цемент (иногда замещаемый карбонатами), а в глинистых породах всегда присутствует то или иное количество кластогенных фракций.

В минералогическом отношении породы однотипны и сложены обломками кварца — до 80 %, основного вулканического стекла — до 90 % в туфах, в песчаниках и алевролитах в среднем 20—30 % (рис. 2), метаморфических микрокварцитов и слюдистых сланцев — до 15 %. В рамках заданной темы статьи особо следует отметить, что обломки основного вулканического стекла почти всегда нацело хлоритизированы. В подчинённом количестве присутствуют лейсты хлорита, мусковита, биотита, обломки плагиоклазов. Набор аксессуарных минералов также одинаков для всех выделенных типов пород: магнетит, циркон, гранаты, турмалин, апатит, рутил, брукит, анатаз, монацит, лейкоксен. Соответственно, все перечисленные минералы являются минеральным наполнителем во всех типах карбонатных образований, в некоторой степени замещению подвержены обломки вулканического стекла и плагиоклаза.

Глинистая составляющая пород представлена в основном иллитом и хлоритами, которые сопровождаются смешанослойными глинистыми минералами иллит-сметитового состава, реже отмечается присутствие хорошо окристаллизованного каолинита. Во многих случаях глинистые минералы развивались по вулканическому пеплу основного состава. В шлифах хлоритовая масса цемента в песчаниках и алевролитах часто имеет колломорфный облик (рис. 3).

Кроме того, некоторые типы пород (особенно алевролиты) ввиду высокой степени их трещиноватости (рассланцованности) часто интенсивно окислены с образованием различных форм гидроксидов железа, которые в той или иной степени растворяются при кипячении в соляной кислоте.

С помощью СЭМ (+микрозонд) было установлено, что хлориты цемента, как и хлориты, замещающие основное вулканическое стекло в обломках, имеют химический состав, соответствующий тюрингиту² [2]. При этом полученные нами данные весьма близки к результатам, приводимым, например, в работе Н. Л. James [6] (указаны в

¹ Здесь и далее.

² В 1975 г. комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации была принята упрощённая классификация хлоритов, в т. ч. упразднён термин «тюрингит»; все железистые хлориты объединены в один минеральный вид — шамозит. В тексте термин оставлен, т. к. в публикации, с данными которой следует дальнейшее сравнение результатов, говорится о тюрингите. Кроме того, именно ранее выделявшийся тюрингит, а не шамозит обладает некоторыми специфическими свойствами, например перламутровым блеском.

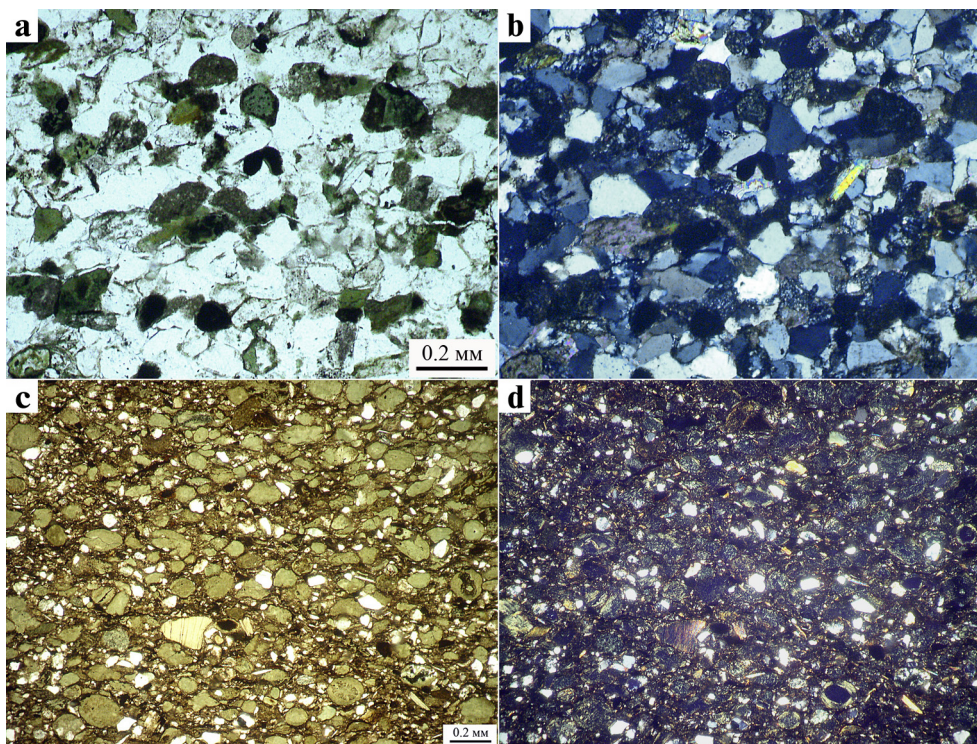


Рис. 2. Обломки хлоритизированного основного вулканического стекла в шлифах: а, b — в песчанике (около 30 %); с, d — в туфе (около 90 %) с апопелловым глинисто-хлоритовым цементом (а, b — без анализатора; с, d — с анализатором)
Fig. 2. Grains of chloritized basic volcanic glass in thin sections: a, b — in sandstone (close to 30 %); c, d — in tuff (about 90 %) with apoashed clay-chlorite cement (a, b — with analyzer; c, d — without analyzer)

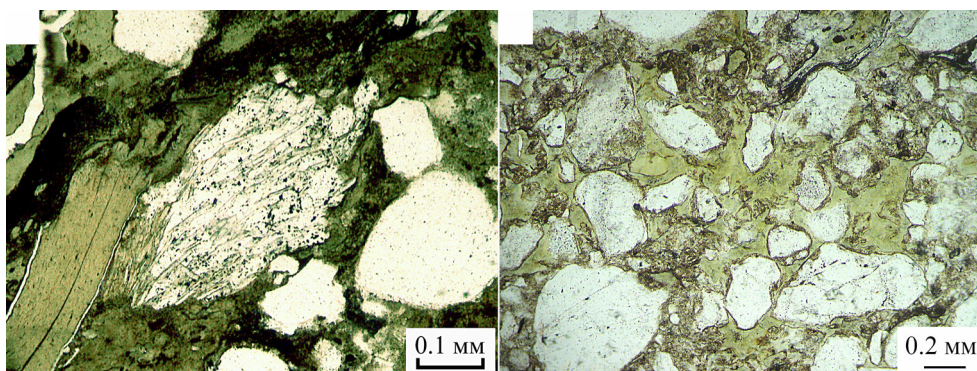


Рис. 3. Хлорит цемента в песчаниках с колломорфным обликом (без анализатора)
Fig. 3. Colloform habit of chlorite cement in sandstone; without analyzer

скобках, мас. %): SiO_2 — 17.60—26.59, среднее — 20.82 (20.92); Al_2O_3 — 11.53—20.74, среднее — 17.64 (15.60); Fe_2O_3 — 38.37—46.78, среднее — 42.14 (42.42); MgO — 1.26—6.42, среднее — 4.15 (4.16); CaO до 1.19 (-); MnO до 0.5 (-); P_2O_5 до 1.16 (-).

Рамановская спектроскопия подтвердила, что хлориты представлены в основном минералами группы шамозита, иногда отмечается примесь Mg-хлоритов.

Рентгеновскими методами установлено, что лейсты кластогенного хлорита являются клинохлором; хлориты, замещающие основное вулканическое стекло, представлены минералами группы шамозита; в цементе песчаников и алевролитов помимо железистого хлорита присутствуют смешанослойные фазы.

При исследовании карбонатов с помощью электронных микроскопов не удалось установить собственные фазы MgCO_3 (рис. 4). Локальные определения химического состава различных карбонатов показало постоянное

присутствие в них магниевой молекулы в количестве долей процента.

Анализ валового химического состава пород, ассоциирующих с карбонатными образованиями, показал, что содержание MgO в песчаниках и алевролитах в основном довольно выдержано и находится в узких пределах со средним значением 2—3 % (табл. 1, демонстрационная выборка). При этом не видно зависимости ни от типа породы, ни от содержания других компонентов, в т. ч. «карбонатных». Математическая обработка результатов РФСА (табл. 2, выборка 270 образцов) показывает, что коэффициенты корреляции MgO с другими компонентами малозначимы и варьируются от -0.47 до 0.45. Особо следует заметить, что с углекислотой магний находится в отрицательной корреляции (-0.08). Также отрицательные коэффициенты корреляции отмечаются у CO_2 и железа окисной и закисной форм (-0.28 и -0.09), а у MgO , наоборот, с двухвалентным железом максимальная положи-

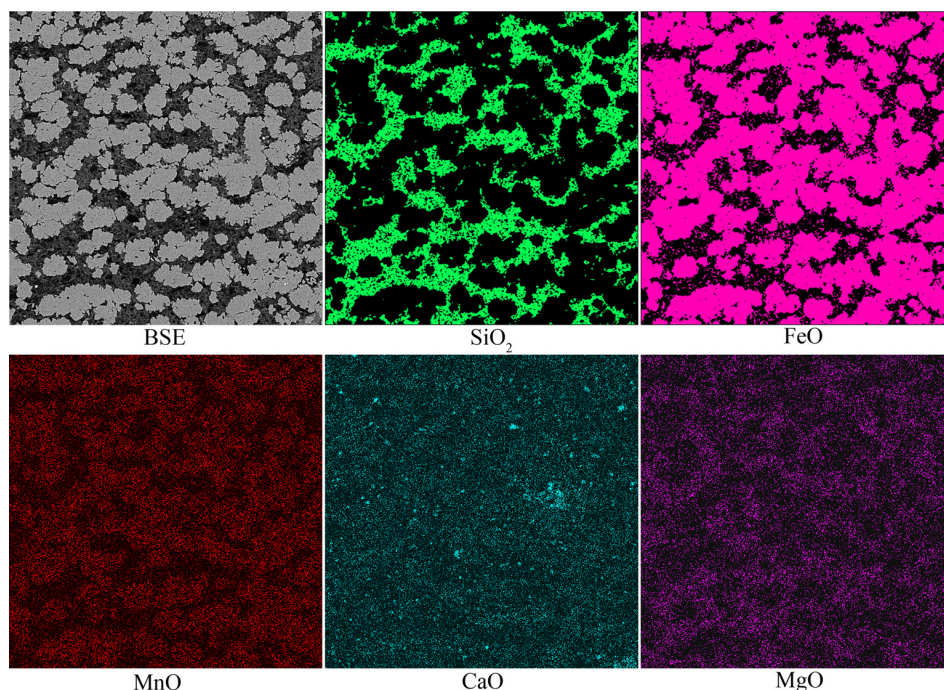


Рис. 4. Распределение химических элементов по площади (СЭМ, изображение в упруго-отраженных электронах)

Fig. 4. Square distribution of elements; SEM, scattered electrons image

Таблица 1

Результаты РФСА

Table 1

Results of RFSA

№ образца Sample	Компоненты, % / Components, %															
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п. poi	Сумма* Total	Fe ₂ O ₃ общ	H ₂ O	CO ₂
Песчаники \ Sandstones																
34/42	66.40	1.39	8.15	5.77	7.64	0.15	2.87	1.63	0.04	0.26	0.15	5.55	100	14.25	0.61	1.06
36/41	72.90	0.97	7.21	5.24	5.84	0.07	2.62	0.38	0.04	0.26	0.11	4.37	100	11.72	0.68	0.19
47/42	61.62	1.48	9.29	7.62	9.53	0.12	3.37	0.83	0.06	0.30	0.22	6.00	100	18.20	0.84	0.41
51/303	72.32	0.70	9.63	4.06	4.83	0.10	2.38	1.13	0.05	0.24	0.09	4.46	100	9.42	0.61	0.47
66/310	45.22	2.60	18.06	11.47	3.30	0.08	5.46	1.81	0.09	0.37	0.13	11.40	100	15.14	3.75	0.25
81/41	73.00	0.81	8.00	3.65	4.55	0.09	2.57	2.40	0.08	0.43	0.10	4.43	100	8.70	0.86	0.94
93/41	73.09	1.02	5.73	5.46	5.72	0.17	2.18	1.40	0.08	0.17	0.24	4.74	100	11.81	0.74	0.81
103/42	68.33	1.15	5.73	6.76	5.86	0.29	2.41	2.83	0.08	0.11	0.23	6.21	100	13.27	0.80	1.82
106/42	48.80	2.98	17.51	12.59	6.23	0.12	2.60	0.62	0.09	0.33	0.11	8.03	100	19.51	1.97	0.12
109/41	62.22	1.62	8.82	8.49	6.33	0.32	3.79	1.50	0.07	0.21	0.21	6.42	100	15.52	1.46	0.65
167/K	55.08	1.11	7.23	3.31	0.80	1.56	2.46	13.61	0.33	0.35	0.14	14.03	100	4.19	0.73	11.70
301/13	69.48	1.25	11.60	3.32	4.79	0.02	4.06	0.73	0.11	0.32	0.22	4.11	100	8.64	0.48	0.02
303/3	64.70	1.18	12.23	5.54	7.52	0.11	2.88	0.61	0.15	0.28	0.08	4.72	100	13.89	0.46	0.16
356/1	66.15	1.04	5.00	4.56	3.94	0.54	2.21	7.15	0.05	0.17	0.27	8.92	100	8.94	0.69	5.77
335/1	64.41	1.37	9.47	4.21	7.55	0.27	3.11	2.08	0.31	0.36	0.10	6.77	100	12.59	0.89	1.43
p-7/41	58.08	1.78	12.24	9.68	7.87	0.27	2.83	1.10	0.06	0.28	0.14	5.67	100	18.42	0.91	0.34
Алевриты \ Aleurolites																
1/2	45.20	2.86	18.27	12.85	3.35	0.22	3.62	0.54	0.12	1.31	0.13	11.54	100	16.56	1.54	0.17
17/1	53.99	1.30	20.37	4.81	6.61	0.04	2.93	0.09	0.18	2.74	0.18	6.77	100	12.14	2.08	0.05
23/1	45.91	2.53	20.24	11.02	4.64	0.06	2.94	0.39	0.16	2.02	0.19	9.90	100	16.17	2.22	0.13
23/2	45.86	2.30	21.52	6.23	8.09	0.05	4.10	0.27	0.22	2.10	0.17	9.09	100	15.21	1.97	0.15
64/4	50.01	2.76	18.58	9.36	4.05	0.05	2.95	1.15	0.14	0.80	0.05	10.10	100	13.85	1.17	0.35
64/6	51.73	2.72	17.75	9.48	4.33	0.07	2.36	1.20	0.13	0.67	0.06	9.50	100	14.29	1.15	0.40
64/10	47.14	2.44	21.58	8.62	4.89	0.17	3.21	0.44	0.13	1.16	0.10	10.14	100	14.05	2.21	0.21
67/1	51.54	2.34	17.33	9.60	5.32	0.15	3.10	0.92	0.15	1.14	0.03	8.40	100	15.51	1.01	0.19
69/8	52.23	2.99	18.44	6.87	4.27	0.08	2.63	1.49	0.13	0.59	0.05	10.23	100	11.61	0.96	0.52
78/303	54.51	1.33	15.10	7.96	8.75	0.14	4.77	0.39	0.12	1.00	0.09	5.84	100	17.68	0.75	0.46
90/41	56.34	1.59	14.90	6.90	7.44	0.14	1.67	2.66	0.18	1.25	0.16	6.78	100	15.15	0.91	0.81
102/47	58.90	1.57	13.97	7.42	7.24	0.16	2.49	0.95	0.18	0.99	0.17	5.97	100	15.46	0.91	0.22
121/2	48.40	2.72	18.32	12.17	3.68	0.09	3.21	0.85	0.15	0.92	0.13	9.34	100	16.25	2.15	0.17

Примечание: * — нормирование результатов производится автоматически встроенной программой прибора.

Note: * — normalizing is automatical by equipment.

Таблица 2

Коэффициенты множественной корреляции между компонентами силикатного анализа пород

Table 2

Correlation coefficients between members of silicate analyses

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	Fe ₂ O ₃ общ	H ₂ O	CO ₂
SiO ₂	1														
TiO ₂	-0.81	1													
Al ₂ O ₃	-0.87	0.82	1												
Fe ₂ O ₃	-0.78	0.77	0.70	1											
FeO	-0.54	0.21	0.36	0.35	1										
MnO	-0.13	-0.11	-0.21	-0.04	-0.03	1									
MgO	-0.47	0.26	0.38	0.21	0.45	-0.01	1								
CaO	0.01	-0.23	-0.36	-0.26	-0.09	0.84	-0.08	1							
Na ₂ O	-0.08	0.16	0.22	-0.10	-0.19	-0.04	0.14	-0.09	1						
K ₂ O	-0.55	0.57	0.76	0.38	0.03	-0.25	0.12	-0.35	0.37	1					
P ₂ O ₅	-0.04	0.01	-0.03	-0.13	0.08	0.15	0.18	0.15	0.01	-0.03	1				
П.п.п.	-0.81	0.62	0.57	0.52	0.25	0.36	0.25	0.27	0.06	0.35	0.06	1			
Fe ₂ O ₃ общ	-0.81	0.61	0.65	0.84	0.81	-0.04	0.40	-0.22	-0.18	0.26	-0.03	0.47	1		
H ₂ O	-0.73	0.75	0.75	0.67	0.13	-0.05	0.31	-0.24	0.13	0.55	0.04	0.61	0.50	1	
CO ₂	0.02	-0.23	-0.36	-0.28	-0.09	0.83	-0.08	0.98	-0.11	-0.34	0.17	0.28	-0.23	-0.23	1

тельная связь (0.45). В то же время наблюдаются сильнейшая зависимость содержания MnO (0.83) и CaO (0.98) от карбонатной составляющей.

Особенности результатов карбонатного анализа

Напомним, что подготовка пробы к карбонатному анализу заключается в доведении до кипения в 5 % соляной кислоте предварительно раздробленного и истертого до состояния тонкой пудры образца.

В табл. 3 приведены выборочные (для иллюстрации) результаты карбонатного анализа, показывающие, что состав карбонатов изменяется от почти чисто кальцитового (ан. 1—3) до почти моносидеритового (ан. 13—15)

через смешанные разности (4—12). Отдельно выделяется группа доломитовых конкреций³ (ан. 16—18), имеющих весьма локальное распространение.

Содержание MgO вне зависимости от состава карбонатных образований по результатам анализа довольно стабильно и в большинстве случаев колеблется в пределах 2—3 %. Большинство отклонений наблюдается в сторону уменьшения данного значения. При этом отклонение тем сильнее, чем больше степень развития конкрецииобразователя преимущественно на месте глинисто-хлоритового цемента и хлоритизированного вулканического стекла. Так, в конкрециях с максимально развитым кальцитом, где в роли минерального наполнителя выступают либо устойчивые к выщелачиванию минералы, либо довольно крупные обломки (в виде релик-

Таблица 3

Результаты карбонатного анализа

Table 3

Results of carbonaceous analyses

№ п.п. No.	№ Образца Sample	CaO	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃ общ	P ₂ O ₅	H.O.	CO ₂	Сумма Total	FeO
1	316/4	40.13	0.88	2.50	4.92	0.37	10.40	32.68	91.88	2.05
2	11/4	37.24	0.85	1.87	4.68	0.19	16.98	29.70	91.51	1.90
3	414/51	35.57	0.69	2.91	4.76	2.63	17.99	26.98	91.53	1.84
4	301/8	26.67	1.89	3.91	14.42	1.55	10.00	20.38	78.82	5.06
5	122/309	20.07	2.53	4.21	9.72	1.46	32.43	16.20	86.62	7.45
6	307/60	21.58	1.37	2.38	24.27	13.31	13.47	10.21	86.59	16.67
7	100/52	15.35	2.19	2.19	21.30	7.17	22.94	9.59	80.73	14.43
8	66/312	14.28	2.88	2.90	18.81	3.41	28.77	11.43	82.48	12.12
9	71/301	11.23	2.44	2.40	22.50	1.36	31.11	12.41	83.45	14.62
10	102/55	8.20	2.86	5.81	29.85	0.75	21.40	18.60	87.47	22.66
11	301/52	5.78	2.08	1.63	33.05	3.59	23.43	12.79	82.35	25.54
12	39/42	4.72	2.01	2.41	36.98	1.56	26.42	15.32	89.42	28.31
13	104/55	3.01	2.41	2.23	45.09	1.29	13.64	19.79	87.46	34.53
14	39/301	2.90	3.04	1.84	41.17	1.31	17.20	21.23	88.69	33.91
15	45/303	1.81	2.24	1.57	37.84	0.75	25.39	15.65	85.25	30.20
16	415/51	4.49	26.20	3.55	5.31	0.28	11.67	31.53	83.03	0.07
17	415/52	5.72	17.99	2.68	8.39	0.70	24.22	22.23	81.93	3.96
18	417/51	5.10	18.70	2.93	6.77	0.20	26.79	22.98	83.47	2.60

³ Из дальнейшего рассмотрения исключены ввиду безусловного магнезиального состава.



Таблица 4

Коэффициенты корреляции между компонентами карбонатного анализа

Table 4

Correlation coefficients between members of carbonaceous analyses

	CaO	MgO	MnO	Fe ₂ O ₃ общ	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	FeO
CaO	1							
MgO	-0.36	1						
MnO	0.10	-0.12	1					
Fe ₂ O ₃ общ	-0.79	0.28	-0.02	1				
P ₂ O ₅	0.05	0.06	-0.06	0.15	1			
H ₂ O	-0.25	-0.01	-0.29	-0.33	-0.40	1		
CO ₂	0.52	-0.28	0.29	-0.11	-0.33	-0.50	1	
FeO	-0.78	0.25	-0.06	0.97	0.08	-0.28	-0.04	1

тов) вулканического стекла, содержания магния и закисного железа малы.

Статистическая обработка массива из 170 анализов (табл. 4) показала, что содержание магний имеет положительную связь с двухвалентным железом (0.25) и отрицательную — с уголекислотой (-0.28), CaO и MnO наиболее сильно коррелятивно связаны с CO₂ (0.52 и 0.29), а закисное железо, несмотря на то, что около 2/3 образцов представлено сидеритовыми конкрециями, положительной (и значимой) корреляции с карбонат-ионом не проявляет (-0.04).

При пересчете данных карбонатного анализа на соли⁴ был обнаружен существенный дефицит уголекислоты во многих результатах: нередко достигая 100 и даже более 200 % (-21.02 % при CO₂ = 10.21 %); при среднем содержании CO₂ = 16.30 % средний дефицит составляет — 8.29 %. Следует заметить, что в высококальциевых образованиях (с CaO > 15 %) после первого пересчета на соль CaCO₃ практически не остается уголекислоты (остаток менее 1 %) или сразу имеется небольшой дефицит.

Сравнение результатов силикатного (РФСА) и карбонатного анализов одних и тех же образцов (табл. 5, демонстрационная выборка) показало, что содержание большинства «карбонатных» компонентов в обоих случаях весьма близко и редко выходит за пределы погрешности методов.

Обсуждение результатов

Довольно простой минеральный состав анализируемых пород позволяет легко рассчитать баланс химических элементов по минералам. Кроме того, учитывая растворимость минералов в HCl, можно вполне однозначно выявить минералы-носители элементов, определяемых при карбонатном анализе. Так, минералогический анализ показывает, что марганец может быть только в карбонатной форме, кальций также преимущественно имеет форму карбоната, несущественные количества могут дать при растворении иллит-сметитовые фазы и шамозит, в состав которых Ca входит в виде изоморфной примеси. Источниками закисного железа будут служить сидерит (манганосидерит) и Fe-хлориты.

С источником магния вопрос несколько сложнее. При минералогических исследованиях собственный карбонат магния не был обнаружен. Как показано в резуль-

татах микрозондовых исследований (СЭМ), магний иногда отмечается в карбонатах в виде примеси с незначительным содержанием. Таким образом, единственным источником растворимого в HCl магния является шамозит. Комплекс исследований показал, что хлорит цемента в породах и хлорит, замещающий основное вулканическое стекло в обломках, представлены преимущественно шамозитом (тюрингитом). Нерастворимые хлориты (клинохлор) представлены лишь в виде примеси и незначительных кластогенных лейст.

Статистическая обработка валовых химических составов пород выявила наиболее сильные коррелятивные связи MnO (0.83) и CaO (0.98) с уголекислотой, подтверждая карбонатную форму нахождения этих элементов. Отрицательные коэффициенты корреляции с CO₂ отмечаются у магния, окисного и закисного железа. В то же время у MgO с двухвалентным железом максимальная положительная связь (0.45), указывающая на их родство в шамозите.

Весьма близкие показатели содержания «карбонатных» элементов в результатах РФСА и карбонатного анализа, множественная корреляция данных последнего подтверждает, что кальций и марганец находятся в карбонатной форме, а магний и железо — в форме шамозита.

Простой пересчет результатов карбонатного анализа на соли показывает, что магний и иногда железо не имеют непосредственного отношения к карбонатам. Для железа исключение составляют существенно сидеритовые конкреции, минеральный состав которых подтверждается иными методами исследований.

Заключение

Обычно считается, что в результатах карбонатного анализа силикатную часть от карбонатной точно отделить невозможно. Расчет полученных солей на минералы можно сделать лишь приближенно, поскольку одна соль может входить в разные минералы, а соотношение последних часто неизвестно [5]. Однако в рассматриваемой в статье ситуации: в силу простого минерального состава баланс распределения химических элементов по минералам рассчитывается довольно легко.

Таким образом, установлено, что магний и значительная часть железа при карбонатном анализе данных несколько специфических пород поступают из растворенных

⁴Чтобы получить содержание солей, достаточно умножить процентное содержание окисла на коэффициент 1.785 (CaO), 1.916 (MgO), 1.611 (FeO) и 1.619 (MnO). Количество CO₂, идущее на связывание окисла, определяют как разность содержания соли, полученного при пересчете, и содержания окисла (например, CaCO₃ — CaO = CO₂, %) [5].



Таблица 5

Table 5

Сравнение результатов РФСА и карбонатного анализа

Comparison of RFSA and carbonaceous analyses results

№ Образца Sample	Анализ analysis	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	Сумма	Fe ₂ O ₃ общ	H ₂ O ⁻	CO ₂
23/301	РФСА	54.75	0.61	4.78	2.72	4.85	2.26	1.50	11.81	0.18	0.39	0.40	15.75	100.00	8.11	0.48	13.96
	карб	-	-	-	-	4.46	2.21	1.20	11.34	-	-	0.28	-	-	7.66	-	13.55
39/301	РФСА	17.11	0.86	6.76	3.30	34.13	1.82	3.35	4.52	0.21	0.17	1.61	26.15	100.00	41.19	0.82	21.37
	карб	-	-	-	-	33.91	1.84	3.04	2.90	-	-	1.31	-	-	41.17	-	21.23
40/301	РФСА	26.67	1.11	13.85	11.89	13.69	1.55	1.92	9.71	0.07	0.23	0.11	19.21	100.00	27.09	0.99	13.37
	карб	-	-	-	-	12.11	1.94	1.68	10.04	-	-	0.08	-	-	19.09	-	13.58
42/301	РФСА	20.18	1.32	8.37	10.44	30.40	1.58	2.87	2.71	0.07	0.27	1.30	20.48	100.00	44.18	0.79	13.71
	карб	-	-	-	-	29.73	1.47	2.38	2.18	-	-	1.12	-	-	36.18	-	13.94
45/305	РФСА	36.42	1.27	13.40	3.05	22.80	0.80	2.67	1.46	0.14	0.46	1.23	16.29	100.00	28.36	0.97	10.42
	карб	-	-	-	-	21.34	0.77	1.91	1.51	-	-	0.82	-	-	27.21	-	9.80
49/301	РФСА	25.86	1.46	9.63	8.93	22.78	1.28	3.70	7.10	0.08	0.27	1.16	17.77	100.00	34.22	0.83	11.49
	карб	-	-	-	-	21.97	1.19	2.21	6.08	-	-	1.05	-	-	29.27	-	11.41
49/302	РФСА	22.95	1.08	7.89	6.20	29.87	1.83	2.64	3.57	0.08	0.39	1.29	22.20	100.00	39.36	0.77	17.16
	карб	-	-	-	-	28.93	1.74	1.99	3.17	-	-	1.15	-	-	34.85	-	17.26
49/303	РФСА	26.96	1.28	9.21	4.83	25.57	1.52	3.18	4.99	0.08	0.29	1.20	20.87	100.00	33.21	0.91	15.24
	карб	-	-	-	-	24.66	1.49	2.11	4.36	-	-	0.93	-	-	30.53	-	15.34
63/301	РФСА	18.14	0.92	7.09	15.96	16.51	1.94	4.70	13.14	0.08	0.10	0.09	21.34	100.00	34.28	1.20	14.94
	карб	-	-	-	-	14.39	1.72	1.81	10.80	-	-	0.02	-	-	23.32	-	14.93
66/303	РФСА	18.44	0.85	6.27	6.38	29.64	3.10	3.94	6.09	0.07	0.16	1.16	23.89	100.00	39.28	0.56	19.44
	карб	-	-	-	-	28.40	2.96	3.25	5.71	-	-	0.95	-	-	34.74	-	19.75
301/6	РФСА	11.45	1.46	6.18	4.93	3.82	3.96	3.17	31.93	0.09	0.06	0.53	32.42	100.00	9.18	1.16	29.02
	карб	-	-	-	-	3.28	3.34	1.97	32.38	-	-	0.58	-	-	8.52	-	29.39
301/8	РФСА	14.68	2.46	9.16	7.98	5.56	3.48	3.01	26.13	0.07	0.05	1.83	26.59	100.00	14.15	1.82	21.35
	карб	-	-	-	-	5.06	3.91	1.89	26.67	-	-	1.55	-	-	14.42	-	20.38
301/10	РФСА	11.89	0.49	4.20	8.18	0.30	8.23	1.11	32.57	0.10	0.21	1.42	31.30	100.00	8.51	0.89	30.37
	карб	-	-	-	-	0.30	8.52	0.53	33.06	-	-	1.28	-	-	7.94	-	29.54
301/11	РФСА	15.36	1.34	10.59	6.12	10.94	2.87	3.71	21.71	0.08	0.08	1.98	25.22	100.00	18.27	1.44	19.13
	карб	-	-	-	-	10.47	3.03	2.46	22.37	-	-	1.71	-	-	18.76	-	19.19
316/3	РФСА	9.90	0.63	4.77	2.88	2.67	2.09	1.40	39.74	0.11	0.36	0.30	35.01	100.00	5.85	0.72	33.15
	карб	-	-	-	-	2.62	2.18	0.90	40.01	-	-	0.25	-	-	5.03	-	32.94



Fe-хлоритов и не имеют никакого отношения к карбонатным формам. Исключение составляет незначительная доля этих элементов, присутствующих в карбонатах в виде примеси, унаследованной при замещении карбонатами силикатного (в т. ч. хлоритового) цемента в породах.

В рассмотренной ситуации, как показал практический опыт, предполагать наличие в породе собственного карбоната магния можно при следующих условиях: если после пересчета окислов кальция и марганца на соли остается существенное количество углекислоты и если содержание MgO в пробе превышает 4–5 %.

Поскольку магнезиальность карбонатов имеет довольно важное значение, то для построения более корректных выводов помимо карбонатного анализа следует использовать комплекс диагностических методов.

Литература

1. Атлас конкреций // Под ред. А. В. Македонова и Н. Н. Предтеченского. Л.: Недра, 1988. 323 с.
2. Бетехтин А. Г. Минералогия. М.: Госгеолгиздат, 1950. 956 с.
3. Македонов А. В., Зарицкий П. В. Конкреции и конкреционный анализ. М.: Наука, 1977. С. 5–17.

4. Рухин Л. Б. Основы литологии. Л.: Гостоптехиздат, 1961. 781 с.

5. Фролов В. Т. Литология. М.: Изд-во МГУ. Кн. 1, 1992. 336 с. Кн. 2, 1993. 432 с.

6. James H. L. Chapter W. Chemistry of the Iron-rich Sedimentary Rocks // Data of Geochemistry. U. S. Government Printing Office, Washington, 1966. pp. W3–W61.

References

1. Atlas konkrecij (Atlas of concretion) // By ed. A. V. Makedonov, N. N. Predtechenkiy. Leningrad: Nedra, 1988. 323 p.
2. Betekhtin A. G. Mineralogij (Mineralogy). Moscow: Gosgeolizdat, 1950. 956 p.
3. Makedonov A. V., Zaritskii P. V. Konkrecii i konkrecionnyj analiz (Concretions and concrete analyze). Moscow: Nauka, 1977, pp. 5–17.
4. Rukhin L. B. Osnovy litologii (Principles of lithology). Leningrad: Gostoptechizdat, 1961. 781 p.
5. Frolov V. T. Litologija (Lithology). Moscow: MGU. V. 1, 1992. 336 p., V. 2, 1993. 432 p.
6. James H. L. Chapter W. Chemistry of the Iron-rich Sedimentary Rocks. Data of Geochemistry. U. S. Government Printing Office, Washington, 1966. pp. W3–W61.

NEW TRENDS IN THE MECHANISMS OF INCREASING PRODUCTIVITY OF MINERAL-BASED MATERIALS

T. N. Shchemelinina¹, O. B. Kotova², M. Harja³, E. M. Anchugova¹, Y. Pelovski⁴, I. Cretescu³

¹Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Branch of RAS; tatyanakomi@mail.ru

²Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch of RAS; kotova@geo.komisc.ru

³«Gheorghe Asachi» Technical University of Iasi, Iasi; mharja@tuiasi.ro; icre@tuiasi.ro

⁴University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgaria; yonchop@gmail.com

Sorbents, proposed by the world industry to solve environmental problems, are not efficient enough for many technological parameters (selectivity, stability, etc.). It is necessary to search for mechanisms of increasing productivity of the sorption products. A new trend in the algorithm of modeling mineral-based materials is the isolation of strains and the development of new compounds that can improve their physical and chemical parameters. The objects of the research were Ionsorb™ glauconite and immobilized strains of *Pseudomonas yamanorum* VKM B-3033D bacteria. We constructed a biosorbent and evaluated its sorption and destructive properties. The efficiency of purification from oil products with the help of the developed biosorbent in water reached 19 % within 7 days, in ground 30 % within 90 days.

Keywords: *glauconite, biosorbent, adsorption, destruction, oil contaminated water, oil contaminated soil, railway bed, bacterial strain.*

НОВЫЕ ТРЕНДЫ В МЕХАНИЗМАХ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА МИНЕРАЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Т. Н. Щемелинина¹, О. Б. Котова², М. Хария³, Е. М. Анчугова¹, И. Пеловский³, И. Кретеску⁴

¹Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия

²Институт геологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия

³Технический университет им. Г. Асаки, Яссы, Румыния

⁴Университет химической технологии и металлургии, София, Болгария

Сорбенты, предлагаемые мировой индустрией для решения экологических проблем, недостаточно эффективны по многим технологическим параметрам (избирательность, устойчивость и др.). Необходим активный поиск механизмов повышения производительности сорбционных продуктов. Новым трендом в алгоритме моделирования материалов на минеральной основе является выделение штаммов и разработка новых препаратов, способных улучшить их физико-химические показатели. Объектами исследования послужили глауконит Ionsorb™ и иммобилизованные на нем штаммы бактерий *Pseudomonas yamanorum* VKM B-3033D. Содержание остаточных нефтепродуктов в пробах определяли методом флуориметрии на анализаторе жидкости «Флюорат-02» в соответствии с ПНД Ф 16.1.21-98. В ходе работы был сконструирован биосорбент и дана оценка его сорбционных и деструктивных свойств. Эффективность очистки от нефтепродуктов с помощью разработанного биосорбента в воде составила до 19 % за 7 суток, в грунте — до 30 % за 90 суток.

Ключевые слова: *глауконит, биосорбент, сорбция, деструкция, нефтезагрязненная вода, нефтезагрязненный грунт, штамм бактерий.*

Introduction

The most common polluters of the territories of railway enterprises of different countries, including Russia, are oil, petroleum derivatives, masout, fuels, lubricants. The amount of contamination varies from 5 to 20 g per 1 kg of soil. The pollution of territories affects adversely the environment [1]. A natural self-purification of soils from oil pollution is a very long process that can last from one to several decades depending on the natural conditions of the region. Currently mainly mechanical and physical-chemical methods of oil removal are applied, which do not allow restoring the biocenosis without disturbing natural landscapes and additional harm to ecosystems. Therefore the bioremediation of soils is the most promising and maximally close to natural processes [1, 3–6]. The remediation on the railway is considerably hampered by the fact the embankment is a sandy-gravel mixture and crushed stone. Therefore the actual cleaning solution will combine possible mechanisms of natural zeolites and microorganisms to increase the selectivity and productivity of sorption characteristics.

The aim of the work is to develop and evaluate the efficiency of the biosorbent for cleaning of contaminated soils on sections of the railway bed.

Objects and methods of research

The objects of our research were Ionsorb™ glauconite from the Bondarskoe deposit of Tambov region and *Pseudomonas yamanorum* VKM B-3033D bacterial strain isolated from the contaminated soil of the railroad bed near Syktyvkar City.

The total petroleum hydrocarbon (TPH) content in model water samples, contaminated and cleaned soil was analyzed fluorometrically on Fluorat-02 liquid analyzer according to PND F 16.1.21-98 [2].

Results and discussion

In the process of production of biological products the application of glauconite avoids the costly procedure of lyophilization for preserving microorganisms. Ionsorb™ acts as a sorbent of petroleum hydrocarbons, as well as a transport base for hydrocarbon-oxidizing bacteria, which allows them to be in suspended animation for up to 10 years. Glauconite is an aluminosilicate mineral, the cations are easily replaced by the excess elements in the surrounding medium. The layered structure of the mineral, its ion-exchange properties predetermine its high sorption properties to petroleum hydro-

carbons, radionuclides and toxic elements. The ability of Ionsorb™ to deposit water and low desorption rate immobilize the microorganisms and their metabolites on its surface. At that the rate of chemical bound reaction is such that the glauconite is able to bind pollutants for a short time, and the microbial community can conveniently utilize them. Another advantage of Ionsorb™ is that it increases the diffusion of oxygen and moisture in the soil, which provides optimal water, gas-air and thermal conditions for the growth of immobilized microorganisms. The activity of metabolic enzymes and the energy of all biochemical processes increase significantly. Since Ionsorb™ is a mineral fertilizer itself, it is not necessary to recycle biosorbent spent.

Constructing a biosorbent

The strain of *P. yamanorum* bacteria was grown in a bioreactor for 3–5 days under conditions of liquid phase fermentation at a temperature of 15–25 °C until a cell titer of 10^9 CFU/cm³ was achieved on a medium of the following composition: per 1000 cm³ of water: peptone — 15 g; NaCl — 3.0 g; KCl — 1.0 g; MgSO₄·7H₂O — 0.5 g. The spray application of the strain on the sorbent was then carried out and dried at a temperature of 30–35 °C.

The composition of the biosorbent: glauconite — 85–90 %, strain of *P. yamanorum* bacteria — 10–15 %.

To assess the efficiency of adsorption immobilization, the samples were analyzed with a scanning electron microscope VEGA3 TESCAN, ×5000 (see Figure 1).

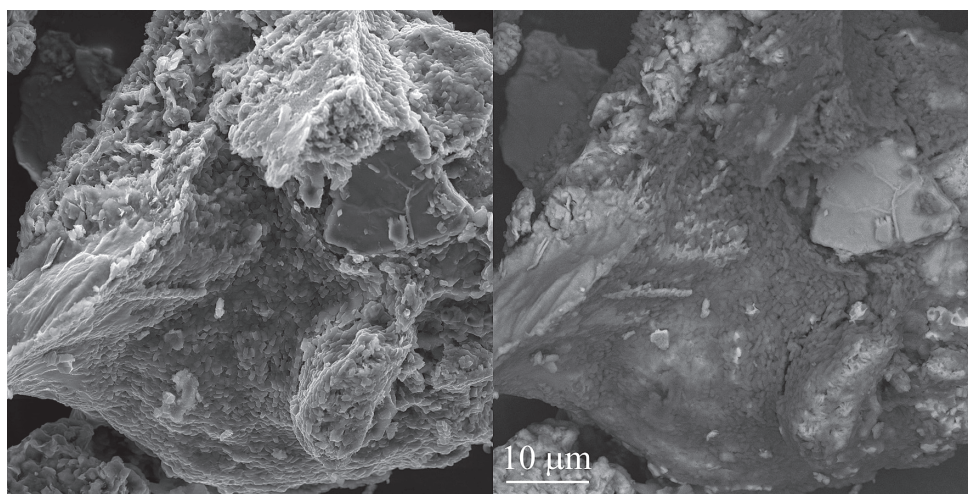
Estimation of sorption and destructive properties of the biosorbent in a model water.

To study the sorption and hydrocarbon oxidation properties of the biosorbent obtained we performed an experiment with model water in the presence of crude oil and waste oil. For 1000 cm³ water we added: NaNO₃ — 5.0 g; KH₂PO₄ — 3.0 g; KCl — 0.5 g; MgSO₄·5H₂O — 0.5 g; 100 cm³ of the solution was poured into 250 cm³ flasks, autoclaved for 20 minutes, cooled to the room temperature. 0.5 g of crude oil or waste oil and 1 g of biosorbent were added to the flasks. In the reference variant the biosorbent was not added. The flasks were exposed in a shaker (220 rpm) for 7 days under normal conditions. After 7 days the content of residual oil products was determined in the samples.

As can be seen from Table 1, when the biosorbent is added, the concentration of oil products is significantly decreased ($p < 0.05$), in a contaminated medium by 13 %, in an oil-polluted medium — by 19 %, and these results indicate that the developed biosorbent possesses sorption and oil destructive properties and is suitable for further researches and model experiments on cleaning of contaminated soils.

Estimation of oil-oxidizing properties of the biosorbent in an oil-contaminated soil from the railway bed.

To study the possibility of application of the biosorbent developed to clean the contaminated soil of the railway bed, the laboratory simulation of the process was carried out. Strongly waste oil contaminated sand-gravel mixture (SGM) was taken from the section of the railway bed. Biosorbent with miner-



Ionsorb™ surface with immobilized cells of strain *Pseudomonas yamanorum* VKM B-3033D.

The sample was microscopied with Scanning Electron Microscope Tescan Vega 3 LMH. (operator Tropnikov E.M.)

Исследование состояния поверхности проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 LMH (оператор Е. М. Тропников)

TPH content in water samples after the application of biosorbent, mg/g

Table 1

Таблица 1

Изменение концентрации нефтепродуктов в образцах воды в присутствии биосорбента, мг/г

Variant	TPH content in samples after exposition, mg
Reference (water medium + waste oil)	431.0 ± 13.61
Medium + 0.1 g waste oil + 1 g biosorbent	375.0 ± 5.00*
Reference (water medium + oil)	384.0 ± 11.53
Medium + 0.1 g oil + 1 g biosorbent	313.0 ± 4.36*

Note: * - difference is accurate at $p < 0.05$. The accuracy of difference was estimated by comparison to the reference groups.

Table 2

TPH content in soil samples after the application of biosorbent, mg/g

Таблица 2

Изменение концентрации нефтепродуктов в пробах грунта в присутствии биосорбента, мг/г

Variant	TPH content in samples after exposition, mg
Reference (water medium + waste oil)	431.0 ± 13.61
Medium + 0.1 g waste oil + 1 g biosorbent	375.0 ± 5.00*
Reference (water medium + oil)	384.0 ± 11.53
Medium + 0.1 g oil + 1 g biosorbent	313.0 ± 4.36*

al fertilizers (NPK-15) in amount of 2.5 g was added to 300 g SGM sample. The samples were moistened and thoroughly mixed during the whole experiment.

The reference was oil contaminated SGM. Sampling for analytical studies was carried out after 3, 30 and 90 days.

Since glauconite has a finely dispersed structure, it is well distributed in the contaminated sand-gravel mixture.

The table shows that the TPH content decreased in SGM of all variants of the experiment in comparison to the reference. Within 3 days the sorption of the oil products after the application of the biosorbent occurs ($p < 0.05$) by 25 %. Within 30 and 90 days in the samples with the biosorbent without mineral fertilizers, the concentration of oil products is not changed (Table 2). Despite the fact that glauconite contains a significant amount of biogenic elements — labile potassium, phosphorus and microelements essential both to microbial and plant growth, a high soil contamination suppresses the growth of cells of immobilized bacteria. The adding of a mineral NPK fertilizer leads to the effective sorption and destruction of TPH with the biosorbent, and its efficiency reaches ($p < 0.05$) 30 % within 90 days (Table 2).

Conclusions

1. We constructed a biosorbent based on Ionsorb™ glauconite and strain of oil-oxidizing *Pseudomonas yamanorum* VKM B-3033D bacteria.

2. We determined the sorption and destructive properties of the biosorbent developed in oil-contaminated water and soil.

3. The efficiency of purification from TPH in water reached 19 % within 7 days, in ground 30 % within 90 days.

It is recommended to use the biosorbent developed to clean the soil of the railroad bed, as well as water ecosystems, of petroleum hydrocarbons.

The researches were carried out with the financial support of the State task «Technology of living systems» on the basis of higher plants, cultivated plant cells, microorganisms and enzymes for obtaining of biomedical products, biofuels and environmental protection» No. 115021210021 and BIOECOBALANS LLC.

References

1. Zubrev N. I., Sharpova N. A. *Okhrana okruzhaiushchei sredy i ekologicheskaya bezopasnost' na zheleznodorozhnom transporte* (Environmental protection and environmental safety in railway transport). Moscow: UMK MPS of Russia 1999, 592 pp.
2. *Metodika vypolneniya izmereniy massovoi doli nefteproduktov v probakh pochv na analizatore zhidkosti «Fluorat-02»*. (Methods of performing measurements of the mass fraction of petroleum products in soil samples on a Fluorat-02 fluid analyzer). Institute of Biology of Komi SC UB RAS, Moscow, 1998, 15 pp.
3. Nazarenko M. D., Romanova K. N., Lobanov V. G. *Sposob vosstanovleniya neftezagriaznennykh pochv i gruntov* (Method for the restoration of oil-contaminated soils and soils). Fundamentalnye issledovaniya, 2006, No. 8, pp. 32—33.
4. Rogozina E. A., Shimansky V. K. *Nekotorye teoreticheskie aspekty vosstanovleniya neftezagriaznennykh pochvennykh ekosistem* (Some theoretical aspects of the restoration of oil-contaminated soil ecosystems). Neftegazovaya Geologiya. Theory and practice, 2007, V. 2, 16 pp.
5. Kotova O. B., Harja M., Cretescu I., Noli F., Pelovski Y., Shushkov D. A. Zeolites in technologies of pollution prevention and remediation of aquation systems // Vestnik of Institute of Geology of Komi Science Center of Ural Branch RAS. 2017. No 5. pp. 49—53. (doi: 10.19110/2221-1381-2017-5-49-53)
6. Soprunova O. B. *Mikrobye biotekhnologii remediacii (ochistka) pochv, zagriaznennykh neftiu i nefteproduktami na territorii Atyrauskoj oblasti* (Microbial biotechnologies of remediation (cleaning) of soils polluted with oil and oil products in the territory of Atyrau region). Molodoy ucheny, 2014, No. 20, pp. 41—43.

Хроника, события, факты • Chronicle, events, facts

ПРИКЛАДНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ: ИЗ БАРИ В БЕЛГОРОД APPLIED MINERALOGY: FROM BARI TO BELGOROD

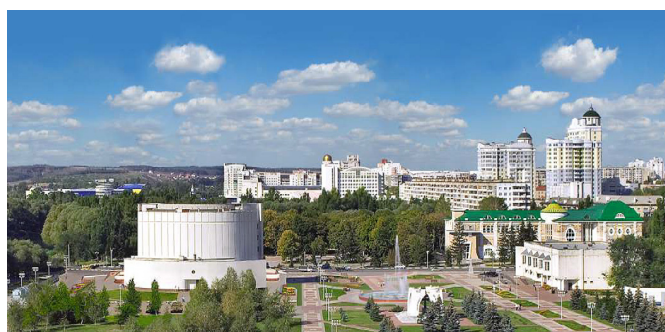


The Italian Association for the Study of Clays (AISA), the International Council for Applied Mineralogy (ICAM) and the Institute of Methodologies for Environmental Analysis (CNR-IMAA) organized and conducted AMAM-ICAM 2017, the International Conference on Applied Mineralogy & Advanced Materials in Italy. Scientists in mineralogy, materials science, physics, biology, chemistry, cultural heritage were invited to share ideas and knowledge on the boundless world of the crystalline and no-crystalline solid state. AMAM-ICAM 2017 was provided a truly global platform for researchers and engineers coming from academia and industry. Next 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) would be in 2019 (September) on the platform of Belgorod State Technological University, Russia.

Итальянская ассоциация изучения минералов глин (AISA), Международный совет по прикладной минералогии (ICAM) и Институт анализа окружающей среды (CNR-IMAA) организовали и провели Международную конференцию по прикладной минералогии и креативным материалам (AMAM-ICAM 2017) в Италии. Совместная конференция AMAM-ICAM (2-я Международная конференция по прикладной минералогии и креативным материалам и 13-я Международная конференция по прикладной минералогии) предоставила действительно глобальную платформу для исследователей и инженеров из научных кругов и промышленности в отеле Калане, что в курортном местечке Нова Ярдиния (Nova Yardinia), Таранто на берегу Ионического моря (в 70 км от аэропорта г. Бари). С 4 по 10 июня ученые с 5 континентов (минералоги, материаловеды, физики, биологи, химики, экологи) собрались, чтобы поделиться идеями и знаниями о безграничном мире кристаллического и некристаллического твердого состояния.

Наш институт уже не первый раз принимает участие в научных мероприятиях под председательством известного минералога Саверио Фиоре (Saverio Fiore). В июне 2009 года делегация Института геологии принимала участие в международной конференции по глинам в том же огромном гостиничном комплексе в Нова Ярдинии (см. *Вестник*, № 7, 2009).

Политическая и экономическая нестабильность, очевидно, повлияли на возможность участия в столь обычно массовом научном мероприятии, как AMAM-ICAM-2017. Самая большая делегация была из Китая (не считая, ко-



Белгород / Belgorod



БГТУ им. В. Г. Шухова — территория молодости, науки, комфорта и безопасности

BSTU named after V. G. Shukhov — the territory of youth, science, comfort and safety

нечно, итальянцев). Всего же участников было чуть больше сотни (в 2009 году было 654 человека из 49 стран). Заседания проходили четыре дня, среда была выбрана для совместных экскурсий в «Трулли ди Альберобелло» и Матеру — древнее поселение римлян 3 века до н. э. (города внесены в список Всемирного наследия ЮНЕСКО). Заседания начинались с 8:30 утра, с 11:00 до 12:00 шли пленарные секции. Всего работало 10 секций по четырем научным направлениям.



Члены российской делегации с представителем Совета ICAM (слева направо: д. т. н. В. В. Строкова, Белгородский государственный технологический университет; проф. М. А. Т. М. Брокманс, NGU; д. г.-м. н. О. Б. Котова, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН; к. т. н. В. В. Нелюдова; к. т. н. А. М. Герасимов, НПК «Механобр-техника» (ЗАО), Санкт-Петербург

Members of the Russian delegation with deputy of ICAM (from left to right: Dr. Tech. Sc. V. V. Strokova, Belgorod State Technology University; Prof. M. A. T. M. Brokmans, NGU; Dr. Geol.-Min. Sc. O. B. Kotova, Institute of Geology Komi SC UB RAS; Ph.D. Tech. Sc. V. V. Nelyudova; Ph.D. Tech. Sc. A. M. Gerasimov, SPC «Mekhanobr-tekhnika»)

Biomaterials & Biominerals (session BM03. The Universe of Biomaterials and Biominerals)

На секции были представлены доклады, в которых были отражены экспериментальные и теоретические подходы к изучению биоминералов.

Processing, Engineering & Applications (session EP01 Ores, Minerals and Geomaterials in Industrial Processes and Human Activities)

Основной целью этой сессии было содействие диалогу между различными дисциплинами в отношении новых методов оценки, тестирования промпродуктов, решения проблем, инновационных приложений и производственных процессов, связанных с природными минеральными ресурсами и геоматериалами, которые способствуют устойчивому развитию. Сессия включала устные и стендовые доклады по тематическим исследованиям, методам оценки, испытаниям новых материалов, инновационным приложениям, производственным процессам, связанным с рудами, минералами и геоматериалами.

Mineralogy, Geochemistry and Valorization of Industrial and Mining Wastes (session EP02)

Processing, Engineering and Applications of Materials and Minerals (session EP07)

Докладчики показали, что эксплуатация минеральных ресурсов вместе с их промышленной трансформацией создает огромное количество отходов, представляющих значительный потенциальный риск для окружающей среды. Цель этих объединенных секций — подчеркнуть важ-

ную роль минералогии и геохимии в обеспечении инструментов, которые могли бы помочь в оценках, предотвращении, восстановлении и сокращении воздействия на окружающую среду при добыче полезных ископаемых и промышленной деятельности.

Environment & Technology (session ET02 Clay, Zeolites and Nanostructured Materials for Earth)

Эта секция объединяла доклады, отражающие минералогические и химические характеристики, свойства, синтез и промышленное применение пористых и наноструктурированных материалов (таких как глинистые минералы, цеолиты, наночастицы оксидов, наноразмерные частицы с двойным гидроксидом), их приложения в медицине и окружающей среде.

Nano & Micro (session NM01 Nanocatalysts for sustainable Processes)

Секция охватила различные аспекты нанокатализа. Докладчики показали, что использование наноматериалов в качестве эффективных катализаторов для разработки устойчивых каталитических процессов является «горячей» темой, актуальной для химической промышленности, а также для решения экологических проблем.

Advanced Functional Materials (session NM04)

Содержание этой секции представляло широкий спектр функциональных материалов по фотоэлектричеству, органической электронике, углеродным материалам, нанотехнологиям, жидким кристаллам, магнитным материалам, поверхностям и интерфейсам и биоматериалам. Докладчики показали, что благодаря новейшим технологиям в области полимерных, керамических, сенсорных и топливных элементов разработан и изготовлен ряд материалов для современной электронной промышленности.



Члены Совета ICAM (Д. Рамммайер, Германия; Э. Чифчи, Турция; М. А. Т. М. Брокманс, Норвегия)

Members of International Council for Applied Mineralogy (D. Rammlmaier, Germany; E. Chefri, Turkey; M. A. T. M. Brokmans, Norway)

Активная работа конференции продолжалась не только днем, во время пленарных и устных докладов, но и позднее, в постерном формате, плавно переходя в «Вечер живой музыки» или «винно-сырный» с национальными танцами...

У российской делегации (д. г.-м. н. О. Б. Котова, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН; д. т. н. В. В. Строкова, к. т. н. В. В. Нелюдова, Белгородский государственный технологический университет, к. т. н. А. М. Герасимов, НПК «Механобр-техника» (ЗАО), Санкт-Петербург) была особая миссия — принять «эстафетную палочку» — следующий, 14-й ICAM будет проходить в 2019 году (сентябрь) в Белго-



роде на платформе Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 8 июня на Совете ICAM в конференц-зале отеля Калане присутствующие единогласно поддержали решение Совета ICAM о проведении очередной встречи специалистов в области прикладной минералогии и смежных областей в России. Этому событию предшествовала огромная работа Российского минералогического общества в лице президента чл.-корр. РАН Ю. Б. Марина, почетного президента РМО академика Д. В. Рундквиста; Комиссии по технологической минералогии РМО, особенно академика Л. А. Вайсберга, а также профессоров В. В. Щипцова, Ю. Л. Войтеховского и др., ректора Белгородского государственного технологического университета С. Н. Глаголева и актива его команды д. т. н. В. В. Строковой, к. т. н. В. В. Нелюдовой и др.), огромная консультационная помощь Совета ICAM Маартина Брокманса, Эмина Чивчи, Саверио Фиоре, наших российских коллег, которые делились опытом подготовки подобных мероприятий в России. Когда пришел документ о положительном голосовании членов Совета ICAM, наверно, только тогда пришло осознание огромной ответственности перед предстоящим событием.

Основное направление конференции в Белгороде — традиционное, но с учетом мирового тренда — повышение

производительности креативных материалов на основе минерального сырья. На Совете ICAM позитивно было рассмотрено предложение Фернандо Роче — 15-й ICAM в 2021 году организовать в Португалии на платформе Университета Авейро.

Topics of ICAM-2019:

- Advanced materials including high-performance technical ceramics and glasses
- Analytical techniques, instrumentation and automation
- Bio-mimetic mineral materials and biomineralogy
- Construction materials including cement/SCMs, concrete, bricks, tiles,
- Cultural heritage, stone artifacts and preservation
- Environment and energy mineralogy
- Geometallurgy and process mineralogy
- Industrial minerals including gems, ore minerals, and mineral exploration
- Oil and gas reservoirs, including gas hydrates
- Construction materials for building

Планируется издать сборник тезисов и отдельно сборник статей по предварительной договоренности с издательством Springer.

Welcome to Belgorod! Добро пожаловать в Белгород!

Д. г.-м. н. О. Котова

ХРОНИКА

1 июня — 70-летний юбилей Куприянова Валерия Фёдоровича, руководителя группы автоматизации научных исследований. Награжден знаком отличия «За безупречную службу Республики Коми»

4 июня — 85 лет со дня рождения Льва Васильевича Махлаева, д. г.-м. н., профессора, Заслуженного работника Республики Коми.

7 июня — 80-летний юбилей к. г.-м. н. Тамары Ивановны Ивановой, старшего научного сотрудника.

8 июня — руководитель лаборатории технологии минерального сырья д. г.-м. н. Ольга Борисовна Котова избрана вице-президентом Международного совета по прикладной минералогии Международной минералогической ассоциации (ICAM/IMA)

11 июня — 70-летний юбилей д. г.-м. н. Валерия Ивановича Силаева, главного научного сотрудника.

18 июня — 60-летний юбилей к. г.-м. н. Натальи Валерьевны Ильиной, старшего научного сотрудника.

20 июня в Институте состоялось рабочее совещание по проблемам геологического изучения Тимано-Североуральского региона. В нем приняли участие представители министерств Республики Коми, АО «Северо-Западное ПГО» (входит в состав АО «Росгеология»), Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. А. Карпинского (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), Всероссийского научно-исследовательского института им. Н. М. Федоровского (ФГБУ «ВИМС»), Департамента по недропользованию по Северо-Западному федеральному округу (Севзапнедра, Коминедра), сотрудники Института геологии Коми НЦ УрО РАН и других геологических организаций республики.

23 июня — 40 лет трудовой деятельности в институте Надежды Николаевны Панюковой.

Chronicle

June 1 — the 70th Anniversary of Valery Fedorovich Kupriyanov, Head of Scientific Research Automation Group. He was awarded with the distinction «For the impeccable service for Komi Republic»

June 4 — 85 years since the birth of Lev Vasilyevich Makhlaev, Doctor of geological and mineralogical sciences, Professor, Honored Worker of Komi Republic.

June 7 — the 80th Anniversary of Candidate of geological and mineralogical sciences, Tamara Ivanovna Ivanova, senior researcher.

June 8 — Head of Laboratory of Mineral Raw Technology DSc Olga Borisovna Kotova was elected Vice-President of the International Council for Applied Mineralogy of the International Mineralogical Association (ICAM/IMA)

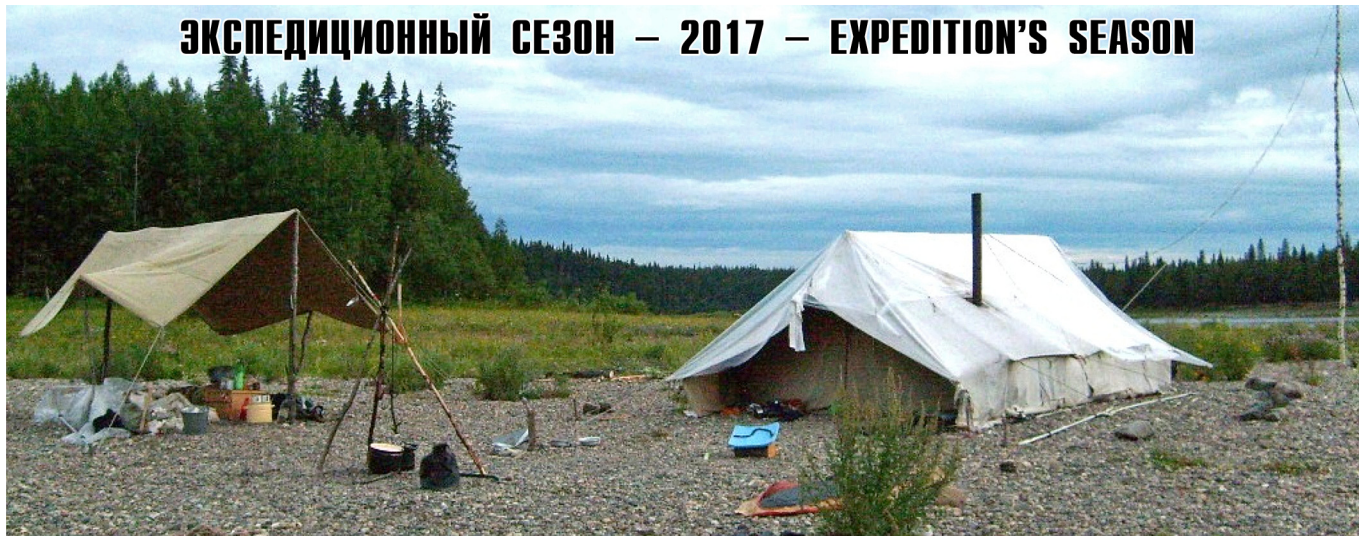
June 11 — the 70th Anniversary of the Doctor of geological and mineralogical sciences Valery Ivanovich Silaev, chief researcher.

June 18 — the 60th Anniversary of Candidate of geological and mineralogical sciences Natalia Valeryevna Ilyina, senior researcher.

June 20 at the Institute a working meeting on the problems of geological study of Timan-Northern Ural region was held. It was attended by representatives of the ministries of Komi Republic, North-Western PGO (part of Rosgeologiya JSC), All-Russian Geological Research Institute named after A. A. Karpinsky (VSEGEI), All-Russian Scientific Research Institute named after N. M. Fedorovsky (VIMS), Department for Subsoil Use in the North-Western Federal District (Sevzapnedra, Kominedra) and staff of the Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences and other geological organizations of our Republic.

June 23—40 years of work of Nadezhda Nikolayevna Panyukova in Institute of Geology.

ЭКСПЕДИЦИОННЫЙ СЕЗОН — 2017 — EXPEDITION'S SEASON



May — September — field season at the Institute of Geology of the Komi SC UB RAS. This year 10 geological parties were formed. The field works are planned within Komi Republic, Nenets Autonomous District, Yamal-Nenets Autonomous District and Perm region. The areas of work, the time of implementation, a brief description of objectives and expected results are presented.

Май — сентябрь — экспедиционный сезон в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН. В этом году удалось сформировать 10 геологических отрядов. Планируется проведение полевых работ в пределах Республики Коми (РК), Ненецкого автономного округа, Ямало-Ненецкого автономного округа и Пермского края.

Отряд № 1 — начальник В. В. Удоратин

Район работ: Усть-Куломский, Княжпогостский, Койгородский районы РК.

Сроки работ: 22—28 мая, 5 июня — 14 июля

Целью работ является получение новых данных о местоположении отдельных разломных зон, оценка их микросейсмической и радоновой активности. Локализация магнитных аномалий в приразломных областях.

В результате исследований планируется локализация разломных зон на местности по данным магниторазведки, их корреляция и привязка к сейсморазведочным данным. По данным радоновой съемки и микросейсмического мониторинга можно получить представление об активности разлома. Это позволит построить схему разломов с выделением активных участков в пределах отдельных разломов. При положительной корреляции появится возможность наиболее точно проследить разломы на местности в районах отсутствия сейсморазведочных работ.

Отряд № 2 — начальник В. А. Матвеев

Район работ: Ненецкий АО (р. Падымейтивис)

Сроки работ: 22 июня — 8 августа

Целью полевых исследований на поднятии Чернова является изучение карбонатно-терригенного разреза силура в среднем течении р. Падымейтивис. Особое внимание будет уделено интервалам (венлока и лудлова, лудлова и пржидола), имеющим важное значение для определения событийных уровней и решения вопросов стратиграфии и корреляции силурийских отложений на территории Тимано-Североуральского региона и сопредельных территорий. Будет проведено литологическое описание разреза, отобраны литологические образцы с остатками фауны для последующей камеральной обработки.

Пробы на конодонты, сколекодонты и остатки рыб будут изучаться совместно с палеонтологами Таллиннского технического университета. Предполагается собрать коллекцию строматолитов из лудловских отложений для последующего изучения их морфологического и микроструктурного строения.

Изучение остатков организмов позволит установить закономерности динамики биотических комплексов и их палеобиогеографию. Материалы монографического изучения коллекций фауны позволят уточнить границу между ярусами силура. Лудловско-пржидольский интервал представляет особый интерес для исследования и анализа кризисов и эволюции фаунистических ассоциаций.

Отряд № 3 — начальник А. В. Панфилов

Район работ: Ямало-Ненецкий автономный округ (бассейн рек Бол. Харбей, Лонготъеган, Хадата).

Сроки работ: 29 июня — 2 августа

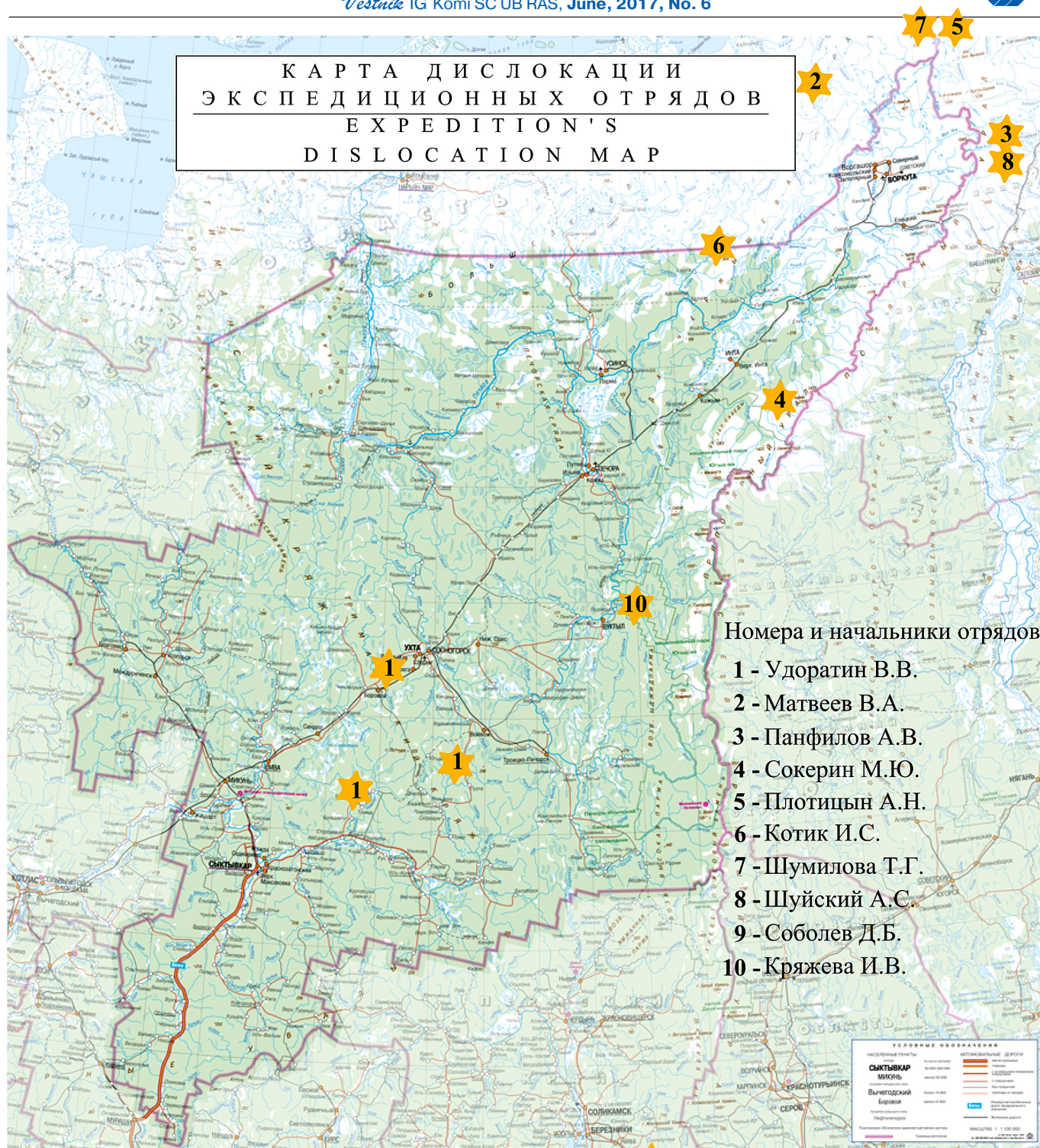
Цель полевых работ заключается в уточнении структуры, вещественного состава, возраста и установлении геодинамической эволюции магматических и метаморфических образований в северной части зоны Главного Уральского глубинного разлома (марункеуский метаморфический комплекс, няровейская и немурьюганская свиты няровейского комплекса, ханмейхойская и париквасьшорская свиты харбейского метаморфического комплекса). Изучение процессов метаморфического и метасоматического изменения пород. Типизация докембрийских магматитов основного и ультраосновного состава Харбейского выступа по геохимическим особенностям.

Отряд № 4 — начальник М. Ю. Сокерин

Район работ: Интинский район РК

Сроки работ: 10 июля — 31 июля.

Цель работ заключается в уточнении минерального и химического составов, стадийности, возраста и условий образования руд и метасоматитов U-Ag (Ясное), Cu-U (Народинское), золото-сульфидно-кварцевых (Синильга и Караванное) рудопроявлений Торговско-Народинского рудного района.



В результате полевых исследований предполагается построение геологических моделей перечисленных типов оруденения, включая их положение в истории геологического развития региона, и разработка современного актуализированного комплекса прогнозных критериев и поисковых признаков продуктивной минерализации Центрально-Уральской мегазоны севера Урала.

Отряд № 5 — начальник А. Н. Плотицын

Район работ: широтное течение р. Кара на центральном Пай-Хое (Ненецкий АО, Ямало-Ненецкий АО).

Сроки работ: 24 июня — 8 августа

Целью работ является изучение геологического строения, состава и биоты верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложений в районе субширотного течения р. Кара.

По результатам работ будут построены литологические колонки и интерпретированы условия формирования глубоководных отложений верхнедевонско-нижнекаменноугольного стратиграфического интервала в нижнем течении р. Кара. Будет отобран материал для обоснования ряда границ крупных стратонів в рассматриваемом регионе (фамен-турне, турне-визе, визе-серпухов), а также уточнения объемов и стратиграфического положения картируемых местных подразделений (путюская, громашорская, силоваяхинская и карская свиты). Пристальное внимание будет уделено предполагаемым событийным уровням. Также будет произведено попутное опробование нижнекаменноугольных отложений Карского баритового месторождения и потенциально марганценосных фаменских отложений.

Отряд № 6 — начальник И. С. Котик

Район работ: Ненецкий АО, бассейн среднего течения р. Адзъва.

Сроки работ: 31 июля — 11 сентября

Цель полевых исследований заключается в установлении литолого-геохимических особенностей и условий образования отложений, особенностей трещинного и порового пространства, распределения в разрезе нефтегазоматеринских пород и состава содержащегося в них органического вещества.

По результатам полевых исследований будут установлены литолого-генетические особенности палеозойских отложений, проведена качественная и количественная оценка нефтегазоматеринских пород, изучен состав и катагенетическая зрелость органического вещества.

Отряд № 7 — начальник Т. Г. Шумилова

Район работ: рр. Саяха, Путью, Сибирчата-Яха, Сопча-Ю, Кара (Ненецкий АО, Ямало-Ненецкий АО).

Сроки работ: 31 июля — 31 августа.

Цель работ состоит в проведении минералого-геохимического исследования и анализе мобилизации минерального вещества углеродистых пород подложки при интенсивном импактном и постимпактных процессах.

По результатам полевых исследований будет проведено: 1) анализ закономерностей распространения выделенных типов зювитов; 2) отбор каменного материала для минералогических исследований, геохимических и петрофизических исследований импактитов, включая извлечение и исследование импактных алмазов и сопутствующих минеральных фаз; 3) выявление особенностей распространения импактных стекол жильного типа; 4) опробование импактных стекол для детальных исследований фазового состояния и свойств; 5) анализ постимпактных гидротермальных преобразований и отбор каменного материала пород мишени для выявления интенсивности постимпактных преобразований и возможности концентрирования полезных компонентов в черных сланцах.

Отряд № 8 — начальник А. С. Шуйский

Район работ: административный район г. Воркута; Ямало-Ненецкий АО Тюменской области.

Сроки работ: 24 июня — 1 августа

I этап: Верховье р. Енгане-яха (кряж Енганэ-Пэ).

Целью полевых работ является изучение особенностей строения нижнепалеозойских терригенных толщ в зоне межформационного контакта уралид/доуралид, выявление закономерностей осадконакопления позднекембрийско-раннеордовикского этапа развития, характеризующего смену обстановки эпиконтинентального рифтогенеза на обстановку пассивной континентальной окраины, установление взаимоотношения и степени влияния на состав нижнепалеозойских отложений, основных и кислых вулканитов, выявление условий, благоприятных для локализации редко- и благороднометалльной минерализации. Изучение отложений фундамента и нижнепалеозойских отложений манитаньрдской свиты в зоне межформационного контакта уралид/доуралид, состава верхнерифей-вендских вулканитов бедамельской свиты и верхнекембрийско-раннеордовикских образований леквожского (?) комплекса, взаимоотношения и состава вер-

хнекембрийско-раннеордовикских вулканитов и нижнепалеозойских терригенных пород.

II этап: хребет Марункеу.

Целью работ является выявление последовательности формирования аккреционно-коллизийной структуры эклогит-гнейсового марункеуского комплекса и его обрамления.

III этап: южная часть Гердизского массива.

Цель работы состоит в изучении южной части Гердизского массива, отбор проб и фотодокументация. В результате проведенных исследований будет уточнена типизация гранитного массива, в том числе геохимическая характеристика.

Отряд № 9 — начальник Д. Б. Соболев

Район работ: Пермский край, р. Вижая (приток р. Чусовая), р. Косьва.

Сроки работ: 16 июля — 3 августа

Целью полевых работ является исследование строения разрезов и органических остатков верхнего девона и нижнего карбона в склоновых и глубокоководно-шельфовых фациях.

Сбор и изучение микрофаунистических остатков (конodontы и остракоды) позволит дополнить имеющиеся схемы эволюционных преобразований в различных зонах палеобассейна, что повысит надежность межрегиональной корреляции. Отбор и детальное описание фауны строматопороидей из обнажений девона и нижнего карбона позволит проследить эволюционные изменения комплексов строматопороидей. Формы роста строматопороидей, характер их изменчивости, взаимоотношения с вмещающими породами послужат одним из признаков определения условий среды, в которых они формировались. Будет отбираться также коралловая фауна (табуляты, гелиолитоидеи и т. д.), и определена роль макрофауны в развитии биоценозов девона и карбона на Западном склоне Среднего Урала.

Отряд № 10 — начальник И. В. Кряжева

Район работ: Северный Урал, Вуктыльский р-н РК, (р. Подчерем), Национальный парк «Югыд Ва».

Сроки работ: 26 июня — 25 июля.

Цель полевых исследований заключается в изучении палеозойских карстующихся отложений, где высока вероятность обнаружения полостей с остатками плейстоценовой фауны. Материал из этого района (от устья р. Орловка до устья руч. Большая Древятница) позволит более полно, детально проследить историю формирования современной фауны предгорий Урала и выявить особенности плейстоцен-голоценовой истории териофауны этого района в сравнении с лучше изученной фауной других районов и в итоге описать историю формирования микротериофауны Республики Коми.

В результате выполнения полевых работ планируется выявить закономерности исторического развития сообществ (состава и экологической структуры) млекопитающих Северного Урала на фоне динамики климата и природной среды. На основе особенностей морфологии предполагается установить закономерности филогенетической эволюции наиболее массовых видов грызунов и реконструировать палеогеографическую обстановку времени накопления рыхлых отложений и ископаемых остатков.

МИНЕРАЛОГ С БОЛЬШОЙ БУКВЫ

К 70-летию юбилею доктора геолого-минералогических наук Валерия Ивановича Силаева

MINERALOGIST WITH A CAPITAL M

70th anniversary of Doctor of Geological and Mineralogical sciences Valery Ivanovich Silaev

Chief researcher of Laboratory of Petrography Doctor of Geological and Mineralogical sciences Valery Ivanovich Silaev is a prominent specialist in mineralogy, geochemistry and ore formation problems. He has greatly contributed to the study of copper-molybdenum, pyrite-polymetallic, barite-poly-metallic, manganese deposits of Northern and Polar Urals and Vaygach Island. At present he is studying the mineral formation in conditions of modern volcanic activity with a stress to multiphase carbon volcanic paragenesis; and he is also conducting mineralogical and geochemical researches of fossilized bone detritus to solve paleontological, archeological and anthropological challenges.

Валерий Иванович Силаев родился 11 июня 1947 г. в казачьей станице на территории современной Чечни в семье военнослужащего. Среднюю школу окончил в 1965 г. в г. Липецке, Ростовский госуниверситет — в 1970 г. После окончания университета работал в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН в должности старшего лаборанта, младшего, старшего, ведущего, главного научного сотрудника. С 1970 по 1973 гг. учился в очной аспирантуре при Коми филиале АН СССР. В 1975 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Минералогия и литогенез ордовикских отложений Центрального Пай-Хоя», а в 2006 г. — докторскую на тему «Механизмы и закономерности эпигенетического марганцевого минералообразования».

Валерий Иванович — известный специалист в области минералогии, геохимии и проблем рудообразования. Им внесен большой вклад в изучение медно-молибденовых, колчеданно-полиметаллических, барит-полиметаллических, марганцевых месторождений Северного и Приполярного Урала и о. Вайгач. Он выявил закономерности образования и локализации рудных скоплений, разработал минералого-геохимические индикаторы рудопроявлений, критерии их поисков и оценки. Уделяет особое внимание изучению минерализации кор выветривания на Полярном и Приполярном Урале. Им изучены фосфатонесные коры выветривания, охарактеризована их зональность, открыт ряд новых для региона минералов, описаны новые разновидности редких карбонатов и фосфатов, даны практические рекомендации по технологии обогащения и переработки местных фосфатных руд. Он разработал универсальный минералого-геохимический метод оценки рудоносности. Получил принципиально новые данные о минералогии алмазов и мантийном минералообразовании. На севере Урала выявил особый тип аллювиальных золотоплатиновых россыпей, в результате изучения золотоносных кор выветривания определил генетические особенности гипергенно-модифицированного золота, что дает возможность более эффективно оценивать перспективы гипер-



генной благороднометаллической рудоносности на Приполярном Урале. В настоящее время им ведутся исследования в области минералообразования в условиях современного вулканизма с акцентом на многофазный углеродный вулканогенный парагенезис, а также минералого-геохимические исследования ископаемого костного детрита в связи с решением палеонтологических, археологических и антропологических задач. Он автор более 400 научных публикаций, в том числе 12 монографий и 13 брошюр, и одного изобретения.

Валерий Иванович принимает участие в подготовке научных кадров. Под его руководством защищено несколько кандидатских диссертаций, дипломные и курсовые работы студентов кафедры геологии Сыктывкарского госуниверситета. Он читал лекции и вел занятия по курсу «Основы физико-химической геологии» на кафедре геологии. Является членом Уральской академии геологических наук.

Валерий Иванович Силаев награжден почетными грамотами КНЦ УрО АН СССР (1981, 1987), УрО АН СССР (1988), Республики Коми (1997), РАН и Профсоюзом РАН (2004), знаком «Горняцкая слава» 3 степени (2008), Премией РК в области науки (2009), почетным знаком «За безупречную службу РК» (2014).

Поздравляем Валерия Ивановича с юбилеем, желаем творческого долголетия!

КОРОЛЕВА ПАЛИНОЛОГИИ (к 60-летию юбилею)

THE QUEEN OF PALYNOLOGY (To the 60th anniversary)

Natalya Ilyina is a senior researcher of the Institute of Geology, a well known specialist on Triassic stratigraphy and palynology. She is a corresponding member of Subcommittee on Triassic Stratigraphy, Base Anisian Task Group, International Commission on Stratigraphy. According to the results of investigations among the scientific works published by her the most important is the monograph «Palynostratigraphy of the Middle Triassic in the Timan-North-Uralian Region».

Наталья Валерьевна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории стратиграфии Института геологии им. академика Н. П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН. Родилась в г. Воркуте. В Ухте прошли ее школьные годы и учеба в Ухтинском индустриальном институте на геологическом факультете.

В 1979 г. после окончания института Наталья Валерьевна работала геологом в Ухтинской сейсморазведочной экспедиции ПГО «Печорагеофизика», в Тимано-Печорском отделении ВНИГРИ, где участвовала в литологических и стратиграфических исследованиях, а с 1985 г. начала изучение палинологии триасовых отложений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. В 1989 г. по приглашению д. г.-м. н. В. А. Дедеева она пришла на работу в отдел геологии горючих ископаемых Института геологии Коми научного центра УрО АН СССР.

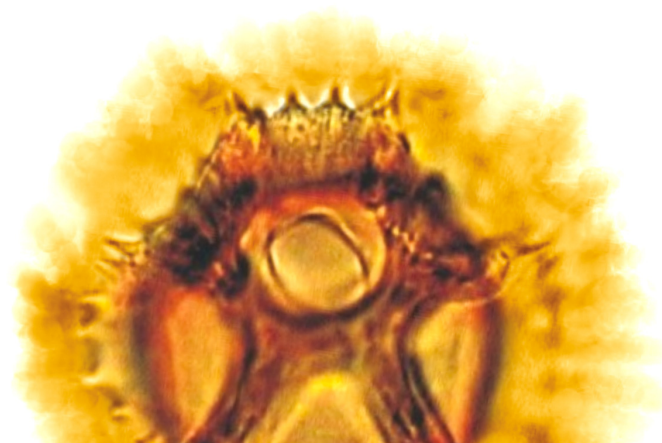
В 1998 г. в Саратовском государственном университете Н. В. Ильина защитила кандидатскую диссертацию по теме «Среднетриасовые комплексы миоспор Тимано-Североуральского региона и их стратиграфическое значение», в которой была представлена разработанная ею детальная биостратиграфическая схема расчленения по миоспорам среднетриасовых отложений Тимано-Североуральского региона. Ею были существенно уточнены палинологическая характеристика нижнетриасовых отложений и стратиграфический объем верхнего триаса в регионе. В соавторстве с сотрудниками Палеонтологического института РАН была разработана новая корреляционная стратиграфическая схема триасовых отложений Северного Приуралья, принятая на IV Уральском межведомственном стратиграфическом совещании. В схеме был уточнен, а в некоторых случаях изменен возраст ряда литостратиграфических подразделений, предложен новый вариант их корреляции с подразделениями триаса Печорской синеклизы. В последующие годы территория исследований Натальи Валерьевны значительно расширилась. В сотрудничестве со специалистами ФГУНПП «Аэрогеология» Н. В. Ильина по результатам изучения опорных разрезов детализировала и существенно дополни-



ла палинологическую характеристику триасовых отложений севера Средней Сибири.

Наталья Валерьевна участвовала в Международной арктической корреляционной программе и Кембриджской программе исследований Арктического шельфа. Результаты ее исследований опубликованы в научных отчетах и статьях. Она является членом рабочей группы по оленекско-анизийской границе триасовой подкомиссии Международной стратиграфической комиссии, активно участвует в работе российских и международных совещаний. В 2011 г. успешно организовала и провела XIII Российскую палинологическую конференцию с международным участием в Институте геологии (г. Сыктывкар).

Дорогая Наталья Валерьевна, желаем успешного продолжения научной деятельности. Счастья, здоровья Вам и Вашим близким!



Пыльца одуванчика. Фото О. Дзюба
Dandelion pollen. Photo by O. Dzyuba

НА ВЫСОКИХ ШИРОТАХ... • IN HIGH LATITUDES...

Remembering Lev Vasilyevich Makhlaev — a leading specialist in the petrography of magmatic and metamorphic rocks.

4 июня исполнилось бы 85 лет Льву Васильевичу Махлаеву.

Жизнь его прошла в высоких широтах Арктики, на высоких педагогических параллелях, на высокой петрографической, профессиональной и просто человеческой высоте.

Откуда в мальчике со Смоленщины мечты о бескрайних северных просторах, о странном камне гранитном, откуда любопытство и любовь к науке? Предвоенные годы, война и все равно — золотая школьная медаль, послевоенные тяжелые годы — и отлично завершенная учеба в Ленинградском государственном университете.

Первое вступление на дороги, по которым надо идти, в непростые геологические маршруты и такие же непростые жизненные пути. Надо искать, находить и не сдаваться, надо верить в свою звезду.

Ленинград, Красноярск, Сыктывкар; Таймыр, Енисейский край, Прианбарье, Полярный и Приполярный Урал. Диссертации защищены, концепции ложатся в слова, строки, которые уже проступают на чистых листах:

—установлено наследование гранитоидами особенностей состава первичных гранитообразующих субстратов... изолигитогенные гранитные ряды... ультраметаморфическое преобразование литологически однотипных исходных пород... формирование коровых палингено-анатектических гранитных магм;

—подтверждены как особый тип титаносодержащих пород на Северном Таймыре ильменитсодержащие метаморфические сланцы;



Хатангский рейд / Khatanga road

—выделены новые эндогенные образования — интрузивные пирокластиты: туффизиты и валунные дайки; —обоснована петрология псевдооживленных систем — флюидизатная петрология.

За этими строчками — целая жизнь...

У каждого свои дороги и свои учителя, но когда-то наступает время и приходится самому становиться учителем. Лев Васильевич Махлаев — ведущий специалист в области петрографии магматических и метаморфических пород. Л. В. Махлаев — профессор — и не нужно ничего более добавлять. Вдохновенные лекции курсов общей геологии, петрографии, метаморфизма в стенах Красноярского института, Сыктывкарского университета. Сотни



подготовленных студентов, десятки кандидатов. Руководство секторами, лабораториями и кафедрами. Более 200 трудов, 15 монографий и учебных пособий, ряд изданных геологических карт отдельных территорий и регионов Сибири, руководство проектами. Награды, грамоты, благодарственные письма, медали.

Прожита полная насыщенная жизнь. Остались следы на краешке Земли близ Ледовитого океана, остались книги, остались люди, которые его знали и те, которым он привил любовь к геологии. Теперь они идут этими маршрутами, преумножая то, что было делом первых.

О. Удорткина



Скала Поясоватая, р. Пижма, Средний Тиман, фото Д. Хипели
Poyasovataya rock, Pizhma river, Middle Timan. Photo by D. Khipele

МАСТЕР СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА К 80-летию Тамары Ивановны Ивановой

MASTER OF SPECTRAL ANALYSIS Celebrating Tamara Ivanovna Ivanova's 80th anniversary

On the 7th of June Tamara Ivanovna Ivanova celebrated her 80th anniversary. She is a highly qualified expert in the field of emission spectral analysis and geochemistry of small elements. She is the author of more than 60 scientific papers, a candidate of geological and mineralogical sciences. Within the walls of the Institute of Geology T. I. Ivanova worked for 57 years.

7 июня исполняется 80 лет Тамаре Ивановне Ивановой. Даже трудно представить, что 57 лет своей жизни Тамара Ивановна подарила (по-другому и не скажешь!) Институту геологии, куда она в августе 1959 г. поступила на работу после окончания физико-математического факультета Петрозаводского государственного университета.

Тамара Ивановна прошла основные ступеньки настоящего академического научного работника. Первая из них — старший лаборант. Затем последовал перевод на должность младшего научного сотрудника лаборатории минералогии и шлихового анализа, а с 1990 г. и до выхода на заслуженный отдых в 2017 г. Тамара Ивановна работала в должности старшего научного сотрудника лаборатории химии минерального сырья.



Вся научная деятельность и научные интересы Т. И. Ивановой неразрывно связаны с двумя понятиями — «геохимия» и «спектральный анализ». Результаты многолетних исследований обобщены в кандидатской диссертации на тему «Геохимия малых элементов в каменноугольных карбонатных породах восточного обрамления Верхнепечорской впадины», которую



Тамара Ивановна защитила в 1980 г. Результаты научных исследований в области геохимии и спектрального анализа Тамара Ивановна неоднократно докладывала на конференциях и совещаниях различного уровня, включая международный. Она автор и соавтор более 60 научных работ, в том числе 6 монографий.

Тамара Иванова относится к научным сотрудникам, которые в прямом смысле создавали современный облик Института геологии, закладывали основы методов и подходов к исследованию горных пород и минералов. Пожалуй, главное то, что были сформированы традиции высококачественных исследований, точных измерений, профессионализма и ответственности, которыми всегда отличались работы сотрудников Института геологии.

Тамара Ивановна длительное время руководила группой спектрального анализа лаборатории химии минерального сырья. Свои знания в области геохимии малых элементов, эмиссионного спектрального анализа, автоматизации спектральных измерений и расчетов она передавала молодым сотрудникам.

Неразрывно с наукой в жизни Тамары Ивановны присутствуют любовь к музыке и любовь к животным. Дорогая Тамара Ивановна! Желаем Вам как можно больше здоровья, счастья и музыки любви!

Ответственный за выпуск:
Н. А. Матвеева

Редакторы издательства:
О. В. Габова,
К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка
А. Ю. Перетягин

Подписано в печать 28.07.2017

Тираж 180



Заказ 1042

Редакция:
167982, Сыктывкар, Первомайская, 54

Тел.: (8212) 24-51-60
Факс: (8212) 44-82-68
E-mail: vestnik@geo.komisc.ru

При оформлении обложки использованы фото И. Астаховой, Ю. Глухова, И. Голубевой, Р. Шуктомова