



Главный редактор А. М. Асхабов

Зам. главного редактора И. Н. Бурцев

Зам. главного редактора О. Б. Котова

Ответственный секретарь И. В. Козырева

Редакционный совет

- Л. Н. Андричева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
В. А. Жемчугова, Москва, Россия
А. В. Журавлев, Сыктывкар, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. И. Николаев, Апатиты, Россия
Б. М. Осовецкий, Пермь, Россия
Ю. Ф. Патраков, Кемерово, Россия
И. В. Пеков, Москва, Россия
Д. В. Пономарев, Сыктывкар, Россия
В. Н. Пучков, Екатеринбург, Россия
Д. Ю. Пуцаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сан, Мянъян, Китай
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Сыктывкар, Россия

Технический редактор Г. Н. Каблис

Заведующий редакцией Т. А. Некучаева

Chief Editor A. M. Askhabov

Deputy Chief Editor I. N. Burtsev

Deputy Chief Editor O. B. Kotova

Executive Secretary I. V. Kozyreva

Editorial Board

- L. N. Andreicheva, Syktyvkar, Russia
A. I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
T. M. Beznosova, Syktyvkar, Russia
M. A. Bogdasarov, Brest, Belarus
M. A. T. M. Broeckmans, Trondheim, Norway
D. A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yu. L. Voytekhovsky, Apatity, Russia
A. D. Gvishiani, Moscow, Russia
V. A. Zhemchugova, Moscow, Russia
A. V. Zhuravlev, Syktyvkar, Russia
V. A. Kashirtcev, Novosibirsk, Russia
M. Komac, Ljubljana, Slovenia
S. V. Krivovichev, St. Petersburg, Russia
S. K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
M. Martins, Ouro Preto, Brazil
T. P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
P. Männik, Tallinn, Estonia
A. I. Nikolaev, Apatity, Russia
B. V. Osovetsky, Perm, Russia
Yu. F. Patrakov, Kemerovo, Russia
I. V. Pekov, Moscow, Russia
D. V. Ponomarev, Syktyvkar, Russia
V. N. Puchkov, Yekaterinburg, Russia
D. Yu. Pushcharovsky, Moscow, Russia
A. M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Sh. Sun, Mianyang, China
C. M. Soja, Hamilton, NY, USA
O. V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
A. G. Shelomentsev, Syktyvkar, Russia

Technical Editor G. N. Kablis

Managing Editor T. A. Nekuchaeva

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году
академиком Н. П. Юшкиным.

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2021) – 0.404



SCIENTIFIC JOURNAL

Monthly issued. Founded in 1995
by Academician N. P. Yushkin.

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI
impact factor (2021) – 0.404

Содержание

Content

Вступая в 2023 год: закрепить на достигнутых рубежах и двигаться дальше
А. М. Асхабов3

Entering 2023:
consolidate on achieved gains and move on
A. M. Askhabov3

Научные статьи

Scientific articles

О проблеме границы среднего и верхнего девона на Восточно-Европейской платформе
И. О. Евдокимова4

About the problem of the Middle-Upper Devonian boundary in the East European Platform
I. O. Evdokimova4

Палинологическая зональность живетско-франского стратиграфического интервала в Тимано-Североуральском регионе
О. П. Тельнова, И. Х. Шумилов16

Palynological zonation of the Givetian-Frasnian stratigraphic interval in the Timan-Northern Urals region
O. P. Tel'nova, I. Kh. Shumilov16

Комплексы позвоночных и зоны верхнего живета и нижнего франа Восточно-Европейской платформы и Урала
А. О. Иванов23

Assemblages of vertebrates and zones from the Upper Givetian and Lower Frasnian of the East European Platform and Urals
A. O. Ivanov23

Минералого-петрохимические особенности габбро-долеритов криволукского комплекса
А. А. Самигуллин., Д. Е. Савельев30

Mineralogical and petrochemical features of gabbro-dolerites of the Krivoluksky complex
A. A. Samigullin, D. E. Saveliev30

Особенности накопления и миграции техногенных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в тундровых ландшафтах Российской Арктики (на примере бассейна реки Несь, Канинская тундра)
А. В. Пучков, Е. Ю. Яковлев42

Features of accumulation and migration of technogenic radionuclides Cs-137 and Sr-90 in the tundra landscapes of the Russian Arctic (evidence from the Nes river basin, Kanin tundra)
A. V. Puchkov, E. Yu. Yakovlev42

Хроника, события, факты. История науки

Chronicle, events, facts. History of Science

К вопросу о границе среднего и верхнего девона52

About Middle-Upper Devonian boundary52

55-летний юбилей Геологического музея им. А. А. Чернова
.....55

The 55th anniversary of the A. A. Chernov Geological Museum55

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Вступая в 2023 год: закрепиться на достигнутых рубежах и двигаться дальше

Дорогие друзья!

Мы пережили очередной и незабываемый год. Было много важных событий и изменений, которые будут сказываться на нашей жизни многие годы. Страна вступила в новый этап развития, в Российской академии наук прошли чрезвычайно важные выборы президента, органов руководства, новых членов. В Коми научном центре наконец-то был избран новый руководитель. Мы вступили в 2023 год с ожиданием положительных перемен в стране и в науке.

Кроме всего прочего на новом этапе на передний край выходит старая проблема поднятия престижа отечественных научных журналов. В последние годы об этом разговоров было много, но ничего принципиально не менялось. Думаю, теперь всем стало очевидно, что наряду с приборной базой развитие системы научных журналов стало основополагающей составляющей науки.

Мы многое делали, чтоб наш *Вестник геонаук* стал еще более узнаваемым, популярным, широко цитируемым. Ставилась задача на 2022 год — войти в базу Scopus. К сожалению, эта цель на неопределенное время перестала быть актуальной, на данном этапе важно закрепиться в отечественных рейтингах. *Вестник геонаук* остался в списках ВАК, надеемся, будет и в RSCI.

Мы будем делать все зависящее от нас для поднятия научного уровня и авторитета журнала. Отмечу, что с прошлого года *Вестник* находится под научно-методическим руководством Отделения науки о Земле РАН. Мы уверенно смотрим в будущее. Готовы к решению новых задач, которые встанут перед отечественными научными изданиями. Будем улучшать работу редакционной коллегии, совершенствовать издательскую политику, теснее взаимодействовать с рецензентами.

От имени редакционного коллектива поздравляю всех с наступившим Новым годом! Здоровья, благополучия и оптимизма каждому из вас! И конечно, хороших статей в наш журнал!

Главный редактор
академик А. М. Асхабов

Entering 2023: consolidate on achieved gains and move on

Dear friends!

We survived another and unforgettable year. There were many important events and changes that would affect our lives for many years to come. The country entered a new stage of development, extremely important elections of the president, governing bodies, and new members were held in the Russian Academy of Sciences. A new leader was finally elected at the Komi Scientific Center. We entered 2023 with the expectation of positive changes in the country and in science.

Among others, at the new stage, the old problem of raising the prestige of domestic scientific journals is coming to the fore. In recent years, there has been a lot of talk about this, but nothing fundamentally changed. I think it has now become clear to everyone that, along with the instrumental base, the development of a system of scientific journals has become an essential component of science.

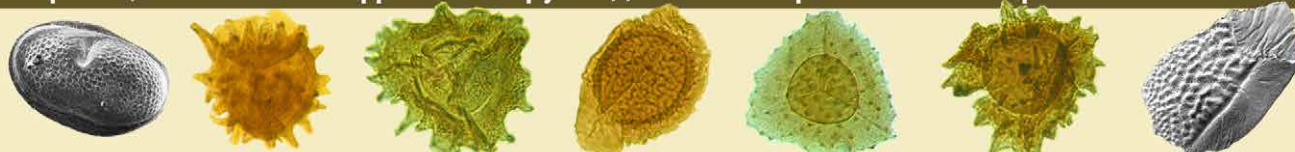
We have done a lot to make our *Vestnik of Geosciences* more recognizable, popular, and widely cited. The task was set for 2022 – to enter the Scopus database. Unfortunately, this goal is not relevant for an indefinite time, at this stage it is important to gain a foothold in domestic ratings. *Vestnik of Geosciences* remains on the lists of the Higher Attestation Commission, and we hope it will also be on the RSCI.

We will do everything in our power to raise the scientific level and authority of the journal. I note that since last year, *Vestnik* has been under the scientific and methodological guidance of the Department of Earth Science of the Russian Academy of Sciences. We look to the future with confidence. We are ready to solve new problems that will face domestic scientific publications. We will improve the work of the editorial board, improve the publishing policy, and interact more closely with reviewers.

On behalf of the editorial team, I wish you all a Happy New Year! Health, prosperity and optimism to each of you! And of course, good articles in our journal!

Editor-in-Chief,
Academician A. M. Askhabov

Граница живетского и франского ярусов девона на Европейском Северо-Востоке России



Givetian-Frasnian boundary of the Devonian at the European North-East of Russia

Обзорная статья / Review article

УДК 551.734.3/.5(470.1/.5)

DOI:10.19110/geov.2023.1.1

О проблеме границы среднего и верхнего девона на Восточно-Европейской платформе

И. О. Евдокимова

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, irina_evdokimova@vsegei.ru

Представлен краткий обзор истории выделения франского яруса верхнего девона и определения его нижней границы в страторегионе. Приводится характеристика пограничных живетско-франских отложений на Восточно-Европейской платформе и стратиграфическое значение региональных событийных уровней. Рассмотрены дискуссионные вопросы по определению возраста пограничных отложений и поставлены задачи дальнейших исследований.

Ключевые слова: живетский и франский ярусы, средний и верхний девон, стратиграфия, Восточно-Европейская платформа.

About the problem of the Middle-Upper Devonian boundary in the East European Platform

I. O. Evdokimova

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg

A brief overview of the history of the identification of the Frasnian Stage (Upper Devonian) and the determination of its lower boundary in the stratotype region is presented. The characteristics of the Givetian-Frasnian boundary deposits in the East European platform and the stratigraphic significance of the regional event levels are considered. Debatable issues on the age definition of the boundary deposits are discussed; tasks for the further investigations are set.

Keywords: Givetian and Frasnian stages, Middle and Upper Devonian, stratigraphy, East European Platform.

Введение

Проблема положения границы среднего и верхнего девона в разрезах Восточно-Европейской платформы (ВЕП) является одной из наиболее актуальных и сложных в стратиграфии девонской системы. Принятая в Стратиграфических схемах Русской платформы (Решение..., 1990) граница в основании пашийского горизонта не соответствует ее уровню в Международной стратиграфической шкале (МСШ) девонской системы (Becker et al., 2020). Кроме того, границы отделов в региональных стратиграфических схемах ВЕП и Урала приняты на разных уровнях, при том что региональные последовательности включают одни и те же горизонты (Решение..., 1990; Стратиграфические..., 1993).

Обновление региональных стратиграфических схем ВЕП и Урала, со времени опубликования которых прошло более 30 лет, является одной из первоочеред-

ных задач, тем более что за последние годы появились новые материалы по стратиграфии, палеонтологии и корреляции девонских отложений, полученные в результате многолетних тематических исследований, а также геолого-съёмочных и картосоставительских работ масштабов 1 : 200 000 и 1 : 1000 000. Эта информация, позволяющая уточнить датировку некоторых горизонтов, нуждается в тщательной систематизации (Соболев, Евдокимова, 2013).

Франский ярус в стратотипической местности (Бельгия) и стратотип нижней границы

Официально франский ярус предложен Ж. Госселе в 1874 г. Первоначально основание франского яруса совпадало с основанием слоев Фран. В 1884 г. Ж. Госселе

Для цитирования: Евдокимова И. О. О проблеме границы среднего и верхнего девона на Восточно-Европейской платформе // Вестник геонаук. 2023. 1 (337). С. 4–15. DOI: 10.19110/geov.2023.1.1

For citation: Evdokimova I. O. About the problem of the Middle-Upper Devonian boundary in the East European Platform. Vestnik of Geosciences. 2023, 1 (337), pp. 4–15, doi: 10.19110/geov.2023.1.1



изменил понимание объема франского яруса, включив в его состав считавшиеся ранее верхнеживетскими нижележащие слои Фромелен. В таком объеме франский ярус в Бельгии понимался до 1971 г., в котором было предложено слои Фромелен в Бельгии относить к живету, а франский ярус ограничить отложениями, содержащими конодонты рода *Ancyrodella* (Coen-Aubert, Boulvain, 2006). Во Франции в течение всего этого времени слои Фромелен входили в состав живетского яруса (Coen-Aubert, Boulvain, 2006).

В 1981 г. франский ярус был утвержден Международной подкомиссией по стратиграфии девонской системы (SDS) в качестве нижнего подразделения верхнего девона (Ziegler, Klapper, 1982). В 1982 г. было решено, что граница живетского и франского ярусов должна совпадать с основанием нижней подзоны конодонтовой зоны *Polygnathus asymmetricus*, определяемой первым появлением вида *Ancyrodella rotundiloba* в филогенетической последовательности *A. binodosa* → *A. rotundiloba* (Ziegler, Klapper, 1982, 1985).

В 1985 г. был выбран лимитотип нижней границы франского яруса на юге Франции в Черных горах (Klapper et al., 1987), а в 1986 г. разрез формации Nismes в страторегионе в Арденнах был выбран в качестве дополнительного стратотипа нижней границы в неритовых фациях (Bultynck et al., 1988).

В 1988 и 1989 гг. выходят статьи (Sandberg et al., 1988, 1989), в которых авторы утверждают, что популяция вида *Ancyrodella rotundiloba* (Bryant) в стратотипическом разрезе включает также примитивные формы рода *Ancyrodella*.

Таким образом, граница живета и франа непреднамеренно оказалась внутри зоны Lowermost asymmetricus, а не в основании зоны Lower asymmetricus, как предполагалось (рис. 1).

Новый зональный стандарт, разработанный на основе эволюции пелагических родов *Mesotaxis* и *Palmatolepis*, был предложен в 1989 г. (Sandberg et al., 1989), ревизован (Ziegler, Sandberg, 1990) и дополнен в 1990 г. (Klapper, Johnson, 1990). В последние годы зональная

шкала была значительно детализирована. Для франского яруса за основу взята последовательность конодонтовых зон в Монтань Нуар, которые вместо номеров получили названия по видам-индексам (Becker et al., 2020).

Нижняя граница франского яруса (GSSP) установлена в основании слоя 42` в разрезе Col du Puech de la Suque, Монтань Нуар, Франция (House et al., 2000a; Klapper et al., 1987) по появлению ранней формы конодонтов вида *Ancyrodella rotundiloba* — *A. r. pristina* Khalymbadzha et Chernysheva (Coen-Aubert, Boulvain, 2006; Sandberg et al., 1989). В современной конодонтовой шкале граница совпадает с основанием зоны Frasnian Zone 1 (FZ1 = MN1) (Klapper, Kirchgasser, 2016). Этот уровень проходит внутри нижней подзоны конодонтовой зоны *Mesotaxis falsiovalis* (Aboussalam, Becker, 2007; Becker et al., 2012, 2020) и фактически совпадает с первым появлением конодонтов рода *Ancyrodella* (Coen-Aubert, Boulvain, 2006). Дополнительным биостратиграфическим маркером служит появление гониатитов *Neopharciceras* в слое 43 немного выше уровня границы (House et al., 2000a; Постановления..., 2008). Данные по распространению в стратотипическом разрезе бентосных групп фауны и миоспор, которые позволили бы проследить уровень границы в мелководных фациях, отсутствуют (Becker et al., 2020).

Стратотипический разрез границы характеризуется последовательностью преимущественно красных и серых пелагических кальцилитов, разделенных поверхностями хардграунда. Проведенный в недавнем прошлом седиментологический анализ разреза показал, что он сложен главным образом темпеститами и включает значительное количество хардграундов. По мнению некоторых исследователей, данный разрез, как и все разрезы, выбранные в Монтань Нуар, не может служить стратотипом границы (Casier, Pr eat, 2007).

Кроме того, в результате современного переизучения среднеживетско-раннефранского интервала стратотипического разреза (Liao et al., 2019) было уста-

МСШ ICC	Стандартные конодонтовые зоны Conodont Standard Zonation		1985	МСШ ICC	Стандартные конодонтовые зоны Conodont Standard Zonation		1988, 1989	МСШ ICC	Стандартные конодонтовые зоны Conodont Standard Zonation		1990
	Ярус Stage	Ziegler, 1971; Ziegler, Klapper, 1982			Ярус Stage	Ziegler, 1971; Ziegler, Klapper, 1982			Ярус Stage	Ziegler, 1971; Ziegler, Klapper, 1982	
Франский / Frasnian	Po. asymmetricus	Middle	FAD <i>Ancyrodella rotundiloba</i> s.s. GSSP	Франский / Frasnian	Po. asymmetricus	Middle	FAD <i>Ancyrodella rotundiloba</i> s.l. GSSP	Франский / Frasnian	Po. asymmetricus	Middle	Palmatolepis punctata
		Lower				Lower				Lower	Palmatolepis transitans
											Mesotaxis falsiovalis
Lowermost	Lowermost	Lowermost	Lowermost	Skeletognathus norristi GSSP	FAD <i>Ancyrodella rotundiloba</i> s.l.						
Живетский Givetian	Klapperina disparilis	Schm. hermanni - "Po." cristatus		Живетский / Givetian	Klapperina disparilis	Schm. hermanni - "Po." cristatus		Живетский / Givetian	Klapperina disparilis	Schm. hermanni - "Po." cristatus	Schm. hermanni - "Po." cristatus

Рис. 1. Изменение уровня границы и вида-индекса нижней границы франского яруса

Fig. 1. Changes in the boundary level and the Frasnian GSSP index species

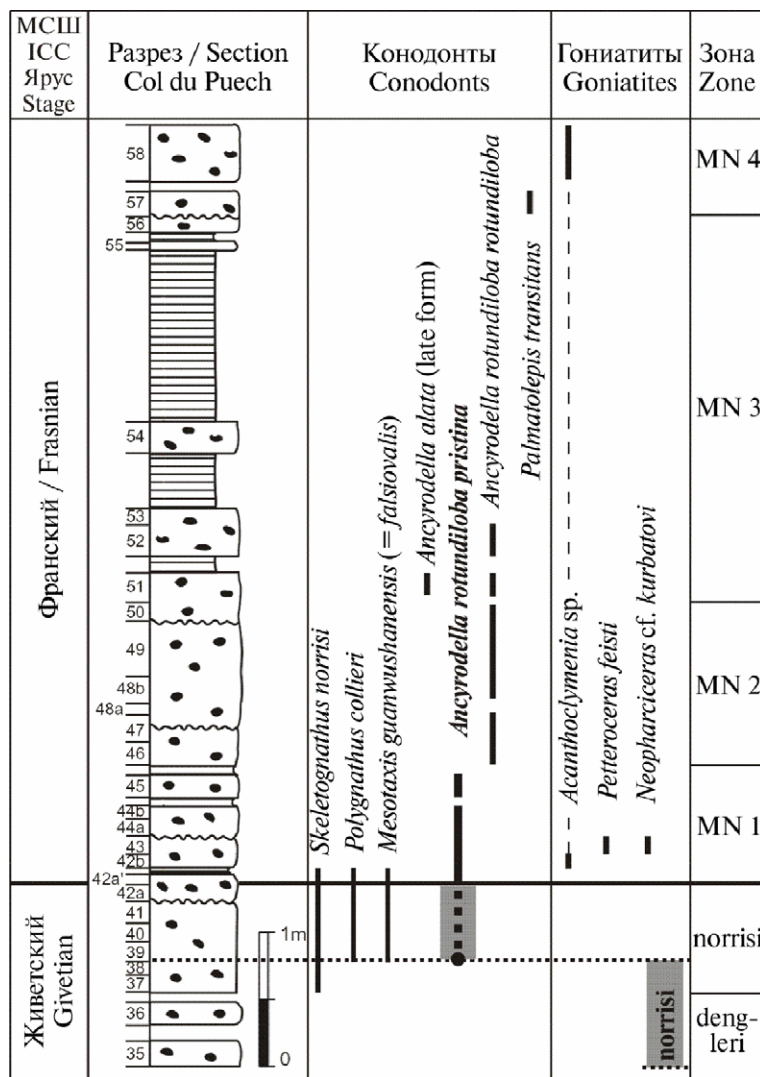


Рис. 2. Стратотип нижней границы франского яруса в разрезе Col de Puech de la Suque и новые данные о распространении видов-индексов пограничных конодонтовых зон и гониатитов (по Becker et al., 2020; Liao et al., 2019)

Fig. 2. Frasnian GSSP at Col de Puech de la Suque and updated ranges of marker conodonts of boundary biozones and goniatites (based on Becker et al., 2020 and Liao et al., 2019)

ем фауны и флоры. Следует отметить, что Таганикское событие разные исследователи понимают по-разному. Понятие «Таганикская трансгрессия» впервые предложено для обширной трансгрессии в основании североамериканского Таганикского региояруса (Johnson, 1970). Позднее было введено понятие «Таганикское событие», соответствующее значительным седиментационным изменениям и фаунистическим вымираниям (House, 1985). Этот уровень соответствует основанию формации Талли в штате Нью-Йорк и Пенсильвании. Началу событийного интервала («таганикская трансгрессия» (по Johnson, 1970), «Таганикское событие» (по House, 1985)) соответствуют обширная трансгрессия и наиболее крупные биотические изменения, на основании которых были выделены живетский и франский ярусы. Вторая крупная трансгрессия («Таганикское событие» по Walliser, 1996), получившая название по черносланцевой формации Дженесео

(Geneseo), штат Нью-Йорк, США, и совпадающая с основанием верхнего подъяруса живетского яруса, приурочена к концу событийного интервала (Aboussalam, 2003; Aboussalam, Becker, 2011; Becker et al., 2020; Marshall et al., 2011; Соболев, Евдокимова, 2013).

Так называемый Франский кризис (Frasnes) включает три отчетливых трансгрессивных импульса: Lower Frasnies — в верхней части зоны norrisi, Middle Frasnies — в основании франского яруса (*Ancyrodella rotundiloba pristina* = MN 1 Zone) и Upper Frasnies — в зоне *Ad. rotundiloba soluta* = lower MN 2 Zone (Becker et al., 2020). Термин «Франское событие» (Frasne Event) был предложен для событийного интервала вблизи границы среднего и верхнего девона (House, 1985), связанного с довольно резкой трансгрессией (трансгрессивно-регрессивный цикл T-R IIb (Johnson et al., 1985)) и широким распространением аноксии. Отмечаются значительное вымирание гониатитов (почти полностью исчезают фарцицератиды), высокая скорость вымирания среди брахиопод, кораллов и строматопор, прекращение роста рифов.

Трансгрессивное событие *Genundewa* фиксируется вблизи границы зон MN 2/3. Событие получило название по известнякам *Genundewa* (штат Нью-Йорк) (House, Kirchgasser, 1993). Проявляется как кратковременная трансгрессия и характеризуется распространением пелагических аммоноидных фаций с *Koenenites* и *Hoeninghausia* (House et al., 2000b).

новлено, что зона *Sk. norrisi* начинается со слоя 35, т. е. раньше, чем до сих пор считалось; а начало зоны FZ 1 отмечается в слое 39¹⁸ по присутствию вида *A. r. pristina* (рис. 2).

Полученные результаты показывают, что граница живетского и франского ярусов зафиксирована примерно на 30 см выше слоя 39¹⁸. Это означает, что в последующем встанет вопрос о пересмотре GSSP. Однако, как отмечают авторы (Liao et al., 2019), перед тем как можно будет принять какое-либо стратиграфическое изменение в отношении уровня границы, следует оценить возможность выбора другого таксона в качестве маркера, как уже ранее предлагалось (Кларгер, 2000). По мнению J.-C. Liao и др. (Liao et al., 2019), возможно, лучшим уровнем границы живетского и франского ярусов будет основание пласта 46, где впервые появляются «поздние» формы *A. rotundiloba* (= *A. rotundiloba rotundiloba s. s.* — индекс зоны FZ 2).

Событийные уровни

В верхнеживетско-раннефранском интервале отмечается ряд глобальных событийных уровней (рис. 3). Так называемое глобальное событие, или кризис Таганик (*Taghanic*), приурочено к концу среднего живета. Событийный интервал характеризуется серией флуктуаций уровня моря, а также ступенчатым вымиранием



МСШ / ICC				Стандартные конодонтовые зоны Conodont Standard Zonation		Зоны по аммоноидеям Ammonoid Zonation (Becker et al., 2020)		Глобальное событие Global Event (Becker et al., 2020)	Биотический кризис Biotic Crisis (Becker et al., 2020)		
Система System	Отдел Series	Ярус Stage	Подъярус Substage	(Becker et al., 2012)	(Becker et al., 2020)						
Девонская / Devonian	Верхний / Upper	Франский / Frasnian	Средний / Middle	Palmatolepis punctata	Palmatolepis punctata	UD I	E	Ponticeras			
			Нижний / Lower	Palmatolepis transitans	Ancyrodella nodosa		D	Triainoceras	■ Middlesex		
					Palmatolepis transitans		C	Timanites	■ Timan		
				Mesotaxis guanwushanensis (=falsiovalis)	Ancyrodella rugosa		B	Koenenites	■ Genundewa		
					Ancyrodella rotundiloba rotundiloba		A	Acanthoclymenia	U. Frasnies		
			Ancyrodella rotundiloba soluta								
	Ancyrodella rotundiloba pristina										
	Средний / Middle	Живетский / Givetian	Верхний / Upper	Skeletognathus norrisi	Skeletognathus norrisi	MD III	E	Petteroceras	■ M. Frasnies	Франский кризис Frasnian crisis	
				Klapperina disparilis	Polygnathus dengleri dengleri		D	Pseudoproboloceras			
					Polygnathus dengleri sagitta		C	Synpharciceras			
				Klapperina disparilis	B2				Lunupharciceras		
				Schmidtnathus hermanni – "Po." cristatus	Polygnathus cristatus ectypus		B1	Extropharciceras	■ Geneseo		
					Schmidtnathus hermanni						
	Средний / Middle			Polygnathus varcus up	Ozarkodina semialternans	A	Pharciceras	Taghanic	Таганский кризис Taghanic crisis		
				m						Polygnathus ansatus	MD II

Рис. 3. Глобальные событийные уровни в пограничном интервале (по Becker et al., 2020, с дополнениями)

Fig. 3. Global event succession in the boundary interval (based on Becker et al., 2020, with additions)

Тиманское событие (Timan) получило название по слоям с аммоноидеями Timanites, Южный Тиман (Becker, House, 1997). Событие Timan сопоставляется с верхами зоны MN3 и нижней частью зоны MN4 (Becker et al., 2020). Отмечаются два трансгрессивных импульса, с которыми связано появление аммоноидей *Timanites* и *Kotioceras* (House et al., 2000b). Признаки аноксии проявлены не повсеместно (Becker, House, 1997).

Трансгрессивное событие Middlesex названо по формации Middlesex Shale, штат Нью-Йорк, США. Ранее это событие коррелировалось с нижней границей среднего подъяруса, принятой в основании зоны MN5, или *Palmatolepis punctata*. По уточненным данным соответствует верхам зоны MN4 с *Ancyrodella nodosa* Ulrich et Bassler (Becker et al., 2020). Проявляется как резкая трансгрессия (TR цикл Ic (Johnson et al., 1985)), характеризуется широким распространением бескислородных условий, повышенной скоростью захоронения органического вещества и продолжительным биотическим кризисом.

Пограничные средне- и верхнедевонские отложения на Восточно-Европейской платформе

Достоверность сопоставления ярусных подразделений ОСШ девонской системы и региональных горизонтов во многом зависит от фациальных особенностей отложений и их палеонтологической характеристики. Не все границы отделов и ярусов в силу различных причин (мелководные фации, стратиграфические перерывы и др.) могут быть однозначно просле-

жены в разрезах на территории России (Соболев, Евдокимова, 2013).

Ярусные границы, определяемые в монофациальных стратотипических разрезах появлением определенных видов конодонтов в филогенетических последовательностях, распознаются практически только в депрессионных и относительно глубоководных отложениях. Установление их точного положения в мелководных толщах, широко распространенных во всех регионах России, не представляется возможным. Как правило, ярусные границы не совпадают с уровнями региональных перестроек и проходят внутри региональных подразделений, в основу выделения которых положен историко-геологический принцип, а биостратиграфическое обоснование сделано в основном по бентосным группам фауны.

Нижняя граница верхнего отдела системы является одной из наиболее сложно распознаваемых в разрезах ВЕП и Урала.

На территории России девонские отложения представлены широким фациальным спектром отложений. Резкая фациальная дифференциация отложений девона приводит к большим трудностям как при межрегиональной корреляции, так и при сопоставлении отложений внутри регионов. Фациальные различия обуславливают применение различных биостратиграфических маркеров при корреляции разрезов. Границы подразделений МСШ (ОСШ) верхнего девона в глубоководных фациях определяются на основе детально разработанных зональных шкал по конодонтам, аммоноидеям, глубоководным остракодам (энтомозоидам) и фебодонтидным хрящевым рыбам. Для биозо-



нального расчленения мелководно-шельфовых фаций широко используются нектонные (позвоночные) и бентосные группы (брахиоподы, остракоды и др.). Расчленение и корреляция прибрежных и континентальных фаций проводятся по миоспорам и макроостаткам растений (Постановления..., 2008).

На ВЕП верхний девон традиционно выделялся начиная с подошвы пашийского горизонта (Решение..., 1990). Согласно решению SDS (Klapper et al., 1987), нижняя граница проходит внутри конодонтовой подзоны Early falsiovalis, что значительно выше рассматриваемой ранее границы для платформы. Пограничный интервал среднего и верхнего девона плохо охарактеризован комплексами ископаемых организмов. Конодонты известны лишь начиная с верхнетиманского подгоризонта. Пашийский горизонт и его аналоги в Тимано-Печорском субрегионе — яранский и джьерский — содержат немногочисленные комплексы миоспор, макрофлоры и позвоночных, на основе которых возможно лишь приблизительное сопоставление с верхнеживетским интервалом.

Северо-Восточный субрегион

В унифицированной схеме в состав нижнего подъяруса франского яруса в Северо-Восточном (Тимано-Печорском) субрегионе были включены яранский, джьерский и тиманский горизонты; в состав среднего — саргаевский и доманиковский горизонты.

При подготовке стратиграфической схемы девона Русской платформы (Решение..., 1990) возник вопрос о целесообразности широкого использования терминов «пашийский» и «кыновский» для нижних горизонтов франского яруса верхнего девона. По сравнению с другими областями платформы, в Тимано-Печорской провинции развиты наиболее мощные и стратиграфически полные разрезы нижней части франского яруса, стратиграфический объем которых не соответствует стратотипам горизонтов на Урале (Меннер и др., 1989). Их последовательность характеризует начало крупного этапа осадконакопления, сопровождавшегося сменой преобладающих обломочных пород глинистыми, карбонатно-глинистыми, увеличением роли нормально-морских фаций, общим расширением площади морской седиментации. Важной особенностью этого времени была фаза активного проявления вулканизма (Плякин, 2011).

В досаргаевской части разреза установлена стратиграфическая последовательность из трех комплексов отложений. Для каждого комплекса выделены региональные горизонты — яранский, джьерский и тиманский. В биостратиграфической характеристике досаргаевских отложений главную роль играют спорово-пыльцевые комплексы. Стратотипы и гипостратотипы горизонтов выбраны в разрезах скважин Ижма-Печорской впадины, которые характеризуются лучшей изученностью и содержанием более полных комплексов спор, а иногда и морских беспозвоночных (Меннер и др., 1989; Larionova et al., 2000).

Яранский горизонт выделен в объеме одноименной свиты Среднего Тимана. На Северном Тимане горизонт соответствует надеждинская свита, в южных районах Ижма-Печорской впадины — вельюская свита, в пределах Печоро-Кожвинского и Шапкино-Юрьяхинского валов — ронаельская свита. Отложения развиты главным образом в палеопрогибах, сложены

преимущественно песчаниками и алевролитами с подчиненными пластами аргиллитов. Горизонту отвечает подзона *Ancyrospora incisa* — *Geminospora micromanifesta* зоны *Contagisporites optivus* — *Spelaeotriletes krestovnikovii incisa* по миоспорам. Встречаются отпечатки растений, редкие остатки рыб, раковины лингулид.

Джьерский горизонт выделен в объеме одноименной свиты, развитой на юге Ижма-Печорской впадины. В стратотипическом районе джьерская свита включает песчаные нефтеносные пласты Ia и Ib и межпластовую и подпластовые аргиллитовые пачки; в основании прослеживается базальный пласт песчаников. На Южном Тимане джьерский горизонт подразделяется на две пачки: нижнюю подвулканогенную (терригенная толща) и верхнюю вулканогенную (ярегская толща), сопоставляющиеся с листовенничной и валсовской свитами Среднего Тимана. На Северном Тимане к джьерскому горизонту относится кумуштинская свита, сложенная в основном вулканогенными образованиями: тремя покровами базальтов, разделенных пачками туфоконгломератов, туфов, туфогенно-терригенных пород. Разрезы джьерского горизонта отличаются от яранских отложений большей глинистостью и представлены ритмичным переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов. Важной особенностью является присутствие примеси пирокластики, туфов, покровов базальтовых лав. На Северном Тимане их излияния начались уже с начала джьерского времени. В других районах основная масса туфов и лав приурочена к самой верхней части горизонта; на Среднем Тимане эта часть разреза выделена как вулканогенная валсовская свита. Джьерские отложения развиты шире, чем яранские, трансгрессивно перекрывают различные горизонты девона и характеризуются резкой изменчивостью стратиграфической полноты разрезов. Отмечаются отпечатки растений, раковины филлопод, лингул, редкие остракоды, ихтиофауна зоны *Asterolepis ornata*. Отложения джьерского горизонта содержат комплексы спор подзоны *Archaeoperisaccus verrucosus* (средняя часть зоны *Contagisporites optivus* — *Spelaeotriletes krestovnikovi*).

Отмечается, что в наиболее полных разрезах яранского горизонта близкие к джьерским комплексы миоспор появляются несколько ниже границы яранского и джьерского горизонтов (Меннер и др., 1989). В таких случаях границу между горизонтами рекомендуется проводить по литологическим и историко-геологическим признакам на уровне поверхности размыва в основании подпластовой глинистой пачки, которой на каротажных диаграммах соответствует четкий репер.

Тиманский горизонт принят на Межведомственном региональном стратиграфическом совещании (Решение..., 1990) вместо кыновского ввиду неясности объема последнего в стратотипе. Горизонт выделяется в объеме брахиоподовых зон *Uchtospirifer nalivkini* (нижний подгоризонт) и *U. timanicus* (верхний подгоризонт). Горизонт установлен в объеме одноименной свиты, выделенной А. И. Ляшенко (Ляшенко, 1956) на р. Ухте. Представлен преимущественно глинистыми отложениями. Вулканогенные образования в тиманском горизонте встречаются гораздо реже, чем в джьерском. Лавы практически отсутствуют. Отмечаются про-



слои бентонитов, развивающихся по пепловым туфам, или примесь в породах переотложенного вулканогенного материала. На Среднем Тимане к тиманскому горизонту относятся цилемская и устьчиркинская свиты, отвечающие соответственно ниже- и верхнетиманскому подгорizontам. На Северном Тимане тиманскому горизонту отвечает нижняя часть выучейской свиты.

Саргаевскому горизонту соответствуют зона *Ladogia meyendorffii* — *Hypothyridina calva* — *Mucrospirifer novosibiricus* по брахиоподам, зона *Timanites keyserlingi* по гониатитам и зона *Ancyrodella rotundiloba* по конодонтам (Решение..., 1990). В основании последней Международной стратиграфической комиссией проводится нижняя граница верхнего девона. На том же уровне эта граница принята и в Стратиграфических схемах Урала (Стратиграфические..., 1993). На Северном Тимане саргаевскому горизонту отвечает верхняя часть выучейской и грубручейская свита (последняя содержит саргаевские комплексы спор и ихтиофауны), в пределах Малоземельской моноклинали — верхняя подсвита малоземельской свиты, охарактеризованная саргаевскими остракодами. На севере Волго-Уральской антеклизы саргаевские отложения выделяются как саргаевская свита.

Восточный субрегион

Наиболее полно *пашийский горизонт* представлен в Волго-Уральской области. Здесь выбран его парастратотип в объеме отраденских и гайнинских слоев Куйбышевского Поволжья (Решение..., 1990). Пашийские отложения представлены двумя алевролитово-песчаными пачками и разделяющей их алевритово-глинистой пачкой. Встречаются редкие брахиоподы *Lingula* cf. *kinelensis* *Batr.*, *L. cf. samarica* *Batr.*, остракоды *Cavellina* aff. *devoniana* *Eg.* В отложениях пашийского и нижней части тиманского горизонта (арчединские слои) содержится комплекс миоспор подзоны *Ancyrospora incisa* — *Geminospora micromanifesta* зоны *Contagisporites optivus* — *Calyptosporites krestovnikovii* (Манцурова, 2012).

Тиманский горизонт. На западе и в центральной части территории выделяются нижний и верхний подгорizontы (Унифицированная..., 2018). Подгорizontам тиманского горизонта отвечают арчединские и кикинские слои (Решение..., 1990). Нижнетиманский подгорizont (арчединские слои) сложен известняками и мергелями с прослоями аргиллитов. Подгорizont отвечает провинциальным зонам: «*Leiorhynchus*» *uchtensis* — *Uchtospirifer nalivkini* по брахиоподам и *Ornatella multiplex* по остракодам, конодонтами не охарактеризован. Здесь определен пашийско-тиманский комплекс миоспор подзоны *Ancyrospora incisa* — *Geminospora micromanifesta* (Манцурова, 2012). Верхнетиманский подгорizont (кикинские слои) сложен аргиллитами с подчиненными прослоями алевролитов, песчаников и известняков. Подгорizont отвечает большей части провинциальной конодонтовой зоны *Polygnathus pennatus* — *Po. Ijaschenkoii*, зонам *Uchtella praesemilukiana* — *Uchtospirifer timanicus* по брахиоподам, *Cavellina devoniana* по остракодам. Встречаются миоспоры подзоны *Acanthotriletes bucerus* — *Archaeozonotriletes variabilis insignis* (Avkhimovitch et al., 1993).

Биостратиграфическое обоснование границы среднего и верхнего девона

В разрезах ВЕП пограничный интервал среднего и верхнего девона представлен преимущественно терригенными мелководными отложениями, поэтому обосновать точный уровень границы по появлению вида-индекса *Ancyrodella r. pristina* не представляется возможным ввиду отсутствия характерных конодонтов родов *Mesotaxis* и *Ancyrodella* (Постановления..., 2008). Существует несколько вариантов проведения границы. Самый низкий уровень — основание пашийского горизонта, повсеместно трансгрессивно залегающего на подстилающих отложениях (Решение..., 1990). Самый высокий уровень — основание саргаевского горизонта, характеризующегося поздними формами конодонтов *Ancyrodella rotundiloba* (Стратиграфические..., 1993; Цыганко, 2009).

В 2017 г. была утверждена и в 2018 г. опубликована унифицированная субрегиональная стратиграфическая схема верхнедевонских отложений Волго-Уральского субрегиона (Унифицированная..., 2018). Схема основана на обширном фактическом материале по биостратиграфии, литологии и сейсморазведке верхнедевонских отложений Волго-Урала. В утвержденной бюро МСК схеме нижняя граница верхнего девона совмещена с подошвой тиманского горизонта и, таким образом, пашийский горизонт отнесен к среднему отделу девонской системы.

Следует отметить, что такая точка зрения на проблему уровня проведения границы в подошве тиманского горизонта высказывалась и ранее, например в работе Л. И. Мельниковой и др. (2004). Этими авторами отмечается, что анализ комплексов брахиопод в разрезах Тимано-Североуральского субрегиона показывает, что ниже- и верхнетиманские отложения не являются разновозрастными. Брахиоподовые комплексы в них близки по родовому составу и относятся к одной брахиоподовой зоне *Uchtospirifer*. Этот род имеет узкое стратиграфическое распространение — тиманский и низы саргаевского горизонтов. Есть данные о присутствии этого рода в низах франа Бельгии. Также отмечается наличие общих видов конодонтов в ниже- и верхнетиманском подгорizontах и отсутствие в нижнетиманском комплексе характерных живетских форм.

Н. С. Овнатановой и Л. И. Кононовой на огромном материале из франских отложений восточных регионов ВЕП разработаны зональности по конодонтам для мелководных и депрессионных фаций (Ovnatanova, Kononova, 2008; Ziegler et al., 2000), вошедшие в дальнейшем в схему Волго-Уральского субрегиона (Унифицированная..., 2018). Данными авторами граница среднего и верхнего девона принимается по нижней границе местной зоны *Po. pennatus* — *Po. Ijaschenkoii* в основании верхнетиманского подгорizontа (рис. 4). В Башкирском Приуралье с этим же уровнем сопоставляется основание среднекембрийского известняка, в котором встречены представители рода *Ancyrodella* — *A. r. soluta* и *A. binodosa* (Пазухин, 2011). Вариант проведения границы по мелководным полигнатидным конодонтам в основании верхнетиманского подгорizontа Восточно-Европейской платформы поддерживается многими исследователями (Кузьмин, 1995; Овнатанова, Кононова, 1999, 2007; Овнатанова и др., 1999; Пазухин и др., 2006; Ziegler et al., 2000).

Стандартные конodontовые зоны Conodont Standard Zonation		Зоны по аммонидеям Ammonoid Zonation (Becker et al., 2020)		Северо-Восточный субрегион ВЕП (Решение..., 1990, с уточн.) / North-Eastern Subregion of EEP (Decision..., 1990, with additions)						
Ярус Stage GSS	(Becker et al., 2012)	Монтань Нижар Montagne Noire (Клаппер, 1999; Клаппер, Kirch- gasser, 2016)	(Becker et al., 2020)	Конodontы / Conodonts		Брахиподы Brachiopods (Зональная..., 2006)	Остракоды Ostracods (Зональная..., 2006)	Позвоночные Vertebrates (Зональная..., 2006)	Миоспоры Miospores (Артошкова и др., 2022; Тельнова, 2007, 2008)	
				Мелководные отложения Shallow-water deposits (Zisgler et al., 2000) (vs. Kononova 2008)	Глубоковод- ные отложения Deep-water deposits (Kononova 2008)					
Франкский / Frasnian	Palmatolepis punctata	Ancyrognathus primus	MN 5	Доманиковский (нижняя часть) Domaniik (lower part)	Polygnathus efimovae	Суртоспирифер "disjunctus" Anathyris helmersenii	Richteria distincta- Nehdentomis foveatisculatus	Psammosteus megalopteryx- Bothriolepis trautscholdi	Geminospora semilucensa- Petrotriletes domensis	
		Palmatolepis punctata			Россицкий / Rossya	A. alata - M. bogoslovskyi	Нуротридина calva- Eleutherokomma novosibirica	Cavellina chvorostanensis- Richteria scabrosa		
	Palmatolepis transitans	Ancyrodella podosa	MN 4	Саргаевский Sargaevo	A. alata - M. bogoslovskyi	Учтоспирифер timanicus	Cavellina devoniana	Bothriolepis cellulosa	Cristatisporites deliquescens - Archaeosporisaccus menneri	
		Palmatolepis transitans			A. rotundiloba - A. africana					Учтоспирифер nalikvini
	Mesotaxis guanwushanensis (=falsiovalis)	Ancyrodella rotundiloba rotundiloba	MN 3	Тиманский / Тиманский	Po. rematus - Po. Ijaschenkoi	Не установлены Not determined	Cavellina devoniana	Bothriolepis cellulosa	Cristatisporites deliquescens - Archaeosporisaccus menneri	
		Ancyrodella rotundiloba soluta	MN 2							Саргаевский Sargaevo
	Живецкий / Givetian	Schmidtognathus hermanni - "Po." cristatus	Skeletognathus norrisi	MN 1	Джьерский Dz'yer	Schmidtognathus hermanni - Po. cristatus	Не установлены Not determined	Не установлены Not determined	Asterolepis ornata	S. krestovnikovii - A. accretus
			Klapperina disparilis			Саргаевский Sargaevo	Учтоспирифер timanicus	Ornatella multiplex	Ornatella multiplex	
	Живецкий / Givetian	Schmidtognathus hermanni - "Po." cristatus	Polygnathus cristatus ectypus	MD III	Джьерский Dz'yer	Schmidtognathus hermanni - Po. cristatus	Не установлены Not determined	Не установлены Not determined	Asterolepis ornata	S. krestovnikovii - A. accretus
			Schmidtognathus hermanni				Саргаевский Sargaevo	Учтоспирифер timanicus	Ornatella multiplex	

Рис. 4. Сопоставление биоzonальных схем в пограничном интервале
Fig. 4. Correlation of the biozonal schemes in the boundary interval



По мнению В. Н. Манцуровой (2012), уровень в основании региональной миоспоровой подзоны *Acanthotriletes bucerus* — *Archaeozotriletes variabilis insignis* (Манцурова, 2008 и др.), соответствующей основанию кикинских слоев тиманского горизонта в Волго-Уральском субрегионе, вероятно, является наиболее близким по положению к международной границе живетского и франского ярусов. По данным О. П. Тельновой, в Тимано-Печорской провинции наиболее резкие изменения на уровне высоких таксонов наблюдаются в палиноспектрах палинозоны *Densosporites sorokinii*, сопоставляемой с верхней частью тиманского горизонта (Артюшкова и др., 2022; Тельнова, 2008; Фортунатова, 2013). Этот уровень предлагается рассматривать как рубеж живетского и франского ярусов.

Региональные проявления глобальных событий

Наиболее достоверно устанавливаемые глобальные события — Taghanic и Middlesex; остальные — Франский кризис и Genundewa — требуют более точного биостратиграфического обоснования. Так, например, трансгрессивное событие, совпадающее с основанием саргаевского горизонта, разными исследователями сопоставляется с разными глобальными событиями: Frasnian (Цыганко, 2009), Genundewa (Соболев и др., 2021, 2022).

На рубеже среднего и позднего девона в эволюции седиментационного бассейна Европейского Северо-Востока наиболее ярко выраженными являлись несколько региональных событий, с которыми связано формирование реперных подразделений и поверхностей, узнаваемых по строению разреза, результатам ГИС (Ларионова и др., 2002):

- смена направленности процесса осадконакопления, обусловленная началом регионального опускания территории и медленного повышения относительного уровня моря на рубеже старооскольского и яранского (пашийского) времени;

- активная вулканическая деятельность в джьерское время;

- тиманская трансгрессия и смена преимущественно песчано-алевритовой седиментации глинистой;

- обширная саргаевская трансгрессия, обусловившая максимальное распространение нормально-морских условий, расширение областей с некомпенсированным осадконакоплением и формирование органо-генных банок.

Седиментологическая последовательность яранско-джьерских, тиманских и саргаевских отложений отражает постепенное нарастание единой крупной трансгрессии.

Региональное событие в основании пашийского горизонта и его аналогов является проявлением глобального таганикского события, с которым связаны крупнейшие перерывы в осадконакоплении и структурные перестройки на Земле (Фортунатова и др., 2013). Таганикское событие разделяет крупнейшие тектоно-седиментационные этапы и эвстатические циклы. Этот уровень, называемый предпашийским несогласием, на Восточно-Европейской платформе традиционно связывался с границей среднего и верхнего девона. Предполагается, что в современной шкале этот уровень соответствует основанию верхнего подъяруса живет-

ского яруса среднего девона (зона *hermanni-cristatus*).

Вулканиды Среднего Тимана большинством исследователей относятся к сложно построенной трапповой формации, в которой выделяются два или три базальтовых покрова. В 2010 г. две пробы — одна из песчаных туфов валсовской свиты (джьерский горизонт, верхняя часть), а вторая из песчаников с примесью туфов устьчиркинской свиты (верхнетиманский подгоризонт) — были изучены в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург (Цыганко, 2019). Полученные абсолютные датировки по точности определений пока не дают ответа на вопрос о возрасте пограничных средне- и верхнедевонских отложений. Согласно Международной стратиграфической шкале (<https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2022-10.pdf>), полученные датировки (376.9 и 372.3 млн лет) говорят о позднефранском возрасте отложений. Однако присутствующие в данных разрезах палеонтологические остатки противоречат полученным данным (Цыганко, 2019).

На севере о. Колгуев, в скв. 1-Западно-Песчаноозерская, ниже базальтового покрова вскрыта мощная (более 600 м) толща сиренево-розовых, вишнево-бурых и серо-зеленых песчаников, гравелитов и конгломератов с отдельными валунами. В их составе преобладают основные эффузивы, слюдястые сланцы, кварциты, красноцветные породы, кварц. Встречаются кислые и средние эффузивы и гранитоиды. В цементе конгломератов, песчаников, алевритов и в аргиллитах часто присутствует туфогенный материал (Журавлёв и др., 2014). Из этой части разреза определены конодонты: *Mehlina gradata* (Young.), *Hindeodella germana* Holmes, а в прослоях аргиллитов и алевритов в скв. 1-Бугринская — растительные остатки, рыбы и комплекс миоспор: *Gigophyton gilkinieffii* Lecl, *Archaeopteris acuta* Tschirk., *Svalbardia* sp., *Asterolepis* sp., *Haplacanthus* cf. *ehrmannensis* Gross. Возраст вулканических покровов определяется по залеганию среди пород с фаунистической характеристикой и традиционно считается позднедевонским. Однако приведенные комплексы конодонтов и ихтиофауны не исключают их среднедевонский возраст.

Заключение

На данный момент нет однозначного решения проблемы границы среднего и верхнего девона на ВЕП. Исходя из приведенного обзора, среднедевонский возраст пашийского горизонта представляется вполне обоснованным. Однако вопрос о ярусной принадлежности тиманских отложений и их возрастных аналогов на ВЕП остается для большинства исследователей открытым.

Необходимо дополнительное изучение опорных разрезов региональных подразделений ВЕП и Урала с применением комплекса методов, включающего изотопно-геохимические методы расчленения и корреляции мелководных карбонатных разрезов; получение данных по геохронологическому датированию вулканогенных прослоев в надежно фаунистически охарактеризованных отложениях девонской системы; уточнение идентификации глобальных событий в разрезах и мультидисциплинарное их изучение.

Для решения проблемы границы среднего и верхнего девона необходимо также привлечение специа-



листов и многочисленных коллекционных и фондовых материалов, накопленных геологами производственных организаций.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00445.

Литература / References

1. Артюшкова О. В., Тельнова О. П., Мизенс Л. И., Мизенс А. Г. Первая находка *Skeletognathus norrisi* в ассоциации со спорами высших растений и брахиоподами в пограничных живетско-франских отложениях, вскрытых скважиной № 8 Царичанская (Восточно-Оренбургское сводовое поднятие, Русская платформа) // Литосфера. 2022. Т. 22. № 4. С. 432–447. URL: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-4-432-447>
- Artyushkova O. V., Telnova O. P., Mizens L. I., Mizens A. G. *Pervaya nakhodka Skeletognathus norrisi v assotsiatsii so sporami vysshikh rasteniy i brakhiopodami v pogranichnykh zhivetsko-franskikh otlozheniyakh, vskrytykh skvazhinoy № 8 Tsarichanskaya (Vostochno-Orenburgskoye svodovoye podnyatiye, Russkaya platforma) (The first finding of Skeletognathus norrisi in association with higher plant spores and brachiopods in the Givetian-Frasnian boundary deposits drilled by borehole No. 8 Tsarichanskaya (East Orenburg uplift, Russian Platform)). Lithosphere (Russia), 2022, 22 (4), pp. 432–447. URL: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-4-432-447>*
2. Журавлёв В. А., Кораго Е. А., Костин Д. А., Зуйкова О. Н. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-39, 40 — о. Колгуев — прол. Карские Ворота. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 405 с.
- Zhuravlev V. A., Korago E. A., Kostin D. A., Zuykova O. N. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1000 000), Seriya Severo-Karsko-Barentsevomorskaya. List P-39, 40-VI — o. Kolguev — prol. Karskie Vorota. Explanatory note. St. Petersburg: VSEGEI, 2014, 405 pp.*
3. Зональная стратиграфия фанерозоя России / Науч. ред. Т. Н. Корень. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 256 с.
- Zonalnaya stratigrafiya fanerozooya Rossii (Biozonal stratigraphy of Phanerozoic in Russia). Ed. T. N. Koren'. St. Petersburg: VSEGEI-press, 2006, 256 p.*
4. Кузьмин А. В. Нижняя граница франского яруса на Русской платформе // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1995. Т. 3. С. 111–120.
- Kuzmin A. V. *Nizhnyaya granitsa franskogo yarusa na Russkoy platforme (The lower boundary of Frasnian on the Russian platform). Stratigraphy. Geol. Correlation, 1995, V. 3, No. 3, pp. 111–120.*
5. Ларионова З. В., Москаленко М. Н., Шамсутдинова Л. Л., Юдина Ю. А., Вербова Н. И., Мельникова Л. И. Эволюция фауны и важнейшие абиотические события в раннем-среднем девоне и начале франна Тимано-Печорской области // Геология девонской системы: Материалы междунар. симпозиума. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 88–90.
- Larionova Z. V., Moskalenko M. N., Shamsutdinova L. L., Yudina Yu. A., Verbova N. I., Melnikova L. I. *Evolyuetsiya fauny i vazhneyshiyeh abioticheskiye sobytiya v rannem-srednem devone i nachale frana Timano-Pechorskoy oblasti (Fauna evolution and and Major Abiotic Events in the Early-Middle Devonian and Early Frasnian of the Timan-Pechora Region). Proceedings of conference. Syktyvkar: Geoprint, 2002, pp. 88–90.*
6. Ляшенко А. И. Биостратиграфия девонских отложений Южного Тимана // Вопросы стратиграфии, палеонтологии и литологии палеозоя и мезозоя районов европейской части СССР. Труды ВНИГНИ. Вып. 7. 1956. С. 4–30.
- Lyashenko A. I. *Biostratigrafiya devonskikh otlozheniy Yuzhnogo Timana (Biostratigraphy of the Devonian sediments of South Timan). Voprosy stratigrafii, paleontologii i litologii paleozoya i mezozoya rayonov yevrop. chasti SSSR (Stratigraphy, paleontology and lithology of Paleozoic and Mesozoic of European part of the USSR), 1956, 7, pp. 4–31.*
7. Манцурова В. Н. Биостратиграфия живетских отложений Волгоградского Поволжья по миоспорам // Палинология: стратиграфия и геоэкология: Материалы XII Всерос. палинол. конф. Т. III. СПб.: ВНИГРИ, 2008. С. 52–59.
- Mantsurova V. N. *Biostratigrafiya zhivetskikh otlozheniy Volgogradskogo Povolzh'ya po miosporam (Givetian Biostratigraphy of the Volgograd Volga Region) Proceedings of conference. V. 3, St. Petersburg: VNIIGRI, 2008, pp. 52–59.*
8. Манцурова В. Н. К вопросу о нижней границе франского яруса на Русской плите по палинологическим данным // Палеозой России: региональная стратиграфия, палеонтология, гео- и биособытия / Материалы III Всеросийского совещ., 24–28 сентября 2012 г., Санкт-Петербург / Отв. ред. А. И. Жамойда. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. С. 141–144.
- Mantsurova V. N. *K voprosu o nizhney granitse franskogo yarusa na Russkoy plite po palinologicheskim dannym (On the issue of the lower boundary of the Frasnian stage on the Russian plate based on palynological data). Proceedings of conference. Ed. A. I. Zhamoida. St. Petersburg: VSEGEI-Press, 2012, pp. 141–144.*
9. Меннер В. В., Ларионова З. В., Арасланова Р. М., Цаплин А. Е. Новые региональные горизонты нижнефранского подъяруса Тимано-Печорской провинции // Палеонтологический метод в практической стратиграфии. М.: ИГиРГИ, 1989. С. 4–14.
- Menner V. V., Larionova Z. V., Araslanova R. M., Tsaplin A. E. *Novyye regional'nyye gorizonty nizhnefranskogo pod'yarusa Timano-Pechorskoy provintsii (New regional lower Frasnian stages in the Timan-Pechora Province). Paleontologicheskii metod v prakticheskoy stratigraphii (Paleontological method in practical stratigraphy). Moscow: IGIIRGI, 1989, pp. 4–14.*
10. Мельникова Л. И., Юдина Ю. А., Москаленко М. Н., Попова Е. В. Новые данные по тиманскому горизонту (D₃f₁) Тимано-Печорского субрегиона // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XIV геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар: Геопринт, 2004. Т. IV. С. 265–268.
- Melnikova L. I., Yudina Yu. A., Moskalenko M. N., Popova E. V. *Novyye dannyye po timanskomu gorizontu (D3f1) Timano-Pechorskogo subregiona (New data on the Timan horizon (D₃f₁) of the Timan-Pechora subregion). Geology and mineral resources of the European North-East of Russia. Proceedings of XIV Geol. Congress of the Republic of Komi, 3. Syktyvkar: Geoprint, 2004, pp. 265–268.*
11. Овнатанова Н. С., Кононова Л. И. Мелководные франские комплексы коноднтов центральных районов Русской платформы // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1999. Т. 74. Вып. 1. С. 56–67.



- Ovnatanova N. S., Kononova L. I. *Melkovodnyye franskiye komplekсы konodontov tsentral'nykh rayonov Russkoy platformy* (Shallow-water Frasnian conodont assemblages from the central regions of the Russian Platform) *Vyull. Mosk. Ob-va Ispyt. Prir., Otd. Geol.*, 1999, 74 (1), pp. 56–67.
12. Овнатанова Н. С., Кононова Л. И. Конодонты и корреляция разнофациальных франских отложений востока Русской платформы / Ред. В. В. Силантьев, Г. М. Сунгатуллина. Верхний палеозой России: стратиграфия и палеогеография. Материалы Всерос. конф., 25–27 сентября 2007 г. Казань: Казанский гос. ун-т. 2007. С. 233–239.
- Ovnatanova N. S., Kononova L. I. *Konodonty i korrelyatsiya raznofatsial'nykh franskiykh otlozheniy vostoka Russkoy platformy* (Conodonts and correlation of the facially different Frasnian deposits in the east of the Russian Platform). Silant'yev V. V., Sungatullina G. M. (eds). Proceedings of conference, 25–27 September 2007, Kazan: Kazan State University, 2007, pp. 233–239.
13. Овнатанова Н. С., Кузьмин А. В., Меннер В. В. Последовательность местных конодонтовых комплексов франского яруса в типовых разрезах на юге Тимано-Печорской провинции / Ред. Н. П. Юшкин. Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: новые результаты и новые перспективы. Материалы XIII Геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар. 1999. Т. II. С. 284–286.
- Ovnatanova N. S., Kuzmin A. V., Menner V. V. *Posledovatel'nost' mestnykh konodontovykh kompleksov franskogo yarusa v tipovykh razrezakh na yuge Timano-Pechorskoy provintsii* (Sequence of local Frasnian conodont assemblages in type sections in the south of the Timan-Pechora province). *Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: new results and new perspectives*. Proceedings of XIII Geol. Congress of the Republic of Komi, II, 1999, pp. 284–286.
14. Пазухин В. Н., Масагатов Р. Х., Федорченко В. А., Крылова Е. А. Тиманский горизонт верхнего девона Башкирского Приуралья // Литологические аспекты геологии слоистых сред: Матер. VII Уральского регионального литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 201–203.
- Pazukhin V. N., Masagutov R. Kh., Fedorchenko V. A., Krylova E. A. *Timanskiy gorizont verkhnego devona Bashkirskogo Priural'ya* (Upper Devonian Timanian Regional Stage in the Bashkirian Urals). Proceedings of conference. Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2006, pp. 201–203.
15. Пазухин В. Н. Биостратиграфия верхнего девона и нижнего карбона Башкирского Приуралья по конодонтам // Биостратиграфия, палеогеография и события в девоне и нижнем карбоне (Международная подкомиссия по стратиграфии девона / Проект 596 МПГК): Материалы Междунар. конф., посвящ. пам. Е. А. Ёлкина. Уфа; Новосибирск, 20 июля – 10 августа 2011 г. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 126–129.
- Pazukhin V. N. *Biostratigrafiya verkhnego devona i nizhnego karbona Bashkirskogo Priural'ya po konodontam* (Upper Devonian and Lower Carboniferous biostratigraphy of the Bashkirian Transurals by conodonts). Biostratigraphy, paleogeography and events in Devonian and Lower Carboniferous in memory of Evgeny A. Yolkin. Ufa, Novosibirsk, July 20 – August 10, 2011. Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2011, pp. 126–129.
16. Плякин А. М. Магматические комплексы // Тиманский кряж. Т. 2. Литология, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы. Ухта: Ухтинский гос. тех. ун-т, 2011. С. 92–105.
- Plyakin A. M. *Magmaticheskie komplekсы. Timanskiy kryazh. T. 2. Litologiya. Geofizicheskaya harakteristika zemnoy kory, tektonika, mineral'no-syr'evye resursy* (Magmatic complexes. Timan Ridge. V. 2. Lithology. Geophysical characteristics of the earth's crust, tectonics, mineral resources). Ukhta: Ukhta State Technical University, 2011, pp. 92–105.
17. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008, вып. 38. 120 с.
- Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing committees. St. Petersburg: VSEGEI, 2008, 38, 120 p.
18. Решение Межведомственного регионального стратиграфического совещания по среднему и верхнему палеозою Русской платформы с региональными стратиграфическими схемами. Девонская система / Ред. М. А. Ржонсницкая, В. Ф. Куликова. Л.: ВСЕГЕИ, 1990. 60 с.
- Decision of the Interdepartmental Regional Stratigraphic Conference on the Middle and Upper Paleozoic of the Russian Platform with regional stratigraphic schemes. Devonian system. Ed. Rzhonsnitskaya M. A., Kulikova V. F. Leningrad: VSEGEI, 1990, 60 p.
19. Соболев Н. Н., Евдокимова И. О. Общая стратиграфическая шкала девонской системы: состояние и проблемы // Общая стратиграфическая шкала России: состояние и проблемы обустройства: Всерос. совещ. 23–25 мая 2013 г., Геологический институт РАН, Москва: Сборник статей / М. А. Федонкин (отв. ред.), Ю. Б. Гладенков, В. А. Захаров, А. П. Ипполитов (ред.). Москва: ГИН РАН, 2013. С. 139–148.
- Sobolev N. N., Evdokimova I. O. General stratigraphic scale of the Devonian System: current state and problems. General Stratigraphic Chart of Russia: current state and ways of perfection. All-Russian meeting. May 23–25, 2013, Geological Institute of RAS, Moscow. Collection of articles. M. A. Fedonkin (resp. ed.), Yu. B. Gladenkov, V. A. Zakharov, A. P. Ippolitov (eds). Moscow: GIN RAS, 2013, pp. 139–148.
20. Соболев Д. Б., Соболева М. А., Евдокимова И. О. Остракоды и конодонты устьярегской свиты в стратотипической местности (нижний фран, Южный Тиман) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2022. 17 (4). С. 1–28.
- Sobolev D. B., Soboleva M. A., Evdokimova I. O. Ostracods and conodonts of the Ustyarega Formation of the stratotype area (Lower Frasnian, South Timan). *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika* (Petroliferous geology. Theory and practice), 2022, 17 (4), pp. C. 1–28.
21. Соболев Д. Б., Соболева М. А., Симакова Ю. С. Положение границы тиманской и устьярегской свит (средний-верхний девон) на Южном Тимане // Вестник геонаук. 2021. № 12. С. 16–28. DOI:10.19110/geov.2021.12.2
- Sobolev D. B., Soboleva M. A., Simakova Yu. S. *Polozheniye granitsy timanskoй i ust'yaregskoy svit (sredniy-verkhniy devon) na Yuzhnom Timane* (Position of the boundary of the Timan and Ustyarega formations in the Southern Timan). *Vestnik of Geosciences*, 2021, 12 (324), pp. 16–28. DOI:10.19110/geov.2021.12.2
22. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург, 1993. 152 с.



- Stratigraficheskiye skhemy Urala (dokembriy, paleozo)* (Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Palaeozoic)). Yekaterinburg, 1993, 152 p.
23. Тельнова О. П. Миоспоры из средне-верхнедевонских отложений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 135 с.
- Telnova O. P. *Miospory iz sredne-verkhnedevonskikh otlozheniy Timano-Pechorskoy neftegazonosnoy provintsii* (Miospores from the Middle-Upper Devonian deposits of the Timan-Pechora province). Yekaterinburg: Publishing House of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 135 p.
24. Тельнова О. П. Палинологическая характеристика живетско-франских отложений в эталонном разрезе скв. 1-Бальнеологической (Южный Тиман) // Стратигр. геол. корреляция. 2008. 16 (2). С. 41–59.
- Telnova O. P. *Palinologicheskaya kharakteristika zhivetsko-franskikh otlozheniy v etalonnom razreze skv. 1-Balneologicheskoy (Yuzhnyy Timan)* (Palynological characteristics of the Givetian-Frasnian deposits in the reference section of the borehole 1-Balneological (Southern Timan)). Stratigr. Geological Correlation, 2008, 16 (2), pp. 41–59.
25. Унифицированная субрегиональная стратиграфическая схема верхнедевонских отложений Волго-Уральского субрегиона. Объяснительная записка / Н. К. Фортунатова, Е. Л. Зайцева, М. А. Бушуева и др. М.: ВНИГНИ, 2018. 64 с.
- Unified subregional stratigraphic scheme of the Upper Devonian deposits of the Volga-Ural subregion. Explanatory note. N. K. Fortunatova, E. L. Zaytseva, M. A. Busueva et al. Moscow: VNIGNI, 2018, 64 p.
26. Фортунатова Н. К., Зайцева Е. Л., Карцева О. А. Строение девонского терригенного комплекса и положение границы среднего и верхнего девона на западе Татарстана // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2013. Т. 88. № 2. С. 22–49.
- Fortunatova N. K., Zaytseva Ye. L., Kartseva O. A. *Stroyeniye devonskogo terrigennoy kompleksa i polozheniye granitsy srednego i verkhnego devona na zapade Tatarstana* (Structure of the Devonian terrigenous complex and the boundary position of the Middle and Upper Devonian in the west of Tatarstan). Byull. Mosk. Ob-va Ispyt. Prir., Otd. Geol., 2013, 88 (2), pp. 22–49.
27. Цыганко В. С. О границах отделов девонской системы на Европейском Северо-Востоке // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XV Геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. Т. II. С. 72–74.
- Tsyganko V. S. *O granitsakh otdelov devonskoy sistemy na yevropeyskom Severo-Vostoke* (On the boundaries of the Devonian Series in the European Northeast). Proceedings of conference. Syktvykar: IG Komi SC UB RAS, 2009, pp. 72–74.
28. Цыганко В. С. Событийная составляющая границ стратиграфических подразделений // Палеонтология и совершенствование стратиграфической основы геологического картографирования: Материалы LV сессии Палеонтолог. общ-ва при РАН (6–10 апреля 2009 г., Санкт-Петербург). СПб., 2009. С. 160–162.
- Tsyganko V. S. *Sobytiynaya sostavlyayushchaya granits stratigraficheskikh podrazdeleniy* (Event component of the boundaries of stratigraphic units). Proceedings of conference (6–10 April, 2009). St. Petersburg, 2009, pp. 160–162.
29. Цыганко В. С. Возраст верхней части девонской туфогенной толщи Среднего Тимана (р. Пижма) по результатам U-Pb (SIMS)-датирования цирконов // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 7. С. 43–48. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-7-43-48
- Tsyganko V. S. *O granitsakh otdelov devonskoy sistemy na yevropeyskom Severo-Vostoke* (On the boundaries of the Devonian Series in the European Northeast). Proceedings of conference. Syktvykar: IG Komi SC UB RAS, 2009, pp. 72–74. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-7-43-48
30. Aboussalam Z. S. Das “Taghanic-Event” im höheren Mittel-Devon von West-Europa und Marokko // Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie. 2003. Bd. 97. P. 1–332.
31. Aboussalam Z. S., Becker R. T. New upper Givetian to basal Frasnian conodont faunas from the Tafilalt (Anti-Atlas, Southern Morocco) // Geological Quarterly. 2007. Vol. 51. No. 4. P. 345–374.
32. Aboussalam Z. S., Becker R. T. The global Taghanic Biocrisis (Givetian) in the eastern Anti-Atlas, Morocco // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2011. Vol. 304. P. 136–164.
33. Avkhimovitch V. I., Tchibrikova E. V., Obukhovskaya T. G., Nazarenko A. M., Umnova V. T., Raskatova L. G., Mantsurova V. N., Loboziak S., Strel M. Middle and Upper Devonian miospore zonation of eastern Europe // Bulletin des Centres Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine. 1993. Vol. 17. P. 79–147.
34. Becker R. T., Gradstein F. M., Hammer O. The Devonian Period // F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Schmitz, G. M. Ogg (Eds.). The Geologic Time Scale. 2012. P. 559–601.
35. Becker R. T., House M. R. Sea-level changes in the Upper Devonian of the Caning Basin, Western Australia // Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg. 1997. 199. P. 129–146.
36. Becker R. T., Marshall J. E. A., Da Silva A.-C. The Devonian Period // F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Schmitz, G. M. Ogg (Eds.). The Geologic Time Scale. 2020. P. 733–810.
37. Bultynck P., Dreesen R., Groessens E., Struve W., Weddige K., Werner R. & Ziegler W., 1988. Field Trip A (22–24 July, 1988), Ardennes (Belgium) and Eifel Hills (Federal Republic of Germany) // Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 102. P. 7–85.
38. Casier J.-G., Pr at A. Ostracods and lithofacies of the Middle/Upper Devonian boundary stratotype (Puech de la Suque, Montagne Noire, France) // Bulletin de la Société géologique de France. 2007. 178 (4). P. 293–304.
39. Coen M. Faciès, Conodontes et stratigraphie du Frasnien de l’Est de la Belgique pour servir   une révision de l’étage // Annales de la Société Géologique de Belgique. 1973. 95. P. 239–253.
40. Coen-Aubert M., Boulvain F. Frasnian // L. Dejonghe (Ed.). Chronostratigraphic units named from Belgium and adjacent areas // Geologica Belgica. 2006. Vol. 9. No. 1/2. P. 19–25.
41. House M. R. Correlation of mid-Palaeozoic ammonoid evolutionary events with global sedimentary perturbations // Nature. 1985. Vol. 313. P. 17–22.
42. House M. R., Feist R., Korn D. The Middle/Upper Devonian boundary at Puech de la Suque, Southern France // Courier Forschungsinstitut Senckenberg. 2000a. Vol. 225. P. 49–58.
43. House M. R., Kirchgasser W. T. Devonian goniatite biostratigraphy and timing of facies movements in the Frasnian of eastern North America. High Resolution Stratigraphy. Geological Society Special Publication. 1993. V. 70. P. 267–292. DOI: <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1993.070.01.19>
44. House M. R., Menner V. V., Becker R. T., Klapper G., Ovnatanova N. S., Kuzmin V. Reef episodes, anoxia and sea-level changes in the Frasnian of the southern Timan (NE Russian



Platform). Carbonate Platform Systems: Components and Interactions. 2000b. V.178. P. 147–176. DOI: <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.178.01.11>

45. Johnson J. G. Taghanic Onlap and the end of the North American provinciality // Geological Society of America Bulletin. 1970. Vol. 81. P. 2077–2106.

46. Johnson J. G., Klapper G., Sandberg C. A. Devonian eustatic fluctuation in Euramerica. Geol. Soc. of America. Bulletin. 1985. V. 96. P. 567–587.

47. Klapper G. Species of Spathiognathodontidae and Polygnathidae (Conodonta) in the recognition of Upper Devonian stage boundaries // Courier Forschungsinstitut Senckenberg. 2000. 220: 153–159.

48. Klapper G. The Montagne Noire Frasnian (Upper Devonian) conodont succession // Devonian of the world, volume III. Paleontology, paleoecology and biostratigraphy. Can. Soc. Petr. Geol., mem. 1989. 4. P. 449–478.

49. Klapper G., Feist R., House M. R. Decision on the Boundary Stratotype for the Middle/Upper Devonian Series Boundary // Episodes. 1987. Vol. 10. P. 97–101.

50. Klapper G., Johnson J. G. Revision of Middle Devonian conodont zones // Journal of Paleontology. 1990. 54. P. 400–455.

51. Klapper G., Kirchgasser W. T. Frasnian Late Devonian conodont biostratigraphy in New York: graphic correlation and taxonomy // Journal of Paleontology. 2016. 90 (3). P. 525–554.

52. Larionova Z. V., Moskalenko M. N., Yudina Yu. A. Yaransk-Sargaev stage in evolution of the Frasnian basin in the Timan-Pechora region // Ichthyolith Issues. 2000. Special Publication 6. P. 53–55.

53. Liao J.-C., Girard C., Valenzuela-Ríos J. I., Feist R. New conodont data from the Middle-Upper Devonian boundary stratotype section at Col du Puech de la Suque (Montagne Noire, France) // 3rd International Congress on stratigraphy (Strati

2019). Società Geologica Italiana, Roma. 2019. P. 188.

54. Marshall J. E. A., Brown J. F., Astin T. R. Recognising the Taghanic Crisis in the Devonian terrestrial environment and its implications for understanding land-sea interactions // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2011. Vol. 304. P. 165–183.

55. Ovnatanova N. S., Kononova L. I. Frasnian conodonts from the Eastern Russian Platform // Paleontol. J. 2008. 42 (10). P. 997–1166.

56. Sandberg C. A., Ziegler W., Bultynck P. Middle-Upper Devonian series boundary as an example of intent and reality in biostratigraphic zonation // Newsletters on Stratigraphy. 1988. 18. P. 117–121.

57. Sandberg C. A., Ziegler W., Bultynck P. New standard conodont zones and Early Ancyrodella Phylogeny across Middle – Upper Devonian boundary // Courier Forschungsinstitut Senckenberg. 1989. Vol. 110. P. 195–230.

58. Walliser O. H. Global events in the Devonian and Carboniferous // Walliser, O.H. (ed), Global Events and Event Stratigraphy in the Phanerozoic. Berlin: Springer-Verlag, 1996. P. 225–250.

59. Ziegler W., Klapper G. Devonian Series boundaries: Decisions of the IUGS Subcommittee // Episodes, 1982. 4. P. 18–21.

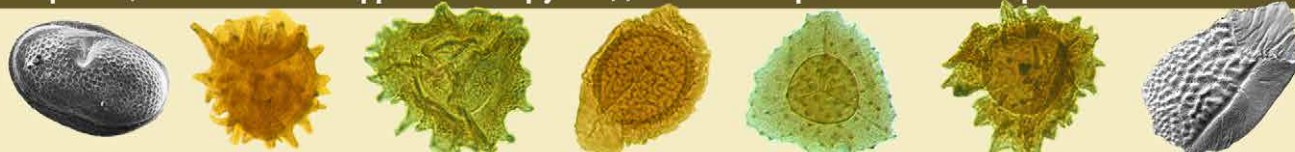
60. Ziegler W., Klapper G. Stages of the Devonian System // Episodes, 1985. 2. P. 104–109.

61. Ziegler W., Ovnatanova N., Kononova L. Devonian Polygnathids from the Frasnian of the Reinisches Schiefergebirge Germany and the Russian Platform // Senckenberg. Lethaea. 2000. Vol. 80. No. 2. P. 593–645.

62. Ziegler W., Sandberg C. A. The Late Devonian Standard Conodont Zonation // Courier Forsch.-Inst. Senckenberg. 1990. 121. P. 1–115.

Поступила в редакцию / Received 15.12.2022

Граница живетского и франского ярусов девона на Европейском Северо-Востоке России



Givetian-Frasnian boundary of the Devonian at the European North-East of Russia

УДК 581.33:551.734.(470.4+574.1)

DOI:10.19110/geov.2023.1.2

Палинологическая зональность живетско-франского стратиграфического интервала в Тимано-Североуральском регионе

О. П. Тельнова, И. Х. Шумилов

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
telnova@geo.komisc.ru; shumilov@geo.komisc.ru

По спорам высших растений детализирована зональная схема расчленения пограничного живетско-франского стратиграфического интервала в Тимано-Североуральском регионе. Палинологические зоны скоррелированы с фаунистическими, в том числе конодонтовыми – ортостратиграфической группой в девоне. Установлена сопряженность выявленных критических рубежей в развитии растительных сообществ с границами подразделений Международной стратиграфической шкалы – отделов и ярусов – и рассмотрены варианты уровня границы среднего и верхнего девона в региональной стратиграфической схеме нового поколения.

Ключевые слова: палинозоны, средний-верхний девон, Тимано-Североуральский регион.

Palynological zonation of the Givetian-Frasnian stratigraphic interval in the Timan-Northern Urals region

O. P. Tel'nova, I. Kh. Shumilov

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The zonal scheme of the Givetian-Frasnian boundary interval in the Timan-Northern Urals region was detailed according to the higher plants spores. Palynological zones were correlated with faunal, including conodont – orthostratigraphic group in the Devonian. The correlation of the identified critical boundaries in the development of plant communities with the divisions' borders of the International Stratigraphic Scale – series and stages, were established and options for the level of the border of the Middle and Upper Devonian in the regional stratigraphic scheme of the new generation were considered.

Keywords: palynozones, Middle-Upper Devonian, Timan-Northern Urals region.

Актуальность темы обусловлена продолжающейся более 20 лет дискуссией о положении нижней границы франского яруса (соответственно границы среднего и верхнего девона) на территории Восточно-Европейской платформы. Проблема границы живетского и франского ярусов в стратиграфии девона России стала особенно очевидной в связи с решением VI пленума комиссии МСК по девонской системе об использовании в качестве Общей шкалы России международного стратиграфического стандарта с ярусами и границами, принятыми Международной подкомиссией по стратиграфии девона (Постановления..., 1994). Отсутствие в этом пограничном интервале разрезов с полной конодонтовой последовательностью из-за особенностей осадконакопления, отражающих разномасштабные трансгрессивно-регрессивные эпизоды, находки преимущественно транзитных таксонов и неопределенность их страти-

графического распространения создают неоднозначное понимание объемов региональных стратиграфических подразделений среднего-верхнего девона (D₂ – D₃) в схеме стратиграфии девона России. В качестве одного из вариантов решения проблемы можно рассматривать биозональную корреляцию пограничного стратиграфического интервала, и в этом решении ведущую роль могут сыграть результаты палинологического анализа. Известно, что споры и пыльца высших растений разносятся на достаточно большие расстояния и встречаются, правда в ограниченных количествах, даже в океанических глубоководных отложениях. Таким образом, палинологические данные позволяют не только коррелировать разнофациальные отложения в одном регионе, но и проводить межрегиональные корреляции, что необходимо при составлении стратиграфических схем нового поколения.

Для цитирования: Тельнова О. П., Шумилов И. Х. Палинологическая зональность живетско-франского стратиграфического интервала в Тимано-Североуральском регионе // Вестник геонаук. 2023. 1(337). С. 16–22. DOI: 10.19110/geov.2023.1.2

For citation: Tel'nova O. P., Shumilov I. Kh. Palynological zonation of the Givetian-Frasnian stratigraphic interval in the Timan-Northern Urals region. Vestnik of Geosciences. 2023, 1(337), pp. 16–22, doi: 10.19110/geov.2023.1.2



История проблемы

Согласно Решениям Международной подкомиссии по стратиграфии девона (SDS), граница $D_2 - D_3$ была принята в основании конодонтовой зоны Lower asymmetricus с маркерными видами *Mesotaxis asymmetricus* и *Ancyrodella rotundiloba*. Позднее граница живета — франа предлагалась внутри прежней зоны Lowermost asymmetricus (табл. 1), которая была заменена на зону falsiovalis с подразделением ее на 2 подзоны. Ранняя (Early) подзона характеризуется появлением *Mesotaxis falsiovalis*. В поздней (Late) подзоне этот вид существует совместно с видом *Mes. asymmetricus* — маркером подзоны (Ziegler, Sandberg, 1990). В последних вариантах конодонтовых шкал основание подзоны Early falsiovalis коррелируется с основанием зоны *Skeletognathus norrisi*, установленной в верхней части живетского яруса (Becker et al., 2020; Klapper, Johnson, 1990).

В настоящее время конодонтовая зональность пограничного интервала для глубоководных разрезов (марокканские разрезы Анти-Атласа в местности Tafilalt и Ampriu в арагонских Пиренеях Испании) существенно детализирована и увязана с аммоноидной шкалой (Aboussalam, Becker, 2007; Becker et al., 2020). Для корреляции разрезов мелководных фаций разработаны региональные конодонтовые зональности на основе эволюции родов *Icriodus*, *Ancyrodella*, *Polygnathus*. История изучения пограничного стратиграфического интервала в представляемой статье детально не рассматривается, поскольку уже неоднократно описывалась в других публикациях (Артюшкова и др., 2022; Тельнова, 2007; Ovnatanova et al., 2017).

В унифицированных стратиграфических схемах палеозоя Русской платформы и западного склона Урала граница среднего-верхнего девона признавалась в подошве пашийского горизонта, соответствующей «стандартной» зоне *Schmidtognathus hermanni* — *Polygnathus cristatus* конодонтовой шкалы. В пашийском горизонте, сложенном терригенными образованиями, конодонты неизвестны (Состояние..., 2008), поэтому отложения пашийского горизонта включались в состав кыновского горизонта в качестве базальных слоев. Палинологическая характеристика этих стратиграфических подразделений приведена Е. В. Чибриковой (Чибрикова, 1962).

В Тимано-Североуральском регионе аналогом верхней части кыновского горизонта является тиманский. Согласно решению Межведомственного регионального стратиграфического совещания, тиманский горизонт расчленен на два подгоризонта (в типовой местности им соответствуют подсвиты одноименной свиты) (Состояние..., 2008).

Отложения нижней части тиманской свиты неизвестны в естественных обнажениях и вскрываются только скважинами, керн которых в настоящее время в большей части утерян. Нижнетиманская подсвита соответствует брахиоподовой зоне *Uchtospirifer nalivkini*, остракодовой *Ornatella multiplex* и палинозоне *Calypptosporites bellus* — *Densosporites meyeriae*, охарактеризована индифферентным комплексом конодонтов (полигинатидная ассоциация) (Тельнова, 2007).

Стратотипом верхнетиманской подсвиты являются естественные выходы по правому берегу р. Ухты (Ухтинский район). Разрез сложен глинами шоколадно-коричневыми и зеленовато-серыми с прослоями

алевролитов, песчаников и известняков. Подсвита соответствует брахиоподовой зоне *Uchtospirifer timanicus*, остракодовой *Cavellina devoniana*, местной конодонтовой зоне *Ancyrodella binodosa*, палинозонам *Perotrites vermiculatus* — *Calypptosporites domanicus* и *Densosporites sorokinii* (Тельнова, 2007).

По находкам *Ancyrodella* в низах устьярегской свиты и в нижележащих отложениях верхнетиманской подсвиты можно допустить, что граница живетского и франского ярусов находится внутри тиманского горизонта (несмотря на отсутствие данных по корреляции нижнетиманской подсвиты с зоной Early falsiovalis). В материалах из разрезов гряды Чернышева и Приполярного Урала эта точка зрения (о границе в подошве верхнетиманского подгоризонта) также находит свое подтверждение (Ovnatanova et al., 2017).

Верхняя часть устьярегской свиты (саргаевский горизонт), сложенная плотными микритовыми известняками без кварцевого материала, с маломощными прослоями известковистых аргиллитов, резко отличается от всех нижележащих терригенных отложений. Трансгрессивное залегание этой пачки на подстилающих терригенных отложениях отвечает новому этапу осадконакопления и критериям выделения границ свит (на Среднем Тимане в стратиграфическом объеме устьярегской свиты соответственно выделены две свиты) (Тельнова, Шумилов, 2019). Несмотря на то, что этот этап осадконакопления хорошо прослеживается не только в пределах региона, важен для межрегиональных корреляций и может служить литобиостратиграфическим репером, положение этого уровня границы слишком высокое и не отвечает рекомендациям Международной подкомиссии по стратиграфии девонской системы.

Инструментом для корреляции глубоководных и мелководных отложений девона служит палинологический метод. Как известно, споры и пыльца высших растений разносятся на достаточно большие расстояния и могут встречаться в разнофациальных отложениях. Но наиболее благоприятными для палиностратиграфических построений являются континентальные и прибрежно-морские отложения. Поэтому последнее десятилетие проводились палинологические исследования на Среднем Тимане (площадь исследований 1500 тыс. км), где отложения обсуждаемого стратиграфического интервала широко представлены в естественных обнажениях многочисленных рек (Тельнова, Шумилов, 2019; Шумилов, Тельнова, 2017). Здесь установлена последовательность палинокомплексов (ПК), проведена их корреляция с комплексами из мелководно-шельфовых фаций Южного Тимана.

Этот новый материал существенно дополнил ранее уже проведенные палиностратиграфические исследования (Тельнова, 2007): в живетско-франском интервале была описана последовательность палинокомплексов, которая позволила провести региональные построения и межрегиональные палиностратиграфические корреляции. Установленный фитостратиграфический рубеж в основании верхнетиманского подгоризонта соответствует границе ярусов, принимаемой по мелководным полигинатидам — *Polygnathus pennatus*, *Polygnathus ljaschenkoii* и др. на Южном Тимане (Ovnatanova et al., 2017).

Новые реалии — необходимость определения точного регионального уровня современной границы яру-

Таблица 1. Сопоставление биоzonальных схем расчленения пограничного живецко-франского стратиграфического интервала

Table 1. Comparison of biozonal schemes for subdivision of the boundary Givetian-Frasnian stratigraphic interval

Ярус / Stage	Стандартные конодонтовые зоны Standard conodont zones		Конодонтовые зоны Монтань Наур (Klapper, 1989) Montagne Noire conodont zones	Восточно-Европейская платформа (Решение..., 1994) Горизонты Подгоризонты East European Platform Horizons Subhorizons		Южный Тиман (Тельнова, 2007) South Timan	Средний Тиман (в этой статье) Middle Timan (in this article)	
	(Zeigler, Klapper, 1985)	(Zeigler, Sandberg, 1990)		Горизонты Подгоризонты Subhorizons	Брахиподовые зоны Brachiopod zones			Свита Suite
Конодонтовая зональность (Becker et al., 2020) Conodont zonation	Middle	punctata	MN 5	Доманиковский (нижний) Domanik (lower)	Curtospirifer rudkinensis – Tomestenoportynchus rudkini	dm	Geminospora semilucensis – Perotriletes donensis	kp
	Early falsiovals	MN 3	Тиманский Timan	Uchtella praesemilukiana – Uchtospirifer timanicus	tm	Densosporites sorokinii Perotriletes vermiculatus – Calyptosporites domanicus	uč	
								Lowestmost
disparilis	MN 1	Нижний Lower	Pашийский (верхний) Pashian (upper)	vl				
					Kl. disparilis	Po. dengleri dengleri Po. dengleri sagitta	Kl. disparilis	

Примечание. Свиты Ср. Тимана: vl – валсовская, čl – цилемская, uč – устьчиркинская, br – брусничная, rd – рудянская, pl – паладинская, kp – крайпольская. Свиты Ю. Тимана: sot – южнотиманская, tm – тиманская, uja – устьярегская, dm – доманиковская. Конодонты: Pa. – Palmatolepis, Ad. – Ancurodella, Sk. – Skeletognathus, Po. – Polygnathus, Kl. – Klapperina.

Note. Suites of the Middle Timan: vl – Valsovskaya, čl – Tsilma, uč – Ust-Chirka, br – Brusnichnaya, rd – Rudyanskaya, pl – Paladin, kp – Kraipol. Suites of South Timan: sot – South Timan, tm – Timan, uja – Ustyarega, dm – Domanik. Conodonts: Pa. – Palmatolepis, Ad. – Ancurodella, Sk. – Skeletognathus, Po. – Polygnathus, Kl. – Klapperina.



сов для создания нового поколения региональных схем девона — потребовали корреляции флористических зон с фаунистическими. Это стимулировало формирование нового методологического подхода — разработки алгоритма исследований с целью описания диагностического паттерна — системы взаимосвязанных признаков, необходимых для выявления изменений как эволюционных, биотических, так и абиотических, соответствующих уровню границ отделов, ярусов и других стратиграфических подразделений (установление ранга событий — локального, регионального и глобального характера, возможность переносить данные с одного масштаба на другой и т. д.). В соответствии с поставленными задачами проведены комплексные исследования с привлечением современной аналитической базы ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и других научных и учебных заведений, разработан ряд новых методов и методик.

Методы и материалы

Материалом для этой статьи, обобщающей результаты многолетних исследований, послужили образцы пород, собранные в средне- и верхнедевонских естественных обнажениях, и керны скважин в различных регионах России и за ее пределами (Тельнова, 2007; Owens et al., 2022), обработанные по авторской методике, подробно описанной ранее (Шумилов, Тельнова, 2013а, б).

В дополнение к традиционным методам световой, электронной сканирующей и трансмиссионной микроскопии для изучения внутреннего и ультратонкого строения спородермы, которая несёт в себе филогенетические признаки таксона, разработаны и введены в практику палинотрастиграфических исследований методы томографии, а также сканирующей электронной микроскопии, дополненной новыми функциональными возможностями (Тельнова и др., 2021).

Разрабатывается хемосистематика — инновационный метод в палеопалинологии, основанный на биохимических характеристиках эволюционного развития организмов. Так как некоторые химические вещества могут быть найдены в природе только в организмах определенных видов, родов, семейств или порядков, они могут в дополнение к морфологии служить основой классификации (Telnova et al., 2022).

С целью систематизации и анализа массивов многовекторной палинотрастиграфической информации формируется электронная база данных. Разработан действующий прототип программно-информационного обеспечения для палинологических задач, включающий базу данных изображений девонских спор и пробные алгоритмы машинного обучения распознавания изображений (Babenko, Telnova, 2022).

Палинокомплексы и палинологическая зональность живетско-франского стратиграфического интервала

Как было отмечено выше, для решения обсуждаемой проблемы в стратиграфии девона России — границы живетского и франского ярусов — значимыми являются результаты работ по биоэкологической корреляции. Поэтому так важно выяснение стратиграфического диапазона распространения представителей морских и наземных организмов, извлеченных из одних

и тех же образцов породы, как основы для достоверных возрастных датировок и межрегиональных корреляций разнофациальных отложений.

В этом контексте керн скважины № 8 «Царичанская» (Восточно-Оренбургское сводовое поднятие, Русская платформа) является уникальным примером содержания ассоциации морских (брахиоподы, конодонты) и наземных (споры высших растений) организмов в одних и тех же образцах. В разрезе выявлен комплекс конодонтов со *Skeletognathus norrisi* (Uyeno), зональным видом самой верхней зоны живетского яруса Международной шкалы (Becker et al., 2020). В соответствии с современной конодонтовой зональной шкалой живетско-франская граница проходит внутри зоны *Early falsovalis* выше зоны *Skeletognathus norrisi* (Uyeno) и совпадает с первым появлением представителей рода *Ancyrodella*. Находки *Skeletognathus norrisi* в европейской части России единичны, поэтому так важны результаты изучения палеонтологических ассоциаций. В керне скважины № 8 «Царичанская» в ассоциации с конодонтами определены брахиоподы и споры высших растений, характерные для верхней части тиманского горизонта. Брахиоподовый комплекс представлен единичными экземплярами, среди которых определена *Atrypa cf. nefiolica* Ljasch. — руководящая форма для верхнетиманского подгоризонта. Здесь же выделен богатый комплекс спор, сходный с ПК палинозоны *Densosporites sorokinii*, установленными в стратотипическом разрезе тиманской свиты (верхняя часть) на Южном Тимане (Тельнова, 2007).

Аналогичный ПК (палинозона *Densosporites sorokinii*) описан из естественных обнажений устьчиркинской свиты на Среднем Тимане (Tel'nova, Shumilov, 2019). Отличительными чертами ПК, выделенного из керны скважины № 8 «Царичанская», является отсутствие в них спор *Perotriletes vermiculatus* Med., характерных для обсуждаемого стратиграфического интервала в Тимано-Североуральском регионе, и разное процентное содержание некоторых характерных видов (*Archaeoperisaccus verrucosus* Pask., *Archaeozonotriletes variabilis* Naumova). В целом следует отметить, что ПК, выделенный из керны скважины № 8 «Царичанская», по своему таксономическому составу ближе к ПК, описанному в Тимано-Североуральском регионе, и отличается от известных на смежных территориях Западной Башкирии и западного склона Южного Урала (Чибрикова, 1962). Возможная причина такого отличия заключается в методике технической обработки образцов (Шумилов, Тельнова, 2013а, б).

Результаты изучения палеонтологических фоссилий из керны скважины № 8 «Царичанская» дополняют характеристику пограничного интервала среднего-верхнего девона на Русской платформе и подтверждают более широкий диапазон стратиграфического распространения зонального вида *Skeletognathus norrisi* (не ограниченный интервалом одноименной зоны), включая верхнетиманский подгоризонт (Артюшкова и др., 2022).

Для расчленения средне- и верхнедевонских отложений на территории Восточно-Европейской платформы (ВЕП) на основе стандарта, единого для микро- и макрофоссилий (по первому появлению таксона в геологическом разрезе), разработана региональная схема по миоспорам (Тельнова, 2007). Предложенная региональная палинологическая зональность, осно-

ванная на принципе выделения палинозон по первому появлению вида-индекса в геологическом разрезе, соответствует зональности по фауне и отражает эволюционные тренды в истории биосферы. В настоящее время палинологическая зональность пограничного интервала существенно уточнена, новые зоны скоррелированы с конодонтовыми зонами (табл. 1).

Значительная информация для решения обсуждаемой проблемы получена при изучении пограничного интервала в бассейне р. Цильмы (Средний Тиман) (Тельнова, Шумилов, 2019). В разрезах устьерегской свиты прослежено одновременное появление спор *Cristatisporites pseudodeliquescens* Telnova et Marshall и *Archaeoperisaccus ovalis* Naumova (ПК-А). Такая же закономерность ранее была установлена на одновозрастном стратиграфическом уровне Южного Тимана и гряде Чернышева. На основе этой закономерности в региональной схеме по спорам выделена палинозона **Cristatisporites pseudodeliquescens — Archaeoperisaccus ovalis** (Tel'nova, Shumilov, 2019). Ассоциация этих спор с конодонтами *Ancyrodella rotundiloba soluta* в одних и тех же образцах позволила определить точное положение новой зоны в региональной стратиграфической схеме (нижняя часть устьерегской свиты) (табл. 1).

В разрезах устьерегской свиты Среднего Тимана также прослежена стратиграфическая последовательность появления таксонов *Cristatisporites deliquescens* (Naumova) Arkh. и *Archaeoperisaccus mennerii* Naumova. Споры *Cristatisporites deliquescens — Archaeoperisaccus mennerii* выделены в качестве видов-индексов ПК-В (Tel'nova, Shumilov, 2019). Прослеженная в разных районах Тимано-Североуральского региона ассоциация спор *Cristatisporites deliquescens, Archaeoperisaccus mennerii* и конодонтов *Ancyrodella rugosa* позволила выделить новую региональную зону **Cristatisporites deliquescens — Archaeoperisaccus mennerii**. По-видимому, палинозона характеризует значительный стратиграфический интервал, соответствующий конодонтовым зонам *rugosa — transitans* (табл. 1).

Обсуждение результатов

В реконструкциях девонских растительных сообществ и для выявления характера их изменения на событийных уровнях важным является изучение дисперсных спор (споры встречаются как в континентальных, так и в морских отложениях, имеют лучшую сохранность, чем растительные макрофоссилии). Однако для первых наземных сосудистых растений, как показал ретроспективный анализ спор *in situ* (Тельнова, 2007), характерны сходные морфологические типы. С явлением гомеоморфии связана одна из основных объективных проблем в систематике и филогенетических реконструкциях многих групп девонских спор. Особое значение в этом контексте приобретает внедрение в палеопалинологические работы современного инструментария и разработка новых методик исследований (Тельнова и др., 2021; Шумилов, Тельнова, 2013а, б; Babenko, Telnova, 2022; Telnova et al., 2022). Комплексное изучение морфологии, структуры и химического состава наиболее важных для стратиграфических построений дисперсных спор позволило уточнить их таксономическую и филогенетическую принадлежность. В стратиграфической последовательности тиманской и

устьерегской свит (Южный Тиман) значительные изменения, выражающиеся в обновлении таксономического состава на видовом и родовом уровнях, установлены в ПК зоны *Densosporites sorokinii* (верхняя часть тиманского горизонта). В результате использования комплекса новых методик установлено, что многие из спор в ПК зоны *Densosporites sorokinii* продуцировались плауновидными растениями, т. е. в растительных сообществах на обсуждаемом уровне существенную роль начинают играть плауновидные. В ПК доминирующей группой, как и на предыдущих стратиграфических уровнях, являются споры археооптерисовых растений (до 50%), но вместо субдоминантной в позднеживетское время группы *Acanthotriletes* в верхней части тиманского горизонта существенное развитие (с 5 до 16%) получают споры с пленчатым периспорием (*Calyptosporites, Spelaeotriletes, Densosporites, Hymenozonotriletes, Ancyrospora* и др.), которые выше по разрезу устьерегской свиты входят в число родов-доминантов, продуцентами которых были плауновидные и папоротники.

Наметившийся с палинозоны *Densosporites sorokinii* тренд изменений получает развитие в палинокомплексах франского возраста (палинозоны *Cristatisporites pseudodeliquescens — Archaeoperisaccus ovalis* и *Cristatisporites deliquescens — Archaeoperisaccus mennerii*). Поэтому уровень в основании палинозоны *Densosporites sorokinii* (верхняя часть тиманского горизонта) может рассматриваться в качестве живетско-франского фитостратиграфического рубежа.

Комплексы конодонтов из верхней части тиманской и нижней части устьерегской свиты близки по своему составу. Вид *Ancyrodella binodosa* встречается спорадически в интервале зон *Lowermost asymmetricus* и *Lower asymmetricus* (Ovnatanova et al., 2017), который в современной конодонтовой шкале сопоставляется с зонами *Early-Late falsiovalis*. *Ancyrodella pristina* — зональный вид, фиксирующий раннефранский этап осадконакопления, в ассоциации со спорами растений до сих пор не установлен. Поэтому палинозоны этого и нижележащего уровней сопоставлены в региональной стратиграфической схеме с конодонтовыми зонами в некоторой степени условно. В настоящее время точно зафиксировано стратиграфическое положение палинозон *Cristatisporites pseudodeliquescens — Archaeoperisaccus ovalis* и *Cristatisporites deliquescens — Archaeoperisaccus mennerii* (табл. 1).

В связи с дискуссией об уровне границы живетского и франского ярусов на территории России проведен анализ таксономического состава ПК в стратиграфически полных разрезах Тимано-Североуральского сегмента и сопряженных с ним регионов.

Наблюдаемый тренд прослежен в ПК, установленных по образцам из естественных обнажений на Среднем Тимане (Tel'nova, Shumilov, 2019). В разрезах Западной Европы описанный ПК соответствует верхней части опель-зоны *triangulatus — concinna* (ТСо), охватывающей пограничный живетско-франский интервал (Streel et al., 2021).

Полученные результаты использованы в выводе о фитостратиграфическом рубеже в основании верхнетиманского подгоризонта, соответствующем границе живетского и франского ярусов: в это время произошли заметные изменения в растительных сообще-



ствах — субдоминирующей группой растений стали плауновидные.

Триггером существенных изменений в растительных сообществах, по-видимому, явилось событие Frasnian, которое отмечается ниже первых находок *Ancyrodella*. Событие Frasnian характеризуется началом глобальной трансгрессии и приурочено к основанию конодонтовой зоны Early falsiovalis (Walliser, 1996). В этом случае биотическое событие почти совпадает с абиотическим (трансгрессивное изменение фаций), которое произошло немного раньше — ниже границы среднего и верхнего девона, предложенной SDS.

Для окончательного решения проблемы — установления уровня границы среднего-верхнего девона — особый интерес представляет разрез с полной последовательностью в живетско-франском интервале, описанный на восточном склоне Среднего Урала в окрестностях села Покровское. Он биостратиграфически детально изучен по разным группам фауны. Все выделенные в пограничном интервале пачки охарактеризованы конодонтами, брахиоподами, описаны микроостатки рыб.

На основе анализа распространения ихтиофауны предложен новый вариант фободонтидной зональности для живет-фаменского интервала девона. Фободонтидные зоны сопоставлены со стандартными конодонтовыми зонами. В результате изменения объемов зон и положения границ зона *sophiae* в новой схеме соответствует интервалу конодонтовых зон Lower varcus — *disparilis*, зона *latus* расширена до интервала конодонтовых зон Lower falsiovalis — *jamieae* (Ivanov, 2020). Таким образом, как считает А. О. Иванов, граница фободонтидных зон *sophiae* и *latus* должна проходить по границе конодонтовых зон *disparilis* и *falsiovalis* (Ivanov, 2020). Анализ распространения хрящевых рыб рода *Phoebodus* в отложениях среднего и верхнего девона Среднего и Южного Урала позволил уточнить фободонтидную зональную шкалу, которая в дальнейшем будет использоваться для широких межрегиональных корреляций и установления точного положения нижней границы франского яруса в разрезах Европейского Северо-Востока России. Учитывая большой корреляционный потенциал хрящевых рыб рода *Phoebodus*, которые изучаются также и в разрезах пограничного интервала Тимано-Североуральского сегмента, а также наиболее полную последовательность конодонтовых и брахиоподовых зон, планируется палиностратиграфическое изучение разреза «Покровское». Актуальность палиностратиграфических исследований определяется и тем, что корреляция разреза «Покровское» с разрезами западного склона и смежного региона Русской платформы в значительной степени условная, поскольку слои с *Skeletognathus norrisi* не имеют фаунистически охарактеризованных аналогов на западном склоне Урала.

Выводы

Проведен анализ распространения спор высших растений в пограничном живет-франском стратиграфическом интервале. Выявлен тренд в изменении таксономического состава, морфологии и ультраструктуры палиноморф. В палинокомплексах в пограничном интервале значительные изменения, выражающиеся

в обновлении таксономического состава на видовом и родовом уровнях, происходят в позднефранское время — существенное развитие получают споры плауновидных (*Calyptosporites*, *Densosporites*, *Ancyrospora* и др.), которые выше по разрезу, в саргаевском горизонте, входят в число родов-доминантов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о фитостратиграфическом рубеже в позднефранское время, когда произошла смена живетских растительных сообществ на франские. Установленный фитостратиграфический рубеж в основании верхнетиманского подгоризонта соответствует границе, принимаемой по мелководным полигнатидам — *Polygnathus pennatus*, *Polygnathus ljaschenko* и др. на Южном Тимане (Ovnatanova et al., 2017).

В разрезах Тимано-Североуральского сегмента в настоящее время стратиграфический интервал — верхняя часть тиманского и нижняя часть саргаевского горизонта — коррелируется с конодонтовой зоной *Polygnathus pennatus* — *P. lanei* (Ovnatanova et al., 2017). Из этого следует, что привязка конодонтового комплекса мелководной фации к стандартной шкале пока остается неясной, а следовательно, не установлен и уровень стандартной нижней границы франского яруса. В этой связи особый интерес приобретает палиностратиграфическое изучение разреза «Покровское». Возможно, это будет последний аккорд в решении многолетней проблемы.

Работа выполнена в рамках госзадания по теме НИР 122040600008-5 при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 20-05-00445).

Литература / References

1. Артюшкова О. В., Тельнова О. П., Мизенс Л. И., Мизенс А. Г. Первая находка *Skeletognathus norrisi* в ассоциации со спорами высших растений и брахиоподами в пограничных живетско-франских отложениях, вскрытых скважиной № 8 Царичанская (Восточно-Оренбургское сводовое поднятие, Русская платформа) // Литосфера. 2022. Вып. 22. № 4. С. 432–447. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-4-432-447

Artyushkova O. V., Telnova O. P., Mizens L. I., Mizens A. G. *Pervaya nahodka Skeletognathus norrisi v asociacii so sporami vysshih rastenij i brahiopodami v po-granichnyh zhivetsko-franskih otlozheniyah, vskrytyh skvazhinoj № 8 Carichanskaya (Vostochno-Orenburgskoe svodovoe podnyatie, Russkaya platforma)* (The first finding of *Skeletognathus norrisi* in association with higher plant spores and brachiopods in the Givetian-Frasnian boundary deposits drilled by borehole No. 8 Tsarichanskaya (East Orenburg uplift, Russian Platform)). *Lithosphere*, 2022, V. 22, No. 4, pp. 432–447. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-4-432-447

2. *Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий*. СПб.: ВСЕГЕИ, 1994. Вып. 27. 67 с.

Postanovleniya Mezhhvedomstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannyh komissij (Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its constant Commissions) St. Petersburg: VSEGEI, 1994, Issue 27, 67 p.

3. *Состояние изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя России. Задачи дальнейших исследований* // *Постановления Межведомственного стратиграфического*



комитета и его постоянных комиссий. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. Вып. 38. 131 с.

Sostoyanie izuchennosti stratigrafii dokembriya i fanerozoja Roscii. Zadachi dal'nejshih issledovanij. Postanovleniya Mezhdvoststvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannyh komissij (The State of knowledge on the Precambrian and Phanerozoic Stratigraphy in Russia. Tasks for further research. Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its Constant Committees). St. Petersburg: VSEGEI, 2008, 38, 131 p.

4. Тельнова О. П. Миоспоры из средне-верхнедевонских отложений Тимано-Печорской провинции. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 136 с.

Tel'nova O. P. *Miospory iz sredne-verhnedevonskih otlozhenij Timano-Pechorskoj provincii* (Miospores from Middle-Upper Devonian deposits of Timan-Pechora Province). Yekaterinburg: UB RAS, 2007, 136 p.

5. Тельнова О. П., Шумилов И. Х. Терригенные отложения среднего-верхнего девона бассейна р. Цильма (Средний Тиман) и их палинологическая характеристика // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2019. Т.27. № 1. С. 31–56. DOI: 10.31857/0869-592X271 31-56

Tel'nova O. P., Shumilov I. Kh. *Terrigennye otlozheniya srednego-verhnego devona bassejna r. Cil'ma (Srednij Timan) i ih palinologicheskaya harakteristika* (Middle-Upper Devonian Terrigenous Rocks of the Tsil'ma River Basin and Their Palynological Characteristics. Stratigraphy. Geological correlation), 2019, V. 27, No. 1, pp. 31–56. DOI.org/10.31857/S0869-592X27131-56

6. Тельнова О. П., Кульков А. М., Маршалл Д. Е. А. Новые методы исследований в палеопалинологии // Журнал общей биологии. 2021. Т. 82. № 1. С. 1–9. DOI: 10.31857/S0044459621010085

Tel'nova O. P., Kul'kov A. M., Marshall D. E. A. *Novye metody issledovanij v paleopalinoologii* (New research methods in paleopalynology). Biology Bulletin Reviews, 2021, V. 82, No. 1, pp. 1–9. DOI: 10.31857/S0044459621010085

7. Чибрикова Е. В. Споры терригенной толщи девона Западной Башкирии и западного склона Южного Урала // Брахиоподы, остракоды и споры среднего и верхнего девона Башкирии: Сб. науч. трудов / Отв. ред. А. И. Олли. М.: АН СССР, 1962. С. 353–476.

Chibrikova Ye. V. *Spory terrigennoj tolshchi devona Zapadnoj Bashkirii i zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala. Brahiopody, ostrakody i spory srednego i verhnego devona Bashkirii. Sb. nauch. trudov. (Otv. red. A. I. Olli)* (Spores from the terrigenous Devonian strata of Western Bashkiria and Western slope of South Urals. Middle and Upper Devonian Brachiopods, Ostracodes and Spores in Bashkiria. (Ed. by A. I. Olli)). Moscow: AS USSR, 1962, pp. 353–476.

8. Шумилов И. Х., Тельнова О. П. Методика обработки углисто-глинистых девонских пород для палинологического анализа (часть I). Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2013а. № 5. С. 12–15.

Shumilov I. Kh., Tel'nova, O. P., *Metodika obrabotki uglisto-glinistykh devonskih porod dlya palinologicheskogo analiza (chast' I)* (Methods of treating Devonian carbonaceous clay rocks for palynological analysis. Pt. 1). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2013a, No. 5, pp. 12–15.

9. Шумилов И. Х., Тельнова О. П. Методика обработки углисто-глинистых девонских пород для палинологического анализа (часть II). Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2013б. № 6. С. 11–14.

Shumilov I. Kh., Tel'nova, O. P., *Metodika obrabotki uglisto-glinistykh devonskih porod dlya palinologicheskogo analiza (chast' 2)* (Methods of treating Devonian carbonaceous clay rocks for palynological analysis. Pt. 2). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2013a, No. 6, pp. 11–14.

10. Шумилов И. Х., Тельнова О. П. История геологического развития бассейна р. Цильма (Средний Тиман) в девоне // Литология и полезные ископаемые. 2017. № 3. С. 266–282. DOI: 10.7868/S0024497X17030077

Shumilov I. Kh., Tel'nova O. P. *Istoriya geologicheskogo razvitiya bassejna r. Cil'ma (Srednij Timan) v devone* (History of the Geological Evolution of the Tsil'ma River Basin (Middle Timan) in the Devonian). Lithology and mineral resources, 2017, No. 3, pp. 266–282. DOI: 10.7868/S0024497X17030077

11. Aboussalam Z. S., Becker R. T. New upper Givetian to basal Frasnian conodont faunas from the Tafilalt (Anti-Atlas, Southern Morocco) // Geological Quarterly, 2007. 51(4). P. 345–374.

12. Babenko V. V., Telnova O. P. Problems and Prospects of Digital Identification of Devonian Spores for the Stratigraphy // Paleontological Journal, 2022. Vol. 56. No. 9. P. 93–99. DOI: 10.1134/S0031030122090040

13. Becker R. T., Marshall J. E. A., Da Silva A.-C. The Devonian Period. (Eds. by F. M. Gradstein, J. G. Ogg, M. D. Schmitz and G. M. Ogg) // The Geologic Time Scale. Amsterdam: Elsevier, 2020. No. 2. P. 733–810.

14. Ivanov A. O. Devonian phoebodontid-based zonation // Filodiritto Editore — Proceedings of the Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2020. P. 64–69.

15. Klapper G., Johnson J. G. Revision of Middle Devonian conodont zones. In: J. G. Johnson. Lower and Middle Devonian brachiopod-dominated communities of Nevada, and their position in a biofacies-province-realm model // Journal of Paleontology, 1990. Vol. 64. No. 6. P. 934–936.

16. Ovnatanova N. S., Kononova L.I., Kolesnik L. S., Gatovsky Yu. A. Upper Devonian Conodonts of Northeastern European Russia // Journal of Paleontology, 2017. Vol. 51. No. 10. P. 973–1165.

17. Owens B., Marshall J. E. A., Telnova O. P., Wellman Ch. H. Morphological Relationships of Ancyrospora Species from the Givetian and Frasnian Deposits of the Pan-Arctic Region // Paleontological Journal, 2022. Vol. 56. No. 9. P. 58–80. DOI: 10.1134/S0031030122090052

18. Streef M., Boulvain F., Duser M., Loboziak S., Steemans P. Updating Frasnian miospore zonation from the Boulonnais (Northern France) and comparison with new data from the Upper Palaeozoic cover on the Brabant Massif (Western Belgium) // Geologica Belgica, 2021. Vol. 24. No. 1–2. P. 69–84. DOI: 10.20341/gb.2020.024

19. Tel'nova O. P., Shumilov I. Kh. Palynological characteristics of Givetian–Frasnian stratigraphic interval on the Southern and Middle Timan // Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2019. No. 10. P. 23–27. DOI:10.19110/2221-1381-2019-10-23-27

20. Telnova O. P., Marshall J. E. A., Kocheva L. S., Karmanov A. P. Lignin of Ancient Plant Fossils // Paleontological Journal, 2022. Vol. 56, No. 9. P. 81–92. DOI: 10.1134/S003103012209007

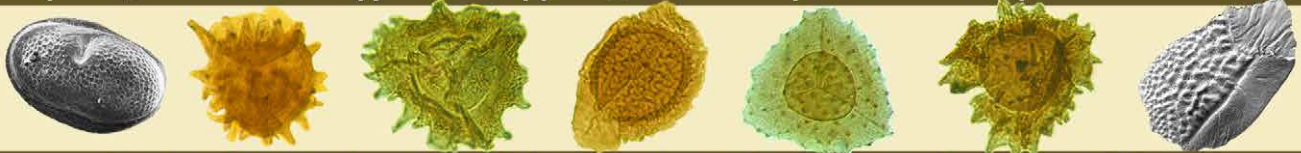
21. Walliser O. H. Global events and event stratigraphy in the Phanerozoic: results of international interdisciplinary cooperation in the IGCP Project 216 «Global Biological Events in Earth History» // Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1996. P. 1–333. DOI: 10.1017/S0016756897426468

22. Ziegler W., Sandberg C. A. The Late Devonian Standard Conodont Zonation // Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, 1990. No. 121. P. 1–115.

Поступила в редакцию / Received 30.11.2022



Граница живетского и франского ярусов девона на Европейском Северо-Востоке России



Givetian-Frasnian boundary of the Devonian at the European North-East of Russia

УДК 567.31:551.734

DOI:10.19110/geov.2023.1.3

Комплексы позвоночных и зоны верхнего живета и нижнего франна Восточно-Европейской платформы и Урала**А. О. Иванов**Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург
IvanovA-Paleo@yandex.ru

Рассмотрены ихтиокомплексы из верхнеживетских и нижнефранских отложений Восточно-Европейской платформы и Урала. Зоны по ихтиофауне, выделенные для Главного девонского поля, прослежены в других субрегионах платформы. На Среднем Урале уточненные фебодонтидные зоны привязаны к Стандартной конодонтовой шкале.

Ключевые слова: ихтиофауна, зоны, живет и фран, Восточно-Европейская платформа, Урал.

Assemblages of vertebrates and zones from the Upper Givetian and Lower Frasnian of the East European Platform and Urals**A. O. Ivanov**

Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg

The ichthyofaunas from the Upper Givetian and Lower Frasnian deposits of the East European Platform and Urals. The ichthyofaunistic zones established for the Main Devonian Field are traced in various subregions of the platform. The detailed phobodontid zones of the Middle Urals are correlated to the Standard conodont zones.

Keywords: ichthyofauna, zones, Givetian – Frasnian, East European Platform, Urals.

Введение

Положение нижней границы франского яруса и, соответственно, верхнего отдела девона на территории Восточно-Европейской платформы (ВЕП) остается пока дискуссионным по причине широкого распространения мелководно-шельфовых отложений пограничного интервала. В этих преимущественно терригенных мелководных отложениях редко можно найти полигнатидные конодонты, а конодонты родов *Ancyrodella* и *Mesotaxis*, определяющие положение границы ярусов, отсутствуют. Раньше эту границу устанавливали в основании пашийского горизонта (Решение..., 1990), что существенно ниже современного ее положения в соответствии с Международной стратиграфической шкалой. Позже предлагалось проводить ее в основании тиманского горизонта (Мельникова и др., 2004), в основании верхнетиманского подгоризонта (Кузьмин, 1995; Овнатанова, Кононова, 2007) или в основании саргаевского горизонта (Цыганко, 2009). В последнее время считают, что граница в основании верхнетиманского подгоризонта более обоснована по смене видов полигнатидных конодонтов (Соболев, Евдокимова, 2013).

Остатки позвоночных встречаются в живетско-франских отложениях во многих регионах ВЕП.

Ихтиофауна Главного девонского поля (ГДП) изучена наиболее детально по сравнению с другими субрегионами платформы и исследовалась многими авторами на протяжении почти ста лет. На основе анализа ихтиокомплексов были предложены зоны по псаммо-стеидным бесчелюстным, плакодермам и акантодам. Многие ихтиозоны ГДП прослеживаются в других субрегионах ВЕП: на Тимане, Центральном девонском поле, в Беларуси (Esin et al., 2000).

Главное девонское поле

Горизонты Главного девонского поля (или Северо-Западного субрегиона ВЕП) представлены разнофациальными отложениями, которые меняются с юго-запада на северо-восток региона. Тем не менее они характеризуются выдержанным строением и объемом (Сорокин и др., 1978). Фауна живета представлена преимущественно остатками позвоночных почти из всех групп, известных в девоне, а франские отложения содержат как остатки ихтиофауны, так и разнообразных беспозвоночных (Иванов и др., 2012). Находки конодонтов очень редкие или представлены мелководными полигнатидами, не позволяющими провести де-

Для цитирования: Иванов А. О. Комплексы позвоночных и зоны верхнего живета и нижнего франна Восточно-Европейской платформы и Урала // Вестник геонаук. 2023. 1(337). С. 23–29. DOI: 10.19110/geov.2023.1.3

For citation: Ivanov A. O. Assemblages of vertebrates and zones from the Upper Givetian and Lower Frasnian of the East European Platform and Urals. Vestnik of Geosciences. 2023, 1(337), pp. 23–29, doi: 10.19110/geov.2023.1.3

тальное сопоставление с зонами стандартной конодонтовой шкалы (Zhuravlev et al., 2006). В живецких терригенных отложениях конодонты не найдены, а во фране выделены зоны: *Polygnathus lanei* для подснегогорско-снегогорского интервала, *Polygnathus xylus* — *Polygnathus reimersi* для псковско-дубниковского интервала, *Polygnathus pollocki* для порховско-ильменского интервала и *Polygnathus efimovae* для бурежско-снежного интервала (Иванов др., 2012). Границу живецкого и франского ярусов условно проводят в подошве аматского горизонта (Иванов др., 2012).

В этом регионе позвоночными охарактеризованы почти все горизонты живета (арукюлаский, буртниецкий, гауйский) и франа (аматский, плавиньский, дубниковский, даугавский, снежный, памушский, стипинский и амальский). Верхнеживецкие отложения отвечают буртниецкому и гауйскому горизонтам, а аматский, плавиньский и дубниковский горизонты относят к верхнему франу. Позвоночные живета и франа ГДП представлены многочисленными таксонами бесчелюстных (псаммостеид), плакодерм, акантод, хрящевых, лопастеперых и лучеперых рыб (Иванов др., 2012; Esin et al., 2000).

Комплекс ихтиофауны буртниецкого горизонта ГДП содержит *Pycnosteus tuberculatus* (Rohon), *Ganosteus stellatus* Rohon, *Tartuosteus maximus* Mark-Kurik, *Psammolepis abavica* Mark-Kurik, *Psammosteus bergi* (Obruchev); *Homostius latus* Asmuss, *Heterostius ingens* Asmuss, *Dickosteus ? markae* O. Obrucheva, *Livosteus grandis* Gross, *Actinolepis magna* Mark-Kurik, *Tropinema haermae* (Mark), *Rhynchodus* sp., *Asterolepis delli* Gross, *A. esica* Lyarskaya, *Byssacanthus* sp., *Microbrachius* cf. *dicki* Traquair; *Karksiodus mirus* Ivanov et Märss, *Karksilepis parva* Märss; *Cheiracanthus brevicostatus* Gross, *Ch. latus* Egerton, *Diplacanthus gravis* Valiukevičius, *Diplacanthus crassissimus* Duff, *D. tenuistriatus* Traquair, *Nostolepis gaujensis* Valiukevičius, *Ptychodictyon rimosum* Gross, *P. sulcatum* Gross, *Rhadinacanthus multisulcatus* Valiukevičius, *R. longispinus* (Ag.), *Haplacanthus marginalis* Ag., *Homacanthus* sp., *Nodocosta* sp.; *Gyroptychius elgae* Vorobyeva, *Osteolepis striata* Gross, *Hamodus lutkevitchi* Obruchev, *Glyptolepis* sp., *Grossipterus crassus* (Gross), *Conchodus* sp.; *Cheirolepis* sp. (Esin et al., 2000; Ivanov et al., 2017; Mark-Kurik, 2000).

В гауйских отложениях ГДП встречены *Psammolepis venyukovi* Obruchev, *P. paradoxa* Agassiz, *Placosteus alatus* (Mark-Kurik), *Pl. undulatus* (Ag.), *Ganosteus stellatus* Rohon, *Psammosteus* sp.; *Plourdosteus livonicus* (Eastman), *Eastmanosteus* cf. *pustulosus* (Eastman), *Asterolepis ornata* Eichwald sensu Ag., *Hybosteus mirabilis* (Gross); *Archaeacanthus quadrisulcatus* Kade, *Haplacanthus ehmannensis* Gross, *Homacanthus gracilis* (Eichwald), *Diplacanthus gravis* Valiukevičius, *Lodeacanthus gaujicus* Upeniece, *Nostolepis gaujensis* Valiukevičius; *Miguashaia grossi* Forey, Ahlberg, Lukševičs et Zupiņš, *Glyptolepis baltica* Gross, *Laccognathus panderi* Gross, *L. grossi* Vorobyeva, *Holoptychius* sp., *Eusthenopteron kurshi* Zupiņš, *Grossipterus crassus* (Gross), *Panderichthys rhombolepis* (Gross), *Livoniana multidentata* Ahlberg, Lukševičs et Mark-Kurik; *Cheirolepis* sp. (Ahlberg et al., 2000; Esin et al., 2000; Mark-Kurik, 2000).

Аматский горизонт содержит комплекс позвоночных, включающий *Psammolepis venyukovi* Obruchev, *Psammosteus praecursor* Obruchev, *Ps. livonicus* Obruchev, *Ps. cuneatus* Obruchev, *Ps. levis* Obruchev, *Placosteus undulatus* (Ag.); *Plourdosteus livonicus* (Eastman), *Bothriolepis*

prima Gross, *B. obrutschewi* Gross, *Asterolepis radiata* Rohon; *Archaeacanthus quadrisulcatus* Kade, *Devononchus concinnus* (Gross), *Homacanthus gracilis* (Eichwald), *Diplacanthus gravis* Valiukevičius; *Glyptolepis baltica* Gross, *Laccognathus panderi* Gross, *Holoptychius* cf. *nobilissimus* Ag., *Megadonichthys kurikae* Vorobyeva, *Eusthenopteron obruchevei* Vorobyeva, *Onychodus* sp., *Panderichthys rhombolepis* (Gross), *Dipterus* cf. *crassus* Gross, *Rubrognathus kuleshovi* Lebedev et Clément (Иванов др., 2012; Esin et al., 2000; Ivanov et al., 2020; Lebedev, Clément, 2009).

В плавиньском горизонте ихтиофауна встречается в снегогорских, псковских и чудовских слоях. В состав ихтиокомплекса снегогорских слоев входят *Psammosteus maeandrinus* Ag., *Psammosteus asper* Obruchev, *Karelosteus weberi* Obruchev *Psammosteus praecursor* Obruchev; *Plourdosteus mironovi* (Obruchev), *Meeksiella pskovensis* (Obruchev), *Ptyctodus obliquus* Pander, *Rhynchodus* sp.; *Asterolepis radiata* Rohon, *Bothriolepis cellulosa* (Pander), *Bothriolepis panderi* Lahusen, *Grossilepis tuberculata* (Gross); *Haplacanthus perseensis* Gross; *Eusthenopteron saevesoederberghi* Jarvik, *Glyptolepis* sp., *Holoptychius* sp., *Latvius grewingki* (Gross), *Strunius rolandi* (Gross), *Rhinodipterus secans* (Gross), *Griphognathus minutidens* Gross; *Moythomasia perforata* (Gross). В псковских слоях ихтиофауна почти такая же, как в снегогорских слоях, кроме ряда форм, имеющих узкий интервал распространения: *Meeksiella pskovensis* (Obruchev), *Strunius rolandi* (Gross), *Griphognathus minutidens* Gross. В псковских слоях найдены лишь два вида: *Conchodus jerofejewi* (Pander) и *Platycephalichthys rohani* Vorobyeva. Ихтиофауна чудских слоев немногочисленна, лишь некоторые таксоны снегогорского комплекса продолжают существовать в это время (Иванов др., 2012; Esin et al., 2000).

Остатки позвоночных дубниковского горизонта представлены *Psammosteus megalopteryx* (Trautschold), *Traquaiosteus ? pectinatus* (Obruchev), *Holonema radiatum* Obruchev, *Gyroplacosteus panderi* Obruchev, *Plourdosteus trautscholdi* (Eastman), *Eastmanosteus egloni* (O. Obrucheva), *Asterolepis syasiensis* Lyarskaya, *Bothriolepis trautscholdi* Jaekel, "*Acanthodes*" sp., *Persacanthus* sp., *Jarvikina wenjukowi* (Rohon), *Parapanderichthys stolbovi* Vorobyeva, "*Dipterus*" *verneuili* Pander, *Rhinodipterus stolbovi* Krupina, *Conchodus jerofejewi* (Pander) (Иванов др., 2012; Esin et al., 2000).

Ихтиозоны для Главного поля впервые были предложены Л.А. Лярской, В.Н. Каратайте-Талимаа и Э.Ю. Марк-Курик в Региональных схемах Прибалтики (Лярская, 1978; Сорокин др., 1981). Они были выделены на основе смены характерных видов бесчелюстных (псаммостеид и телодонтов) и плакодерм. По акантодам также выделены зоны, в первую очередь для нижнего и среднего девона (Valiukevičius, 1994). Позже две плакодермные зоны аматского горизонта было предложено объединить в одну (Ivanov, Lukševičs, 1996), поскольку в большинстве случаев не удается определить верхний предел распространения *Bothriolepis prima*, а также существует ераский ихтиокомплекс Литвы, в котором оба зональных вида встречены почти в одном интервале (рис. 1).

В буртниецком горизонте установлены две последовательные псаммостеидные зоны *Pycnosteus tuberculatus* и *Psammosteus abavica*, а также две плакодермные зоны *Asterolepis dellei* и *Watsonosteus*; в гауйском горизонте — псаммостеидная зона *Psammolepis paradoxa* и



Отдел Series	Ярус Stage	Горизонты Regional Stages	Местные слои Local Beds	Зоны по позвоночным / Vertebrate zones			
				Псаммостеиды Psammosteids	Плакодермы Placoderms	Акантоды Acanthodians	
Верхний / Upper	Франский / Frasnian	Памушский Pamušis		Psammosteus falcatus	Bothriolepis maxima		
		Снежский Snezha					
		Даугавский Daugava	Бурегские Buregi		Psammosteus megalopteryx		Bothriolepis trautscholdi
			Ильменские Ilmen				
			Свинордские Svinord				
			Порховские Porkhov				
		Дубниковский Dubnik	Дубниковский Dubnik				
		Плявиньский Pļaviņas	Чудовские Chudovo				Bothriolepis cellulosa
			Псковские Pskov				
			Снетогорские Snetnaya Gora				
Аматский Amata	Подснетогорские Podsnetogorskie			Bothriolepis prima – B. obrutschewi	Devononchus conncinus		
	Старицкие Staritsa						
Средний / Middle	Живетский / Givetian	Гауйский Gauja		Psammolepis paradoxa	Asterolepis ornata	Diplacanthus gravis	
		Буртниецкий Burtnieki		Psammosteus abavica	Watsonosteus		
				Pycnosteus tuberculatus	Asterolepis delli		
		Арукюлаский Arukūla		Pycnosteus pauli			
				Pycnosteus palaiformis			

Рис. 1. Зоны по позвоночным в живетско-франском интервале Главного девонского поля

Fig. 1. Vertebrate zones in the Givetian-Frasnian interval of the Main Devonian field

плакодермная зона *Asterolepis ornata* (Mark-Kurik, 2000). Акантодовые зоны *Diplacanthus gravis* и *Devononchus conncinus* отвечают соответственно арукюласко-буртниецкому и гауйско-аматскому интервалам (Valiukevičius, 2000). Плакодермная зона *Bothriolepis prima* – *B. obrutschewi* соответствует аматскому горизонту, а зона *Bothriolepis cellulosa* – снетогорско-псковскому интервалу плявиньского горизонта (Esin et al., 2000; Ivanov, Lukševičs, 1996).

Наиболее существенная смена таксономического состава в ихтиокомплексах наблюдается на границе гауйского и аматского, аматского и плявиньского горизонтов (Иванов и др., 2012). Ихтиокомплексы арукюлаского и буртниецкого горизонтов включают очень разнообразные таксоны среднедевонских псаммостеид (рода *Pycnosteus*, *Psammolepis*, *Ganosteus*, *Tartuosteus*), плакодерм (рода *Homostius*, *Heterostius*, *Dickosteus*, *Actinolepis*, *Asterolepis*, *Byssacanthus*), акантод (рода *Cheiracanthus*, *Diplacanthus*, *Nostolepis*, *Ptychodictyon*, *Rhadinacanthus*). Лопастеперые представлены широко распространенными таксонами *Gyroptychius*, *Osteolepis*,

Glyptolepis. Ихтиофауна гауйского горизонта содержит разнообразные виды псаммостеид, но родов становится меньше и исчезают рода *Pycnosteus* и *Tartuosteus*. Уменьшается разнообразие плакодерм и акантод, среди лопастеперых рыб появляются рода *Laccognathus*, *Eusthenopteron*, *Panderichthys*, *Holoptychius*.

Начиная с аматского горизонта появляются бортиолепидные плакодермы, широко распространенные во фране и фамене, а также увеличивается число видов псаммостеидного рода *Psammosteus*. Аматский ихтиокомплекс еще содержит небольшое число таксонов, которые присутствовали в буртниецком горизонте, например таксоны псаммостеид рода *Psammolepis*, плакодерм рода *Asterolepis*, лопастеперых *Glyptolepis*, *Laccognathus*, *Panderichthys*. Но в плявиньском ихтиокомплексе многие из упомянутых таксонов уже отсутствуют. Таким образом, несмотря на постепенную смену таксономического состава, с аматского горизонта начинается формироваться позднедевонская ихтиофауна.

Большинство ихтиозон ГДП прослеживаются в других субрегионах Восточно-Европейской платформы



(Esinet al., 2000). Так, в Беларуси ихтиокомплекс зон *Pycnosteus tuberculatus* и *Asterolepis dellei* ГДП встречен в столинских слоях полоцкого горизонта; комплекс зон *Psammolepis paradoxa* и *Asterolepis ornata* – в хотимском горизонте (Плакс, 2008; Mark-Kurik, 2000). В желонском горизонте обнаружена ихтиофауна, близкая по составу к аматскому комплексу ГДП, относящаяся к ихтиозоне *Bothriolepis prima* – *B. obrutschewi* (Плакс, Zaika, 2020). Ихтиофауна скрыгаловских и сарьянских слоев саргаевского горизонта соответствует ихтиозоне *Bothriolepis cellulosa* из снетогорско-псковского интервала плявиньского горизонта ГДП (Плакс, 2008).

На Центральном девонском поле в ардаатовских отложениях живета встречены *Psammolepis* sp., *Schizosteus* sp., *Rhynchodus* sp., "*Ptyctodus*" sp., *Holonema* sp. nov., *Eastmanosleus* cf. *pustulosus* (Eastman), *Livosteus* sp. nov. (Иванов, 2009). Пластинки антиарха из староскольских отложений Павловского карьера, определенные как *Bothriolepididae* gen. et sp. indet. 1 (Moloshnikov, 2008), на самом деле относятся к *Byssacanthus* sp. Ихтиокомплекс тиманских отложений содержит *Tartuosteus* ? *zheleznogorskensis* Moloshnikov, *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, *Plourdosteus livonicus* (Eastman), "*Ptyctodus*" sp., *Asterolepis radiata* Rohon, A. cf. *syasiensis* Lyarskaja, *Haplacanthus* sp., *Devononchus concinnus* (Gross), *Atopacanthus* sp. nov., *Panderichthys* sp., *Glyptolepis* sp., *Laccognathus* sp., *Holoptychius* sp., *Onychodus* sp. (Moloshnikov, 2008). *Bothriolepis* cf. *cellulosa* (Pander) и *Moythomasia* sp. найдены в хворостанских отложениях нижнего франа ЦДП (Beznosov, 2005).

Средний Тиман

На Среднем Тимане ихтиокомплексы близки по составу с комплексами ГДП. Ихтиофауна устьчиркинской свиты относится к зоне *Bothriolepis prima* – *obrutschewi* ГДП и содержит *Psammosteus praecursor* Obruchev, *P. cuneatus* Obruchev, *P. livonicus*, *Psammolepis venyukovi* Obruchev, *Placosteus* cf. *undulatus* (Ag.); *Janiosteus timanicus* (O. Obrucheva), *Asterolepis radiata* Rohon, *Bothriolepis obrutschewi* Gross; *Devononchus* sp.; *Tristichoptera* indet., *Glyptolepis* sp., *Dipnoi* indet. (Глинский, Иванов, 2014; Иванов, Lukševičs, 1996).

Выше, в устьсредненских и средненских слоях, комплекс позвоночных включает *Psammosteus praecursor*, *P. maeandrinus* Ag., *P. asper* Obruchev, *P. cuneatus* Obruchev; *Ctenurella* sp., *Plourdosteus* sp., *Dinichthyidae* indet., *Asterolepis radiata* Rohon, *Bothriolepis cellulosa* (Pander); *Devononchus* sp., *Haplacanthus* sp., *Homacanthus* sp.; *Glyptolepis* sp., *Holoptychius* sp., *Latvius* sp. и *Rhinodipterus* cf. *secans* (Gross); *Moythomasia* sp. (Глинский, Иванов, 2014; Beznosov, 2005; Иванов, Lukševičs, 1996). Он очень близок к снетогорско-псковского комплексу ГДП и соответствует ихтиозоне *Bothriolepis cellulosa*.

Южный Тиман

На Южном Тимане находки ихтиофауны известны из тиманского, устьярегского, доманиковского, ветласянского, сирачойского и ухтинского горизонтов (Иванов, Lukševičs, 1996). В нижней части тиманской свиты найдены *Psammosteus maeandrinus* Ag., *Ptyctodontidae* indet., *Eastmanosteus* sp. nov., *Bothriolepis* sp., *Holoptychius* sp. Ихтиокомплекс верхнетиманской подсвиты содержит

Psammosteus cf. *praecursor* Obruchev, *Ps.* sp.; *Rhynchodus* sp., *Ctenurella* sp., *Plourdosteus* sp., *Coccosteidae* indet., *Bothriolepis* sp.; *Atopacanthus* cf. *dentatus* Hussakof et Bryant, *Haplacanthus* sp., *Devononchus* sp.; *Symmoriida* indet., *Protacrodontidae* indet.; *Laccognathus* sp., *Onychodontidae* indet., *Osteolepididae* indet., *Rhinodipterus* cf. *secans* (Gross); *Moythomasia* sp. (Иванов, Lukševičs, 1996, с добавлениями).

В устьярегской свите остатки ихтиофауны встречены преимущественно в нижней подсвите. Комплекс включает *Psammosteus maeandrinus* Ag., *Ps.* sp.; *Ctenurella* sp., *Rhynchodus* sp., *Holonema* sp., *Plourdosteus* sp., *Dinichthyidae* indet., *Bothriolepis cellulosa* (Pander), *Bothriolepis* sp., *Haplacanthus* sp., *Glyptolepis* sp., *Laccognathus* sp., *Holoptychius* sp., *Onychodontidae* indet., *Rhinodipterus* sp., *Moythomasia* sp. (Безносков, 2005; Иванов, Lukševičs, 1996). Он соответствует ихтиозоне *Bothriolepis cellulosa*.

Урал

На Южном Урале ихтиокомплексы установлены для верхнего девона, начиная с доманиковского горизонта (Ginter, Иванов, 2000; Иванов, 1995). В среднем девоне и нижнем фране в разрезах Южного Урала находки остатков рыб крайне редки. На основе распространения видов хрящевых рыб рода *Phoebodus* в разрезах Южного Урала и Свентокшиских гор Польши были предложены фебодонтидные зоны для живет-фаменского интервала девона (Ginter, Иванов, 1995; 2000). Зона *Ph. sophiae* соответствовала интервалу конодонтовых зон *Middle Polygnathus varcus* – *Lower Palmatolepis hassi* живета и франа, зона *Ph. latus* – конодонтовым зонам *Upper Palmatolepis hassi* – *jamieae* франа, зона *Ph. bifurcatus* – интервалу конодонтовых зон *Palmatolepis rhenana* – *linguiformis* франа (Ginter, Иванов, 1995). В фамене фебодонтидная зона *Ph. typicus* соответствовала интервалу конодонтовых зон *Upper Palmatolepis triangularis* – *Upper Palmatolepis rhomboidea*, фебодонтидная зона *Ph. gothicus* – интервалу конодонтовых зон *Lower Palmatolepis marginifera* – *Upper Palmatolepis postera*, а зона *Ph. limpidus* – интервалу *Lower Palmatolepis expansa* – *Middle Siphonodella praesulcata* (Ginter, Иванов, 1995). В последнее время появилось много новых данных о находках некоторых зональных видов за пределами ранее известных стратиграфических интервалов, что позволило, анализируя распространение видов *Phoebodus*, уточнить границы фебодонтидных зон (Иванов, 2020).

Разнообразные остатки ихтиофауны обнаружены в живетских и франских отложениях Среднего Урала. В живетских и нижнефранских отложениях высотинского и бродовского горизонтов в разрезе Покровское на р. Бобровка Свердловской области найдены остатки беспозвоночных, микроостатки рыб и конодонтов (Бикбаев и др., 2014; Наседкина, Бороздина, 1999). Причем комплексы конодонтов позволяют выделить зоны Стандартной шкалы (Бикбаев, 2016). Остатки рыб встречены на четырех уровнях, соответствующих конодонтовым зонам *Upper Polygnathus varcus*, *Upper Klapperina disparilis*, *Skeletognathus norrisi*, и *Upper Mesotaxis falsiovalis* (рис. 2). В зоне *Upper P. varcus* встречены хрящевые рыбы *Phoebodus fastigatus* Ginter et Иванов, *Ph. sophiae* St. John et Worthen; птиктодонтидные плакодермы; акантоды *Acanthodiformes* indet.; струниформные саркоп-



Отдел Series	Ярус Stage	Конодонтовые зоны Conodont zones		Таксоны ихтиофауны Ichthyofaunal taxa	Фебодонтидные зоны / Phoebo- donditid zones	
		новые / new [19]	старые / old [37]			
ВЕРХНИЙ / UPPER	ФРАНКСКИЙ / FRASNIAN	Pa. ultima	Pa. linguiformis	Ph. fastigatus	Ph. bifurcatus	
		Pa. linguiformis				
		Pa. bogartensis				
		Pa. winchelli	Pa. rhenana			U
		Pa. feisti	Pa. jamieae			L
		Pa. plana				
		Pa. proversa	Pa. hassi			U
		Pa. housei				L
		"O." nonaginta				
	An. primus	Pa. punctata	U			
	Pa. punctata					
	A. nodosa	Pa. transitans	U			
	Pa. transitans					
	A. rugosa					
	A. r. rotundiloba	M. falsiovalis	U			
	A. r. soluta					
	A. r. pristina					
	Sk. norrisi	L				
СРЕДНИЙ / MIDDLE	ЖИВЕТСКИЙ / GIVETIAN	P. dengleri dengleri	K. disparilis	Phoebodus curvatus	Ph. sophiae	
		P. dengleri sagitta				
		K. disparilis	L			
		P. cristatus ectypus	S. hermanni			U
		S. hermanni				L
	"O." semialternans	P. varcus	U			
	P. ansatus		M			
	P. rhenanus-P. varcus		L			
	P. timorensis					

Рис. 2. Распространение таксонов ихтиофауны в живете и фране Среднего Урала и фебодонтидные зоны. Сокращения: В – верхний, Н – нижний, С – средний; А. – *Ancyrodella*, An. – *Ancyognathus*, K. – *Klapperina*, M. – *Mesotaxis*, "O." – "Ozarkodina", Pa. – *Palmatolepis*, P. – *Polygnathus*, S. – *Schmidtnathus*, Sk. – *Skeletognathus*; L – Lower, M – Middle, U – Upper

Fig. 2. Distribution of ichthyofauna taxa in the Givetian and Frasnian of the Middle Urals and phoebodontid zones. Abbreviations: B – Upper, H – Lower, C – Middle; A. – *Ancyrodella*, An. – *Ancyognathus*, K. – *Klapperina*, M. – *Mesotaxis*, "O." – "Ozarkodina", Pa. – *Palmatolepis*, P. – *Polygnathus*, S. – *Schmidtnathus*, Sk. – *Skeletognathus*; L – Lower, M – Middle, U – Upper

теригии и лучеперые. Рыбы из конодонтовой зоны *K. disparilis* представлены хрящевыми *Phoebodus curvatus* Ivanov, *Ph. fastigatus*, *Ph. sophiae*, *Ph. sp.*, "*Ohiolepis*" sp.; пттиктодонтами; акантодами *Acanthodiformes* indet.; струниформными и остеолепиформными саркоптеригиями; лучеперыми *Moythomasia* sp. Ихтиокомплекс конодонтовой зоны *S. norrisi* включает хрящевые *Phoebodus curvatus*, *Ph. fastigatus*, *Ph. latus* Ginter et Ivanov, *Ph. sp.*, "*Ohiolepis*" sp.; неопределимые плакодермы; струниформные и остеолепиформные саркоптеригии; лучеперые *Moythomasia* sp. и *Mimipiscis* sp. Таким образом, *Ph. sophiae* встречается в интервале конодонтовых зон Upper *P. varcus* – *K. disparilis*, а *Ph. latus* появляется в конодонтовой зоне *S. norrisi*. Граница фебодонтидных зон *Ph. sophiae* и *Ph. latus* должна проходить по нижней границе конодонтовой зоны *S. norrisi* (Ivanov, 2020).

Кроме того, на Среднем Урале, в разрезах Баронская, Вильва, Першино и Сулем рыбы *Phoebodus bifurcatus* Ginter et Ivanov, *Ph. curvatus*, *Ph. fastigatus*, *Ph. latus*, *Ph. sp.*, *Diademodus* sp., *Protacodus* sp., *Wellerodus* sp., *Moythomasia* sp. и *Mimipiscis* sp. установлены в конодонтовой зоне Lower *Palmatolepis rhenana* (рис. 2). *Phoebodus bifurcatus*, *Protacodus* sp. найдены в интервале конодонтовой зоны *Palmatolepis linguiformis* разрезов Баронская и Ёква. В живетско-франских отложениях Среднего Урала можно проследить все три фебо-

донтидные зоны: *Ph. sophiae*, *Ph. latus* и *Ph. bifurcatus*. Зоны *Ph. latus* и *Ph. bifurcatus* устанавливаются и в разрезах Южного Урала, но *Ph. latus* встречен лишь начиная с конодонтовой зоны Upper *Palmatolepis hassi* (Ginter, Ivanov, 2000; Ivanov, 1995).

Заклучение

Ихтиозоны Главного девонского поля, основанные на представительных комплексах, могут быть прослежены в живетско-нижнефранских отложениях ряда регионов платформы: на Среднем и Южном Тимане, в Беларуси; некоторые зоны – на Центральном девонском поле и Северном Тимане. Эти преимущественно мелководные отложения не содержат конодонтов, позволяющих детально сопоставить их с конодонтовыми зонами Международной шкалы и установить границы ярусов.

В разрезах Среднего Урала четко прослеживаются фебодонтидные зоны в живетско-франских отложениях с установленными конодонтовыми зонами, но сопоставить их с ихтиозонами Главного девонского поля не представляется возможным из-за отсутствия антиарховых плакодерм и псаммостеидных бесчелюстных, на основе которых выделены эти ихтиозоны.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 20-05-00445).



Литература / References

1. Безносков П. А. О челюстных костях ишнанантид (*Ischnacanthiformes*, *Acanthodii*) из франских отложений Тимана // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 14-й науч. конф. ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2005, Сыктывкар: Геопринт. С. 19–23.
Beznosov P. A. *O chelyustnykh kostyakh ischnacanthid (Ischnacanthiformes, Acanthodii) iz franskikh otlozheniy Timana* (On jaw bones of ischnacanthids (*Ischnacanthiformes*, *Acanthodii*) from the Frasnian deposits of Timan). Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment. Proceedings of conference IG Komi SC UB RAS, 2005, Syktuykar: Geoprint, pp. 19–23.
2. Бикбаев А. З., Снугирёва М. П. К проблеме границы среднего и верхнего отделов девонской системы на восточном склоне Среднего Урала // Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России: Материалы Межведомственного рабочего совещания. Санкт-Петербург, 17–20 октября 2016 г. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. С. 22–24.
Bikbaev A. Z., Snigireva M. P. *K probleme granitsy srednego i verkhnego otdelov devonskoy sistemy na vostochnom sklone Srednego Urala* (On the problem of Middle and Late Devonian boundary on the eastern slope of Middle Urals). General Stratigraphic Scale and methodical problems of production of the regional stratigraphic scales of Russia: All-Russian meeting, October 17–20, 2016, St. Petersburg: VSEGEI, 2016, pp. 22–24.
3. Бикбаев А. З., Снугирёва М. П., Тупицына М. А. Литологическая характеристика и конодонты верхнеживетских отложений типового разреза «Покровское» // Ежегодник-2013: Тр. ИГГ УрО РАН. 2014. Вып. 161. С. 7–14.
Bikbaev A. Z., Snigireva M. P., Tupitsina M. A. *Litologicheskaya kharakteristika i konodonty verkhnezhivetskikh otlozheniy tipovogo razreza "Pokrovskoe"* (Lithological characteristic and conodonts of the Upper Givetian deposits of key section "Pokrovskoe"). Annual book-2013: Proceedings of IGG UB RAS, 2014, pp. 7–14.
4. Глинский В. Н., Иванов А. О. Комплексы девонских псаммоидных бесчелюстных Среднего Тимана // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Сб. материалов 16 геол. съезда Республики Коми. 15–17 апреля 2014. Сыктывкар, 2014. Т. II. С. 157.
Glinskiy V. N., Ivanov A. O. *Kompleksy devonskikh psammosteidnykh beschelyustnykh Srednego Timana* (The assemblages of the Devonian psammosteid agnathans from the Middle Timan). Abstracts of the 16th Geological Symposium of the Komi Republic, April 2014, Syktuykar, 2014, p. 157.
5. Иванов А. О. Уникальное местонахождение живетских позвоночных Центрального девонского поля // Верхний палеозой России: стратиграфия и фациальный анализ: Материалы Второй Всерос. конф. 27–30 сентября 2009. Казань, 2009. С. 92.
Ivanov A. O. *Unikalnoe mestonakhozhdenie zhivetskikh pozvonochnykh Tsentralnogo devonskogo polya* (Unique locality of the Givetian vertebrates in the Central Devonian Field). Proceedings of Second Russian Conference "Upper Palaeozoic of Russia: Stratigraphy and Facies Analysis", September 2009, Kazan, 2009, p. 92.
6. Иванов А. О., Стинкулис Г. В., Евдокимова И. О., Журавлев А. В. Опорные разрезы эйфельских-нижнефранских отложений востока Главного девонского поля: Путеводитель экскурсии. СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. 54 с.
Ivanov A. O., Stinkulis G., Evdokimova I. O., Zhuravlev A. V. *Opornye razrezy eifelskikh-nizhnefranskikh otlozheniy vostoka Glavnogo devonskogo polya* (Key sections of the Eifelian – Lower Frasnian deposits of eastern Main Devonian Field). Guidebook for the field trip. St. Petersburg: VSEGEI, 2012, 54 p.
7. Кузьмин А. В. Нижняя граница франского яруса на Русской платформе // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1995. Т. 3. № 3. С. 111–120.
Kuzmin A. V. *Nizhnaya granitsa franskogo yarusa na Russkoy platforme* (The lower boundary of Frasnian on the Russian platform). Stratigraphy. Geol. Correlation, 1995, V. 3, No. 3, pp. 111–120.
8. Лярская Л. А. Зоны и комплексы ихтиофауны в девоне Латвии // Очерки геологии Латвии / А. П. Брангулис (отв. ред.). Рига: Зинатне, 1978. С. 64–76.
Lyarskaya L. A. *Zony i komplekсы ikhtiofauny v devone Latvii* (Vertebrate zones and assemblages in the Devonian of Latvia). Notes on geology of Latvia, 1978, Riga: Zinatne, pp. 64–76.
9. Мельникова Л. И., Юдина Ю. А., Москаленко М. Н., Попова Е. В. Новые данные по тиманскому горизонту (D_{3f1}) Тимано-Печорского субрегиона // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Матер. XIV геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар: Геопринт, 2004. Т. IV. С. 265–268.
Melnikova L. I., Yudina Yu. A., Moskalenko M. N., Popova Ye. V. *Novyye dannyye po timanskomu gorizontu (D_{3f1}) Timano-Pechorskogo subregiona*. Geologiya i mineralnyye resursy yevropeyskogo severo-vostoka Rossii (New data on the Timan horizon (D_{3f1}) of the Timan-Pechora subregion Geology and Mineral Resources of the European North-East of Russia). Proceedings. Syktuykar: Geoprint, 2004, V. 3, pp. 265–268.
10. Наседкина В. А., Бороздина Г. Н. Конодонты из пограничных отложений среднего и верхнего девона на восточном склоне Среднего Урала // Проблемы стратиграфии и палеонтологии Урала / Ред. К. К. Золоев, Н. Я. Анцыгин. Екатеринбург: Минприроды РФ, ОАО «УГСЭ», 1999. С. 45–51.
Nasedkina V. A., Borozdina G. N. *Konodonty iz pogranychnykh otlozheniy srednego i verkhnego devona na vostochnom sklone Srednego Urala* (Conodonts from the boundary deposits of Middle and Upper Devonian on the eastern slope of Middle Urals). Problems of Stratigraphy and Paleontology of the Urals, Zoloev K. A., Antsygin N. Ya., eds, 1999, Ekaterinburg: Ministry of Nature RF, «UGSE», pp. 45–51.
11. Овнатанова Н. С., Кононова Л. И. Конодонты и корреляция разнофациальных франских отложений востока Русской платформы // Верхний палеозой России: стратиграфия и палеогеография: Материалы Всерос. конф. (25–27 сентября 2007). Казань: КГУ, 2007. С. 233–239.
Ovnatanova N. S., Kononova L. I. *Konodonty i korrelyatsiya rasnofatsialnykh franskikh otlozheniy vostoka Russkoy platform* (Conodonts and correlation of multifacial Frasnian deposits of eastern Russian Platform). *Verkhniy paleozoy Rossii: stratigrafiya i paleogeografiya* (Upper Paleozoic of Russia: stratigraphy and paleogeography). Proceedings of conference (25–27 September 2007). Kazan: KGU, 2007, pp. 233–239.
12. Плак Д. П. О девонской ихтиофауне Беларуси // Литасфера. 2008. № 2. С. 66–92.



- Plax D. P. *O devonskoy ikhtiofaune Belarusi* (On the Devonian fish fauna of Belarus). *Lithosphere*, 2008, No. 2 (29), pp. 66–92.
13. *Решение Межведомственного регионального стратиграфического совещания по среднему и верхнему палеозою Русской платформы с региональными стратиграфическими схемами. Девонская система. Л., 1990. 58 с.*
- Reshenie Mezhdomstvennogo regionalnogo stratigraficheskogo soveschaniya po srednemu i verkhnemu paleozoyu Russkoy platform, s regionalnymi stratigraficheskimi skhemami. Devonskaya sistema* (Decision of the Interdepartmental Regional Stratigraphic Conference on the Middle and Upper Paleozoic of the Russian Platform, with regional stratigraphic schemes. Devonian system). Leningrad, 1990, 58 p.
14. *Соболев Н. Н., Евдокимова И. О. Общая стратиграфическая шкала девонской системы: состояние и перспективы // Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства: Всерос. конференция / Отв. ред. М.А. Федонкин. М.: ГИН РАН, 2013. С. 139–148.*
- Sobolev N. N., Evdokimova I. O. *Obschaya stratigraficheskaya shkala devonskoy sistemy: sostoyanie i perspektivy* (General stratigraphic scale of the Devonian system: current state and problems). General Stratigraphic Scale of Russia: current state and ways of perfection. All-Russian meeting. May 23–25, 2013, Geological Institute of RAS, Moscow. Collector of articles, M. A. Fedonkin (resp. ed.), Moscow: GIN RAS, 2013, pp. 139–148.
15. *Сорокин В. С. Этапы развития Северо-Запада Русской платформы во франском веке. Рига: Зинатне, 1978. 282 с.*
- Sorokin V.S. *Etapy razvitiya severo-zapada Russkoy platformy vo franskom veke* (Development phases of the North-West of the Russian Platform in the Frasnian). Riga: Zinatne, 1978, 268 p.
16. *Сорокин В. С. Лярская Л. А., Савваитова М. С. и др. Девон и карбон Прибалтики. Рига: Зинатне, 1981. 502 с.*
- Sorokin V. S., Layarskaya L. A., Savvaitova L. S. et al. *Devon i Karbon Pribaltiki* (Devonian and Carboniferous of Baltics). Riga: Zinatne, 1981, 502 p.
17. *Цыганко В. С. Событийная составляющая границ стратиграфических подразделений // Палеонтология и совершенствование стратиграфической основы геологического картографирования: Материалы LV сессии ВПО при РАН (6–10 апреля 2009, Санкт-Петербург). СПб., 2009. С. 160–162.*
- Tsyganko V. S. *Sobytiynaya sostavlyayuschaya granits stratigraficheskikh podrazdeleniy* (Even compound of boundaries of stratigraphical subdivisions). *Paleontologiya i sovershenstvovanie stratigraficheskoy osnovy geologicheskogo kartirovaniya*: Paleontology and upgrading of stratigraphical bases of geological mapping: proceedings of conference (6–10 April 2009). St. Petersburg, 2009, pp. 160–162.
18. *Ahlberg, P. E., Lukševičs E., Mark-Kurik E. A near-tetrapod from the Baltic Middle Devonian // Palaeontology. 2000. V. 43. P. 533–548.*
19. *Becker R. T., Marshall J. E. A., Da Silva A.-C. 2020. The Devonian Period // The Geologic Time Scale 2020 / F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M. D. Schmitz, and G.M. Ogg (eds.). V. 2. Amsterdam: Elsevier. P. 733–810.*
20. *Beznosov P. Acanthodian remains from the Frasnian of Middle and South Timan // Ichthyolith Issues Special Publication. 2005. No. 8. P. 3–4.*
21. *Esin D., Ginter M., Ivanov A., Lebedev O., Lukševičs E., Avkhimovich V., Golubtsov V., Petukhova L. Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous on the East European Platform // Courier Forschungs-Institut Senckenberg. 2000. Bd. 223. P. 341–359.*
22. *Ginter M., Ivanov A. Middle/Late Devonian phoebodont-based ichthyolith zonation // Geobios, Mémoire Special. 1995. No. 19. P. 351–355.*
23. *Ginter M., Ivanov A. Stratigraphic distribution of chondrichthyans in the Devonian on the East European Platform margins // Courier Forschungs-Institut Senckenberg. 2000. Bd. 223. P. 325–339.*
24. *Ivanov A. Late Devonian vertebrate fauna of the South Urals // Geobios, Mémoire Special. 1995, No. 19. P. 357–359.*
25. *Ivanov A. O. Devonian phoebodontid-based zonation // Proceedings of the Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting. 2020. Filodiritto Editore – Proceedings. P. 64–69.*
26. *Ivanov A., Lebedev O. Devonian Vertebrate Localities in the Luga River Basin (Leningrad Region, Russia). Guidebook for the field trip. St. Petersburg, 2011. 51 p.*
27. *Ivanov A., Lukševičs E. Late Devonian vertebrates of the Timan // Daba un Muzejs. 1996. No. 6. P. 22–33.*
28. *Ivanov A. O., Pinakhina D. V., Glinskiy V. N., Lukševičs E. The Givetian vertebrate assemblages from the Burtneiki Regional Stage of the East Baltic // Abstracts and Field Guide of the 10th Baltic Stratigraphic Conference, Checiny, Poland, September 2017 / Žylińska, A. (ed.), Warsaw: University Publ. House, 2017. P. 39–40.*
29. *Lebedev O.A., Clément G. New tetrapodomorph vertebrates from the Yam-Tesovo locality (Amata Regional Stage, Middle–Upper Devonian) of Leningrad Region, northwestern Russia // Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh. 2009. V. 109. P. 61–73.*
30. *Mark-Kurik E. The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus // Courier Forschungs-Institut Senckenberg. 2000. Bd. 223. P. 309–324.*
31. *Mark-Kurik E., Pöldvere A. Devonian stratigraphy in Estonia: current state and problems // Estonian Journal of Earth Sciences. 2012. V. 61. P. 33–47.*
32. *Moloshnikov S. V. Devonian Antiarchs (Pisces, Antiarchi) from Central and Southern European Russia // Paleontological Journal. 2008. V. 42. N 7. P. 691–773.*
33. *Plax D. P., Zaika Yu. V. On the Zhelon deposits (Frasnian, Upper Devonian) of the Latvian Saddle in the basins of the Saryanka and Rositsa rivers (Belarus) // Geological and Mineralogical Resources. 2020. No. 2. P. 18–35.*
34. *Valiukevičius J. Acanthodian zonal sequence of Early and Middle Devonian in the Baltic basin // Geologija. 1994. No. 17. P. 115–125.*
35. *Valiukevičius J. Acanthodian biostratigraphy and interregional correlations of the Devonian of the Baltic States, Belarus, Ukraine and Russia // Courier Forschungs-Institut Senckenberg. 2000. Bd. 223. P. 271–289.*
36. *Zhuravlev A. V., Sokiran E. V., Evdokimova I. O., Dorofeeva L. A., Rusetskaya G. A., Małkowski R. Faunal and facies changes at the Early-Middle Frasnian boundary in the North-West of the East European Platform // Acta Palaeontologica Polonica. 2006. V. 51. P. 747–758.*
37. *Ziegler W., Sandberg C. A. The Late Devonian standard conodont zonation // Courier Forschungs-Institut Senckenberg. 1990. Bd. 121. P. 1–115.*



Минералого-петрохимические особенности габбро-долеритов криволукского комплекса

А. А. Самигуллин, Д. Е. Савельев

Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа
samigullinaidar85@gmail.com; savl71@mail.ru

В статье впервые приводятся детальные минералогические, петрографические и петрохимические исследования ранневендских габбро-долеритов бельской и ирлинской даек криволукского комплекса юго-восточной части Башкирского антиклинория. Установлено, что породы комплекса претерпели низкотемпературные изменения, вследствие которых темноцветные породообразующие минералы (амфиболы и пироксены) нацело заместились хлоритом. В габбро-долеритах отмечается повышенное содержание сульфатов стронция и бария. Геологическое положение и содержания P_2O_5 и TiO_2 ставят под сомнение приуроченность даек у с. Кага к криволукскому комплексу.

Ключевые слова: криволукский комплекс, барит, целестин, долериты, дайки, магматизм.

Mineralogical and petrochemical features of gabbro-dolerites of the Krivoluksky complex

A. A. Samigullin, D. E. Saveliev

Institute of geology UFRC RAS, Ufa

The manuscript presents novel detailed mineralogical, petrographic and petrochemical studies of Early Vendian gabbro-dolerites of the Belskaya and Irlinskaya dikes of the Krivoluksky complex in the southeastern part of the Bashkir anticlinorium. We determined that the rocks of the complex underwent low-temperature changes, as a result of which dark-colored rock-forming minerals (amphiboles and pyroxenes) were completely replaced by chlorite. The gabbro-dolerites possess an increased content of sulfates strontium and barium. The geological position and contents of P_2O_5 and TiO_2 cast doubt on the confinement of dikes near the village of Kaga to the Krivoluksky complex.

Keywords: Krivoluksky complex, barite, celestine, petrography, dolerites, dykes, magmatism.

Введение

Проведенные геолого-съёмочные работы и тематические исследования в 1968—1985 гг. на западном склоне Южного Урала значительно расширили и углубили представления об интрузивном магматизме этого региона, выявили его характерные особенности. Большой вклад в изучение позднедокембрийских магматических и метаморфических комплексов был внесён А. А. Алексеевым, который на основе формационного анализа предложил схему корреляции (Алексеев, 1981; 1984). Им же были составлены карты магматизма и метаморфизма западного склона Южного Урала. Магматизм западного склона Южного Урала приурочен к отрезкам активизации тектонических движений на границах седиментационных циклов (Алексеев, 1984; Князев и др., 2013; Ларионов и др., 2015).

Насыщенность интрузивными магматическими телами пород Башкирского мегаантиклинория возрастает с запада на восток (Князев, 2013; Ларионов, 2015). В этом же направлении повышается интенсивность изменений разновозрастных интрузий. Важная роль в размещении интрузивных комплексов принадлежит субмеридиональным зонам наиболее круп-

ных разломов: Туканского, Караташского, Суранского, Лапыштинского, Зюраткульского (Алексеев, 1981; 1984). При определении времени формирования интрузивных комплексов учтена их общая геологическая позиция, взаимоотношения с вмещающими породами, присутствие в терригенных образованиях обломков интрузивных пород, данные абсолютного возраста, петролого-геохимические особенности и степень вторичных изменений. Несмотря на длительную историю изучения интрузивных тел, отнесение конкретных образований к тому или иному комплексу часто является проблематичным.

В восточной части Башкирского мегаантиклинория, в районе урочища Кривая Лука, вдоль долины р. Белая находится петротип криволукского габбро-долеритового комплекса. Породы петротипа всесторонне изучены.

В этой статье впервые приводятся детальные минералогические, петрографические и петрохимические исследования габбро-долеритов бельской и ирлинской даек юго-восточной части Башкирского антиклинория, относимых к ранневендскому криволукскому комплексу, с целью корреляции их с породами петротипа на урочище Кривая Лука.

Для цитирования: Самигуллин А. А., Савельев Д. Е. Минералого-петрохимические особенности габбро-долеритов криволукского комплекса // Вестник геонаук. 2023. 1(337). С. 30–41. DOI: 10.19110/geov.2023.1.4

For citation: Samigullin A. A., Saveliev D. E. Mineralogical and petrochemical features of gabbro-dolerites of the Krivoluksky complex. Vestnik of Geosciences. 2023, 1(337), pp. 30–41, doi: 10.19110/geov.2023.1.4



Геологическое строение района

Район исследований расположен в юго-восточной части Башкирского мегаантиклинория, в долине р. Белая, и сложен породами верхнего рифея и венда, в 3 км восточнее находится граница с Зилаирским синклиниорием (рис. 1). Район представлен зильмердакской, катавской, инзерской, миньярской свитами верхнего рифея и криволукской свитой венда. Верхнерифейский возраст рассматриваемых отложений устанавливается по своеобразному (третьему) комплексу строматолитов и микрофитолитов. По строматолитам в верхнем рифее выделяются три горизонта: 1) катавский с *Ineria tjomusi* Kry1, *Iurusania cylindrica* Kry1, 2) миньярско-подинзерский с *Minjaria uralica* Kry1, *Jymnosolen ramrai* Steinm, *J. levis* Kry1, *Katavi karatavica* Kry1, *Conophyton miloradovici* Raab, и др.; 3) укский с *Linella ukka* (Стратиграфия..., 1983).

Зильмердакская свита (RF_{3zl}) представлена терригенным материалом: разной степени зернистости песчаниками, гравелитами, в подчинённом значении алевролитами, аргиллитами и сланцами. Разделена на 4 подсвиты: бирьянскую, нугушскую, лемезинскую и бедерышинскую. Общая мощность свиты — 1400—1800 м.

Катавская свита (RF_{3kt}) сложена известняками в западной части площади в виде широких (250—1500 м) полос в субмеридиональном направлении. Кроме того, катавские известняки распространены и в Восточно-Башкирской зоне, ими сложены небольшие антиклинальные структуры в Авзяно-Кагинской синклиналиной зоне. Свита является хорошим марки-

рующим горизонтом благодаря своим весьма специфическим литологическим и структурно-текстурным особенностям (Алексеев, 1981).

Инзерская свита (RF_{3in}) представлена песчаниками и сланцами. Породы слоистые, тонкополосчатые, имеют плитчатую отдельность и окрашены в пёстрые, красные, зелёные и бурые тона. Как литофациальное подразделение, инзерская свита весьма выразительна, хорошо отделяется от ниже- и вышележащих карбонатных толщ и служит картировочным и корреляционным репером. Мощность свиты 250—380 м.

Миньярская свита (RF_{3mn}) слагает ядерную часть Авзяно-Кагинской синклиналиной зоны, благодаря чему на площади изучения проявлена довольно широко. Сложена перекристаллизованными мелкозернистыми доломитами. Мощность свиты 450—700 м.

Криволукская свита (V_{1kr}) распространена на ограниченной территории, представлена терригенными породами — песчаниками, алевролитами и аргиллитами, присутствуют редкие прослои зеленовато-серых сланцев. Мощность около 200 м.

Небольшие ранневендские интрузивные тела криволукского габбро-долеритового комплекса (β, νβ, β' V_{1k}) локализованы в полях распространения катавской свиты верхнего рифея и криволукской свиты нижнего венда. Они развиты в восточной части Башкирского мегаантиклинория. Петротип комплекса расположен в районе урочища Кривая Лука, вдоль долины р. Белая и представлен межпластовыми силловыми телами мощностью до 60 м и дайками мощностью до 5 м

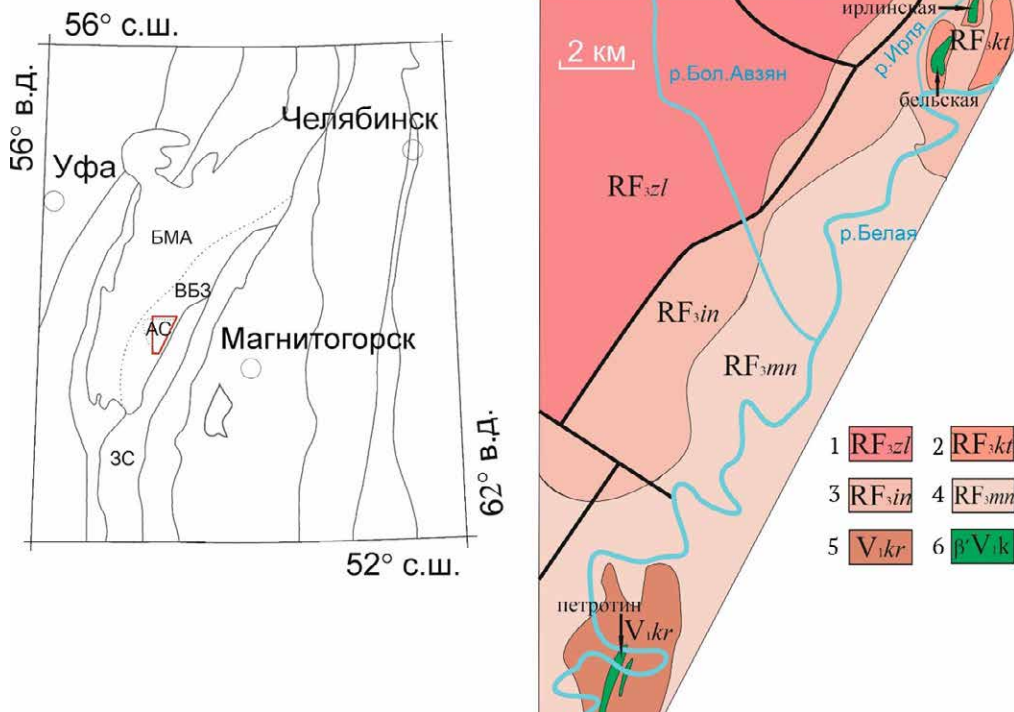


Рис. 1. Схема геологического строения исследуемого участка: 1 — зильмердакская свита (RF_{3zl}); 2 — катавская свита (RF_{3kt}); 3 — инзерская свита (RF_{3in}); 4 — миньярская свита (RF_{3mn}); 5 — криволукская свита (V_{1kr}); 6 — интрузивные тела криволукского габбро-долеритового комплекса (β, νβ, β' V_{1k}). ЗС — Зилаирский синклиниорий; БМА — Башкирский мегаантиклинорий; ВБЗ — Восточно-Башкирская зона; АС — Авзяно-Кагинская синклиналиная зона

Fig. 1. Scheme of geological structure of researching area: 1 — Zilmerdak Formation (RF_{3zl}); 2 — Katav Formation (RF_{3kt}); 3 — Inzer fFormation (RF_{3in}); 4 — Minyar Formation (RF_{3mn}); 5 — Krivoluk Formation (V_{1kr}); 6 — intrusive bodies of Krivoluk gabbro-dolerite complex (β, νβ, β' V_{1k}). ЗС — Zilair sinclinorium; БМА — Bashkir megaanticlinorium; ВБЗ — East-Bashkir zone; АС — Avzyan-Kaga sinclinorium zone



Рис. 2. Обнажение интрузивного тела; габбро-долериты отчётливо выделяются тёмно-зелёным цветом на фоне известняков катавской свиты

Fig. 2. Intrusive body; gabbro-dolerites distinctly distinguished by their dark green color against the background of limestones of the Katav Formation

(Алексеев, 1981, 1984). Силлы имеют симметрично-зональное строение: центральные части представлены средне-, крупнокристаллическими, в приконтактовых — тонко- и мелкокристаллическими и порфировыми структурами.

Ранневендский возраст пород комплекса на петро-типе определяется по геологическому положению малых тел и радиоизотопным датировкам (рубидий-стронциевый метод — 660 млн лет) (Алексеев, 1981, 1984).

Объект и методы исследований

Объектом исследования являются габбро-долериты, слагающие небольшие тела (бельская и ирлинская дайки) в поле развития катавской свиты и относящиеся к криволукскому габбро-долеритовому комплексу у с. Кага.

Габбро-долериты отчётливо выделяются своим тёмно-зелёным цветом на фоне известняков катавской свиты (рис. 2). Вмещающие породы катавской свиты падают на восток (аз. пад. 80°) под углом 60°; азимут простирания даек 15°. На границе даек и вмещающих пород отсутствует зона закалки и какие-либо изменения.

Во время полевых работ нами были определены формы и размеры интрузивных тел, сделаны замеры элементов залегания и отобраны образцы для исследований.

Использованы методы оптической и электронной микроскопии. Из образцов были изготовлены петрографические шлифы и пластины, которые изучались под поляризационным микроскопом Zeiss Axioskop 40 в Институте геологии УФИЦ РАН. Электронно-микроскопические исследования и изучение состава минералов проводились в пластинах на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact с энергодисперсионным анализатором Xploer 15 Oxford Instruments (ИГ УФИЦ РАН, Уфа). Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с использованием методики TrueQ. При съёмке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3—4 нА, время накопления спектра в точке — 60 секунд в режиме Point&ID.

Методом рентгенофлуоресцентного анализа в порошковых пробах определялся макроэлементный химический состав пород (спектрометр VRA-30, Carl Zeiss с рентгеновской трубкой с W-анодом (30—40 кВ, 40 мА) в ИГ УФИЦ РАН). Установлены содержания некоторых микроэлементов (Zn, Ni, Co, Cu, Pb, Cr, V, Sr, Rb, Zr, Ba), для большинства которых предел обнаружения составлял 0.001 мас. %.

Петрографическая характеристика пород

Габбро-долериты на макроуровне тёмно-зелёного цвета, присутствуют тёмные чешуйки хлорита. Породы обладают массивной текстурой. Ввиду карбонатизации при воздействии соляной кислоты начинают закипать. Местами видны кварцевые прожилки мощностью до 2 мм.

Были изучены две дайки — бельская и ирлинская. В целом по структурно-текстурным особенностям породы идентичны, за исключением некоторых особенностей. Так, зёрна минералов в габбро-долеритах и габбро ирлинской дайки имеют более крупные размеры, в породах наблюдаются участки с чётко выраженными идиоморфными лейстами плагиоклаза, размером фенокристаллов от 0.4 до 0.8 мм и с порфировидной структурой, минералы меньше затронуты наложенными процессами. Текстура пород — массивная, структура — порфировидная, офитовая (долеритовая) и габбровая (Андреева, 1985; Петрографический ..., 2009; Практическая ..., 2017).

Вторичные изменения затронули породы даек в достаточно сильной степени, так как темноцветные минералы (амфиболы и пироксены) были полностью замещены хлоритом (рипидолит и пикнохлорит). Интерференционные окраски хлорита весьма разнообразны — от фиолетового до тёмно-зелёного. Жилы кварца включают в себя мелкодисперсные сульфиды и магнетит. Породы подверглись карбонатизации. Акцессорные минералы представлены пиритом, халькопиритом, магнетитом, гематитом, рутилом, титанитом, апатитом, монацитом, цирконом, баритом и целестином.

Вмещающие породы представлены рассланцованными известняками катавской свиты верхнего рифея (RF₃kt), обладают нетипичными текстурно-структурными особенностями: окварцованы (на рис. 3, а хорошо виден результат окварцевания), хлоритизированы (в целом прослой хлорита распространены параллельно слоистости), по своему внешнему виду и текстуре

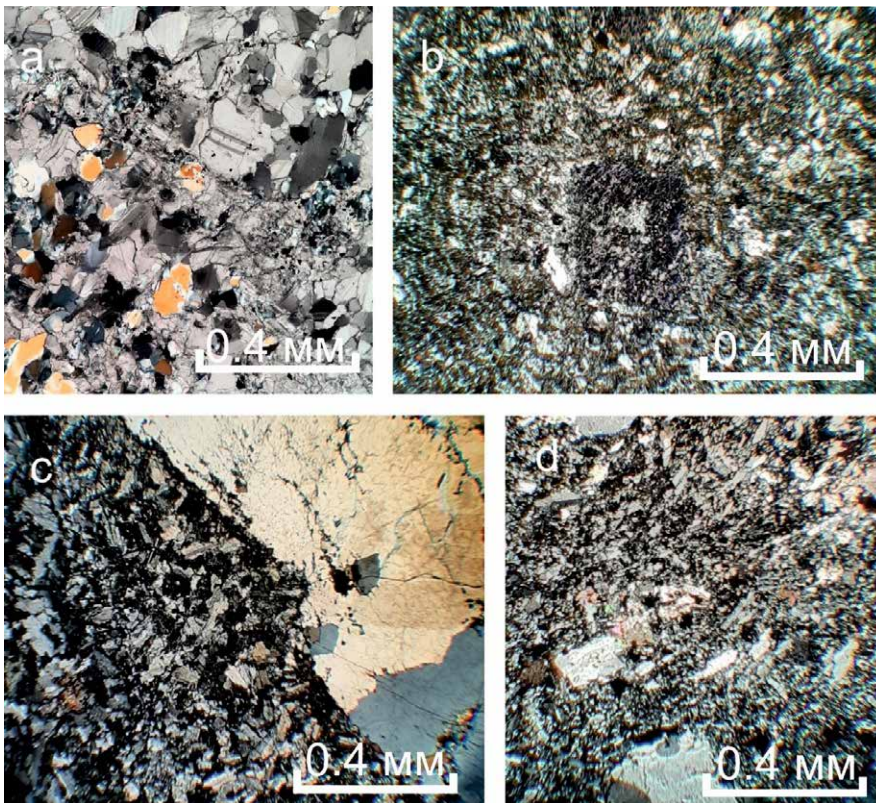


Рис. 3. Петрографические особенности габбро-долеритов криволукского комплекса с вмещающими породами (фото с анализатором): а — вмещающая порода — известняк катавской свиты; б — замещение темноцветного минерала хлоритом с фиолетовой интерференционной окраской; с — жила кварца в дайке; д — порфировидная структура в габбро-долерите, фенокристаллы представлены плагиоклазом

Fig. 3. Petrography features of gabbro-dolerites of Krivoluksky complex and their host rocks (photo with analyzer): a — the host rock — limestone of Katav formation; b — replacement of a dark-colored mineral with chlorite with a violet interference color; c — vein of quartz in dyke; d — porphyritic structure in gabbro-dolerite, phenocrysts are represented by plagioclase

очень сильно отличаются от пород стратотипа западного крыла Башкирского мегаантиклинория (Алексеев, 1981, 1984).

В отличие от пород петротипа урочища Кривая Лука, исследуемые габбро-долериты претерпели более сильные вторичные изменения. По данным предыдущих исследователей, в петрографических шлифах присутствуют зёрна клинопироксена и обломки оливина, в то время как в габбро-долеритах даек бельской и ирлинской мы наблюдаем абсолютно полное замещение темноцветных минералов хлоритом (Алексеев, 1981, 1984).

Минералогическая характеристика пород

Впервые методом электронной микроскопии получена информация по составу породообразующих и

акцессорных минералов из габбро-долеритов криволукского комплекса (рис. 4).

Плагиоклаз является одним из породообразующих минералов в габбро-долеритах. Он сохранил свою первичную структуру и представлен удлинёнными гипидиоморфными лейстами и таблитчатыми фенокристаллами. Плагиоклаз имеет следующий химический состав (мас. %): Na_2O — 10.58—11.90, Al_2O_3 — 19.40—21.36, SiO_2 — 66.28—70.99, CaO — 0.00—0.67, FeO — 0.00—0.69 (табл. 1). Исходя из данных химического анализа, плагиоклаз практически полностью альбитизирован.

Первичные темноцветные минералы (амфиболы и пироксены) нацело замещены хлоритом. Он образует сплошные массы и с окружающими минералами имеет неровные границы. Хлорит обладает

Таблица 1. Химический состав плагиоклаза (мас. %)
 Table 1. Chemical composition of plagioclase (wt. %)

№ п/п	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	CaO	FeO	Сумма / Total
1	11.17	20.51	70.99	0.00	0.21	102.89
2	11.34	20.68	69.35	0.00	0.21	101.57
3	11.31	20.42	69.30	0.15	0.15	101.34
4	11.11	20.14	69.58	0.67	0.00	101.49
5	11.19	20.78	68.86	0.60	0.26	101.68
6	10.58	21.36	67.50	0.27	0.49	100.20
7	11.31	20.78	68.43	0.53	0.21	101.25
8	11.90	19.46	66.28	0.00	0.68	98.32
9	11.74	19.49	66.90	0.00	0.69	98.83
10	11.77	19.40	66.66	0.00	0.45	98.28

Примечание: 1—7 — бельская дайка; 8—10 — ирлинская дайка.
 Note: 1—7 — Belskaya dyke; 8—10 — Irlinskaya dyke.

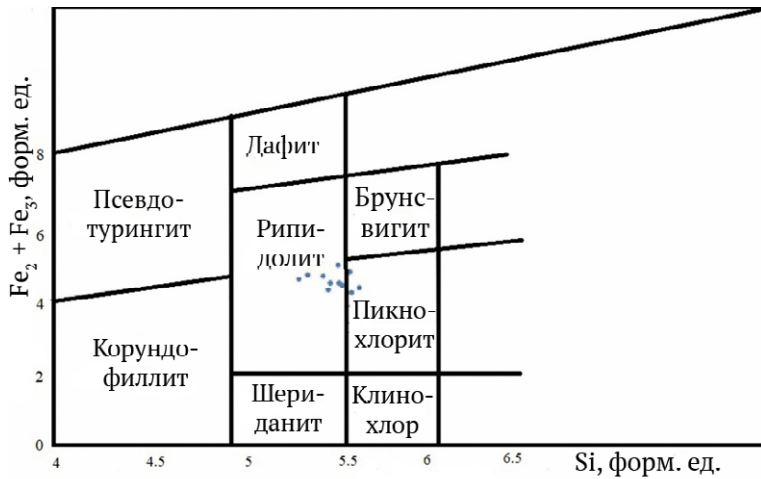


Рис. 4. Классификационная диаграмма состава хлорита из габбро-долеритов криволукского комплекса (Hey, 1954)

Fig. 4. Classification diagram of chlorite composition from gabbro-dolerites of Krivoluksky complex (Hey, 1954)

Таблица 2. Химический состав хлорита (мас. %)

Table 2. Chemical composition of chlorite (wt. %)

№ п/п	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	Сумма / Total
1	15.14	19.55	28.24	27.57	0.81	0.00	92.00
2	14.93	20.29	27.86	29.19	0.20	0.16	93.87
3	18.03	19.87	28.61	26.63	0.31	0.58	94.11
4	17.73	21.36	30.00	26.31	0.10	0.43	95.93
5	18.14	19.76	29.23	26.15	0.05	0.44	93.77
6	17.41	20.48	28.26	26.73	0.21	0.57	93.98
7	17.99	22.02	29.19	26.77	0.00	0.39	96.50
8	18.94	19.34	27.73	22.32	0.12	0.47	88.45
9	15.27	20.27	26.27	26.28	0.13	0.27	88.22
10	16.90	19.64	27.36	25.32	0.15	0.54	89.38
11	14.78	20.68	25.59	26.15	0.21	0.28	87.40
12	14.86	20.87	25.14	25.21	0.22	0.67	86.30
13	13.07	19.55	28.26	26.49	0.21	0.00	88.27
14	13.57	19.76	28.35	25.55	0.33	0.00	87.56
15	13.55	19.59	25.67	27.85	0.20	0.13	86.86

Формульные коэффициенты, O = 28 / Formula coefficients, O = 28

№ п/п	Mg	Al	Si	Fe ₂₊	Fe ₃₊	Mn	Сумма / Total
1	4.58	4.67	5.36	3.90	0.11	0.00	18.62
2	4.44	4.69	5.54	3.85	0.31	0.11	18.94
3	4.81	4.51	5.45	3.70	0.51	0.09	19.07
4	4.79	4.87	5.39	3.90	0.15	0.06	19.16
5	4.81	4.79	5.49	4.00	0.06	0.07	19.22
6	4.76	4.77	5.51	3.80	0.21	0.09	19.14
7	4.34	4.66	5.53	4.10	0.00	0.06	18.69
8	4.64	4.17	5.57	3.90	0.19	0.08	18.55
9	4.41	4.44	5.34	3.89	0.17	0.04	18.29
10	4.87	4.51	5.49	4.00	0.14	0.09	19.10
11	4.12	4.19	5.45	4.01	0.21	0.05	18.03
12	3.99	4.14	5.4	3.89	0.31	0.12	17.85
13	4.17	4.39	5.5	3.80	0.21	0.00	18.07
14	4.14	4.49	5.49	3.87	0.19	0.00	18.18
15	3.93	4.66	5.32	3.60	0.41	0.09	18.01

Примечание: количество Fe²⁺ и Fe³⁺ рассчитано по балансу зарядов.
 Note: quantity of Fe²⁺ and Fe³⁺ was counted by balance of charges.



следующим химическим составом (мас. %): MgO 13.07–18.14, Al₂O₃ 19.34–22.02, SiO₂ 25.14–30.00, FeO 22.44–29.39 (табл. 2). Формульные коэффициенты в таблице 2 рассчитаны с помощью кислородного метода.

На классификационной диаграмме состава хлоритов большая часть попадает в поле рипидолита и небольшая часть — в поле пикнохлорита (рис. 4). Согласно геотермическим вычислениям, рипидолит образовался при температуре 130–133 °С, а пикнохлорит — при температуре 133–138 °С (Lanari et al., 2014). Расчёты температуры образования хлорита проведены по формульным коэффициентам (табл. 2): $T(\text{Chlorite})(^{\circ}\text{C}) = (172341 / -R * (\ln)K - 315.49) - 273.15$, где R — универсальная газовая постоянная, равная 8.31451 Дж/моль*К. (ln)K — натуральный логарифм кон-

станты равновесия, который вычисляется по формульным коэффициентам и равен –13.50...–12.50 (Lanari et al., 2014).

Из сульфатов наиболее часто диагностируются барит и целестин (табл. 3), а также переходные разности между ними. Барит и целестин представлены отдельными ксеноморфными зёрнами, иногда образуют скопления размером до 0.12 мм. Являются вторичными минералами (рис. 5).

Из сульфидов развиты пирит и халькопирит (табл. 4). Пирит (Fe — 46.11–48.31 мас. %; S — 49.19–53.63 мас. %) обнаружен внутри магнетита. Среди зёрен пирита встречается мышьяковистая разновидность с содержанием As 2.51 мас. %. Халькопирит имеет следующий химический состав (мас. %): Cu — 31.49–32.19, Fe — 32.39–32.77, S — 35.32–35.74.

Таблица 3. Химический состав сульфатов (мас. %)

Table 3. Chemical composition of sulfates (wt. %)

№ п/п	BaO	SO ₃	SrO	Сумма / Total	Минерал / Mineral
1	64.30	34.96	0.00	99.26	барит / barite
2	66.99	35.46	0.00	102.45	барит / barite
3	65.64	30.99	2.13	98.76	барит / barite
4	65.74	33.61	1.93	101.28	барит / barite
5	10.05	45.62	47.78	103.45	целестин / celestine
6	18.98	43.67	40.56	103.22	целестин / celestine

Примечание: 1–6 — бельская дайка.

Note: 1–6 — Belskaya dyke.

Таблица 4. Химический состав сульфидов (мас. %)

Table 4. Chemical composition of sulfides (wt. %)

№ п/п	Al	Si	S	As	Ca	Ti	Fe	Cu	Сумма / Total	Минерал / Mineral
1	0.19	0.09	53.50	0.00	0.00	0.00	46.15	0.00	100.04	пирит / pyrite
2	0.15	0.10	53.62	0.00	0.00	0.00	46.14	0.00	100.01	пирит / pyrite
3	0.13	0.24	53.25	0.00	0.18	0.15	46.11	0.00	100.06	пирит / pyrite
4	0.14	0.00	53.63	0.00	0.00	0.00	46.24	0.00	100.01	пирит / pyrite
5	0.00	0.00	49.19	2.51	0.00	0.00	48.31	0.00	100.01	пирит / pyrite
6	0.00	0.00	35.74	0.00	0.00	0.00	32.77	31.49	100	халькопирит / chalcopyrite
7	0.00	0.00	35.32	0.00	0.00	0.00	32.39	32.19	99.9	халькопирит / chalcopyrite

Примечание: 1–4 — бельская дайка, 5–7 — ирлинская дайка.

Note: 1–4 — Belskaya dyke, 5–7 — Irlynskaya dyke.

Таблица 5. Химический состав монацита (мас. %)

Table 5. Chemical composition of monazite (wt. %)

№ п/п	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	FeO	CeO ₂	La ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Сумма / Total
1	0.00	0.00	29.79	1.60	0.00	38.68	19.83	3.29	11.97	105.16
2	0.00	0.58	30.25	1.29	0.00	34.60	17.45	3.46	12.34	99.97
3	0.26	0.56	31.42	2.03	0.00	32.72	16.06	3.46	11.37	97.88
4	0.42	0.64	30.04	0.88	0.81	35.62	18.01	3.38	11.38	101.18
5	0.94	0.72	30.16	1.26	0.90	35.62	18.25	3.80	12.71	104.36
6	0.00	0.00	29.63	2.15	0.66	33.28	14.24	3.29	13.13	96.38

Примечание: 1–5 — бельская дайка, 6 — ирлинская дайка.

Note: 1–5 Belskaya dyke, 6 — Irlynskaya dyke.



Фосфаты представлены апатитом и монацитом (табл. 5). Апатит развит в виде гипидиоморфных вытянутых игольчатых агрегатов. Он имеет следующий химический состав (мас. %): CaO — 49.29—55.25, P₂O₅ — 39.64—42.51, Cl — 0.00—0.28, F — 3.29—4.30. Монацит представлен ксеноморфными зёрнами и их сростками.

Кальцит является вторичным минералом и развит равномерно по всему объёму породы. Он образует массивные скопления и имеет следующий химический состав (мас. %): CaO — 54.00, CO₂ — 41.81. В кальците выявлены содержания примесей FeO (0.40 мас. %) и MnO (0.87 мас. %).

Кварц встречается в виде мелких и крупных (до 4 см) жил, секущих интрузивное тело. Содержит мелкодисперсные вкрапления пирита и магнетита. В химическом составе выявлено содержание примеси FeO (0.00—0.80 мас. %).

Магнетит присутствует в виде гипидиоморфных зёрен. В химическом составе выявлены содер-

жания примесей V₂O₅ (0.13—0.35 мас. %) и TiO₂ (0.12—1.55 мас. %).

Гематит широко распространён в виде ксеноморфных зёрен субизометричного и неправильного облика. В нем присутствуют примеси с содержанием CaO (0.00—0.74 мас. %) и SiO₂ (4.02 мас. %).

Наиболее распространенным среди рудных минералов является титанит. В породе он распределен равномерно. Титанит не имеет свойственных ему кристаллографических очертаний, зерна чаще субидиоморфного и неправильного облика. В химическом составе выявлено содержание примесей Al₂O₃ (0.00—0.65 мас. %) и FeO (0.12—0.55 мас. %).

Рутил представлен в виде вытянутых зёрен субидиоморфного облика, обладает резкими и чёткими границами с окружающими минералами. В его химическом составе отмечаются содержания примесей CaO (0.44 мас. %), SiO₂ (0.33 мас. %), FeO (0.22 мас. %), Al₂O₃ (0.29 мас. %).

Таблица 6. Содержание петрогенных компонентов (мас. %) и редких элементов (г/т) в породах криволукского комплекса

Table 6. Content of petrogenic components (wt. %) and trace elements (ppm) in the rocks of Krivoluksky complex

Element	№ образца / Sample No.											
	KG1	KG2	KG3	KG4	KG5	KG6	KG7	KG8	KL1	KL2	KL3	KL4
SiO ₂	47.7	47.81	47.49	48.68	48.95	47.95	49.06	49.07	44.51	44.87	43.99	44.12
TiO ₂	2.49	2.63	2.76	2.7	2.85	2.75	2.78	2.57	1.39	1.36	1.41	1.12
Al ₂ O ₃	14.05	14.76	14.16	15.98	13.96	14.72	14.08	15.03	16.84	16.91	16.71	17.41
FeO _t	11.87	10.07	10.85	9.06	10.19	10.53	11.51	10.61	11.11	10.55	11.89	10.93
MnO	0.14	0.16	0.22	0.21	0.22	0.21	0.23	0.16	0.17	0.21	0.15	0.11
MgO	7.78	7.6	7.46	7.03	6.76	6.8	6.05	7.55	8.68	8.67	8.93	8.91
CaO	5.19	5.83	4.98	5.01	5.9	5.78	5.42	5.59	7.21	7.23	7.51	7.88
Na ₂ O	4.02	4.35	4.45	3.62	3.41	3.41	3.45	3.75	3.86	4.02	3.01	3.31
K ₂ O	0.14	0.19	0.94	0.41	0.94	0.29	0.22	0.04	0.22	0.24	0.19	0.21
P ₂ O ₅	0.79	0.85	1.11	1.02	1.05	0.91	1.06	0.86	0.31	0.22	0.27	0.22
ППП / POI	6.01	6.13	5.21	6.17	6.11	6.22	6.05	5.09	6.05	6.12	6.01	6.01
Сумма / Total	100.18	100.38	99.63	99.89	100.34	99.57	99.91	100.32	100.35	100.4	100.07	100.23
Zn	90	86	75	76	73	84	95	90	101	127	71	100
Ni	68	66	99	51	51	59	32	69	160	111	125	112
Co	31	25	23	24	25	30	26	25	66	45	51	56
Cu	60	67	45	76	80	65	39	70	107	101	106	106
Pb	9	13	3	5	10	7	4	5	11	4	5	4
Cr	140	155	206	104	146	107	115	122	91	100	101	95
V	310	295	206	297	122	162	410	312	210	232	212	210
Y	15	13	14	14	14	13	16	11	13	13	13	14
Sr	472	464	488	569	471	362	370	461	400	412	390	250
Rb	62	72	22	63	32	41	42	45	51	59	63	63
Zr	141	119	81	123	134	123	159	97	120	113	123	110
Ba	380	472	389	378	469	283	371	365	320	380	431	400

Примечание: KG1—KG8 — бельская и ирлинская дайки, KL1—KL4 — породы криволукского петротипа. FeO_t — сумма железа.

Note: KG1—KG8 — Belskaya and Irlinskaya dykes, KL1—KL4 — rocks from Krivoluksky petrotype. FeO_t — amount of iron.

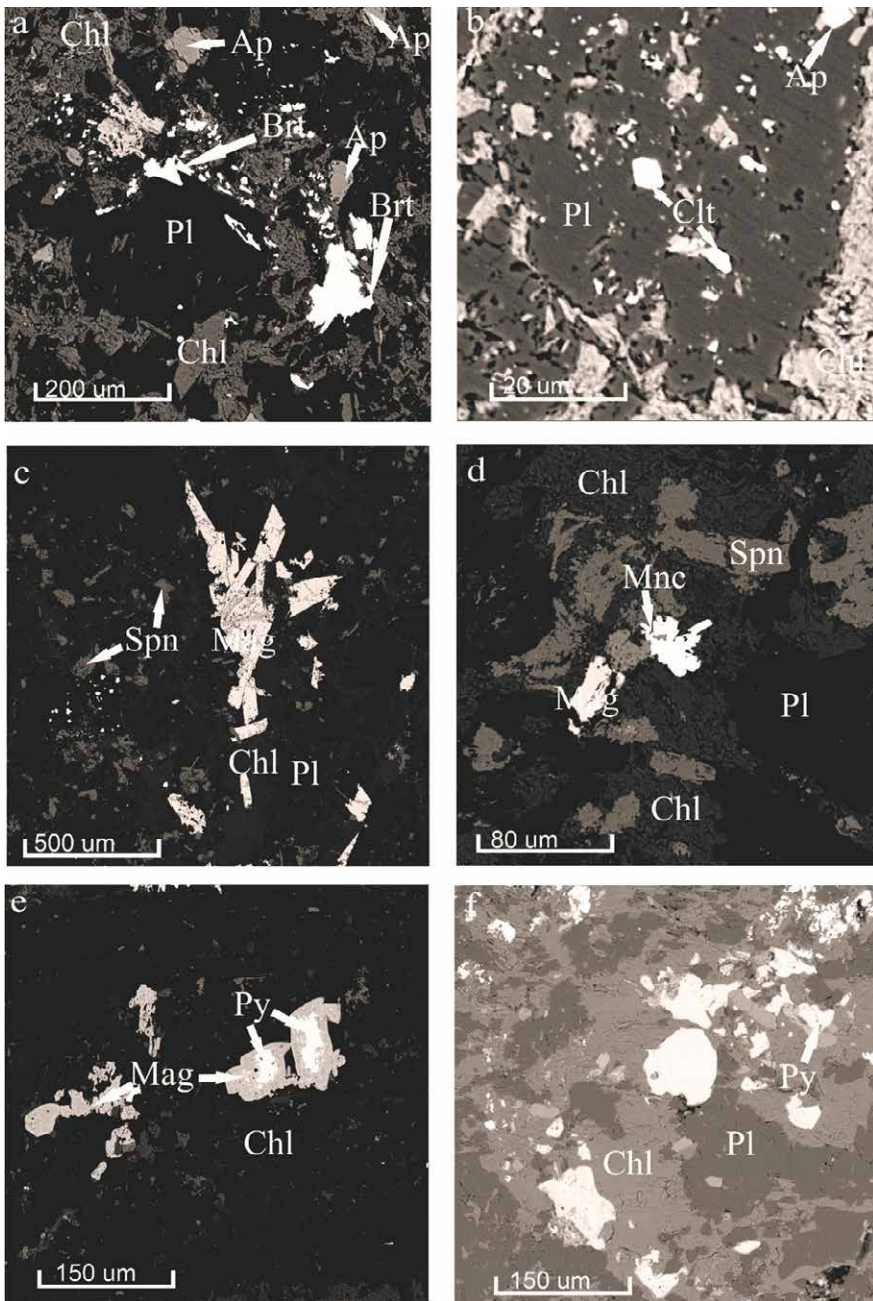


Рис. 5. Взаимоотношения минералов в габбро-долеритах криволукского комплекса. Фото в обратнорассеянных электронах

Условные обозначения: Chl — хлорит, Spn — титанит, Ap — апатит, Clt — целестин, Mnc — монацит, Pl — плагиоклаз, Py — пирит, Mag — магнетит, Hem — гематит, Brt — барит

Fig. 5. Relationships between minerals in gabbro-dolerites of the Krivoluksky complex. Photo in backscattered electrons

Legend: Chl — chlorite; Spn — titanite; Ap — apatite; Clt — Celestine; Mnc — monazite; Pl — plagioclase; Py — pyrite; Mag — magnetite; Hem — hematite; Brt — barite

Из акцессорных минералов присутствует циркон. Он образует мелкие ксеноморфные зёрна и находится в ассоциации с хлоритом и титанитом.

Петрохимическая характеристика пород

Петрохимическими особенностями пород петротипа являются: низкая кремнезёмистость, умеренная глинозёмистость, титанистость и магнизиальность, пониженная железистость и несколько повышенная щёлочность. Несмотря на вторичные изменения, отмеченные выше петрохимические черты выдержаны и отражают первичные особенности пород рассматриваемого комплекса (Алексеев, 1981, 1984).

Габбро-долериты у с. Кага характеризуются повышенной кремнезёмистостью (46—49 мас. %) и щёлочностью $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (3.67—5.35 мас. %), высокой титанистостью (2.49—2.85 мас. %) (рис. 7), низкой и умеренной глинозёмистостью (13.96—15.98 мас. %)

(рис. 8), повышенным содержанием P_2O_5 (0.79—1.11 мас. %) (табл. 6).

Для интерпретации палеогеодинамических обстановок формирования габбро-долеритов криволукского комплекса были использованы две диаграммы, построенные по породообразующим элементам и микроэлементам. Первая диаграмма — соотношение Zr/Y и $\text{Zr}(\text{ppm})$, вторая диаграмма — соотношение $\text{TiO}_2(\text{мас. \%})$ и $\text{Zr}(\text{ppm})$ (Pearce..., 1979). Фигуративные точки пород комплекса целиком попали в поле WPB (within-plate basalts) — внутриконтинентальных базальтов (Pearce ..., 1979).

Содержания микроэлементов (Zn, Ni, Co, Cu, Pb, Cr, V, Y, Sr, Rb, Zr, Ba) эквивалентны кларкам этих микроэлементов в континентальных базальтах и долеритах (Marsh, 1987). Это наталкивает на противоречие: с одной стороны, породы комплекса довольно сильно изменены и испытали гидротермальное воздействие, как результат — несильно повышенные содержания

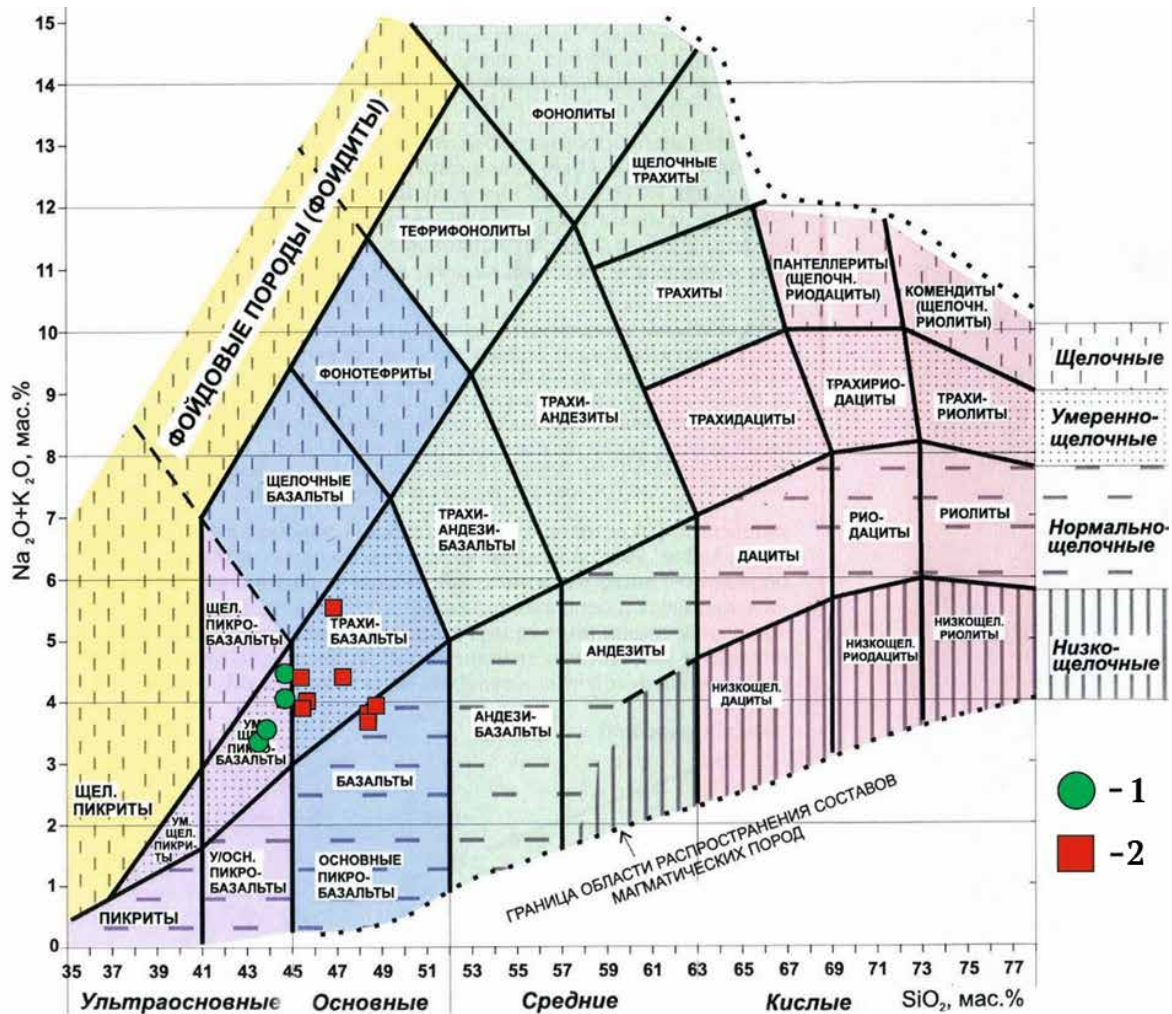


Рис. 6. TAS-диаграмма для пород криволукского комплекса (Петрографический..., 2009): 1 — породы петротипа, 2 — породы бельской и ирлинской даек

Fig. 6. TAS-diagram for rocks of Krivoluksky complex (Петрографический..., 2009): 1 — rocks of petrotype, 2 — Belskaya and Irlinskaya dykes

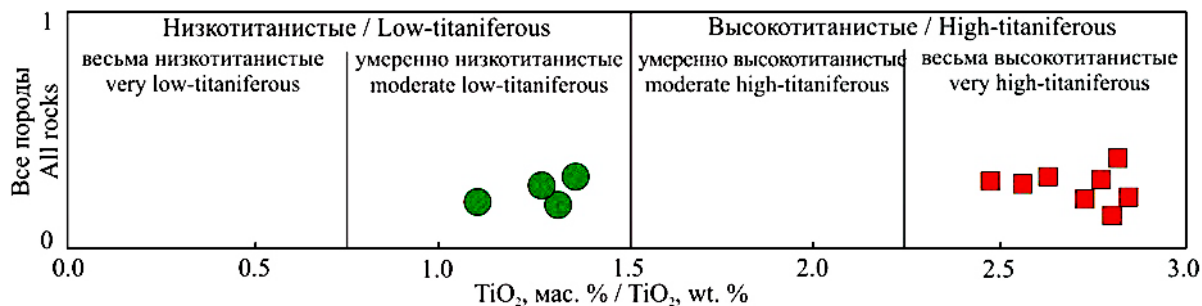


Рис. 7. Диаграмма для определения титанистости. Условные обозначения — на рис. 6 (Практическая ..., 2017)

Fig. 7. Diagram for determining the titanium content. Legend in Fig. 6 (Практическая..., 2017)

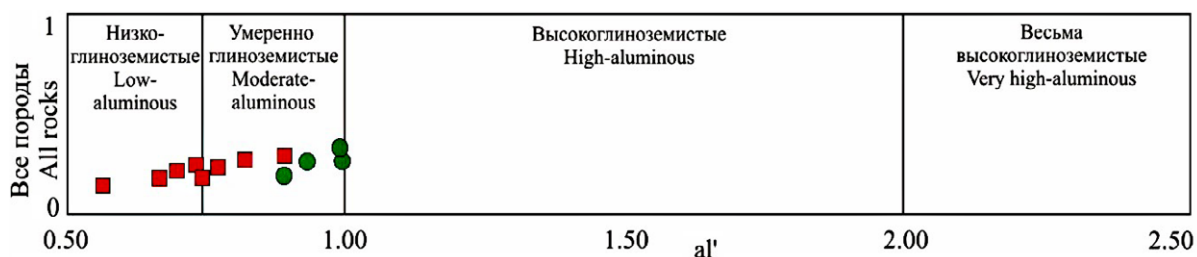


Рис. 8. Диаграмма для определения глинозёмистости. Условные обозначения — на рис. 6 (Практическая..., 2017). Примечание: $a_1' = Al_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO + MgO)$

Fig. 8. Diagram for determining the alumina content. Legend in Fig. 6 (Практическая..., 2017). Note: $a_1' = Al_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO + MgO)$



стронция и бария относительно кларка для данного типа пород, с другой — кларки других элементов практически идентичны неизменённым породам континентальной рифтогенной формации.

Обсуждение результатов

Проведенные детальные минералогические, петрографические и петрохимические исследования ранневендских габбро-долеритов бельской и ирлинской даек криволукского комплекса показали, что породы претерпели низкотемпературные изменения, вследствие которых темноцветные породообразующие минералы (амфиболы и пироксены) нацело заместились хлоритом. В габбро-долеритах отмечается повышенное содержание сульфатов стронция и бария. Следует отметить, что в юго-восточной части Башкирского мегаантиклинория повсеместно распространено множество точек минерализации, которые связаны с гидротермальными растворами, содержащими барий и стронций.

На диаграмме AFM точки составов долеритов криволукского комплекса тяготеют к линии, разделяющей породы толеитовой и известково-щелочной серий.

На рис. 10 отчетливо видно, что, во-первых, присутствует тренд, а во-вторых, точки удалены от линии, разделяющей известково-щелочную и толеитовую серии, в отличие от диаграммы AFM на рис. 9. Наряду с альбитизацией плагиоклаза удалённость от линии, разделяющей толеитовую и известково-щелочную серии, свидетельствует о том, что натрий является привнесённым элементом.

Габбро-долериты северной части криволукского комплекса у с. Кага и урочища Кривая Лука сформировались в единой геодинамической обстановке внутриконтинентального растяжения в венде, однако у них есть некоторые петрохимические различия. На диаграмме TAS (рис. 6) и на диаграмме рис. 10 прослеживается тренд дифференциации, что, скорее всего, связано с единым магматическим очагом для пород описываемых даек. Разное содержание элементов (TiO_2 , MgO , Al_2O_3 , сумма оксидов железа) также может быть связано с процессами дифференциации.

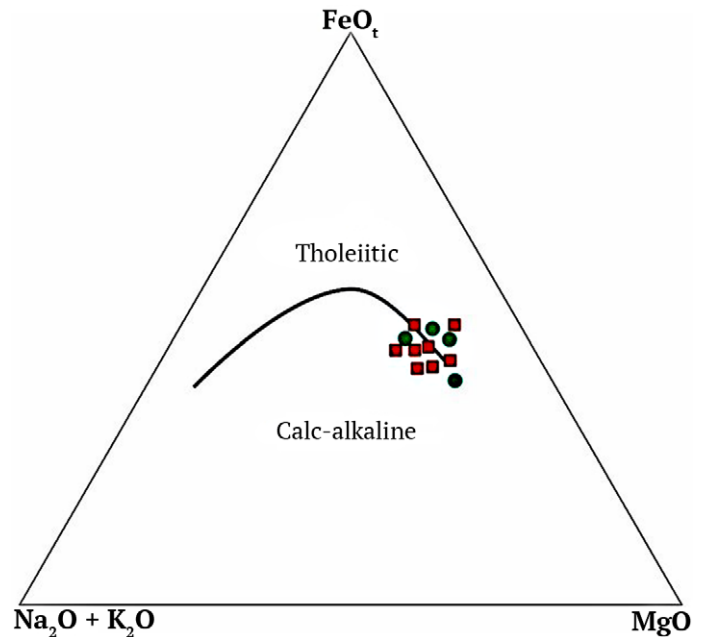


Рис. 9. Диаграмма AFM. Условные обозначения — на рис. 6 (Практическая..., 2017)

Fig. 9. AFM diagram. Legend — in Fig. 6 (Prakticheskaya..., 2017)

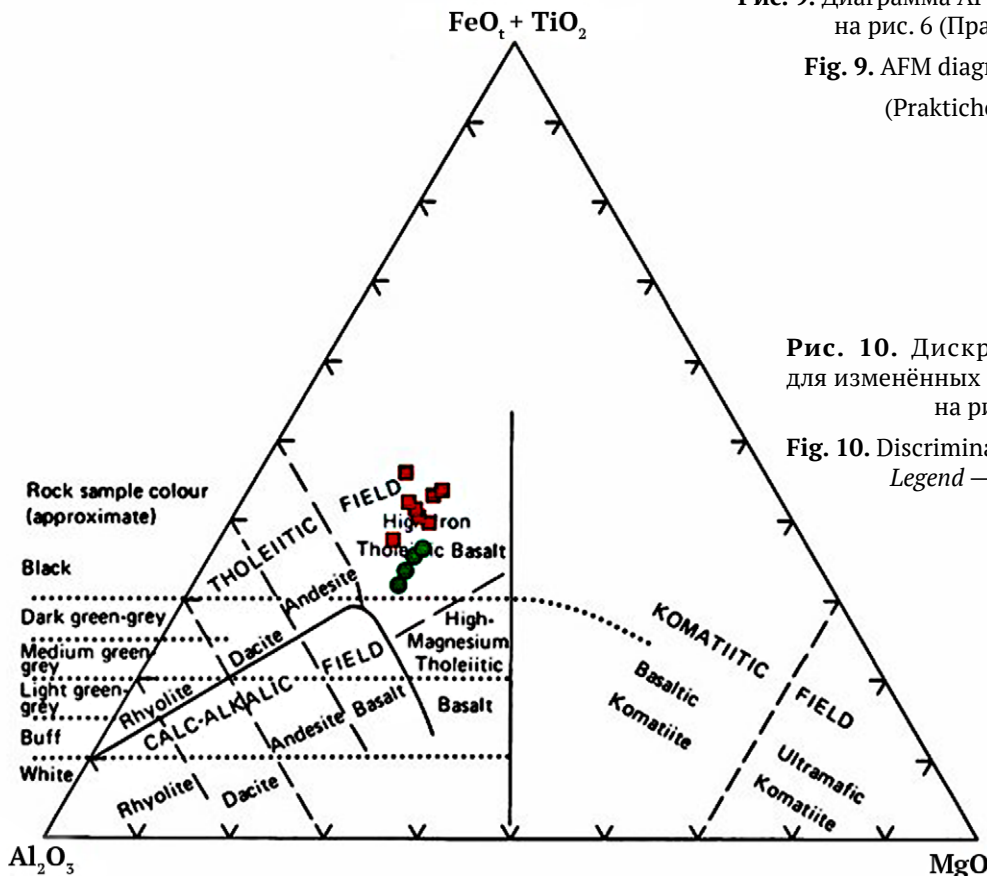


Рис. 10. Дискриминационная диаграмма для изменённых пород. Условные обозначения — на рис. 6 (Jensen, 1976)

Fig. 10. Discrimination diagram for altered rocks. Legend — in Fig. 6 (Jensen, 1976)



Недалеко от изученных даек, ниже по течению р. Ирля, находится отработанная россыпь, откуда добыли 5 кг золота мускульным способом. Можно предположить, что источником золота для россыпи были эти интрузивные тела, что требует более детальных исследований в будущем (Ларионов и др., 1985).

Выводы

Проведенные детальные минералогические, петрографические и петрохимические исследования ранневендских габбро-долеритов бельской и ирлинской даек криволукского комплекса показали, что породы претерпели низкотемпературные изменения, вследствие чего темноцветные породообразующие минералы (амфиболы и пироксены) нацело заместились хлоритом, образование которого происходило при температуре 130–138°. Помимо этого, вторичные изменения затронули и плагиоклаз, в результате чего произошла его полная альбитизация. С точки зрения петрографии породы урочища схожи с породами вышеуказанных даек.

Различия в содержаниях петрогенных оксидов (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , MgO) на первый взгляд могут указывать на иную природу бельской и ирлинской даек, однако при построении диаграмм везде отчетливо виден тренд, что указывает на дифференциацию. Исключение составляют содержания TiO_2 и P_2O_5 , где тренда не наблюдается. В породах комплекса отмечается различие в содержании микроэлементов: количество меди в габбро-долеритах у с. Кага в среднем ниже, а содержания хрома и циркония несколько выше, чем в породах петротипа. Схожее содержание стронция и бария в изучаемых породах у с. Кага и петротипа указывает на гидротермальное воздействие на постмагматическом этапе. Изучаемые и сравниваемые габбро-долериты имеют разное геологическое положение: породы петротипа залегают субсогласно и прорывают криволукскую свиту венда, а бельская и ирлинская дайки — исключительно в пределах катавской свиты верхнего рифея. В итоге мы имеем противоречивую ситуацию: тренды дифференциации, петрографические особенности и содержания микроэлементов свидетельствуют о том, что габбро-долериты у с. Кага относятся к криволукскому комплексу, а геологическое положение тел и кратные различия в содержании TiO_2 и P_2O_5 ставят под большое сомнение приуроченность исследуемых тел к комплексу.

Работа выполнена в рамках госзадания ИГ УФИЦ РАН (тема № FMRS-2022-0012).

Литература / References

1. Алексеев А. А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 1984. 136 с.

Alekseev A. A. *Rifeysko-venedkiy magmatizm zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala* (Riphean-Vendian magmatism of the western slope of the Southern Urals). Moscow: Nauka, 1984, 82 p.

2. Алексеев А. А., Алексеева Г. В. Рифейско-палеозойские магматические формации, метаморфизм и эндогенное оруденение западного склона Южного Урала

// Условия формирования и метаморфизм магматогенных комплексов Южного Урала: Научный отчет. Уфа: ИГ БФ АН СССР, 1981. Том 1. 115 с.

Alekseev A. A., Alekseeva G. V. *Rifeysko-paleozoyskie magmaticheskie formatsii, metamorphism i endogennoe orudnenie zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala/ Nauchnyi otchet "Usloviya formirovaniya i metamorphism magmatogennykh kompleksov Yuzhnogo Urala* (Riphean-Paleozoic igneous formations, metamorphism and endogenous mineralization of the western slope of the Southern Urals / Scientific report "Formation conditions and metamorphism of igneous complexes of the Southern Urals). Volume 1. Ufa: IG BG AS USSR, 1981, 115 p.

3. Андреева Е. Д., Богатилов О. А. и др. Магматические горные породы. М.: Наука, 1985. Т. 3. 10–35 с.

Andreeva E. D., Bogatnikov O. A. et al. *Magmaticheskie gornye poroda* (Igneous rocks). V. 3, Moscow: Nauka, 1985, 10–35 p.

4. Князев Ю. Г., Князева О. Ю., Сначев В. И., Жданов А. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-40 — Уфа. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 70 с.

Knyazev Y. G., Knyazeva O. Y., Snachev V. I., Zhdanov A. V. et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Ural series. Sheet N-40 — Ufa. Explanatory note. St. Petersburg: VSEGEI Map factory, 2013, 70 p.

5. Ларионов Н. Н., Бергазов И. Р. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII — Тузан. Объяснительная записка. — М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 56 с.

Larionov N. N., Bergazov I. R. et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000. Second edition. Series South Ural. Sheet N-40-XXII - Toucan. Explanatory note. Moscow: MF VSEGEI, 2015, 56 p.

6. Ларионов Н. Н., Рудниченко В. П., Быкова Л. С. и др. Отчет о геологическом доизучении в масштабе 1 : 50 000 по объекту «Авзянская площадь» 1979-85 гг. Уфа: ТГФ РБ, 1985.

Larionov N. N., Rudnichenko V. P., Bykova L. S. et al. *Otchet o geologicheskom doizuchenii v mashtabe 1 : 50 000 po objektu "Avzyanskaya ploschad"* (Report on additional geological study on the scale of 1 : 50 000 on the object "Avzyanskaya area" 1979-85). Ufa: TGF RB, 1985, 59 p.

7. Петрографический кодекс России: Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / Под ред. О. А. Богатикова, О. В. Петрова, А. Ф. Морозова; отв. ред. Л. В. Шарпенюк. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.

Petrograficheskiy kodeks Rossii: Magmaticheskiye, metamorficheskiye, metasomaticheskiye, impaktnyye obrazovaniya (Petrographic Code of Russia: Igneous, Metamorphic, Metasomatic, Impact Formations). Eds. O. A. Bogatikova, O. V. Petrova, A. F. Morozov; resp. ed. L. V. Sharpenok, 3rd ed., Rev. and additional. St. Petersburg: VSEGEI, 2009, 200 p.

8. Практическая петрология: методические рекомендации по изучению магматических образований при-



менительно к задачам госгеолкарт. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2017. 16 с.

Prakticheskaya petrologiya: metodicheskiye rekomendatsii po izucheniyu magmaticheskikh obrazovaniy primenitel'no k zadacham gosgeolkart (Practical petrology: guidelines for the study of igneous formations in relation to the tasks of state geolmaps). St. Petersburg: VSEGEI Publishing House, 2017, 168 p.

9. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология // Тр. ГИН АН СССР; вып. 377. М.: Наука, 1983. 183 с.

Stratotip rifeya. Stratigraphiya. Geochronologiya (Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology). GIN AS USSR, 377, Moscow: Nauka, 1983, 183 p.

10. Hey M. H. A new review of the chlorites // Min. Mag, 1954. V. 30. P. 277–292.

11. Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Miscellaneous, Ontario Department of Mines, 1976, 22 p.

12. Lanari P., Wagner T., Vidal O. A thermodynamic model for ditrioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system MgO–FeO–Al₂O₃–SiO₂–H₂O: applications to P–T sections and geothermometry. Contributions to Mineralogy and Petrology, vol. 167, 2014, pp. 268–287.

13. Marsh S. Basalt geochemistry and tectonic discrimination within continental flood basalt provinces. Journal of volcanology and geothermal research, volume 32, Issues 1–3, 1987, pp. 35–49.

14. Pearce and Norry. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks. Contrib. Mineral. Petrol. 69, 1979, 37 p.

Поступила в редакцию / Received 14.10.2022



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.42

DOI:10.19110/geov.2023.1.5

Особенности накопления и миграции техногенных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в тундровых ландшафтах Российской Арктики (на примере бассейна реки Несь, Канинская тундра)

А. В. Пучков, Е. Ю. Яковлев

ФИЦ комплексного изучения Арктики им. Н. П. Лавёрова УрО РАН, Архангельск
andrey.puchkov@fciarctic.ru; evgeny.yakovlev@fciarctic.ru

В данной статье представлены результаты исследований латерального и вертикального распределения техногенных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в торфах и почвах тундровой территории Ненецкого автономного округа на примере бассейна реки Несь (Канинская тундра). Отмечаются повышенные уровни плотности загрязнения Cs-137 и Sr-90 территории изучаемого бассейна по сравнению с литературными данными. Такие аномалии связаны с мозаичным характером латерального распределения радионуклидов, обусловленным геоморфологическими особенностями территории. Результаты расчета изотопных отношений двух радионуклидов показали, что основным источником загрязнения могут быть глобальные атмосферные выпадения.

Ключевые слова: Арктика, техногенная радиоактивность, Cs-137, Sr-90, миграция, геоморфология.

Features of accumulation and migration of technogenic radionuclides Cs-137 and Sr-90 in the tundra landscapes of the Russian Arctic (evidence from the Nes river basin, Kanin tundra)

A. V. Puchkov, E. Yu. Yakovlev

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the UB RAS

This article presents the results of studies of the lateral and vertical distribution of technogenic radionuclides Cs-137 and Sr-90 in peat and soils of the tundra territory of the Nenets Autonomous Okrug on the example of the Nes River basin (Kanin tundra). There are high levels of pollution density of Cs-137 and Sr-90 in the territory of the studied basin in comparison with the literature data. Such anomalies are associated with the mosaic nature of the lateral distribution of radionuclides, due to the geomorphological features of the territory. The results of calculating the isotopic ratios of two radionuclides showed that the main source of pollution can be global atmospheric fallout.

Keywords: Arctic, technogenic radioactivity, Cs-137, Sr-90, migration, geomorphology.

Арктические территории Российской Федерации, к которым относятся и северо-западные тундровые регионы, с начала 1950-х годов подверглись техногенному радиоактивному загрязнению. Основными его источниками стали выпадения после проведения ядерных испытаний, в том числе на архипелаге Новая Земля, загрязнения от западноевропейских радиохимических заводов, последствия ядерных катастроф (аварии на Чернобыльской и Фукусимской АЭС) (Łokas, 2013; Matishov, 2014).

Не менее значимое дополнение в техногенное радиоактивное загрязнение могут вносить отрасль атомного судостроения и судоремонта в Северодвинске, Мурманске, Снежногорске и т. д., базы надводных и подводных кораблей с транспортными ядерно-энергетическими установками Северного флота ВМФ России,

а также деятельность по обращению с радиоактивными отходами (И'ин, 2017).

Отдельные объекты «ядерного наследия» до сих пор являются радиационно-опасными с точки зрения содержания техногенных радионуклидов. К таким объектам относятся затопленные контейнеры, конструкции и блоки с радиоактивными отходами, реакторные отсеки и атомные подводные лодки. Дополнительно к этому перечню необходимо добавить и ядерные взрывы, произведенные в мирных целях для народного хозяйства (Мики, 2017). В Северо-Западном секторе РФ «мирные» ядерные взрывы проводились в Мурманской, Архангельской областях, Республике Коми и Ненецком автономном округе. Одним из самых мощных был мирный ядерный взрыв под кодовым названием «Пирит», осуществленный в 1981 году для остановки процесса

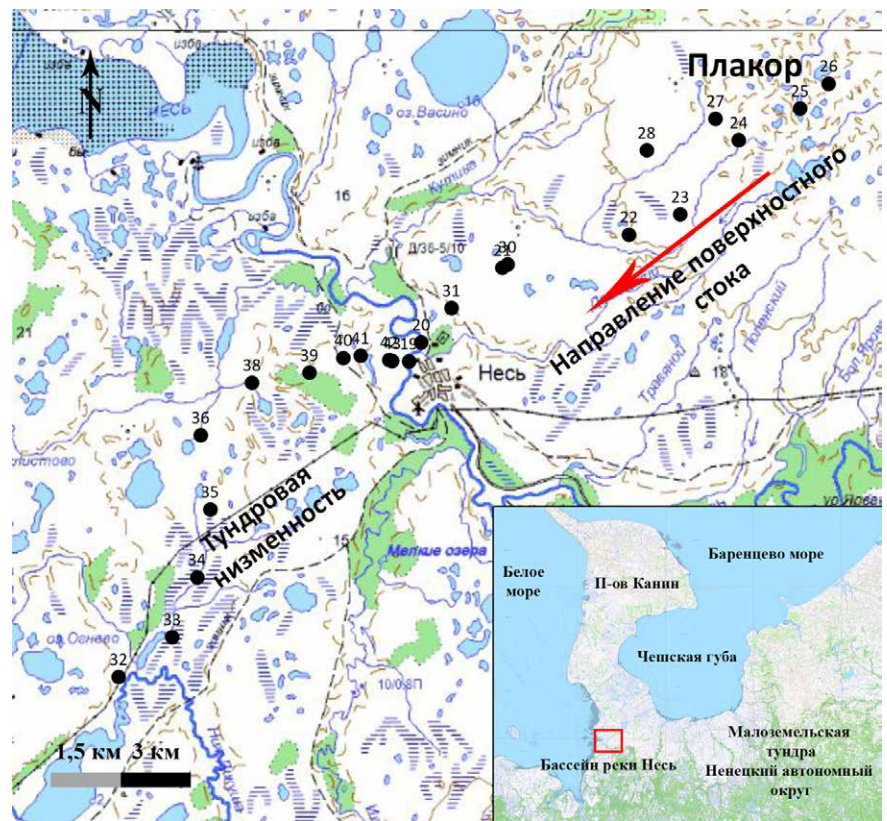
Для цитирования: Пучков А. В., Яковлев Е. Ю. Особенности накопления и миграции техногенных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в тундровых ландшафтах Российской Арктики (на примере бассейна реки Несь, Канинская тундра) // Вестник геонаук. 2023. 1(337). С. 42–51. DOI: 10.19110/geov.2023.1.5

For citation: Puchkov A. V., Yakovlev E. Yu. Features of accumulation and migration of technogenic radionuclides Cs-137 and Sr-90 in the tundra landscapes of the Russian Arctic (evidence from the Nes river basin, Kanin tundra). Vestnik of Geosciences. 2023, 1(337), pp. 42–51, doi: 10.19110/geov.2023.1.5



Рис. 1. Схема профиля отбора проб почвы и торфа в бассейне реки Несь

Fig. 1. Scheme of soil and peat sampling profile in the Nes River basin



неконтролируемого фонтанирования газа из скважины К-9 Кумжинского газоконденсатного месторождения в дельте реки Печоры Ненецкого автономного округа (Богоявленский, 2017).

Такое разнообразие и значительное количество ядерно- и радиационно-опасных объектов обуславливает несомненную актуальность проведения радиологических исследований на территориях северо-западного сектора Русской Арктики. Среди таких территорий тундровые регионы выделяются своей слабой изученностью в связи с их труднодоступностью и суровым климатом. Ранее проведенные исследования гидробионтов в реках Канинской и Малоземельской тундр выявили наличие искусственных радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в рыбе из реки Несь, тогда как в остальных реках (Северная Двина, Ви́жас, Ома, Пеша, Мезень, Печора) искусственной радиоактивности не было обнаружено (удельные активности радионуклидов ниже порога чувствительности радиометрической и спектрометрической аппаратуры) (Пучков, 2020).

В связи с вышеуказанным целью данной работы является установление уровней и источников радиоактивного загрязнения территории бассейна реки Несь, а также особенностей накопления и миграции радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в объектах окружающей среды.

Область и методы исследований

Исследования проводились в рамках экспедиционных работ в июне 2022 года на территории бассейна реки Несь. В общей сложности было отобрано 40 проб торфа и 6 проб почвы по профилю общей длиной около 20 км, расположенному перпендикулярно руслу реки от равнинных торфяных болот на юго-западе до локального водораздела на северо-востоке. Почва представлена оторфованным органомным горизонтом мощностью до 8 см, а также элювиальным и ил-

лювиальным горизонтами (в настоящей статье данные горизонты не разделялись по причине того, что в них содержание радионуклидов сводится к минимальным значениям вплоть до пороговых уровней). В каждой пробе были измерены следующие радиационные параметры: удельная активность и плотность загрязнения радионуклидом Cs-137, удельная активность и плотность загрязнения радионуклидом Sr-90, изотопное отношение Sr-90/Cs-137, изотопное отношение Cs-137_{горизонт 10–20 см} / Cs-137_{горизонт 0–10 см}, изотопное отношение Sr-90_{горизонт 10–20 см} / Sr-90_{горизонт 0–10 см}. Схема профиля отбора приведена на рисунке 1. Угловые координаты участка следующие: N66°30'55.9969" E44°28'13.8301", N66°40'45.7128" E44°28'53.3809", N66°40'45.7128" E44°54'08.6702", N66°31'08.8155" E44°54'13.6140".

По таксономическому почвенно-географическому районированию почвы западной части Ненецкого автономного округа относятся к Евроазиатской полярной области Канинско-Печорской провинции. Согласно атласу (Национальный..., 2011), в долине р. Несь распространены подзолы частично в комплексе с торфянисто-подзолистыми иллювиально-гумусовыми почвами. На юге района исследований встречаются глееподзолистые и торфянисто-подзолисто-глеевые почвы. Многочисленны болотные верховые торфяные в комплексе с тундровыми мерзлотными остаточноторфяными почвами. Зачастую в таких почвах органомный горизонт, состоящий из живого мохового покрова и растительных остатков разной степени разложения, маломощный. Под ним лежит минеральная оглееная толща, в верхней части которой выделяется буровато-сизый бесструктурный горизонт, сменяемый голубовато-сизым тиксотропным глеевым горизонтом (Национальный..., 2011). Такая морфологическая структура обуславливает связывание Cs-137 в органомном слое, зачастую не превышающем 5–8 см,

и не позволяет радионуклиду мигрировать вертикально по профилю. Этот факт подтверждается и другими исследователями (Коноплев, 2016; Леухин, 2021). Так, согласно А. В. Баженову*, по степени удерживаемости Cs-137 в почвенном слое 0–10 см составлен следующий ряд: подзолистые (90–99 %) — аллювиальные луговые суглинистые (97 %) — серые лесные подзолистые (90 %) — черноземно-луговые (70–86 %), дерново-подзолистые (61–76 %), красные, солончаковые (75 %) — почвы с песчаным составом (автоморфного типа) (62 %) — пойменные почвы (30–70 %) — торфяно-болотные, торфянисто-болотные (15–22 %) — пахотные почвы (15 %).

Пробы почвы и торфа отбирались предварительно зачищенной острой лопатой на участке площадью 20 x 20 см по горизонтам 0–10 см и 10–20 см. Пробоподготовка, радиохимическая подготовка и измерения проб проводились на базе лаборатории экологической радиологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики в Архангельске. Часть измерений осуществлялось на базе радиометрической лаборатории отдела ядерной и радиационной безопасности АО «ЦС «Звездочка» в Северодвинске (лаборатория аккредитована в области проведения радиационных измерений, аттестат аккредитации RA.RU.21AD95). Отобранные пробы были высушены в сушильном шкафу BINDER E28 при температуре 105 °С. После этого пробы почвы и торфа озолялись при температуре не выше 400 °С во избежание потери радионуклидов.

Активность радионуклида Cs-137 определялась на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (США) с коаксиального детектора GEM40 из особо чистого германия (HPGe) с программным обеспечением SpectraLine (Методика..., 2022). Разрешение гамма-спектрометра по линии 1.33 МэВ (Co-60) составляло 1.75 кэВ, относительная эффективность 43 %. В качестве рабочей геометрии для измерений были выбраны пластиковые стаканы разного объема. Время измерения выбиралось в диапазоне от 2 до 5 часов в зависимости от интегральной загрузки детектора и таким образом, чтобы неопределенность площади фотопика 661 кэВ не превышала 5 %. Активность радионуклида Cs-137 определяли по гамма-линии 661.66 с квантовым выходом 89.90 %.

Активность радионуклида Sr-90 определяли по его дочернему продукту распада Y-90 (Методика..., 2013). Расчет удельной активности Sr-90 после измерения радиохимически выделенного Y-90 проводили по следующей формуле:

$$A_{Sr90} = \frac{N_s - N_b}{Eff \times M \times ChLos \times K_{abs}},$$

где A_{Sr90} — удельная активность Sr-90 в пробе,

*Баженов А. В. Цезий-137 в почвах Архангельской области: специальность 25.00.36 «геоэкология (по отраслям)»: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Архангельск, 2001. 23 с. URL: <http://fciactic.ru/asp/ref/3.pdf>

Bazhenov A. V. Tsezii-137 v pochvakh Arkhangel'skoi oblasti (Cesium-137 in the soils of the Arkhangelsk region). Speciality 25.00.36 "Geoecology (by branches)". Extended dissertation abstract. Arkhangelsk, 2001, 23 p. URL: <http://fciactic.ru/asp/ref/3.pdf>

Бк/кг; N_s — скорость счета пробы на радиометре, имп/с; N_b — скорость счета фона на радиометре, имп/с; Eff — показатель эффективности радиометра по энергии бета-излучения Y-90 ($E = 2260$ кэВ), %; M — масса счетной пробы, кг; $ChLos$ — радиохимический выход Y-90, %; K_{abs} — коэффициент поглощения бета-излучения, %. После радиохимической подготовки Sr-90 определяли с помощью альфа-бета-радиометра РКС-01 «Абелия» (НТЦ «Амплитуда», Россия) и 10-канального альфа-бета-радиометра LB 770 (Berthold Technologies GmbH & Co. KG, Германия).

Плотность загрязнения радионуклидами Cs-137 и Sr-90 определяли с учетом площади отбора и общей массы пробы. Плотность загрязнения приведена на 1 км².

Применяемое оборудование является средствами измерения утвержденного типа (сведения внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерения) и ежегодно проходят метрологическую поверку.

Результаты и обсуждения

Для понимания характера распределения значений радиационных параметров был построен высотный профиль по маршруту отбора проб. Для этого исследуемый участок был оцифрован с применением свободно распространяемой геоинформационной системы QGIS. На рисунке 2 приведен фрагмент снимка модели рельефа с отмеченным красной линией профилем отбора проб.

С использованием инструментов геоинформационной системы QGIS был получен график профиля рельефа, представленный далее на рисунках с результатами оценки радиационных параметров почв и торфа. На высотном профиле четко выделяются основные формы мезорельефа: тундровая низменность (зона аккумуляции), холм, склон (зона транзита), плакор. Почти во всех точках были отобраны пробы торфа. В нескольких точках (19, 20, 38, 39, 40, 43, см. рис. 1) на холмистом участке, а также в районе поймы реки были отобраны пробы почвы, имеющие маломощный органический слой (не более 5–8 см). В данной работе тип торфяных отложений и почвы, а также их физико-химические характеристики не учитывались при оценке накопления и миграции радионуклидов.

Результаты измерений и расчетов радиационных параметров исследованных проб торфа и почв приведены в табл. 1.

На рисунках 3–7 представлены графики изменения плотности загрязнения Cs-137 и Sr-90 по профилю отбора проб торфа и почв. Характер распределения содержания Cs-137 (рис. 3) и Sr-90 (рис. 4) в пробах по профилю отбора во многом схож. Отмечается существенная разница между плотностью загрязнения Cs-137 и Sr-90 на склоне, в зоне плакора и территории тундровой низменности. Данный факт обусловлен более существенной латеральной миграцией и плоскостным смывом поверхностным стоком радионуклидов по склону из зоны плакора, тогда как в зоне тундровой низменности радионуклиды аккумулируются в торфе и почве, где подтверждены в основном вертикальной миграции.

Согласно атласу (Национальный..., 2011), в западной части Ненецкого автономного округа на изучаемой территории плотность загрязнения Cs-137 в пе-

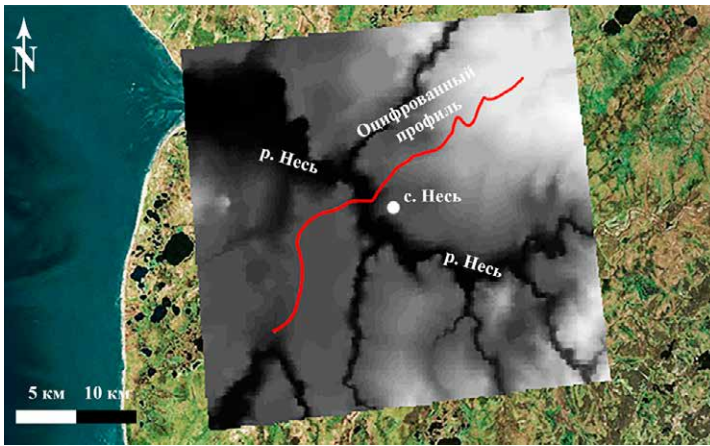


Рис. 2. Модель рельефа бассейна реки Несь (фрагмент снимка)

Fig. 2. The elevation model of the Nes River basin (fragment of the shot)

решете на 1986 год составляет менее 0.1 Кюри/кв. км (далее — опорное значение).

Если не учитывать постоянный радиоактивный распад Cs-137, то отдельные точки опробования по профилю показывают превышение значения 0.1 Кюри/кв.км. В основном все результаты измерения не превышают опорного значения. Но надо отметить, что с 1986 года прошло 36 лет — чуть больше одного периода полураспада Cs-137. Соответственно, на сегодняшний день опорное значение составило бы уже менее 0.05 Кюри/кв.км. Полученные данные о плотностях загрязнения Cs-137 позволяют уточнить уже имеющиеся карты пространственного распределения данного радионуклида.

При сравнении полученных результатов с другими редкими данными по радионуклиду Cs-37 в Ненецком автономном округе наблюдается снижение активности радиоцезия. Согласно А. В. Баженову*, в период с 1994 по 2000 г. в отдельных пробах южной части полуострова Канин наблюдались уровни содержания Cs-137 до 2000 Бк/кг.

В силу определенных обстоятельств, о которых будет сказано ниже, сведения о плотностях загрязнения Sr-90 на территории РФ отсутствуют. Поэтому полученные данные о содержании Sr-90 в торфах и почвах за-

падной части Ненецкого автономного округа являются новыми данными и позволяют оценить запас данного радионуклида в объектах окружающей среды. В представленных результатах исследований плотность загрязнения Sr-90 достигает 0.05 Кюри/кв. км на участках тундровых низменностей и до 0.01 Кюри/кв. км в зонах транзита, увеличиваясь в два раза в нижней части склона. Уровни загрязнения Sr-90 ориентировочно в два раза ниже, чем Cs-137, что подтверждается сведениями о выпадениях данных радионуклидов в период и после проведения ядерных испытаний (И'ин, 2017).

В каждой точке по профилю были отобраны пробы торфа и почвы двух горизонтов: 0—10 см и 10—20 см — с целью оценить характер вертикальной миграции и ее зависимость от различных форм рельефа. На рисунках 5 и 6 представлены результаты расчета изотопных отношений $Cs-137_{горизонт\ 10-20\ см} / Cs-137_{горизонт\ 0-10\ см}$, изотопное отношение $Sr-90_{горизонт\ 10-20\ см} / Sr-90_{горизонт\ 0-10\ см}$.

В зоне тундровой низменности (юго-запад бассейна реки Несь) отмечается существенная вертикальная миграция Cs-137 по профилю 0—20 см (изотопное отношение для двух горизонтов > 1). В отдельных точках низинных участков активность Cs-137 в горизон-

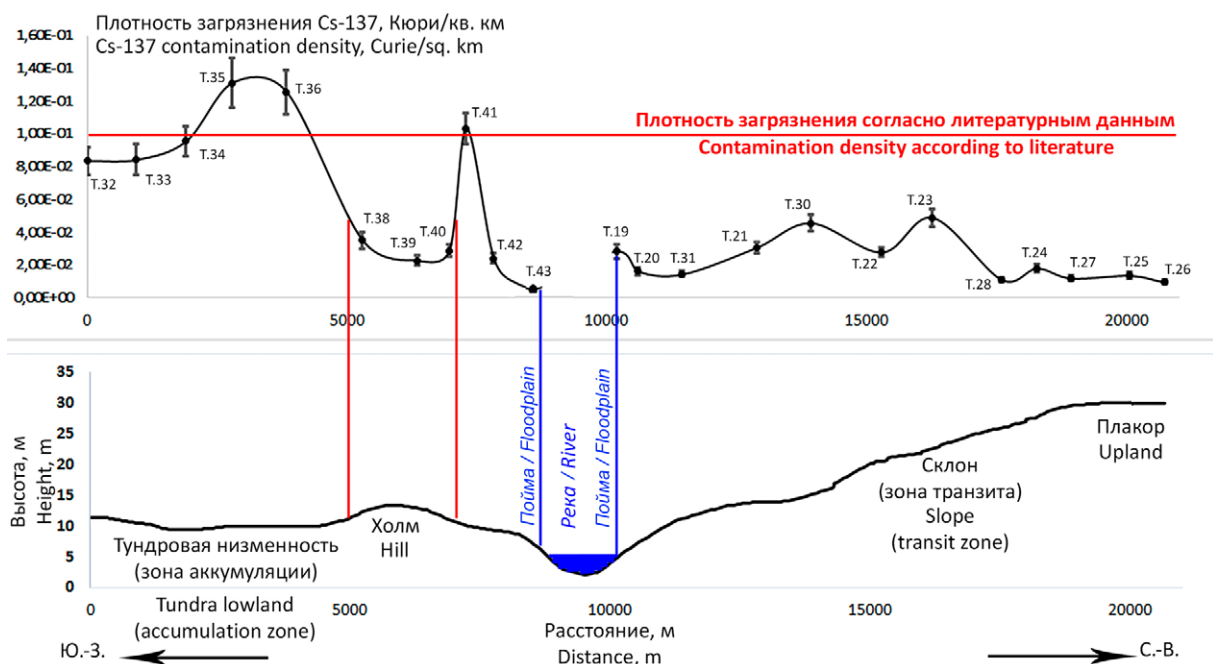


Рис. 3. Плотность загрязнения Cs-137

Fig. 3. Cs-137 contamination density

Таблица 1. Радиационные параметры отобранных проб бассейна реки Несь
Table 1. Radiation parameters of the samples of the Nes River basin

Шифр пробы Probe code	Горизонт, см Horizon, cm	Удельная активность, Бк/кг Specific activity, Bq/kg		Плотность загрязнения, Кюри/км ² Contamination density, Curie/km ²		Изотопные отношения, отн. ед. Isotope ratios, rel. units		
		Cs-137	Sr-90	Cs-137	Sr-90	Sr-90/Cs-137 (по плотности загрязнения) (by contamination density)	Cs-137 _(гор. 10-20) / Cs-137 _(гор. 0-10)	Sr-90 _(гор. 10-20) / Sr-90 _(гор. 0-10)
НП-32	0-10	70.0 ± 7.7	58.3 ± 6.9	8.34E-02 ± 8.64E-03	2.71E-02 ± 4.74E-03	3.25E-01 ± 6.61E-02	1.79E+00 ± 2.66E-01	7.81E-01 ± 1.93E-01
	10-20	125.0 ± 12.5	39.9 ± 6.8	8.40E-02 ± 9.47E-03	3.24E-02 ± 5.33E-03	3.86E-01 ± 7.69E-02	2.71E+00 ± 4.41E-01	8.41E-01 ± 1.96E-01
НП-33	0-10	55.0 ± 6.6	47.3 ± 7.6	9.55E-02 ± 9.18E-03	3.32E-02 ± 5.47E-03	3.48E-01 ± 6.64E-02	2.28E+00 ± 3.24E-01	8.85E-01 ± 2.07E-01
	10-20	149.0 ± 16.4	39.8 ± 6.8	1.31E-01 ± 1.50E-02	5.07E-02 ± 8.11E-03	3.87E-01 ± 7.62E-02	1.29E+00 ± 2.10E-01	8.62E-01 ± 1.95E-01
НП-34	0-10	71.0 ± 7.8	45.1 ± 7.2	1.25E-01 ± 1.36E-02	3.93E-02 ± 6.68E-03	3.14E-01 ± 6.34E-02	1.20E+00 ± 1.87E-01	8.82E-01 ± 2.12E-01
	10-20	162.0 ± 14.6	39.9 ± 6.8	3.50E-02 ± 5.15E-03	2.68E-02 ± 5.40E-03	7.67E-01 ± 1.91E-01	5.69E-01 ± 1.21E-01	2.44E-01 ± 8.32E-02
НП-35	0-10	97.0 ± 11.6	44.8 ± 7.2	2.27E-02 ± 3.02E-03	6.76E-03 ± 1.75E-03	2.98E-01 ± 8.70E-02	4.62E-01 ± 8.83E-02	4.52E-01 ± 1.70E-01
	10-20	125.0 ± 13.8	38.6 ± 6.2	2.87E-02 ± 3.83E-03	2.08E-02 ± 4.49E-03	7.24E-01 ± 1.84E-01	5.23E-01 ± 9.99E-02	6.61E-01 ± 2.15E-01
НП-36	0-10	118.0 ± 14.2	39.5 ± 6.7	1.03E-01 ± 9.27E-03	2.29E-02 ± 3.77E-03	2.22E-01 ± 4.16E-02	9.20E-01 ± 1.17E-01	8.35E-01 ± 1.95E-01
	10-20	142.0 ± 14.2	37.5 ± 6.4	2.40E-02 ± 3.01E-03	8.11E-03 ± 1.97E-03	3.38E-01 ± 9.24E-02	4.77E-02 ± 2.21E-02	6.04E-01 ± 2.15E-01
НП-38	0-10	33.4 ± 4.7	36.5 ± 6.6	1.08E-02 ± 3.78E-03	1.88E-02 ± 4.46E-03	1.74E+00 ± 7.36E-01	2.70E-01 ± 1.51E-01	5.16E-01 ± 1.85E-01
	10-20	19.0 ± 3.0	8.9 ± 2.6	2.82E-02 ± 4.40E-03	1.86E-02 ± 3.97E-03	6.57E-01 ± 1.74E-01	2.58E-01 ± 1.02E-01	9.84E-01 ± 3.19E-01
НП-39	0-10	52.0 ± 6.8	15.7 ± 3.9	1.61E-02 ± 2.26E-03	1.74E-02 ± 3.75E-03	1.09E+00 ± 2.79E-01	2.65E-01 ± 9.31E-02	8.55E-01 ± 2.75E-01
	10-20	24.0 ± 3.4	7.1 ± 2.0					
НП-40	0-10	44.0 ± 5.7	29.8 ± 5.4					
	10-20	23.0 ± 3.2	19.7 ± 5.3					
НП-41	0-10	200.0 ± 18.0	46.6 ± 7.5					
	10-20	184.0 ± 16.6	38.9 ± 6.6					
НП-42	0-10	65.0 ± 7.2	15.4 ± 3.4					
	10-20	3.1 ± 1.4	9.3 ± 2.6					
НП-43	0-10	10.0 ± 3.2	15.9 ± 3.3					
	10-20	2.7 ± 1.2	8.2 ± 2.4					
НП-19	0-10	65.0 ± 9.1	31.6 ± 5.7					
	10-20	4.9 ± 1.8	18.7 ± 5.0					
НП-20	0-10	49.0 ± 5.9	29.5 ± 5.6					
	10-20	5.3 ± 1.7	17.1 ± 4.4					

НП-31	0-10	88.0 ± 10.6	29.7 ± 5.9	1.43E-02 ± 1.72E-03	4.90E-03 ± 1.10E-03	3.43E-01 ± 8.70E-02	6.25E-01 ± 1.06E-01	6.43E-01 ± 2.11E-01
	10-20	55.0 ± 6.6	19.1 ± 5.0	3.05E-02 ± 3.48E-03	1.07E-02 ± 2.17E-03	3.52E-01 ± 8.19E-02	7.35E-01 ± 1.20E-01	6.17E-01 ± 1.85E-01
НП-21	0-10	102.0 ± 11.2	38.4 ± 6.9	4.55E-02 ± 5.01E-03	1.19E-02 ± 2.29E-03	2.62E-01 ± 5.80E-02	7.71E-01 ± 1.20E-01	5.81E-01 ± 1.66E-01
	10-20	75.0 ± 9.0	23.7 ± 5.7	2.77E-02 ± 2.89E-03	8.42E-03 ± 1.83E-03	3.04E-01 ± 7.33E-02	7.47E-01 ± 1.11E-01	4.43E-01 ± 1.55E-01
НП-30	0-10	105.0 ± 11.6	31.3 ± 5.3	4.88E-02 ± 5.37E-03	1.00E-02 ± 2.13E-03	2.06E-01 ± 4.93E-02	1.06E+00 ± 1.65E-01	5.72E-01 ± 1.86E-01
	10-20	81.0 ± 8.9	18.2 ± 4.2	1.10E-02 ± 1.15E-03	2.29E-03 ± 4.91E-04	2.09E-01 ± 4.98E-02	1.17E+00 ± 1.74E-01	4.37E-01 ± 1.44E-01
НП-22	0-10	87.0 ± 8.7	31.4 ± 5.7	1.79E-02 ± 2.52E-03	1.09E-02 ± 2.35E-03	6.06E-01 ± 1.56E-01	2.11E-01 ± 5.66E-02	4.77E-01 ± 1.63E-01
	10-20	65.0 ± 7.2	13.9 ± 4.2	1.18E-02 ± 1.69E-03	4.78E-03 ± 1.22E-03	4.04E-01 ± 1.18E-01	2.82E-01 ± 6.49E-02	5.63E-01 ± 2.08E-01
НП-23	0-10	109.0 ± 12.0	27.8 ± 5.0	1.35E-02 ± 1.97E-03	8.05E-03 ± 1.85E-03	5.98E-01 ± 1.62E-01	4.53E-01 ± 1.01E-01	4.88E-01 ± 1.72E-01
	10-20	115.0 ± 12.7	15.9 ± 4.3	9.22E-03 ± 1.33E-03	6.01E-03 ± 1.54E-03	6.52E-01 ± 1.92E-01	5.50E-01 ± 1.18E-01	6.63E-01 ± 2.44E-01
НП-24	0-10	103.0 ± 11.3	29.3 ± 5.6	12.8 ± 3.5	12.8 ± 3.5			
	10-20	121.0 ± 12.1	12.8 ± 3.5					
НП-25	0-10	57.0 ± 6.8	30.6 ± 5.5					
	10-20	12.0 ± 2.9	14.6 ± 4.2					
НП-26	0-10	65.0 ± 8.5	21.5 ± 5.2					
	10-20	18.3 ± 3.5	12.1 ± 3.4					
НП-27	0-10	43.0 ± 5.6	25.2 ± 5.0					
	10-20	19.5 ± 3.5	12.3 ± 3.6					
НП-28	0-10	40.0 ± 5.2	24.3 ± 5.8					
	10-20	22.0 ± 3.7	16.1 ± 4.5					

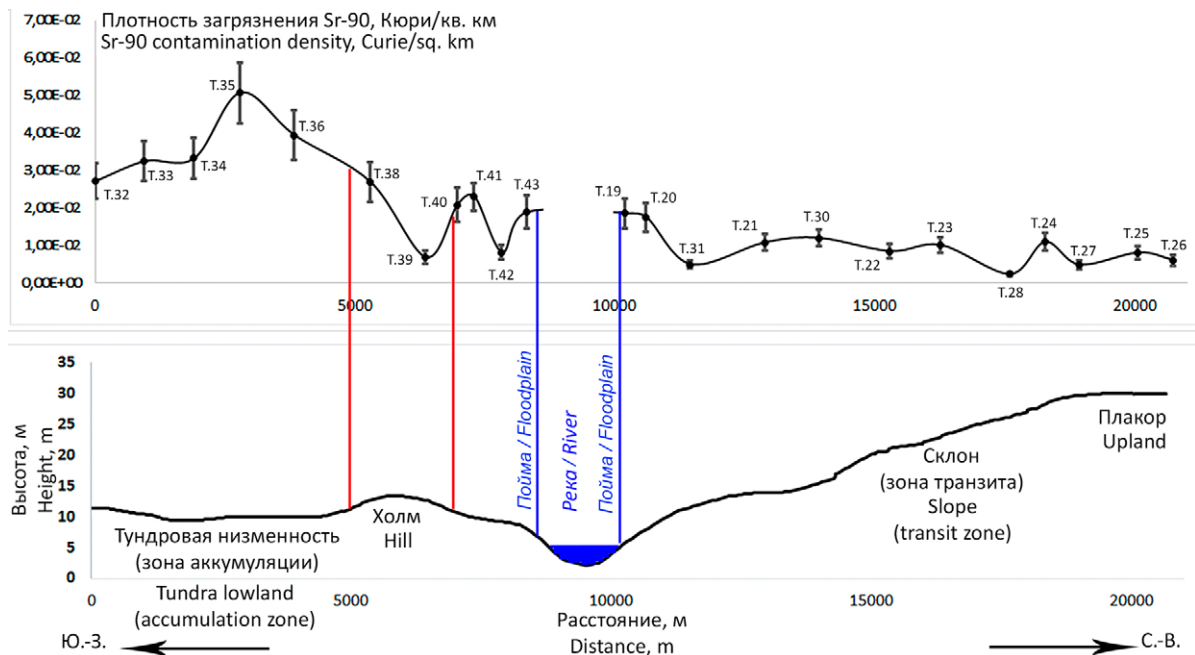


Рис. 4. Плотность загрязнения Sr-90
Fig. 4. Sr-90 contamination density

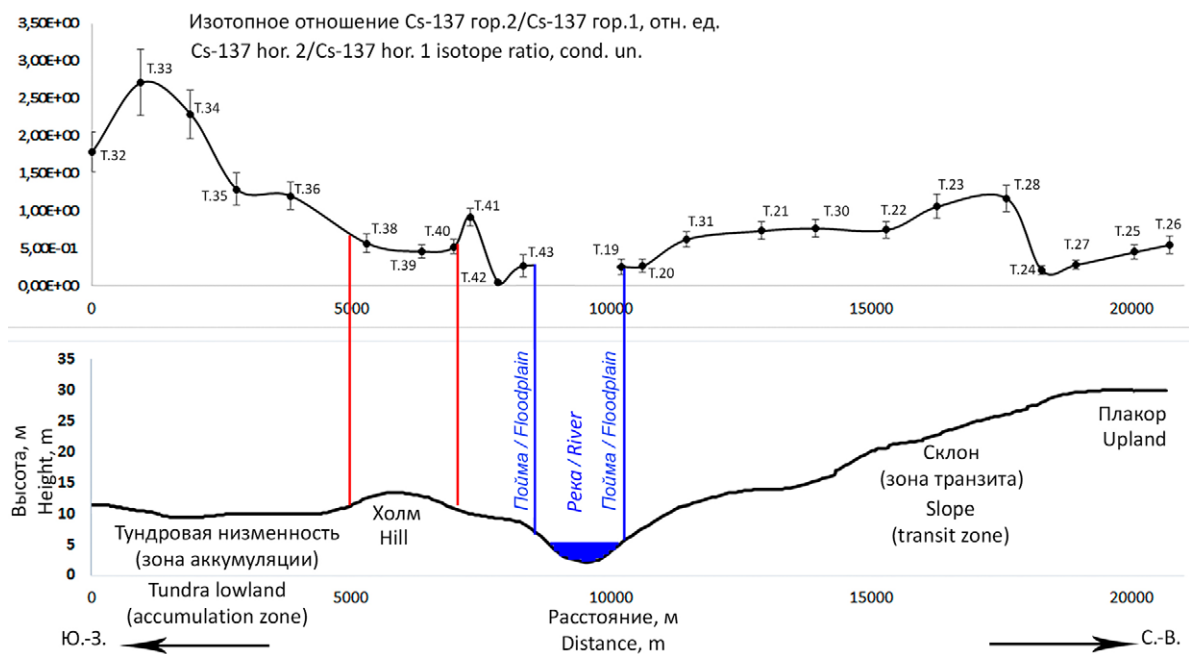


Рис. 5. Особенности миграции Cs-137 на основе изотопного отношения
Fig. 5. Features of Cs-137 migration based on isotope ratio

те 10–20 см превышает активность в горизонте 0–10 см более чем в два раза. Подобный характер миграции описан в работе (Семенков, 2015) для одного из торфяных разрезов низменного участка «Салым», где на глубине от 10 до 15 см наблюдаются более высокие удельные активности Cs-137 по сравнению с вышележащими слоями. В свою очередь, холмистая форма рельефа, склон и плакор (северо-восток бассейна реки Несь) характеризуются невысоким уровнем вертикальной миграции (изотопное отношение для двух горизонтов < 1). Данные факты могут быть обусловлены более интенсивным процессом стока по профилю отбора проб с увеличением активности радионуклидов к нижней части склона. На участках тундровой низменности и склона распределение Sr-90 имеет схожий ха-

рактер с распределением Cs-137. При этом для Cs-137 отмечается более интенсивный процесс миграции по вертикальному профилю, чем для Sr-90. Интересно, что такая же закономерность миграции радионуклидов в зависимости от структуры рельефа выявлена и в ряде других работ (Рахимова, 2015).

Для более детального описания механизма такой миграции планируется оценка плотности почвенных и торфяных горизонтов, их основных физико-химических параметров, основными из которых станут зольность, содержание органического вещества и pH. Так, в работе Коробовой (2020) кислотность торфов и почв описывается как наиболее важный параметр, влияющий на миграционную способность Cs-137. В очень кислых торфяных почвах (pH от 3.3 до 4.0) Cs-137 ак-

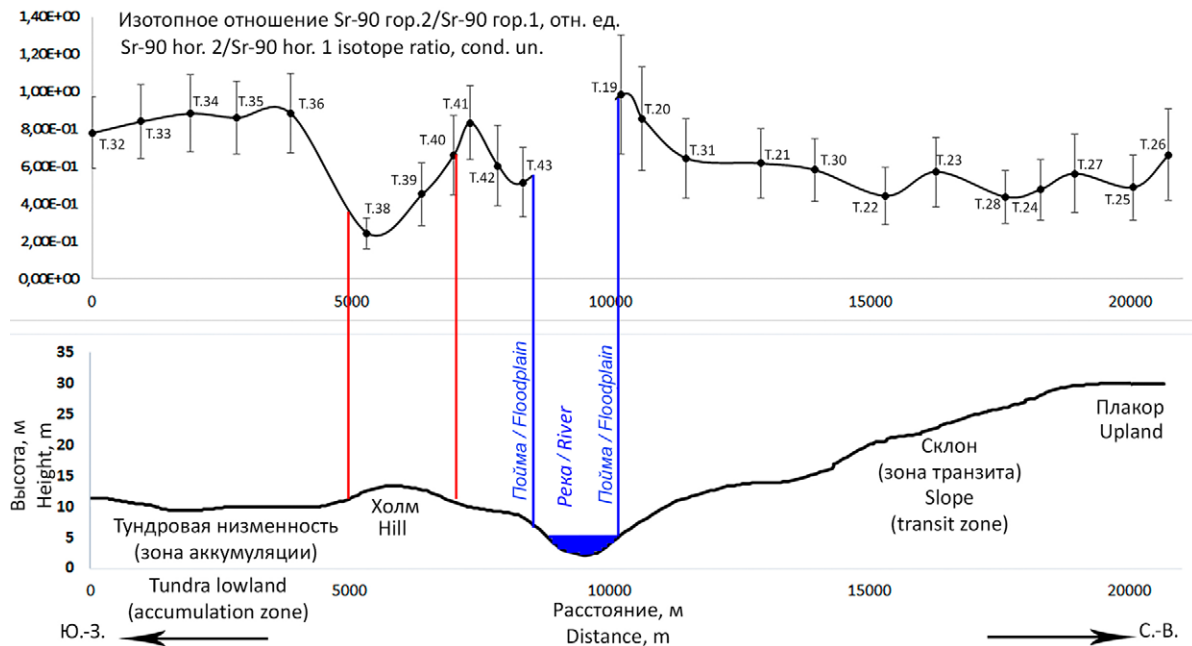


Рис. 6. Особенности миграции Sr-90 на основе изотопного отношения
 Fig. 6. Features of Sr-90 migration based on isotope ratio

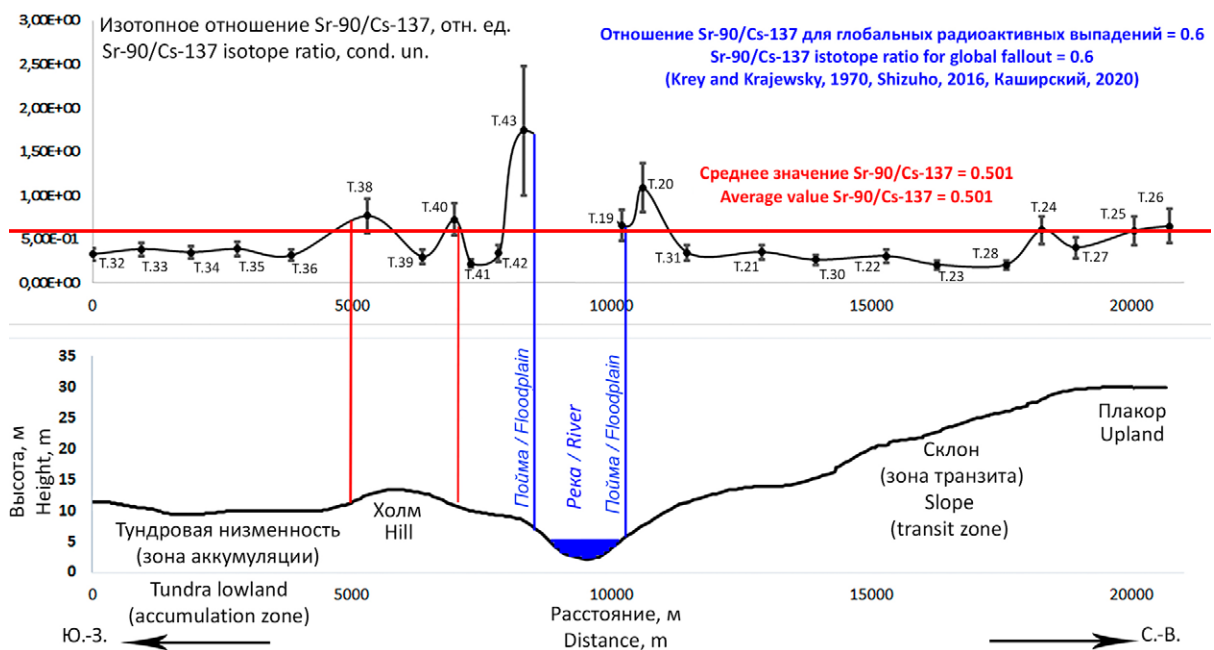


Рис. 7. Результаты расчета отношений Sr-90/Cs-137
 Fig. 7. Calculation results of Sr-90/Cs-137 ratios

тивней мигрирует, чем в кислых (рН от 4.0 до 5.0) подзолах, подбурях, светлосемах и криоземах. Отдельными работами отмечается, что одними из основных процессов вертикальной миграции радионуклидов являются диффузия и конвективный перенос с током почвенной влаги (Леухин, 2021).

В целом влияние макро-, мезо- и микрорельефа на миграцию элементов, в том числе и радионуклидов, изучается давно. Например, в работе Климовой (2004) отмечается существенное накопление Cs-137 в низинных участках, тогда как склоновые области характеризуются транзитным характером латеральной миграции радионуклида. Причем в этой же работе указывается на факт усиления миграции радионуклида в условиях высокой влагообеспеченности почвы и застоя

воды в понижениях. Это как раз те явления, которые мы можем наблюдать на участке тундровой низменности на юго-западе от с. Несь, где происходят наиболее высокая аккумуляция радионуклидов Cs-137 и Sr-90 и их миграция по вертикальному профилю. Увеличение активности в верхних горизонтах почвы по направлению от верхней части склона к нижней исследовалось также в работе Барсукова (2012). Склон с крутизной 10° обеспечивал увеличение активностей радионуклидов Cs-137 на 54% и Am-241 на 29%. Согласно исследованиям (Коробова, 2020), в изученных элементарных ландшафтно-геохимических системах типа «вершина — склон — замыкающее понижение», что также относится и к профилю бассейна реки Несь, выявлено наличие циклической изменчивости содержания радионуклид-



ных маркеров Cs-137 и Sr-90 в почвах. При этом для обоих маркеров структура изменчивости была схожей, но не идентичной, что обусловлено различием химических свойств и особенностей миграции данных радионуклидов. Как уже было указано, бассейн реки Несь характеризуется схожими особенностями миграции радионуклидов Cs-137 и Sr-90, но более интенсивная миграция наблюдается для Cs-137.

Понятно, что для оценки смыва радионуклида поверхностью стоком на участках с необрабатываемыми почвами и проявлением плоскостного смыва важно знать содержание радионуклидов верхних нескольких миллиметров почвы (Коробова, 2020), а для выявления особенностей вертикальной миграции необходимо закладывать почвенные и торфяные колонки глубиной не менее 50 см в силу разного уровня проникновения техногенных радионуклидов (Yakovlev, 2021). Но применение метода отношений содержания радионуклида на разных горизонтах (в данной работе это 0–10 см и 10–20 см) привело к выявлению различий между активностью радионуклидов в основных структурах мезорельефа (области плакора, склона и низинных участков). Полученные результаты не противостоят ранее проведенным работам других исследователей и при этом дополняют новыми данными такие слабоизученные территории, как тундра Ненецкого автономного округа.

Важно отметить, что накопленные знания особенностей распределения, накопления и миграции Cs-137 в различных объектах окружающей среды намного превышают те же знания о радионуклиде Sr-90. Это связано в первую очередь с особенностями измерений и регистрации данных радионуклидов. Измерение активности Cs-137 проще в связи с наличием дискретной линии гамма-излучения от его дочернего продукта распада метастабильного Ba-137m. В то же время радионуклид Sr-90 является чисто бета-излучателем, и его можно определить только после радиохимической подготовки, за исключением случаев, когда активность радионуклида превышает десятки беккерелей и в счетном образце отсутствуют другие «мешающие» идентификации радионуклиды. Это позволяет использовать бета-спектрометрические комплексы для идентификации Sr-90, в том числе по энергии его дочернего продукта распада Y-90. Поэтому оценка особенностей миграции Sr-90, его накопления и распределения, особенно в труднодоступных районах Арктики, является актуальной и необходимой для решения задач.

Основным источником выявленной радиационной аномалии по результатам оценки изотопного отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ предположительно являются глобальные атмосферные выпадения в результате проведения ядерных испытаний, в том числе и локальные радиоактивные выпадения по результатам испытаний на архипелаге Новая Земля. На это указывает, в частности, и факт отсутствия более короткоживущих техногенных радионуклидов, которые свидетельствовали бы о «свежем» загрязнении. Для проведенных исследований изотопное отношение Sr-90/Cs-137 составило 0.501 отн. ед. (рис. 7). По литературным данным, отношение активности Sr-90/Cs-137 в глобальных выпадениях оценивается примерно в 0.6 (Il'in, 2017; Matishov, 2014).

Заключение

Проведенные исследования объектов окружающей среды территории бассейна реки Несь позволяют сделать вывод, что плотность загрязнения тундровых ландшафтов Ненецкого автономного округа техногенными радионуклидами (Cs-137 и Sr-90) имеет мозаичный характер, обусловленный геоморфологическими особенностями территорий. Отдельные участки тундры (болотные низменности) могут характеризоваться повышенным содержанием радионуклидов в силу процесса аккумуляции и миграции по вертикальному профилю. Плоскостной смыв радионуклидов по склонам обеспечивает их поступление в эстуарии рек и далее может обуславливать их накопление в пищевых цепочках «рыба — человек». По результатам оценки изотопного отношения Sr-90/Cs-137 можно сделать вывод, что основным источником техногенного загрязнения являются глобальные атмосферные выпадения и выпадения, обусловленные испытаниями на архипелаге Новая Земля. Отсутствие более короткоживущих радионуклидов (в первую очередь Cs-134 с периодом полураспада 2.06 лет) подтверждает данный вывод.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-27-20079 «Радионуклиды в экосистемах тундры: источники, уровни загрязнения, антропогенные механизмы трансформации (на примере Ненецкого автономного округа)».

Литература / References

1. Барсуков О. А., Языкеев Д. В. Горизонтальная и вертикальная миграция ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{241}Am на обрабатываемых склоновых ландшафтах Пензенской области различной степени крутизны // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. 2012. № 29. С. 369–374.
Barusukov O. A., Yazykeev D. V. *Gorizontalnaya i vertikalnaya migratsiya ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th i ^{241}Am na obrabatyvaemykh sklonovykh landshaftakh Penzenskoi oblasti razlichnoi stepeni krutizny* (Horizontal and vertical migration of ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{241}Am on cultivated slope landscapes of the Penza region of varying degrees of steepness). *Izvestiya of Belinsky PPSU*, 2012, No. 29, pp. 369–374.
2. Богоявленский В. И., Богоявленский И. В., Бойчук В. М. Катастрофа на Кумжинском газоконденсатном месторождении: причины, результаты, пути устранения последствий // Арктика: экология и экономика. 2017. № 1(25). С. 32–46.
Bogoyavlenskiy V. I., Bogoyavlenskiy I. V., Boychuk V. M. *Katastrofa na Kumzhinskom gazokondensatnom mestorozhdenii: prichiny, rezultaty, puti ustraneniya posledstviy* (Disaster at the Kumzhinskoye gas condensate field: causes, results, ways to eliminate the consequences). *Arctic: Ecology and Economics*, 2017, No. 1(25), pp. 32–46.
3. Климова Е. В. Влияние макро- и микрорельефа сельскохозяйственных угодий на миграцию ^{137}Cs по профилю почвы // Экологическая безопасность в АПК: Реферативный журнал. 2004. № 4. С. 155–158.
Klimova E. V. *Vliyanie makro- i mikrorelefa selskokhozyaystvennykh ugodiy na migratsiyu ^{137}Cs po profilyu pochvy* (Influence of macro and microrelief of agricultural lands on the migration of ^{137}Cs along the soil profile). *Ecological safety in the agrarian and industrial complex*. Abstract journal, 2004, No. 4, pp. 155–158.



4. Коноплев А. В., Голосов В. Н., Йоценко В. И., Нанба К., Онда Ю., Такаса Ц., Вакияма Й. Вертикальное распределение радиоцезия в почвах зоны аварии на АЭС Фукусима-1 // Почвоведение. 2016. № 5. С. 620—632.

Konoplev A. V., Golosov V. N., Yoshchenko V. I., Nanba K., Onda Yu., Takase Ts., Wakiyama Y. *Vertikalnoe raspredelenie radiotseziya v pochvakh zony avarii na AES Fukusima-1* (Vertical distribution of radiocesium in soils of the Fukushima-1 accident zone). Eurasian Soil Sci., 2016, No. 5, pp. 620—632.

5. Коробова Е. М., Тарасов О. В., Романов С. Л., Баранчуков В. С., Березкин В. Ю., Долгушин Д. И., Модоров М. В., Михайловская Л. Н., Лукьянов В. В. О распределении Sr-90 и Cs-137 в элементарных ландшафтно-геохимических системах восточно-уральского радиоактивного следа // Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 175—177.

Korobova E. M., Tarasov O. V., Romanov S. L., Baranchukov V. S., Berezkin V. Yu., Dolgushin D. I., Modorov M. V., Mikhailovskaya L. N., Lukyanov V. V. *O raspredelenii Sr-90 i Cs-137 v elementarnykh landshaftno-geokhimicheskikh sistemakh vostochno-uralskogo radioaktivnogo sleda* (On the distribution of Sr-90 and Cs-137 in the elementary landscape-geochemical systems of the East Ural radioactive trace). Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Nuclear-Physical Research and Technologies in Agriculture", 2020, pp. 175—177.

6. Леухин А. В., Михайлова А. В., Сазонов А. Р., Сазонова О. Г. Вертикальная миграция техногенных радионуклидов в поверхностном слое почв Волжского района Республики Марий Эл // XVIII Емельяновские чтения: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. 2021. С. 210—213.

Leukhin A. V., Mikhailova A. V., Sazonov A. R., Sazonova O. G. *Vertikalnaya migratsiya tekhnogennykh radionuklidov v poverkhnostnom sloe pochv Volzhskogo raiona Respubliki Marii El* (Vertical migration of technogenic radionuclides in the surface layer of soils of the Volga region of the Republic of Mari El) XVIII Emelyanov Readings: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, 2021, pp. 210—213.

7. Методика измерений удельной активности радионуклидов в счётных образцах на гамма-спектрометрах с использованием ПО Spectra Line. М.: ЛСРМ, 2022. 25 с.

Metodika izmerenii udelnoi aktivnosti radionuklidov v schetnykh obraztsakh na gamma-spektrometrakh s ispolzovaniem PO Spectra Line (Methodology for measuring the specific activity of radionuclides in countable samples on gamma spectrometers using the Spectra Line software). Moscow: LSRM, 2022, 25 p.

8. Методика измерений удельной активности стронция-90 в пробах почв, грунтов, донных отложений и горных пород бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой. М.: ВИМС, 2013. 19 с.

Metodika izmerenii udelnoi aktivnosti strontsiia-90 v probakh pochv, gruntov, donnykh otlozhenii i gornyykh porod beta-radiometricheskim metodom s radiokhimicheskoi podgotovkoi (Method for measuring the specific activity of strontium-90 in samples of soils, soils, bottom sediments and rocks by the beta-radiometric method with radiochemical preparation). Moscow: VIMS, 2013, 19 p.

9. Национальный атлас почв Российской Федерации / Гл. ред. С. А. Шоба. М.: Астрель: АСТ, 2011. 632 с.

National atlas of Soils of the Russian Federation. Chief editor S. A. Shoba. Moscow: Astrel: AST, 2011, 632 p.

10. Пучков А. В., Яковлев Е. Ю., Дружинин С. В. Радиационные параметры гидробионтов условно чистой территории Ненецкого автономного округа // Успехи современного естествознания. 2020. № 6. С. 118—122. DOI: 10.17513/use.37420. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43089413>

Puchkov A. V., Yakovlev E. Yu., Druzhinin S. V. *Radiatsionnye parametry gidrobiontov uslovno chistoi territorii Nenetskogo avtonomnogo okruga* (Radiation parameters of hydrobionts of the conditionally clean territory of the Nenets Autonomous Okrug). Successes of modern natural sciences, 2020, No. 6, pp. 118—122. DOI:10.17513/use.37420. <https://elibrary.ru/item.asp?id=43089413>

11. Рахимова Н. Н., Ефремов И. В., Горшенина Е. Л. Миграционные способности радионуклидов Cs-137 и Sr-90 в различных типах почв // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2015. № 10 (185). С. 412—415.

Rakhimova N. N., Efremov I. V., Gorshenina E. L. *Migratsionnye sposobnosti radionuklidov Cs-137 i Sr-90 v razlichnykh tipakh pochv* (Migration abilities of radionuclides Cs-137 and Sr-90 in different types of soils). Bulletin of the Orenburg State University, 2015, No. 10 (185), pp. 412—415.

12. Семенов И. Н., Усачева А. А., Мирошников А. Ю. Распределение цезия-137 глобальных выпадений в таежных и тундровых катенах бассейна реки Обь // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 2. С. 154—173.

Semenkov I. N., Usacheva A. A., Miroshnikov A. Yu. *Raspredelenie tseziya-137 globalnykh vypadenii v taezhnykh i tundrovyykh katenakh basseina reki Ob* (Distributions of Cs-137 of global precipitation and taiga and tundra catenas of Ob river). Geology of ore deposits, 2015, V. 57, No. 2, pp. 154—173.

13. Ил'ин Г. В., Касаткина Н. Е., Моисеев Д. В., Усыгина И. С. Инфраструктура объектов ядерного флота как источники радиоактивного загрязнения Баренцева моря: Waste Repository in Guba Andreeva // Atomic Energy. 2017. Vol. 122. No 2. P. 131—137. DOI 10.1007/s10512-017-0247-7

14. Krey P. W., Krajewski B. Comparison of atmospheric transport model calculations with observations of radioactive debris / P. W. Krey, B. Krajewski // Journal of Geophysical Research. 1970. № 75(15). P. 2901—2908.

15. Łokas E., Mielęski J. W., Ketterer M. E., Kleszcz K., Wachniew P., Michalska S., Miecznik M. Sources and vertical distribution of ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹+²⁴⁰Pu and ²⁴¹Am in peat profiles from southwest Spitsbergen // Applied geochemistry. 2013. № 28. P. 100—108.

16. Matishov G. G. Long-term dynamics of radioactive contamination in the Barents-Kara region (1960—2013) // Doklady Earth Sciences. 2014. № 458. № 4. P. 473—479.

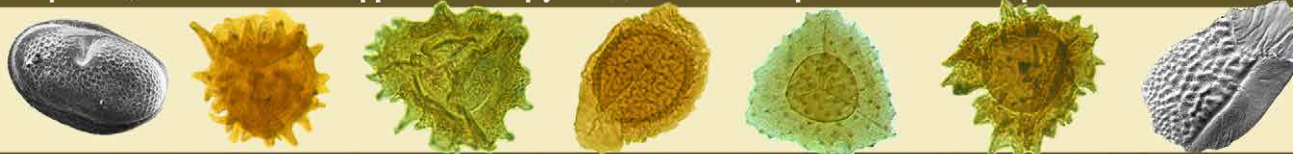
17. Miki S., Fujimoto K., Shigenobu Y., Ambe D., Kaeriyama H., Takagi K., Morita T. Concentrations of ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs/⁹⁰Sr activity ratios in marine fishes after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident // Fisheries Oceanography. 2017. T. 26. № 2. P. 221—233. <https://doi.org/10.1111/fog.12182>

18. Sarkisov A. A. Strategic approaches to planning the management of submerged nuclear fleet facilities // Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Energy. 2013. № 2. P. 86—89.

19. Yakovlev E., Spirov R., Druzhinin S., Ocheretenko A., Druzhinina A., Mishchenko E., Zhukovskaya E. Atmospheric fall-out of radionuclides in peat bogs in the Western segment of the Russian arctic // Environmental Science and Pollution Research, 2021, without a number. P. 1—11. DOI: 10.1007/s11356-020-12224-7

Поступила в редакцию / Received 02.11.2022

Граница живетского и франского ярусов девона на Европейском Северо-Востоке России



Givetian-Frasnian boundary of the Devonian at the European North-East of Russia

К вопросу о границе среднего и верхнего девона

В 2020—2022 гг. научными сотрудниками Института геологии им. академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар) совместно с коллегами из научных и учебных организаций (ВСЕГЕИ, СПбГУ, СГУ) были проведены исследования по теме «Граница живетского и франского ярусов девона на Европейском Северо-Востоке России» (при финансовой поддержке РФФИ, грант № 20-05-00445а). Основные результаты исследований по теме изложены в трёх статьях данного выпуска журнала «Вестник геонаук» № 1 2023 г.

Актуальность темы обусловлена продолжающейся более 20 лет дискуссией о положении нижней границы франского яруса (соответственно границы среднего и верхнего девона) на территории Восточно-Европейской платформы. В решении спорной проблемы заинтересованы специалисты как в научной, так и в производственной сфере деятельности. Об этом свидетельствуют результаты научно-производственного совещания, проведенного в ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, 3 июня 2022 года). Актуальность проблемы привлекла внимание широкой научной аудитории как в России, так и за ее пределами: на 14.06.22 г. (<https://www.youtube.com/watch?v=xLN10uFEiyo>) было отмечено 1319 просмотров совещания коллегами из 9 стран (Вестник геонаук. 2022. № 6).

Доклады научных сотрудников, как показала дискуссия, на научно-производственном совещании и письма генерального директора ООО «ТП НИЦ» (г. Ухта) О. Г. Сарайкина, направленные в ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и ВСЕГЕИ (30.06.22, № 577) с просьбой предоставления материалов по обоснованию современного уровня границы живетского и франского ярусов девона на Европейском Северо-Востоке России, оказались востребованными.

Граница среднего и верхнего девона — это наиболее спорный рубеж в девоне. Особое значение в этом контексте приобретает внедрение современного инструментария и разработка новых методик исследований. В дополнение к традиционным методам световой, электронной сканирующей и трансмиссионной микроскопии для изучения палеонтологических объектов разрабатываются методы томографии, атомно-силовой микроскопии, также дополненные новыми функциональными возможностями сканирующей электронной микроскопии. Для решения таксономических проблем разрабатывается хемосистематика — инновационный метод в палеопалинологии, основанный на биохимических характеристиках эволюционного развития организмов.

About Middle-Upper Devonian boundary

In 2020—2022 researchers at the Yushkin Institute of geology FRC Komi SC UB RAS (Syktyvkar), together with colleagues from scientific and educational organizations (VSEGEI, SPbSU, SyktSU), conducted studies on the theme “Givetian-Frasnian boundary of the Devonian at the European North-East of Russia” (under RFBR financial support, grant No. 20-05-00445a). Main results of the research on the theme are presented in three articles of this Vestnik of Geosciences special issue No. 1, 2023.

The relevance of the theme is conditioned by the discussion ongoing for more than 20 years about the position of the lower boundary of the Frasnian Stage (respectively, the boundaries of the Middle and Upper Devonian) on the territory of the East European Platform. Specialists in both scientific and industrial spheres are interested to solve the controversial problem. This is evidenced by the results of a scientific and production meeting at the Institute of geology (Syktyvkar, June 3, 2022). The urgency of the problem attracted the attention of a wide scientific audience both in Russia and abroad: as of June 14, 2022 (<https://www.youtube.com/watch?v=xLN10uFEiyo>), the meeting was viewed 1319 times from 9 countries (Vestnik of geosciences, 2022, № 6).

The discussion at the meeting and letters from the General Director of TP SRC (Ukhta) O. G. Saraikin, sent to the IG FRC Komi SC UB RAS and VSEGEI (30.06.22, No. 577) with a request to provide materials to substantiate the current level of the boundary of the Givetian and Frasnian stages of the Devonian in the European North-East of Russia, proved importance of the reports.

The Middle-Upper Devonian boundary is the most disputed boundary in the Devonian. The introduction of modern tools and the development of new research methods is particularly important in this context. In addition to the traditional light, scanning electron and transmission microscopy for the study of paleontological objects, methods of tomography, atomic force microscopy are being developed, which are also supplemented with new functionality of scanning electron microscopy. To solve taxonomic problems, chemosystematics is being developed — an innovative method in paleopalynology based on biochemical characteristics of the evolutionary development of organisms.

During many years of research in various areas of palynology and stratigraphy, large volumes of diverse information have been accumulated. The electronic database is a modern way to systematize and analyze arrays of multi-vector information. A working prototype of software and information support for palynological tasks, including a



Рис. 1. Разрез «Писковичи». Псковская область, правый берег реки Великой (нижнее течение), дер. Писковичи, в 8 км на северо-запад от Пскова. Терригенные породы подснетогорских слоев аматского горизонта и преимущественно карбонатные породы снетогорских слоев плявиньского горизонта (О. П. Тельнова и И. О. Евдокимова (VSEGEI)). Фото А. О. Иванова, 2022 г.

Fig. 1. Piskovichi section. Pskov region, right bank of the Velikaya river (lower course), village of Piskovichi, 8 km northwest of Pskov. Terrigenous rocks of the Podsnegogorsk layers of the Amat horizon and predominantly carbonate rocks of the Snetogorsk layers of the Plyavinsky Regional Stage (O. P. Tel'nova and I. O. Evdokimova (VSEGEI)). Photo by A. O. Ivanov, 2022

За время многолетних исследований в различных областях палинологии и стратиграфии накоплены большие массивы разноплановой информации. Современным способом систематизации и анализа массивов многовекторной информации является электронная база данных. Разработан действующий прототип программно-информационного обеспечения для палинологических задач, включающий базу данных изображений девонских спор и пробные алгоритмы машинного обучения распознавания изображений.

В завершение научно-производственного совещания были определены перспективы решения проблемы границы среднего и верхнего девона на Европейском Северо-Востоке России и поставлены основные задачи:

- координация исследований, проводимых в научных и производственных организациях, с привлечением керна скважин, пробуренных в последние годы не только на территории Тимано-Печорской провинции, но и в сопредельных регионах Восточно-Европейской платформы и Урала;

- доизучение стратотипа саргаевского горизонта, который используется в региональных стратиграфических схемах, т. к. его стратиграфический объем до сих пор остается спорным (запланированы экспедиционные полевые исследования в 2023 г. на Среднем Урале);

database of images of Devonian spores and trial algorithms for machine learning of image recognition, has been developed.

At the end of the meeting, the prospects for solving the problem of the Middle-Upper Devonian boundary in the European North-East of Russia were determined and the following tasks were set:

- coordination of researches carried out in scientific and industrial companies, with the involvement of cores from wells drilled in recent years not only in the Timan-Pechora province, but also in the adjacent regions of the East European Platform and the Urals;

- additional study of the stratotype of the Sargaev horizon, which is used in regional stratigraphic schemes, its stratigraphic scope is still controversial (expeditionary field studies are planned in 2023 in the Middle Urals);

- further works on the biozonal correlation of the boundary interval (one of possible solutions of the problem under discussion).

In accordance with the tasks set, already in August 2022, within the framework of the project, field work was carried out on the sections of the Main Devonian field, where deposits of the boundary interval were described in natural outcrops (Figs. 1–3). It is assumed

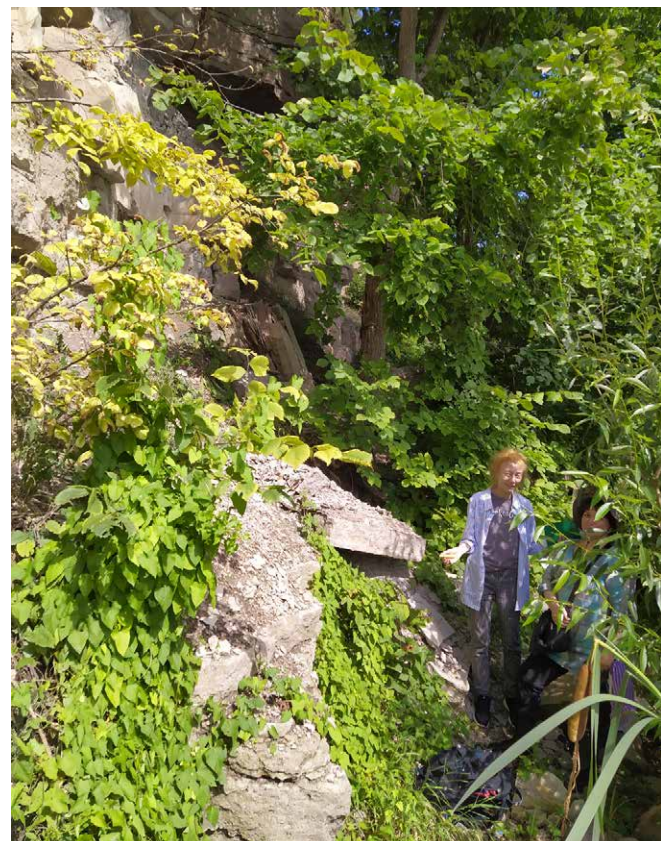


Рис. 2. Разрез «Снетная гора». Псковская область, правый берег реки Великой (нижнее течение), северо-западная окраина Пскова (у Снетогорского монастыря). Терригенно-карбонатные отложения снетогорских и псковских слоев плявиньского горизонта. Фото А. О. Иванова, 2022 г.

Fig. 2. Snetnaya Gora section. Pskov Region, right bank of the Velikaya river (lower course), northwestern outskirts of Pskov (near the Snetogorsk Monastery). Terrigenous-carbonate deposits of the Snetogorsk and Pskov layers of the Plyavinsky Regional Stage. Photo by A. O. Ivanov, 2022



Рис. 3. Разрез «Писковичи». Фото И. О. Евдокимовой, 2022 г.

Fig. 3. Piskovichi section. Photo by I. O. Evdokimova, 2022

— дальнейшие работы по биоэональной корреляции пограничного интервала (одно из возможных решений обсуждаемой проблемы).

В соответствии с поставленными задачами уже в августе 2022 г. в рамках проекта были проведены полевые работы на разрезах Главного девонского поля, где в естественных обнажениях описаны отложения пограничного интервала (рис. 1—3). Предполагается, что собранные образцы позволят скоррелировать по биоэонам (остракоды, споры высших растений, ихтиофауна и др.) одно-возрастные отложения с разрезами Среднего Тимана, где установлена наиболее полная последовательность палинокомплексов в пограничном интервале среднего и верхнего девона на Европейском Северо-Востоке России.

Объектом полевых исследований следующего года станет разрез «Покровское» на восточном склоне Среднего Урала. Ранее (Наседкина, Бороздина, 1999; Бикбаев и др., 2014), разрез был биостратиграфически изучен по разным группам фауны — брахиоподам, конодонтам, позвоночным. Однако корреляция разреза «Покровское» с разрезами западного склона и смежного региона Восточно-Европейской платформы в значительной степени условная, поскольку слои с *Skeletognathus norrisi* не имеют фаунистически охарактеризованных аналогов на западном склоне Урала. Предполагается, что новая коллекция образцов позволит сравнить биоэоны по фауне и флоре и провести межрегиональные корреляции.

Обработка и анализ собранных материалов будут способствовать обоснованию современного уровня границы среднего и верхнего девона, совершенствованию региональных стратиграфических схем как основы для всех видов региональных геологических работ, включая прогноз, поиски и разведку месторождений полезных ископаемых.

Руководитель проекта
д. г.-м. н. О. П. Тельнова

that the collected samples will allow correlating coeval deposits with sections of the Middle Timan by biozones (ostracods, spores of higher plants, ichthyofauna, etc.), where the most complete sequence of palynoassemblages has been established in the boundary interval of the Middle and Upper Devonian in the European North-East of Russia.

The object of field research next year will be the Pokrovskoye section on the eastern slope of the Middle Urals. Previously (Nasedkina and Borozdina, 1999; Bikbaev et al., 2014), the section was studied biostratigraphically for different faunal groups — brachiopods, conodonts, and vertebrates. However, the correlation of the Pokrovskoye section with the sections of the western slope and the adjacent region of the East European Platform is largely conditional, since the layers with *Skeletognathus norrisi* have no faunistic analogues on the western slope of the Urals. It is assumed that a new collection of samples will allow comparing biozones in terms of fauna and flora and making interregional correlations. It is planned to study other collections in addition to the field material.

The processing and analysis of the collected materials will contribute to the substantiation of the current level of the Middle-Upper Devonian boundary, the improvement of regional stratigraphic schemes as the basis for all types of regional geological work, including forecasting, prospecting and exploration of mineral deposits.

Project Manager
D. Sc. (geol.-miner.) O. P. Tel'nova



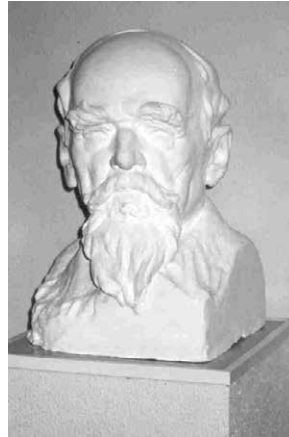
Вести музеев / Museums heritage

55-летний юбилей Геологического музея им. А. А. Чернова

17 мая 2023 года Геологический Музей Института геологии им. акад. Н. П. Юшкина отметит 55-летний юбилей.

В 1968 году была образована музейная группа в составе лаборатории литологии и осадочного рудогенеза Института геологии. С 1994 года геологический музей стал отдельным научным подразделением с присвоением ему имени профессора А. А. Чернова.

Научный геологический музей им. А. А. Чернова несет триединую функцию – сохранение, исследование, представление музейного предмета. Это делает музей одним из главных звеньев в сохранении природного наследия для будущего поколения, обработки геологической информации, экологического и культурно-эстетического воспитания. В результате более полувековых исследований института, в основном на северо-востоке европейской части России, в музее накоплен обширный геологический материал, отражающий разнообразие геологического строения и минерально-сырьевых богатств обширной территории. Строгая систематизация фондовых коллекций позволяет активно использовать материалы как сотрудни-



The 55th anniversary of the A. A. Chernov Geological Museum

The Museum of the Institute of Geology named after Acad. N. P. Yushkin will celebrate the 55th anniversary on May 17, 2023.

In 1968, a museum group was formed within the Laboratory of Lithology and Sedimentary Ore Genesis of the Institute of geology. Since 1994, the Geological Museum has become a separate scientific department and has been named after Professor A. A. Chernov.

The scientific Geological Museum named after A. A. Chernov has a triune function – the preservation, research, presentation of a museum object. It makes the Museum one of the main links in the preservation of the natural

heritage for future generations, the processing of geological information, environmental, cultural and aesthetic education. As a result of more than half a century of research by the Institute, mainly in the northeast of the European part of Russia, the Museum has accumulated an extensive geological material reflecting the diversity of the geological structure and mineral resources of the vast territory. A strict systematization of fund collections allows active using of the materials both by the staff of the Institute and by academic and sectoral research organizations, production specialists to solve urgent geological problems. The current level of geological knowledge, technological capabilities allow adjusting and modernizing the exposition. To date, the exposition area of the Museum has been significantly expanded and makes more than 350 square meters. The exhibits are displayed in 10 exhibition halls. Research work, carried out on the basis of the Geological Museum, is the basis of interdisciplinary research and is reflected in printed publications.

As part of the anniversary events, it is planned to hold a seminar “A. A. Chernov Geological Museum: yesterday,



Геологический музей им. А. А. Чернова
Института геологии
A. A. Chernov Geological Museum
of the Institute of Geology



Директор Института геологии И. Н. Бурцев
и Глава Республики Коми В. В. Уйба
Director of the Institute of Geology I. N. Burtsev
and Head of the Komi Republic V. V. Uyba



кам института, так и академическим и отраслевым научно-исследовательским организациям, специалистам-производственникам для решения актуальных геологических проблем. Современный уровень геологических знаний, технологические возможности позволяют скорректировать и модернизировать экспозиции. К настоящему моменту экспозиционная площадь музея значительно расширена и составляет более 350 кв. м. Экспонаты демонстрируются в 10 выставочных залах. Научно-исследовательские работы, проведенные на базе геологического музея, являются основой междисциплинарных исследований и отражаются в печатных изданиях.

В рамках юбилейных мероприятий планируется проведение семинара «Геологический музей им. А. А. Чернова: вчера, сегодня, завтра». Будут представлены доклады сотрудников музея по истории формирования естественно-научных коллекций в Республике Коми, обсуждаться актуальные вопросы музейного дела в современном контексте, специфика выставочной и экспозиционной работы с каменным материалом, проведение научно-исследовательской работы на базе музея, перспективы развития.

Приглашаем к участию в семинаре специалистов в области геологии, работников музеев и архивов. После семинара планируется знакомство с новыми экспозициями музея.

Зав. музеем
к. г.-м. н. И. С. Астахова



Экскурсия для школьников 4 класса школы № 18
Excursion for schoolchildren of the 4th grade of school No. 18

today, tomorrow". The reports of the Museum staff on the history of the formation of natural science collections in the Komi Republic will be presented, topical issues of museum business in the modern context, the specifics of exhibition and exposition work with stone material, research work on the basis of the museum, and development prospects will be discussed.

We invite specialists in the field of geology, employees of museums and archives to participate in the seminar. After the seminar, it is planned to observe new exhibitions of the Museum.

Head of the Museum,
Cand. Sc. (geol.-miner.) I. S. Astakhova

Новые поступления в фонды музея • New items in the museum collection



Строматолит. Рифей. Средний Тиман, р. Ворыква
(муз. № 319/1-Антропова Е. В.)
Stromatolite. Riphean. Middle Timan, Vorykva Riv.
(mus. No. 319/1-Antropova E. V.)



Кристалл горного хрусталя с зонами роста с месторождения Желанное (муз. № 666/896-Юхтанов П. П.)
Rock crystal with growth zones from the Zhelannoye deposit (mus. No. 666/896-Yukhtanov P. P.)

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка

Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 28.02.2023. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1199. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru