

УДК 551.787.4(486)

ОПОРНЫЕ РАЗРЕЗЫ, ИСКОПАЕМАЯ ИХТИОФАУНА И Sr-ИЗОТОПНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО ФРАНА ЛАТВИЙСКОЙ СЕДЛОВИНЫ И ОРШАНСКОЙ ВПАДИНЫ, БЕЛАРУСЬ

© 2023 г. Д. П. Плакс¹, *, А. Б. Кузнецов², **, А. А. Гаврилова^{2, 3}, А. М. Кульков³

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

² Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: agnatha@mail.ru

**e-mail: antonbor9@mail.ru

Поступила в редакцию 16.12.2022 г.

После доработки 13.02.2023 г.

Принята к публикации 23.03.2023 г.

В статье приведено литологическое описание разрезов нижнефранского подъяруса верхнего девона: желонского горизонта и сарьянских слоев саргаевского горизонта, выходящих на поверхность в бассейне р. Сарьянка, Латвийская седловина. Представлено сводное литологическое описание саргаевских и семилукских отложений франского яруса в карьере Гралево Витебской области, Оршанская впадина. В нижнефранских отложениях обнаружены макро- и микромерные остатки гетеростраков, плакодерм, акантод, саркоптеригий, актиноптеригий, а также сколекодонты и конодонты; представлены их фотоизображения. Впервые определен изотопный состав Sr в остатках ихтиофауны из желонского и саргаевского горизонтов Беларуси. На основе палеоихтиологических и тафономических данных, литологии и изотопного состава Sr фрагментов ихтиофауны уточнены условия седиментации в желонское и сарьянское время, а также выполнена корреляция удаленных разрезов. Значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в образцах ихтиофауны из сарьянских слоев в разрезах Латвийской седловины (разрезы Калюты 5а и 6, Виренка 1) и Оршанской впадины (карьер Гралево) лежат в сходных пределах: 0.70825–0.70842 и 0.70837–0.70856 соответственно. Значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ихтиофауне из желонского горизонта в разрезах Калюты 2 и Обухово 1 (Латвийская седловина) варьируют в пределах 0.70898–0.70932 и 0.71065–0.71102 соответственно. Высокие значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ископаемой ихтиофауне обоих горизонтов предполагают, что раннефранский палеобассейн был значительно опреснен, а соленость в палеобассейне сарьянского времени была сравнима с соленостью современного Балтийского моря.

Ключевые слова: ихтиофауна, изотопы Sr, хемостратиграфия, франский ярус, девон

DOI: 10.31857/S0869592X2306008X, EDN: YSLIGW

ВВЕДЕНИЕ

Отложения девонской системы широко распространены в пределах Восточно-Европейской платформы. Они формируют так называемое Главное девонское поле вдоль юго-восточной окраины Балтийского щита в пределах Ленинградской, Псковской, Новгородской и Тверской областей, Прибалтики и Беларуси (Геккер и др., 1935). Девонские отложения представлены разнообразными песчано-глинистыми и карбонатными осадочными породами морского, прибрежно-морского, лагунного и континентального происхождения. Отложения Главного девонского поля содержат огромный палеонтологический материал, позволяющий установить фациальные и биотические особенности в древних морских палеобассейнах. Среди многочисленных ископаемых остатков

особое место занимает ихтиофауна, которая широко распространилась в девонское время (Обручев, 1930). Южная часть Главного девонского поля охватывает северные и северо-восточные территории Беларуси. В тектоническом отношении девонские породы здесь приурочены к Латвийской седловине, Белорусской антеклизе и Оршанской впадине. На территории Латвийской седловины вскрыты породы от витебского горизонта эмского яруса нижнего девона до семилукского горизонта франского яруса верхнего девона (Кручек и др., 2001; Обуховская и др., 2010). На территории Оршанской впадины вскрыты отложения от витебского горизонта эмского яруса нижнего девона до нижнефаменского подъяруса верхнего девона на границе с Россией (Обуховская и др., 2010, 2018).

Таблица I

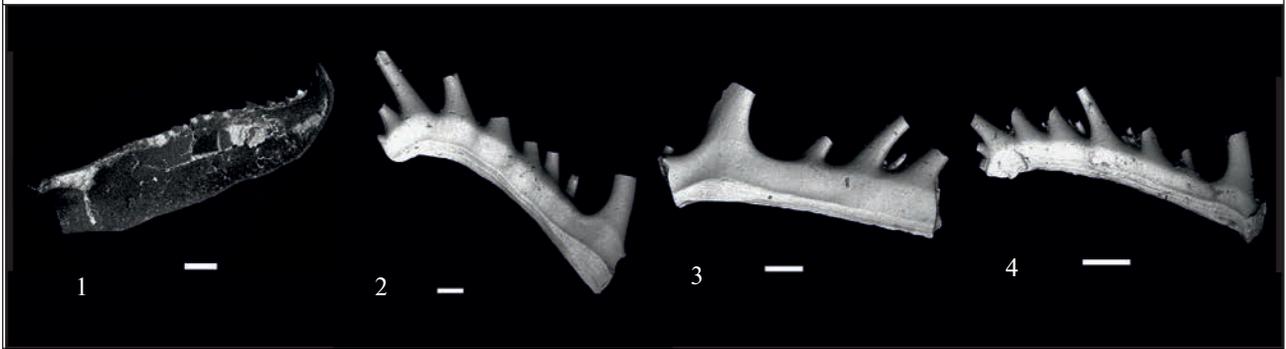


Таблица I. Сколекодонт и конодонты из нижнефранских отложений верхнего девона обнажения Калюты 2. Длина всех масштабных линеек 100 мкм.

1 – *Kettnerites* sp., экз. № 48/21-3, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, правая задняя верхняя челюсть (M1г), вид сбоку, $\times 100$; желонский горизонт; 2 – “*Ligonodina*” sp., экз. № 48/21-5, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, M-элемент, вид сбоку, $\times 100$; желонский горизонт; 3 – “*Ligonodina*” sp., экз. № 48/21-4, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, M-элемент, вид сбоку, $\times 130$; желонский горизонт; 4 – “*Ligonodina*” sp., экз. № 48/21-17, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, M-элемент, вид сбоку, $\times 130$; желонский горизонт.

Рассматриваемые в настоящей статье девонские породы Беларуси ограничены нижнефранским подъярусом и включают терригенные отложения желонского горизонта и карбонатные породы саргаевского горизонта. Граница живетского и франского ярусов в статье проводится в подошве желонского горизонта согласно последней утвержденной Стратиграфической схеме девонских отложений Беларуси 2010 г. (Обуховская и др., 2010). В статье приведено литологическое описание нескольких разрезов: Обухово 1, Калюты 2, Калюты 6, Виренка 1 и Калюты 5а в долине р. Сарьянка. Разрезы Обухово 1, Синие глины 1, Калюты 2 и Калюты 7 характеризуют отложения желонского горизонта в бассейне р. Сарьянка. Сводный разрез, составленный из серии надстраивающих друг друга разрезов, в полном объеме характеризует сарьянские слои саргаевского горизонта (Плаха, Заика, 2018). Здесь же приводятся новые результаты палеонтолого-стратиграфических и тафономических исследований, которые вносят значимые литолого-стратиграфические уточнения и важные палеоихтиологические и тафономические дополнения в описания этих разрезов. Одним из результатов этой работы стали фотоизображения сколекодонтов и конодонтов (табл. I) и наиболее характерных скелетных элементов ихтиофауны из этих разрезов: гетеростраков (табл. II–IV), плакодерм (табл. V, VI), саркоптеригий (табл. VII, VIII) и актиноптеригий (табл. IX).

Впервые в девонских отложениях желонского и саргаевского горизонтов Беларуси было проведено изучение изотопного состава стронция в образцах скелетных элементов ихтиофауны. Значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ископаемой фауне, захороненной *in situ*, могут являться как дополнительным средством корреляции морских отложений на основе

метода SIS, так и инструментом для определения палеофациальной обстановки, морских и пресноводных стадий (McArthur et al., 2012; Кузнецов и др., 2014, 2018). В работах по изучению изотопного состава Sr в ископаемых остатках рыб и их зубов отмечается, что эти ископаемые сложены биоапатитом, в котором отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ наследуется без какого-либо фракционирования к среде обитания (Schmitz et al., 1991; Bertram et al., 1992; Holmden et al., 1996; Martin, Scher, 2004). Таким образом, важным преимуществом этого материала является его способность сохранять Sr-изотопную метку среды обитания в отсутствие карбонатов. Во многих работах отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ костных остатков рыб использовано для оценки прежде всего пресноводных и морских условий обитания (Schmitz et al., 1991; Tütken et al., 2011), а также стратиграфического возраста (Holmden et al., 1996; Ebner et al., 1997; Qing et al., 1998; Дубинин и др., 2018). Новые Sr-изотопные данные по ископаемым остаткам рыб, обнаруженным в отложениях желонского и саргаевского горизонтов, позволили уточнить палеогеографические построения и выявить значительную степень опреснения при накоплении позднедевонских отложений Латвийской седловины и Оршанской впадины.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ РАЙОНОВ

Девонские отложения распространены на значительной территории Беларуси, занимая около 4/5 ее площади (рис. 1), и на дневную поверхность выходят в пределах Латвийской седловины, Белорусской антеклизы и Оршанской впадины. В юго-восточной части Беларуси девонские отложения вскрываются скважинами.

Л.Ф. Лунгерсгаузен (1930) был первым исследователем, открывшим девонские глины и доломиты на территории белорусской части Латвийской седловины в бассейне р. Сарьянка, притока в верховьях Западной Двины. Однако отсутствие руководящих органических остатков позволило ему отнести эти породы к среднему девону лишь условно. Карбонатные породы он ошибочно сопоставил с доломитами, обнажающимися по р. Западная Двина недалеко от Витебска и по рекам Днепр и Оршица в г. Орше. Позже А.А. Алейников (1933) посетил выходы глин и доломитов на р. Сарьянка и отнес их к франскому ярусу верхнего девона. В послевоенное время З.П. Воробьева (1950) обнаружила ядра брахиопод *Cyrtospirifer tenticulum* (Vern.)?, *Cyrtina demarllii* Bouch. и *Schizophoria* sp. и остатки панцирных рыб в доломитах на р. Сарьянка и на этом основании также сопоставила сарьянские доломиты с доломитами района Витебска.

Позднее представления о стратиграфической принадлежности сарьянских доломитов неоднократно менялись. По литологическому сходству сарьянские доломиты условно отнесли к слоям $b_2 + b_3$ западной части Главного девонского поля (селийская + атзельская пачки плявиньского горизонта) и к псковским слоям плявиньского горизонта восточной части Главного девонского поля (Петров, 1951). В работе (Петров, 1956) сарьянские доломиты были сопоставлены уже со свинордско-бурегскими слоями Главного девонского поля. Позднее В.С. Сорокин (1978) отнес сарьянские доломиты к аналогам альтиовских слоев даугавского горизонта Балтийского региона, а В.К. Голубцов (1978) сопоставил сарьянские доломиты со снетогорско-псковскими слоями. Наконец, доломитовая толща по р. Сарьянка была

определена в качестве стратотипа сарьянских слоев саргаевского горизонта франского яруса верхнего девона (Голубцов и др., 1981; Стратиграфический..., 1991).

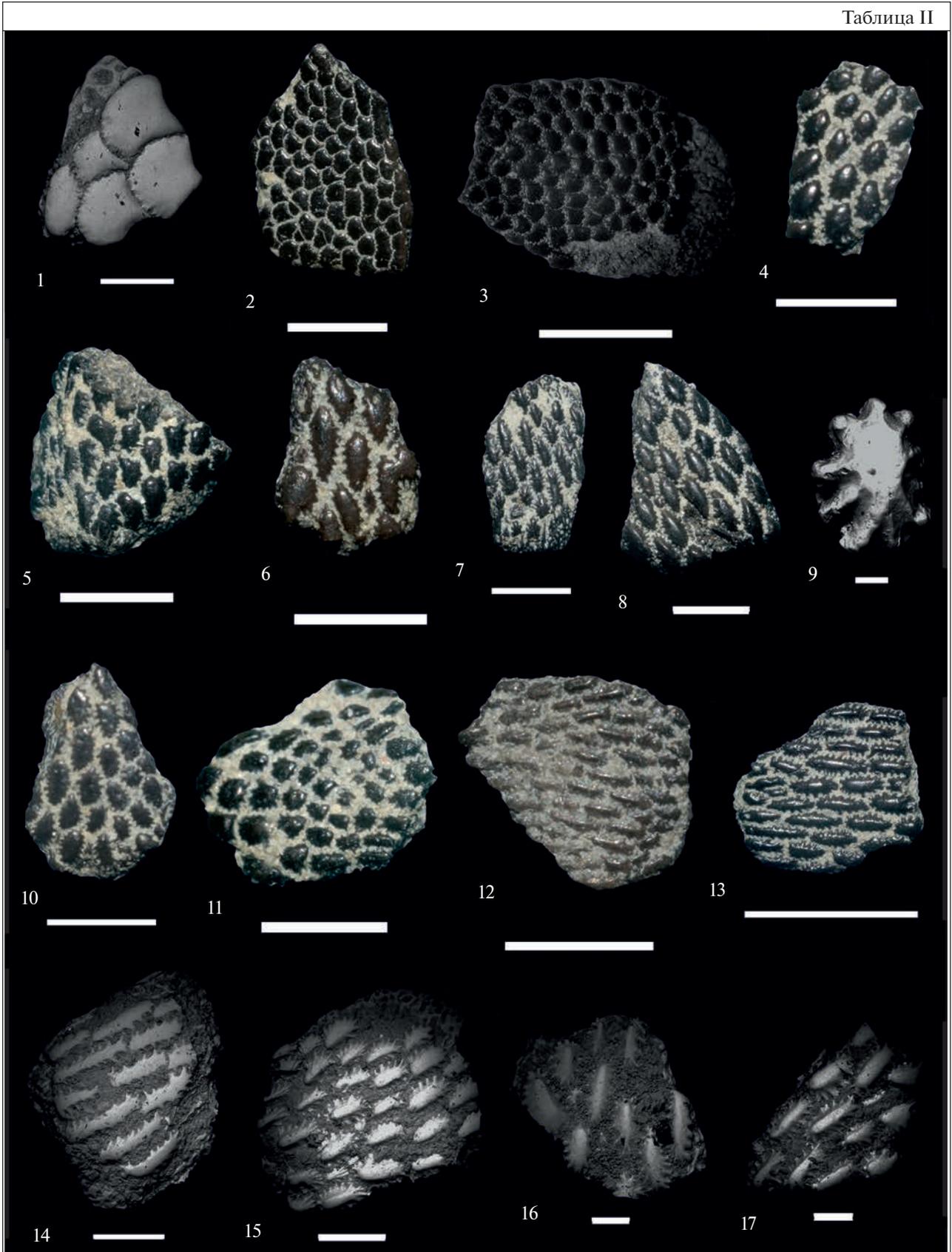
Недавние находки ихтиофауны в сарьянских доломитах обнаружили сходство со снетогорским комплексом позвоночных Главного девонского поля, который распространен в снетогорско-псковском интервале плявиньского горизонта, и позволили сопоставить их с ассоциацией бесчелостных и рыб скрыгаловских слоев саргаевского горизонта Припятского прогиба, Жлобинской седловины и Оршанской впадины на территории Беларуси (Плакс, Кручек, 2009, 2010). Позднее Д.П. Плакс и В.Ю. Заика (Плакс, Заика, 2018) коррелировали сарьянские доломиты предположительно с отложениями сарьянских слоев саргаевского горизонта, развитыми в Припятском прогибе, Жлобинской седловине и Оршанской впадине.

Терригенные отложения, обнажающиеся по берегам р. Сарьянка, согласно Ф.В. Лунгерсгаузену (1930) и А.А. Алейникову (1933), были отнесены к верхнегауйской подсвите гауйской свиты нижнефранского подъяруса на основе литолого-минералогических данных (Лиепиньш, 1963). Лишь спустя четыре десятилетия в песчаниках и глинах (разрез Синие глины 1 и Обухово 1) были впервые обнаружены остатки ихтиофауны, залегающие ниже пачки сарьянских доломитов (Плакса, 2005б). Обнаруженные макро- и микромерные остатки ихтиофауны дали возможность впервые палеонтологически обосновать возраст терригенных отложений и отнести их к желонскому горизонту нижнефранского подъяруса. Новые находки ихтиофауны в обнажениях Калюты 2 и Калюты 7 дополнили их таксономический состав и под-

Таблица II. Остатки гетеростраков из нижнефранских отложений верхнего девона обнажений Обухово 1 и Калюты 2. Длина масштабной линейки 500 мкм для фиг. 1, 16 и 17; 200 мкм для фиг. 9; 1 мм для фиг. 14 и 15; 2 мм для фиг. 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 и 12; 4 мм для фиг. 13; 5 мм для фиг. 3.

1 — *Placosteus undulatus* (Agassiz), экз. № 48/23-3, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи (?), вид снаружи, $\times 50$; желонский горизонт; 2 — *Placosteus undulatus* (Agassiz), экз. № 48/24-34, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 3 — *Placosteus undulatus* (Agassiz), экз. № 29/2-158, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, чешуя, вид снаружи; желонский горизонт; 4 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/24-37, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 5 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/24-19, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи (?), вид снаружи; желонский горизонт; 6 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/24-35, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 7 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/24-31, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 8 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/24-32, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 9 — *Psammosteus* sp., экз. № 48/21-1, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, дентиновый бугорок, вид сверху, $\times 90$; желонский горизонт; 10 — *Psammosteus* sp., экз. № 48/24-38, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи, $\times 90$; желонский горизонт; 11 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/24-20, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент тессеры, вид снаружи; желонский горизонт; 12 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/24-36, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи (?), вид снаружи; желонский горизонт; 13 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/24-18, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 14 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/23-2, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи (?), вид снаружи, $\times 25$; желонский горизонт; 15 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/21-21, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи, $\times 25$; желонский горизонт; 16 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/23-6, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи (?), вид снаружи, $\times 35$; желонский горизонт; 17 — *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/21-22, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи, $\times 37$; желонский горизонт.

Таблица II



твердили желонский возраст (Плакс, Кручек, 2009; Плакс, 2010; Plax, Zaika, 2020). В глинистых отложениях обнажения Калюты 2 среди многочисленных таксонов ихтиофауны был найден вид *Bothriolepis obrutschewi* Gross, позволяющий сопоставить эту часть разреза с верхней частью аматского горизонта Главного девонского поля (Лярская, Лукшевич, 1992; Esin et al., 2000) и верхней частью желонского горизонта Беларуси.

В пределах Оршанской впадины девонские отложения начинаются с витебского горизонта эмского яруса, надстраиваются породами эйфельского и живетского ярусов, выше залегают породы желонского, саргаевского и семилукского горизонтов нижнего и среднего франа (Стратиграфический..., 1991; Обуховская и др., 2018). На границе с Российской Федерацией разрез девона наращивается еще верхнефранскими и нижнефаменскими (задонскими) отложениями (Обуховская и др., 2018). Желонский горизонт сложен преимущественно глинами с прослоями песчаников, алевролитов, мергелей и доломитов. Эти отложения накапливались в лагунных обстановках краевых мелководных зон морского бассейна (Кручек и др., 2001; Обуховская и др., 2010; Plax, 2017). Саргаевский горизонт представляет крупный, законченный трансгрессивно-регрессивный ритм осадконакопления, в составе которого выделяются ритмы более мелкого порядка, достаточно широко прослеживаемые на изучаемой территории. Сарьянские доломиты трансгрессивно залегают на более глинистых породах скрыгаловских слоев. В их подошве присутствуют прослои известняка, часто органогенно-обломочного доломита, реже мергеля и доломитизированного мергеля. Сарьянские слои формировались в мелководном морском бассейне.

На территории Оршанской впадины выходы девонских карбонатных пород впервые были обнаружены в бассейне р. Днепр в районе Орши (Blasius, 1844). В настоящее время в этом районе девонские доломиты обнажены в карьере Гралево у пос. Руба и, согласно палеонтологическим данным, они относятся к саргаевскому и семилукскому горизонтам (Кручек и др., 2001; Обуховская и др., 2010). Отложения в этом карьере содержат богатую раннефранскую (саргаевскую) фауну рыб (Иванов и др., 2003; Плакса, 2005а). Вероятно, доломитовые мергели, содержащие многочисленные остатки ихтиофауны, также могут относиться к сарьянским слоям саргаевского горизонта нижнего франа (Plax, 2017). Однако однозначно сопоставить эти отложения по ихтиофауне со стратотипическими отложениями сарьянских слоев, развитых в бассейне р. Сарьянка, пока затруднительно по причине отсутствия общих руководящих видов. Не исключено, что эти две удаленные зоны (Латвийская седловина и Оршанская впадина) представляли разные части крупного девонского бассейна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основой для выполнения работы послужил палеоихтиологический материал, собранный Д.П. Плаксом за период с 2003 по 2020 гг. из девонских обнажений в бассейне р. Сарьянка (Обухово 1, Калюты 2, Калюты 6, Калюты 5а) и по р. Виренка (Виренка 1) в Верхнедвинском районе и в карьере Гралево (пос. Руба, Витебский район). Палеоихтиологический материал из вышеуказанных разрезов представлен разрозненными скелетными элементами: чешуями, тессерами, пластинками (фрагментарными или целыми), зубами,

Таблица III. Остатки гетеростраков из нижнефранских отложений верхнего девона обнажений Обухово 1 и Калюты 2. Длина масштабной линейки 500 мкм для фиг. 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 13 и 16; 200 мкм для фиг. 14, 15 и 17; 1 мм для фиг. 8; 2 мм для фиг. 12.

1 – *Placosteus undulatus* (Agassiz), экз. № 48/22-6, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент тессеры, вид снаружи, ×45; желонский горизонт; 2 – *Psammosteus* sp., экз. № 48/22-4, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×50; желонский горизонт; 3 – *Psammosteus* sp., экз. № 48/21-16, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×50; желонский горизонт; 4 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/20-13, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×50; желонский горизонт; 5 – *Psammosteus* sp., экз. № 48/24-23, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи; желонский горизонт; 6 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/22-3, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×50; желонский горизонт; 7 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/22-5, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×50; желонский горизонт; 8 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/21-20, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи, ×25; желонский горизонт; 9 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/20-6, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×40; желонский горизонт; 10 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/21-15, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×40; желонский горизонт; 11 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/23-4, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×35; желонский горизонт; 12 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 29/3-5, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, чешуя, вид снаружи; желонский горизонт; 13 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/20-9, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×40; желонский горизонт; 14 – *Psammosteus* sp., экз. № 48/21-28, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×80; желонский горизонт; 15 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/21-6, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×80; желонский горизонт; 16 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/20-10, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×40; желонский горизонт; 17 – *Placosteus undulatus* (Agassiz), экз. № 48/21-2, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, ×80; желонский горизонт.

Таблица III

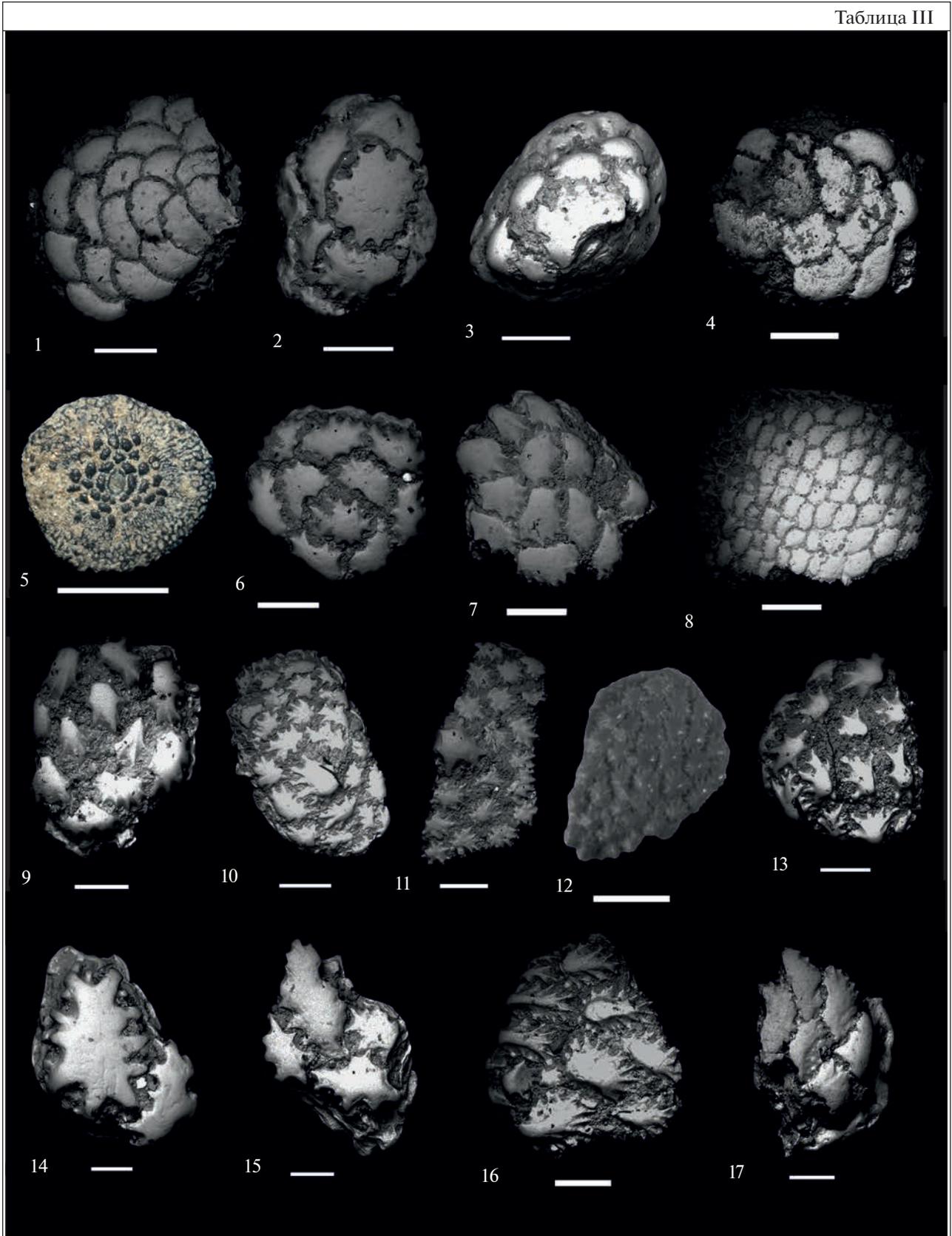


Таблица IV

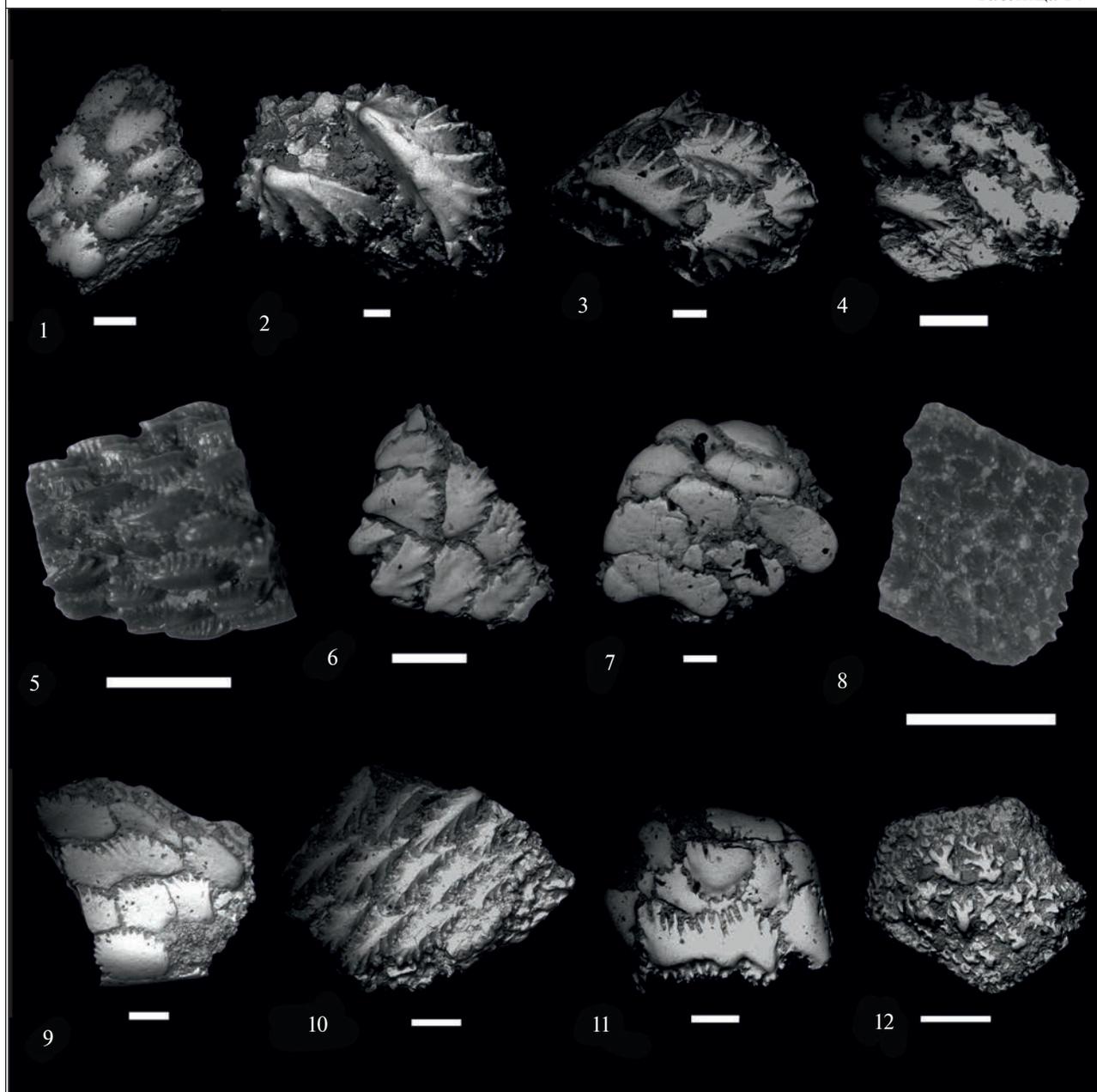


Таблица IV. Остатки гетеростраков из нижнефранских отложений верхнего девона обнажений Обухово 1 и Калюты 2. Длина масштабной линейки 500 мкм для фиг. 1, 4, 6, 9, 10, 11 и 12; 200 мкм для фиг. 3 и 7; 100 мкм для фиг. 2; 2 мм для фиг. 5; 4 мм для фиг. 8.

1 – *Psammosteus* sp., экз. № 48/23-1, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент тессеры (?), вид снаружи, $\times 30$; желонский горизонт; 2 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 48/21-27, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент тессеры (?), вид снаружи, $\times 100$; желонский горизонт; 3 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 48/20-8, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент тессеры, вид снаружи, $\times 60$; желонский горизонт; 4 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 48/20-7, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки (?), вид снаружи, $\times 50$; желонский горизонт; 5 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 29/2-153, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, фрагмент коньковой чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 6 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 48/22-1, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи, $\times 50$; желонский горизонт; 7 – *Psammosteus* cf. *praecursor* Obruchev, экз. № 48/22-2, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент тессеры, вид снаружи, $\times 60$; желонский горизонт; 8 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 29/2-123, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 9 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 48/20-5, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент тессеры (?), вид снаружи, $\times 30$; желонский горизонт; 10 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 48/21-14, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи, $\times 35$; желонский горизонт; 11 – *Psammosteus praecursor* Obruchev, экз. № 48/20-4, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент тессеры, вид снаружи, $\times 35$; желонский горизонт; 12 – *Psammosteinae* indet., экз. № 48/20-12, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, тессера, вид снаружи, $\times 50$; желонский горизонт.

позвонками, плавниковыми шипами, фрагментами челюстей и покровными костями черепа. Одновременно со сбором палеоихтиологического материала в полевых условиях производилось стратиграфическое и тафономическое изучение и детальное литологическое описание разрезов.

Большая часть изученных остатков ихтиофауны хранится в личной коллекции одного из авторов, часть скелетного материала хранится в Республиканском унитарном предприятии “Научно-производственный центр по геологии” и незначительная часть – в палеонтологической коллекции на кафедре Горные работы Белорусского национального технического университета (г. Минск).

Извлечение скелетных элементов ихтиофауны из пород происходило в лаборатории двумя способами: химическим или механическим. Выбор способа извлечения зависел от твердости породы или сохранности скелетных остатков. Для извлечения остатков ихтиофауны из карбонатных и карбонатно-терригенных пород применялась 9–15%-ная уксусная кислота. Из мягких пластичных глин и песчаных глин скелетные остатки ихтиофауны извлекались без химической обработки путем отмучивания и промывания их в воде. Породы, подверженные кислотной обработке, спустя некоторое время растворялись и образовывали осадок с остатками ихтиофауны. Крупные, визуально видимые экземпляры скелетных элементов бесчелюстных и рыб изымали из осадка, промывали и складывали в специальные коробочки. Осадок, который мог содержать мелкие остатки ихтиофауны, отмучивали от глинистых частиц путем многократной промывки водой либо, с целью ускорения отмывки, просеивали под струей воды на сите (диаметр ячеек 0.1 мм). Отмытый осадок переливали в фарфоровые чашки и высушивали несколько дней в лабораторной комнате при комнатной температуре. Высушенную фракцию осадка (0.1–2.0 мм и более) просматривали под стереоскопическим микроскопом МБС-1. Мелкие скелетные остатки ихтиофауны отбирали вручную влажной кисточкой № 1 или иглой и складывали в камерки Франке. Часть представительных микроостатков ихтиофауны была отобрана из общей массы образцов и смонтирована двухсторонним скотчем на металлический носитель для последующего фотографирования.

Механический способ извлечения остатков ихтиофауны с применением иглы в иглодержателе использовался в том случае, если вмещающая порода легко отделялась от поверхности экземпляра (фрагмента пластинки, чешуи и др.).

Фотографирование макромерных скелетных элементов ихтиофауны осуществлялось с помощью фотоаппаратов PowerShot SX130 IS и Sony A58 с объективом Индустар-50. Электронные микрофотографии остатков бесчелюстных и рыб были вы-

полнены на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV (JEOL, Япония) (см. табл. V–VII).

Трехмерное изображение скелетных элементов (см. табл. I–V, VII–IX) было получено при сканировании на рентгеновском микротомографическом сканере Skyscan 1172 (Bruker) при напряжении на трубке 100 кВ, силе тока 100 мкА, шаге сканирования (Rotation Step) 0.3° с усреднением (Frame Averaging) по 5 кадрам (РЦ “РДМИ” НП СПбГУ). Разрешение изображения 2.28 мкм/пиксель. Реконструкция результатов сканирования проводилась при помощи прикладного программного обеспечения NRecon (Broker).

Для идентификации скелетных элементов агнат и рыб, помимо внешних морфологических признаков, использовались гистологические данные. Комплексное использование признаков скульптуры и внутреннего строения скелетообразующих тканей позволяло с большей точностью диагностировать вид. Однако фрагментарность и качество сохранности материала не всегда позволяли определить экземпляр до вида. По этой причине некоторая часть определений позвоночных была оставлена в открытой номенклатуре.

Изотопный состав Sr изучен в 12 образцах скелетных остатков ихтиофауны, отобранных в разрезах Обухово 1, Калюты 2, Калюты 6, Виренка 1, Калюты 5а и в карьере Гралево. Фрагменты скелетных элементов (чешуя, пластинки) сложены апатитом согласно данным рентгенофазового анализа. Измельченный материал был предварительно промыт в дистиллированной воде, подкисленной соляной кислотой (ИГГД РАН, Санкт-Петербург). Затем отмытый фосфоритовый концентрат обрабатывался 1N раствором HCl в течение суток при комнатной температуре. При этих условиях в раствор переходит большая часть апатита (Овчинникова и др., 2008, 2013; Stüken et al., 2021). Sr выделяли ионообменным способом на катионите Dowex AG50Wx8 (Горохов и др., 2007, 2022). Изотопный состав Sr измеряли на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в статическом режиме. Уровень лабораторного загрязнения при выделении Sr не превышал 4 нг. Среднее значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в стандартном образце NIST SRM 987 составило в период работы 0.71027 ± 0.00001 ($2\sigma_{\text{средн}}$, $n = 9$). В этих же образцах определена концентрация Sr на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре Genius IF (Израиль) в ИГГД РАН (430–2020 мкг/г). При калибровке спектрометра использовали стандарт ГСО № 3333-85. Точность определения Sr до 10%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Литология нижнефранских разрезов р. Сарьянка и карьера Гралево и тафономическая характеристика ихтиофауны из этих разрезов

В пределах белорусской части Латвийской седловины выходы нижнефранского подъяруса в бассейне р. Сарьянка представлены терригенными отложениями желонского горизонта и карбонатными породами сарьянских слоев саргаевского горизонта. Результаты литологического и палеонтолого-стратиграфического изучения этих отложений в представительных разрезах по р. Сарьянка были освещены в некоторых публикациях (Плакса, 2005б; Плакс, 2010; Плакс, Кручек, 2009, 2010; Плах, Заика, 2018, 2020). Ниже приводится подробное описание разрезов Обухово 1, Калюты 2, Калюты 6, Виренка 1 и Калюты 5а, из которых были отобраны образцы скелетных элементов рыб для определения изотопного состава стронция. Разрезы рассматриваются в порядке их стратиграфического надстраивания от более древних к более молодым. Все наиболее значимые макро- и микромерные скелетные элементы ихтиофауны из этих обнажений приводятся в табл. I–IX.

Отложения **желонского горизонта** франского яруса хорошо представлены в разрезах Обухово 1, Калюты 2, Калюты 7 и Синие глины 1. Детальное описание двух последних разрезов даны в работах (Плакс, Кручек, 2010; Плах, Заика, 2020), а ниже приводятся описания только разрезов Обухово 1 и Калюты 2.

Разрез Обухово 1 (рис. 2) расположен на левом берегу р. Сарьянка, в 2 км вверх по течению от де-

ревни Обухово. В разрезе обнажаются (снизу вверх) следующие слои:

1. Глина голубовато-серая с бурыми пятнами, однородная, жирная, во влажном состоянии вязкая, пластичная. Мощность 1.8 м.

2. Глина песчанистая, алевролитистая, голубовато-серая, плотная, с редким включением мелких валунов (10–15 см), но с многочисленными окатанными или угловатыми гальками полевых шпатов, кварца, гранита, кварцита, гнейсов, песчаников, известняков и доломитов. Для этого слоя характерна волнообразная слоистость. Органические остатки представлены многочисленными мелкими обломками пластинок, чешуями, тессерами, дентиновыми бугорками наружного слоя пластинок *Placosteus* sp., *P. undulatus* (Ag.), *Psammosteus* sp., *P. praecursor* Obr., *P. cf. maeandrinus* Ag., *Psammosteoides* indet., обломками пластинок экзоскелета *Ptyctodontida* gen. indet., *Plourdosteus* sp., *Asterolepis radiata* Rohon, *Bothriolepis* sp., фрагментами плавниковых шипов *Devononchus* sp., *D. concinnus* (Gross), *Acanthodii* gen. indet., зубами *Onychodontiformes* indet. и чешуями *Glyptolepis* sp., *Laccognathus* sp., *Holoptychius* cf. *nobilissimus* Ag., *Osteolepididae* gen. indet., *Dipteridae* gen. indet. и *Sarcopterygii* indet. Скелетные элементы указанных таксонов в основном мезо- и мелкоразмерные. Мощность 1.5 м.

3. Глина песчанистая, светло-коричневая, кремевая, с пропластками бурой, оранжевой и голубовато-серой глины. Характерна волнообразная слоистость. Остатки скелетных элементов агнат и рыб представлены мелкими фрагментами пластинок, тессерами, чешуями, дентиновыми бугорками *Placosteus undulatus* (Ag.), *Psammosteus* sp., *P. cf. maeandrinus* Ag., мелкими обломками пластинок

Таблица V. Остатки плакодерм из обнажений Обухово 1, Калюты 2, Калюты 6, Виренка 1, Калюты 5а и карьера Гралево. Все скелетные элементы рыб происходят из нижнефранских отложений верхнего девона. Длина масштабной линейки 1 мм для фиг. 12; 4 мм для фиг. 3; 5 мм для фиг. 1, 2, 10, 14, 15, 16 и 17; 1 см для фиг. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 и 13. 1 – *Plourdosteus* sp., экз. № 29/1-42, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 2 – *Plourdosteus* sp., экз. № 48/24-33, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 3 – *Placodermi* indet., экз. № 48/24-28, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 4 – *Plourdosteus* sp., экз. № 1/483-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 5 – *Plourdosteus mironovi* (Obruchev), экз. № 1/163-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, *praeorbitale*, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 6 – *Plourdosteus mironovi* (Obruchev), экз. № 1/198-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, *marginale*, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 7 – *Plourdosteus mironovi* (Obruchev), экз. № 1/484-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 8 – *Plourdosteus mironovi* (Obruchev), экз. № 1/223-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, *anterior ventro-laterale*, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 9 – *Plourdosteus mironovi* (Obruchev, 1933), экз. № 1/212-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, *anterior laterale*, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 10 – *Plourdosteus mironovi* (Obruchev, 1933), экз. № 1/225-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, левое *posterior medio-ventrale*, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 11 – *Plourdosteus* sp., экз. № 117/1-1, обн. Виренка 1, слой 1, гл. 5.0–5.3 м, фрагмент *posterior ventro-lateral*, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 12 – *Ptyctodontida* gen. indet., экз. № 107/15-1, обн. Калюты 5а, слой 7, гл. 0.4–0.9 м, тритор, вид с наклоном сверху; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 13 – *Plourdosteus* ? sp., экз. № 1/123а-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 14 – *Placodermi* indet., экз. № 1/492-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 15 – *Grossilepis* sp., экз. № 52/8-37, обн. Калюты 6, нижняя часть слоя 2, гл. 1.2–1.6 м, правое *laterale*, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 16 – *Bothriolepis obrutschewi* Gross, экз. № 48/25-3, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, *nuchale*, вид снаружи; желонский горизонт; 17 – *Bothriolepis* sp., экз. № 48/1-21, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, *praemediale*, вид снаружи; желонский горизонт.

Таблица V



Euarthrodira indet., чешуями *Glyptolepis* sp., *Holoptychius* sp., *H. cf. nobilissimus* Ag., *Laccognathus* sp., *Osteolepididae* gen. indet., *Panderichthys* sp., *Dipteridae* gen. indet. и *Sarcopterygii* indet. Мощность 0.6 м.

Разрез Калюты 2 (рис. 3) расположен на левом берегу р. Сарьянка, примерно в 70 м вверх по течению от обнажения Синие глины 1. Здесь снизу вверх обнажаются:

1. Глина голубовато-синяя, влажная, вязкая, пластичная, жирная, комковатая, плотная, неяснослоистая, с мелкими (от 0.5 до 5 мм) обломками кварца, полевого шпата, песчаника и доломита. В 33–35 см от основания слоя присутствует линза комков глины и гравия, сцементированных карбонатным цементом, мощностью 10 см. В этой линзе установлены углефицированные растительные остатки, два сколекодонта *Kettnerites* sp., единичные обломки раковин лингулид, конодонты "*Ligonodina*" sp. и много микро- и мезомерных обломков скелетных элементов бесчелюстных и рыб. Последние встречаются в толще всего слоя глины, но наиболее многочисленны они в указанном прослое. Позвоночные представлены мелкими обломками пластинок, чешуями, тессерами, дентиновыми бугорками *Placosteus undulatus* (Ag.), *Psammosteus* sp., *P. praecursor* Obr., *P. cf. praecursor* Obr., *Psammosteoides* indet., триторами *Ptyctodontida* gen. indet., "*Ptyctodus*" sp., обломками пластинок экзоскелета *Plourdosteus* sp., *Euarthrodira* indet., *Asterolepis* sp., *A. ?* sp., *A. radiata* Rohon, *Bothriolepis* sp., *B. obrutschewi* Gross, *Placodermi* indet., чешуями *Acanthodes ?* sp., фрагментами плавниковых шипов *Devononchus* sp., зубами *Onychodontiformes* indet. и чешуями *Glyptolepis* sp., *Laccognathus* sp., *Porolepiformes* indet., *Osteolepididae* gen. indet., *Tristichopteridae* gen. indet., *Panderichthys* sp., *Sarcopterygii* indet., чешуями и зубными пластинками *Dipteridae* gen. indet., *Dipteroidei* fam. gen. et sp. indet., *Dipterus* sp., *Grossipterus* sp.,

чешуями *Cheirolepis* sp., *Moynthomasia* sp. и *Actinopterygii* indet. Мощность 0.6 м.

2. Глина серая, голубоватая, плотная, однородная, плитчатая, во влажном состоянии пластичная, на поверхности породы наблюдаются выцветы и разводы светло-бурого цвета. Мощность 0.3 м.

3. Глина голубовато-серая, плотная, однородная, комковатая, неяснослоистая, жирная, во влажном состоянии вязкая и пластичная, местами в толще слоя наблюдается мелкооскольчатая глина, на поверхности которой имеются выцветы светло-бурого цвета. Мощность 0.4 м.

4. Глина светло-серая, бледно-зеленоватая (горчичная), плотная, пластичная, на поверхности слоя отчетливо наблюдаются светло-бурые, охристые выцветы и пятна. Контакт с нижележащим слоем отчетливо устанавливается по цвету и текстуре породы. Мощность 0.3 м.

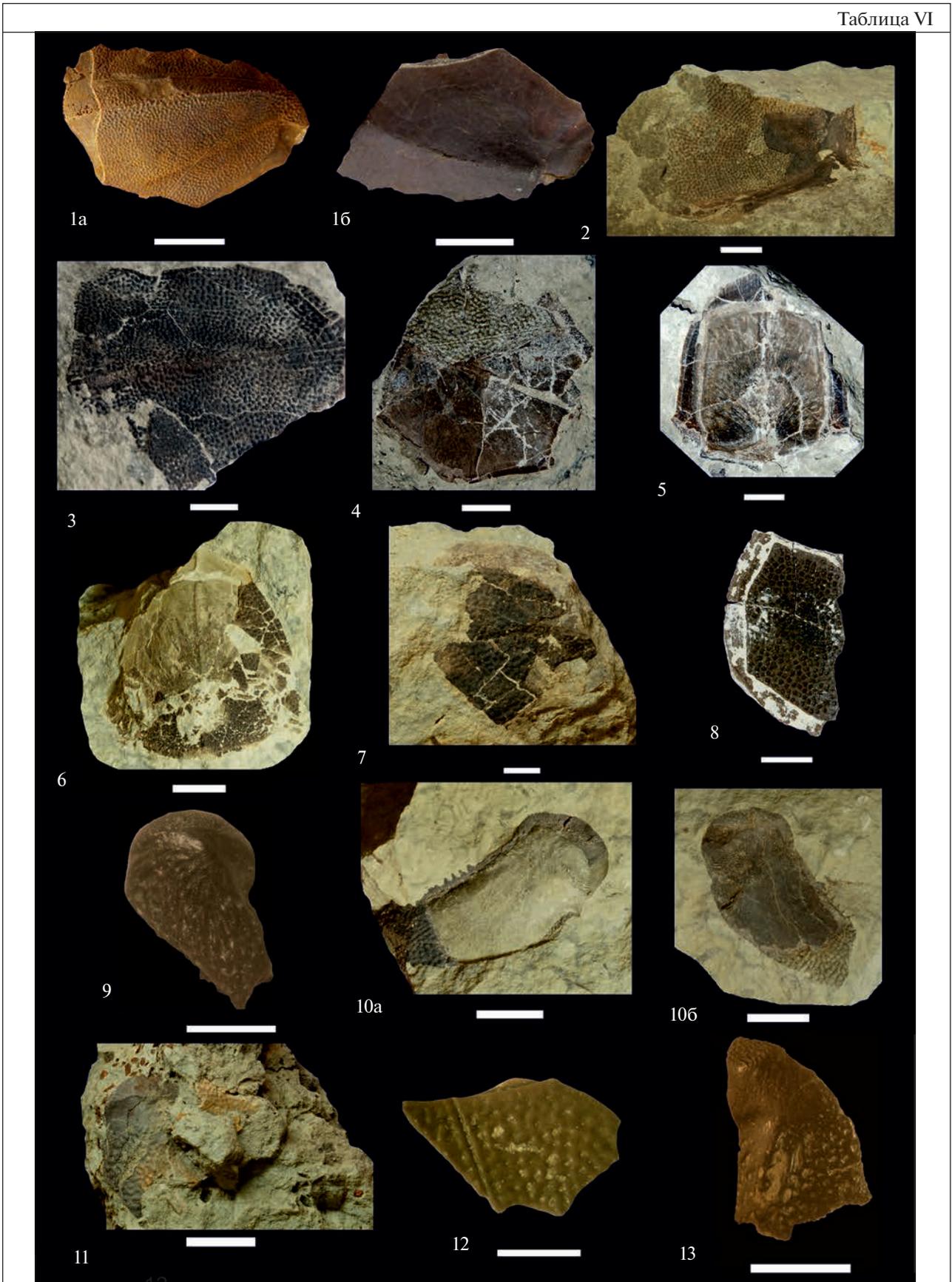
5. Глина светло-серая, желтовато-зеленоватая, плотная, пластичная, неяснослоистая, на поверхности породы наблюдаются желтые, буроватые и охристые выцветы. Мощность 0.2 м.

Новое палеоихтиологическое, тафономическое и литологическое изучение разрезов Обухово 1 и Калюты 2 позволило установить некоторые их особенности. Так, среди бесчелюстных и рыб в глинистых отложениях желонского горизонта в разрезе Обухово 1 преобладают представители гетеростраков и саркоптеригий, реже встречаются представители плакодерм и совсем редко – акантоды. Скелетные элементы актиноптеригий и остатки других ископаемых организмов в отложениях этого обнажения пока не установлены. К сожалению, в этих отложениях также до сих пор не найден зональный вид, который позволил бы отнести их либо к нижней, либо к верхней части желонского горизонта. Комплекс бесчелюстных и рыб, установленный в глинах разреза Калюты 2, гораздо богаче в таксономическом отношении, чем их

Таблица VI. Остатки плакодерм из обнажений Обухово 1, Калюты 2, Калюты 5а и карьера Гралево. Все скелетные элементы рыб происходят из нижнефранских отложений верхнего девона. Длина масштабной линейки 2 мм для фиг. 12; 3 мм для фиг. 9; 5 мм для фиг. 7, 8 и 13; 1 см для фиг. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10 и 11.

1 – *Bothriolepis* cf. *panderi* Lahusen, экз. № 107/10-1, обн. Калюты 5а, слой 1, гл. 1.82–2.52 м, правое mixilaterale: а – вид снаружи, б – вид изнутри; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 2 – *Bothriolepis* sp., экз. № 1/496-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, отпечаток mixilaterale, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 3 – *Grossilepis tuberculata* (Gross), экз. № 1/138-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, posterior medio-dorsale, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 4 – *Bothriolepis cellulosa* (Pander), экз. № 1/82-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, anterior medio-dorsale, вид с внутренней стороны; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 5 – *Bothriolepis cellulosa* (Pander), экз. № 1/83-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, posterior medio-dorsale, вид с внутренней стороны; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 6 – *Grossilepis tuberculata* (Gross), экз. № 1/498-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, posterior medio-dorsale, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 7 – *Bothriolepis* sp., экз. № 1/503-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 8 – *Grossilepis tuberculata* (Gross), экз. № 1/66-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент medio-ventrale, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 9 – *Bothriolepis* sp., экз. № 29/2-142, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, Cd 1 левого плавника, вид снаружи; желонский горизонт; 10 – *Bothriolepis* sp., экз. № 1/497-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент пластинки из грудного плавника: а – вид снаружи, б – вид изнутри; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 11 – *Bothriolepis* sp., экз. № 1/499-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент пластинки из грудного плавника, вид снаружи; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 12 – *Bothriolepis* sp., экз. № 29/2-14, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, фрагмент пластинки, вид снаружи; желонский горизонт; 13 – *Bothriolepis* sp., экз. № 48/1-22, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, Cd 1 правого плавника, вид снаружи; желонский горизонт.

Таблица VI



тиокомплекс, выявленный в обнажении Обухово 1, и в нем преобладают в основном представители плакодерм и саркоптеригий, несколько реже встречаются представители гетеростраков и совсем редки акантоды и актиноптеригии. К тому же совместно с остатками ихтиофауны здесь найдены редкие углефицированные растительные остатки, единичные сколекодонты, немногочисленные фрагменты беззамковых брахиопод (лингулид) и несколько конодонтов. Важным является обнаружение в обнажении Калюты 2 зонального вида *Bothriolepis obrutschewi* Gross, который дает возможность сопоставить эту часть разреза с верхней частью аматского горизонта Главного девонского поля (Девон..., 1981; Лярская, Лукшевич, 1992; Mark-Kurik, 2000; Esin et al., 2000) и позволяет отнести отложения этого обнажения к верхней части желонского горизонта Беларуси. К верхней части желонского горизонта, с большой долей вероятности, можно также отнести глинистые разрезы обнажений Синие глины 1, Калюты 7 и Калюты 6 (Плакс, Кручек, 2010), так как они расположены близко друг к другу, характеризуются подобным комплексом ихтиофауны и в общих чертах литологически схожи, даже несмотря на то, что зональный вид *Bothriolepis obrutschewi* Gross в них пока еще не найден.

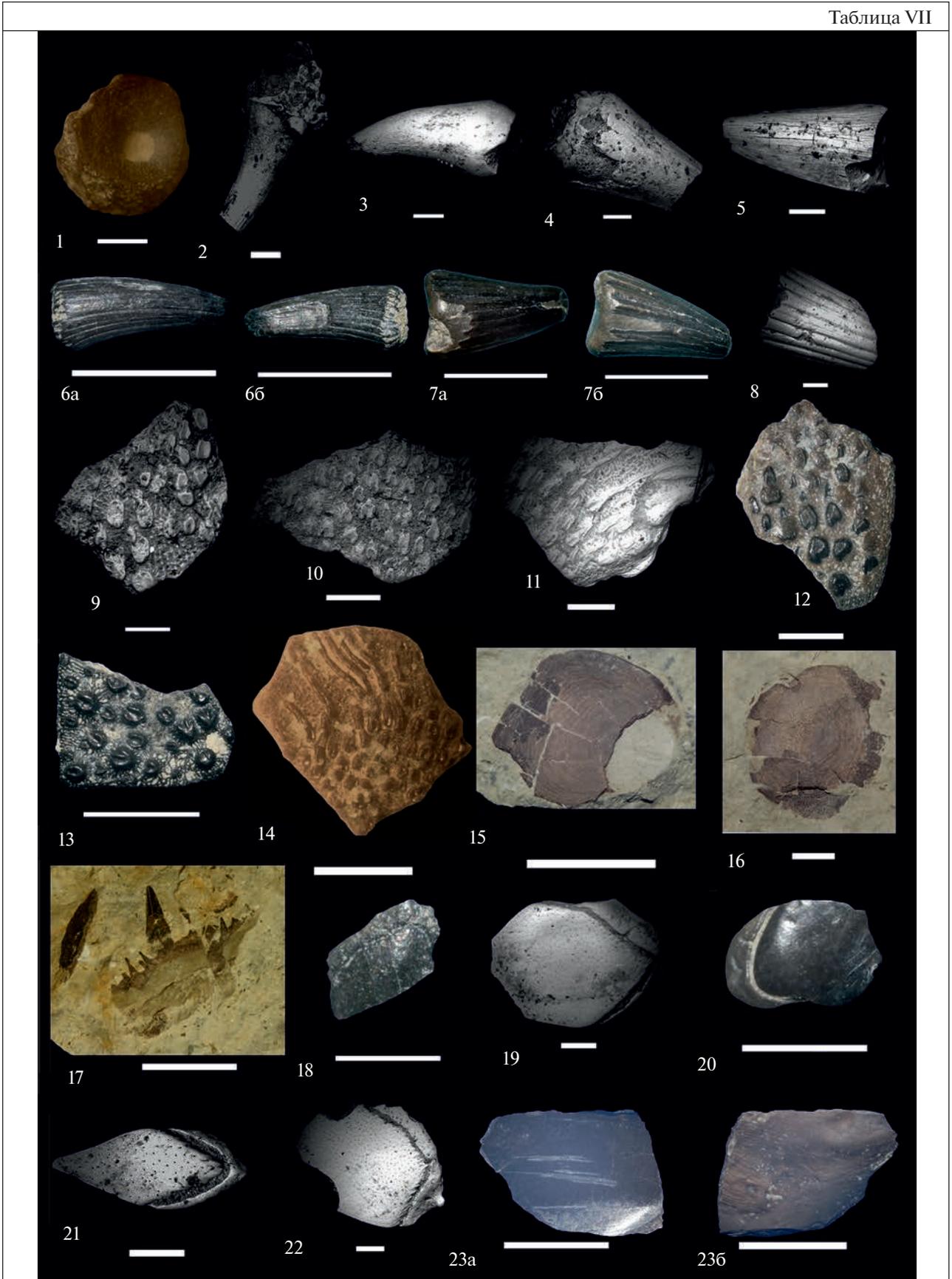
В литологическом отношении глинистая толща обнажения Обухово 1 наполнена песчано-гравийно-галечным материалом. Валуну диаметром около 10–15 см в глинах встречаются редко. Валуну, гравий и гальки обычно все окатанные, но попа-

даются также и слабоугловатые. Скелетные элементы позвоночных встречаются в основном в средней и верхней частях разреза. Представлены они обломками пластинок, тессерами, чешуями, зубами, плавниковыми шипами, позвонками и пр. Больших скоплений они не образуют, расположены обычно беспорядочно. Как правило, размеры мелких фрагментов скелетных элементов варьируют от 0.4 мм до 1.5 см, более крупные остатки ихтиофауны размером 2.5–3 см встречаются крайне редко. Детали внутреннего и внешнего строения у большинства найденных скелетных элементов хорошо сохранились. Они имеют желтовато-оранжевый, светло-кремовый, светло-коричневый, буро-коричневый и темно-коричневый цвет. Сильные деформации остатков очень редки. Нередко скелетные элементы бесчелюстных и рыб слабо окатаны, что свидетельствует об отсутствии длительной транспортировки перед захоронением. С другой стороны, разрозненность остатков и отсутствие сочлененных скелетов позвоночных может выступать свидетельством лишь незначительного перемещения. Наличие многочисленного обломочного материала в глинах этого разреза указывает на перенос его континентальными водами с суши. Такие захоронения обычно характерны для отложений, формировавшихся в неглубоких прибрежно-морских бассейнах с пониженной соленостью, что подтверждается совместным нахождением пород со скелетными элементами ихтиофауны и кластических пород. Отсутствие в отложениях остатков беспозвоночных животных

Таблица VII. Остатки саркоптеригий из обнажений Обухово 1, Калюты 2 и карьера Гралево. Все остатки рыб происходят из нижнефранских отложений верхнего девона. Длина масштабной линейки 500 мкм для фиг. 3, 4, 5, 8, 9, 19, 21 и 22; 200 мкм для фиг. 2; 1 мм для фиг. 10 и 11; 2 мм для фиг. 1, 12 и 18; 3 мм для фиг. 14; 4 мм для фиг. 20; 5 мм для фиг. 6, 7, 13, 16 и 23; 1 см для фиг. 15 и 17.

1 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/24-9, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, позвонок; желонский горизонт; 2 – *Strunius* sp., экз. № 48/23-8, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зуб, вид сбоку, ×60; желонский горизонт; 3 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/21-12, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зуб, вид сбоку, ×35; желонский горизонт; 4 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/21-31, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зуб, вид сбоку, ×40; желонский горизонт; 5 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/21-30, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зуб, вид сбоку, ×40; желонский горизонт; 6 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/24-7, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зуб; а и б – вид с двух сторон; желонский горизонт; 7 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/24-6, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зуб; а и б – вид с двух сторон; желонский горизонт; 8 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/21-11, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зуб, вид сбоку, ×35; желонский горизонт; 9 – *Porolepiformes* indet., экз. № 48/21-24, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи, ×35; желонский горизонт; 10 – *Porolepiformes* indet., экз. № 48/23-7, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи, ×25; желонский горизонт; 11 – *Glyptolepis* ? sp., экз. № 48/20-1, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи, ×25; желонский горизонт; 12 – *Porolepiformes* indet., экз. № 48/25-1, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 13 – *Porolepiformes* indet., экз. № 48/24-22, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 14 – *Glyptolepis* sp., экз. № 29/2-38, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 15 – *Glyptolepis* sp., экз. № 1/504-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, чешуя, вид с внутренней стороны; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 16 – *Glyptolepis* sp., экз. № 1/494-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, чешуя, вид с внутренней стороны; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 17 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 1/500-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, обломок челюсти, вид сбоку; саргаевский горизонт, сарьянские слои; 18 – *Osteolepididae* gen. indet., экз. № 48/24-29, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 19 – *Osteolepididae* gen. indet., экз. № 29/2-138b, обн. Обухово 1, слой 2, гл. 2.2–3.7 м, чешуя, вид снаружи, ×35; желонский горизонт; 20 – *Osteolepididae* gen. indet., экз. № 48/24-17, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 21 – *Osteolepididae* gen. indet., экз. № 48/21-8, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, ×45; желонский горизонт; 22 – *Osteolepididae* gen. indet., экз. № 48/20-2, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи, ×35; желонский горизонт; 23 – *Osteolepididae* gen. indet., экз. № 1/501-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, фрагмент чешуи; а – вид снаружи, б – вид с внутренней стороны; саргаевский горизонт, сарьянские слои.

Таблица VII



также, вероятно, может говорить о некоторых специфических условиях бассейна седиментации. Стоит отметить, что гидродинамический режим палеобассейна в момент захоронения был активным. Присутствие волнообразной слоистости в глинах свидетельствует об осаждении в прибрежной полосе мелководного моря, в литоральной зоне.

Глинистые отложения разреза Калюты 2, в которых обнаружены остатки ихтиофауны (слой 1), характеризуются значительно меньшим содержанием кластического материала, чем глины разреза Обухово 1. Обломочный материал в основном слабоокатанный, но встречаются и окатанные обломки пород. Размеры их колеблются в среднем от 0.5 до 5 мм. В слое 1 имеется прослой мощностью 10 см, представленный сцементированными комками глин с песчано-гравийным материалом и большим содержанием обломков скелетных элементов бесчелюстных и рыб. Основная масса найденных остатков ихтиофауны в слое 1 приурочена к этому прослою. В остальной части слоя 1 они встречаются гораздо реже. Остатки ихтиофауны, приуроченные к упомянутому прослою, в основном разрозненные и не представляют собой сочлененных скелетов. В указанном прослое иногда встречаются мелкоразмерные целые скелетные элементы: мелкие пластинки, тессеры, позвонки, чешуи и зубы. Крупные скелетные остатки ихтиофауны, найденные в этом прослое, не превышают 4 см. В основном же обнаруженные остатки имеют размеры от 0.5 мм до 3 см. Залегают они обычно горизонтально напластованию либо слабо наклонно, формируя скопления. Местами они лежат друг на друге, образуя “слоенный пирог”, иногда расположены под разными углами друг к другу. В остальной части слоя 1 скопленный остатков ихтиофауны не зарегистрировано. Сильно деформированных остатков немного. Де-

тали внутреннего и внешнего строения у многих найденных скелетных элементов имеют хорошую сохранность. Остатки ихтиофауны светло-коричневого, коричневого, темно-коричневого до черного цвета. Большинство остатков имеют сравнительно хорошую сохранность или слабо окатаны. Помимо позвоночных, пока только в этом прослое найдены редкие углефицированные растительные остатки, два сколекодонта, единичные обломки лингулид и три конодонта. Остатки, обнаруженные в этом слое, были подвержены транспортировке гидродинамическими процессами, а разнообразие фоссилий предполагает прибрежно-морской палеобассейн.

Отложения **сарьянских слоев саргаевского горизонта** франского яруса в исследуемом районе хорошо представлены в обнажениях Калюты 6, Виренка 1, Калюты 5а и Калюты 5. Подробная литологическая и палеонтологическая характеристика обнажения Калюты 5 представлена в статье (Плакс, Заика, 2018). Ниже приводится описание девона в разрезах Калюты 6, Виренка 1 и Калюты 5а, из которых отобраны образцы для изучения изотопного состава стронция.

Разрез Калюты 6 (рис. 4) расположен на правом берегу р. Сарьянка, в 1.8–1.9 км ниже по течению от устья ручья Турья. Все слои залегают субгоризонтально. В разрезе представлены отложения кровли желонского горизонта и сарьянских слоев саргаевского горизонта (снизу вверх):

Желонский горизонт

1. Глина светло-серая, плотная, влажная, вязкая, пластичная, неяснослоистая. Мощность 0.2 м.

Сарьянские слои, саргаевский горизонт

2. Доломит светло-желтый, желтый, синевато-серый, толстоплитчатый, тонкозернистый. Обнаружены обломки микро-, мезо- и макромерных

Таблица VIII. Остатки саркоптеригий из обнажения Калюты 2. Все остатки происходят из нижнефранских отложений верхнего девона. Длина масштабной линейки 500 мкм для фиг. 4, 5 и 9; 1 мм для фиг. 6 и 10; 2 мм для фиг. 3, 7, 8, 11, 14 и 15; 4 мм для фиг. 1, 2, 12 и 13; 5 мм для фиг. 16.

1 – *Tristichopteridae* gen. indet., экз. № 48/24-12, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент дермальной кости, вид снаружи; желонский горизонт; 2 – *Tristichopteridae* gen. indet., экз. № 48/24-13, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент дермальной кости, вид снаружи; желонский горизонт; 3 – *Dipteroidei* fam., gen. et sp. indet., экз. № 48/24-26, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 4 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/21-29, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи, ×35; желонский горизонт; 5 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/20-3, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи, ×40; желонский горизонт; 6 – *Sarcopterygii* indet., экз. № 48/23-5, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи, ×25; желонский горизонт; 7 – *Dipteroidei* fam., gen. et sp. indet., экз. № 48/24-30, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 8 – *Dipteroidei* fam., gen. et sp. indet., экз. № 48/24-27, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, фрагмент чешуи, вид снаружи; желонский горизонт; 9 – *Dipterus* sp., экз. № 48/21-13, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зубная пластинка, вид сверху с наклоном, ×35; желонский горизонт; 10 – *Dipterus* sp., экз. № 48/24-2, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, птеригонидная зубная пластинка, вид сверху, ×18; желонский горизонт; 11 – *Dipterus* sp., экз. № 48/24-40, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, птеригонидная зубная пластинка, вид сверху; желонский горизонт; 12 – *Grossipterus* sp., экз. № 48/24-14, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, птеригонидная зубная пластинка, вид сверху; желонский горизонт; 13 – *Dipterus* sp., экз. № 48/24-15, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, преартикулярная зубная пластинка, вид сверху с наклоном; желонский горизонт; 14 – *Dipterus* sp., экз. № 48/24-24, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, птеригонидная зубная пластинка, вид сверху; желонский горизонт; 15 – *Dipterus* sp., экз. № 48/24-25, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, птеригонидная зубная пластинка, вид сверху; желонский горизонт; 16 – *Dipterus* sp., экз. № 48/25-2, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, зубная пластинка, вид сверху; желонский горизонт.

Таблица VIII

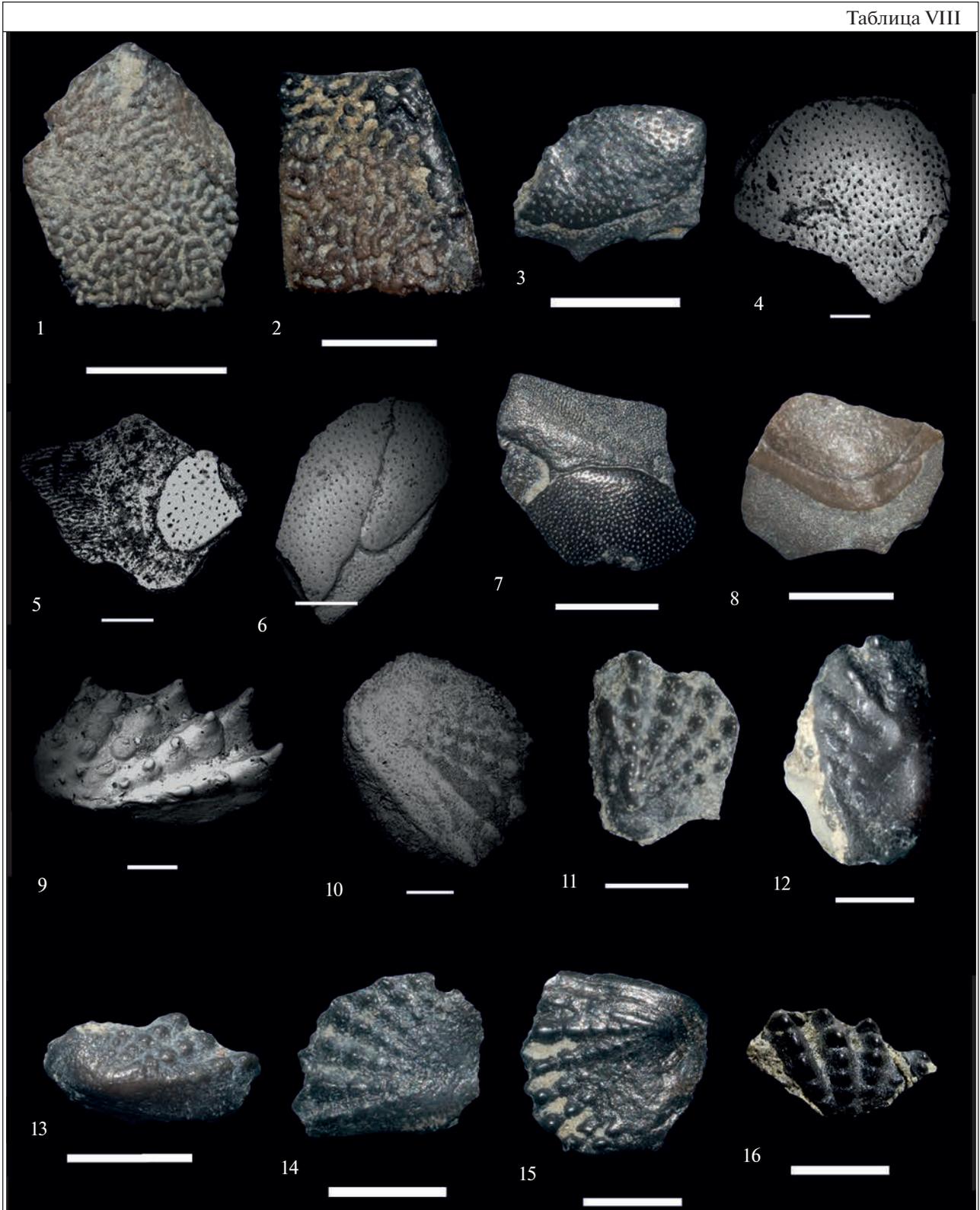


Таблица IX

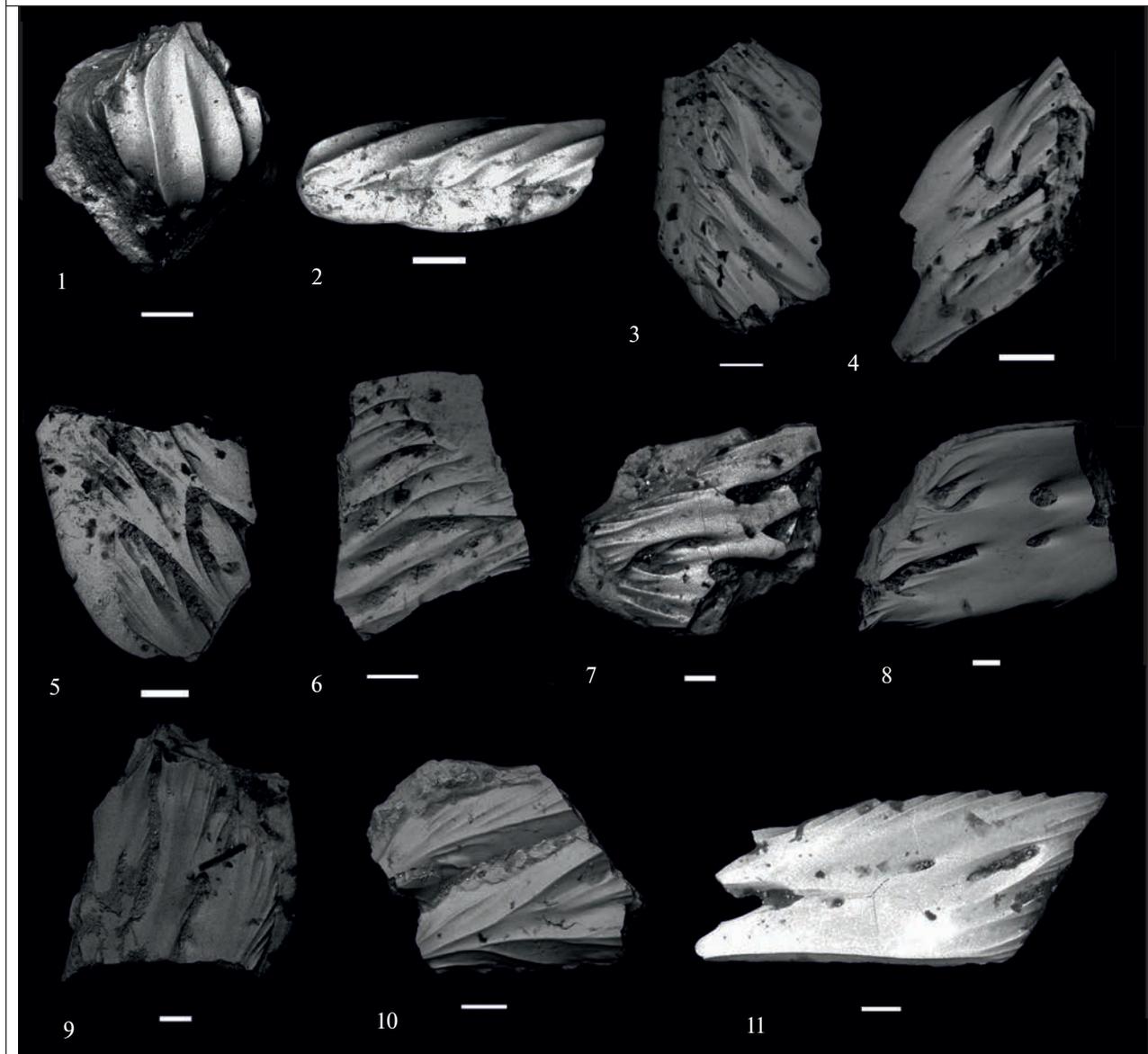


Таблица IX. Чешуи актиноптеригий из нижнефранских отложений верхнего девона обнажения Калюты 2 и карьера Гралево. Длина масштабной линейки 200 мкм для фиг. 3, 4, 5 и 6; 100 мкм для фиг. 1, 2, 7, 8, 9, 10 и 11.

1 – *Cheirolepis* sp., экз. № 48/21-9, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 150$; желонский горизонт; 2 – *Cheirolepis* sp., экз. № 48/21-10, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид сбоку, $\times 130$; желонский горизонт; 3 – *Moythomasia* sp., экз. № 48/23-10, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 70$; желонский горизонт; 4 – *Moythomasia* sp., экз. № 48/23-11, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 70$; желонский горизонт; 5 – *Moythomasia* sp., экз. № 48/21-7, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 70$; желонский горизонт; 6 – *Actinopterygii* indet., экз. № 48/23-9, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 75$; желонский горизонт; 7 – *Actinopterygii* indet., экз. № 48/21-26, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 100$; желонский горизонт; 8 – *Moythomasia* sp., экз. № 48/23-14, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 100$; желонский горизонт; 9 – *Actinopterygii* indet., экз. № 48/23-12, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 100$; желонский горизонт; 10 – *Actinopterygii* indet., экз. № 48/23-13, обн. Калюты 2, слой 1, гл. 1.95–2.55 м, чешуя, вид снаружи, $\times 150$; желонский горизонт; 11 – *Moythomasia* sp., экз. № 1/215-1, карьер Гралево, гл. 67.0–75.0 м, чешуя, вид снаружи, $\times 100$; саргаевский горизонт, сарьянские слои.

скелетных элементов агнат и рыб, среди которых установлены дентиновые бугорки и мелкие фрагменты пластинок *Psammosteus* sp., *P. maeandrinus* Ag., *P. cf. maeandrinus* Ag., *P. cf. cuneatus* Obr., *Psammosteoides* indet., мелкие неопределимые

фрагменты пластинок и четыре фрагмента anterior dorso-laterale cf. *Ctenurella* sp., *Ptyctodontida* gen. indet., мелкие неопределимые фрагменты пластинок и один фрагмент posterior dorso-laterale *Plourdosteus* sp., мелкие фрагменты пластинок *Bothrio-*

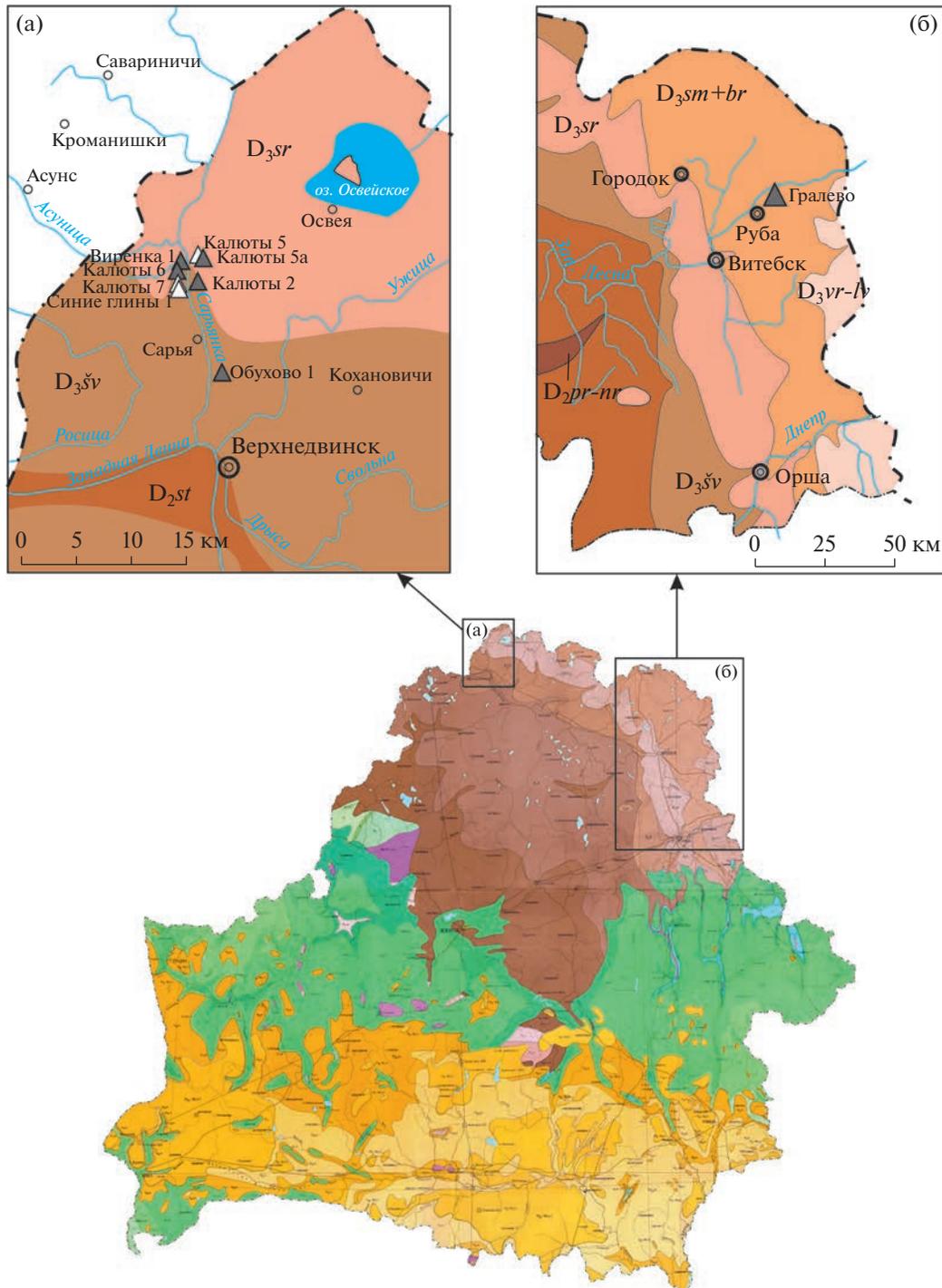


Рис. 1. Геологическая карта Беларуси (Дочетвертичные..., 2002) и фрагменты выходов Главного девонского поля на севере (врезка а) и северо-востоке (врезка б) с положением опорных разрезов верхнего девона. Разрезы, в которых изучена ихтиофауна в этой статье, обозначены серыми треугольниками.

lepis sp., Bothriolepididae gen. indet., один фрагмент laterale Grossilepis sp., мелкие неопределимые фрагменты пластинок Antiarcha indet., Placodermi indet., чешуи Acanthodes sp., Cheiracanthus kaljutensis Plax, Acanthodiformes indet., фрагменты плавниковых шипов Acanthodii gen. indet., зуб Phoe-

bodontidae gen. indet., фрагменты чешуй Onychodus sp., O. ? sp., Glyptolepis sp., Osteolepididae gen. indet., Holoptychiidae gen. indet., Dipteridae gen. indet., Rhinodipterus sp., Rhipidistia indet., Sarcopterygii indet., зубы Strunius cf. rolandi (Gross), Sarcopterygii indet., мелкие неопределимые скелетные эле-

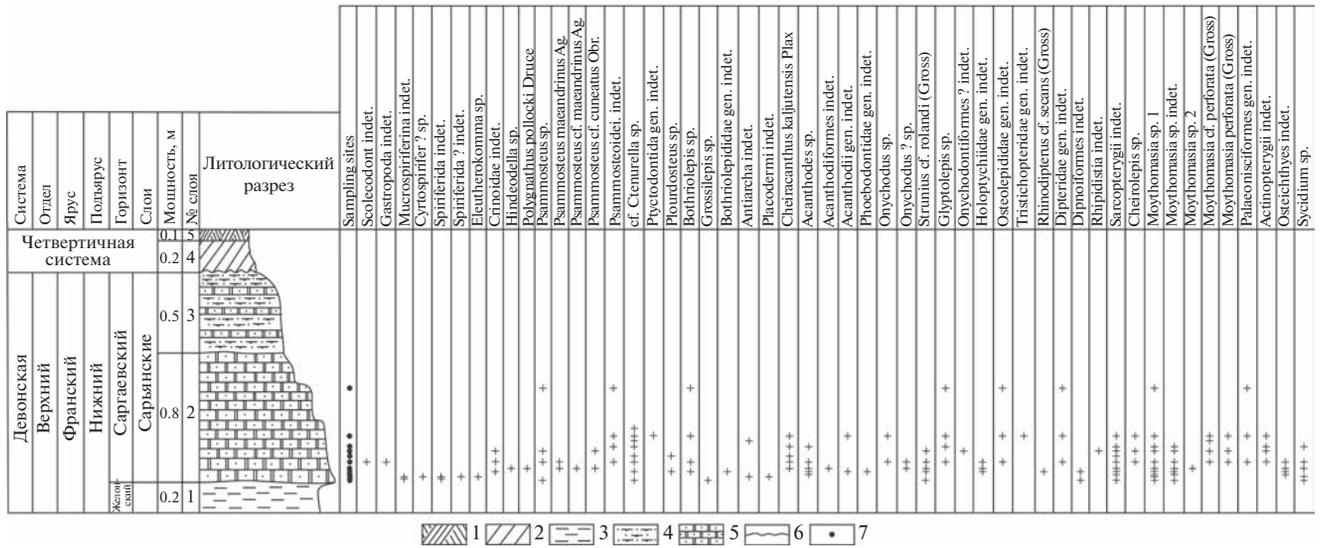


Рис. 4. Геологический разрез верхнедевонских отложений Калюты 6 с указанием распространения органических остатков.

1 – почвенно-растительный слой; 2 – суглинок; 3 – глина; 4 – доломитовая мука; 5 – доломит тонкозернистый (сахаровидный); 6 – поверхность перерыва в осадконакоплении; 7 – места отбора фоссилий.

менты Onychodontiformes ? indet., Tristichopteridae gen. indet., Sarcopterygii indet., зубные пластинки Dipteridae gen. indet. и Dipnoiformes indet., чешуи и мелкие неопределимые скелетные элементы Cheirolepis sp., Moythomasia sp. indet., M. sp. 1, M. sp. 2, M. perforata (Gross), M. cf. perforata (Gross), Palaeonisciformes gen. indet. и Actinopterygii indet., мелкие фрагменты неопределимых скелетных элементов, зуб и фрагмент челюсти Osteichthyes indet. Наряду с позвоночными здесь также найдены следующие органические остатки: один сколекодонт, немногочисленные ядра и отпечатки брахиопод Cyrtospirifer ? sp., Eleutherokomma sp., Mucrospiriferina indet., Spiriferida ? indet., Spiriferida indet. (определения Е.В. Сокиран), единичные ядра мелких гастропод, редкие членики криноидей Crinoidea indet., два конодонта Hindeodella sp. и Polygnathus pollocki Druce (определения Ю.А. Гатовского и Л.И. Кононовой), немногочисленные оогонии харовых водорослей рода Sycidium Sandb. Мощность 0.8 м.

3. Доломитовая мука светло-желтая, желтая, рыхлая. В толще слоя наблюдаются обломки и пропластки светло-желтых тонкозернистых доломитов с текстурой неясной слоистости. Мощность 0.5 м.

Разрез Виренка 1 (рис. 5) расположен в русле р. Виренка, правого притока р. Сарьянка, в 30–50 м от устья и около 6 км выше пос. Сарья. Вскрывает одну пачку сарьянских слоев саргаевского горизонта:

1. Доломит желтый, светло-желтый, участками с бурыми и ржавыми пятнами, толстоплитчатый (плиты 10–20 см), тонкозернистый, массивный,

крепкий, с реликтами фауны беспозвоночных, с редкими макромерными остатками панцирных рыб Plourdosteus sp. (найдена одна неопределимая пластинка и фрагмент posterior ventro-laterale), cf. Stenurella sp., единичными мелкими пластинками Placodermi indet., с тонкой субгоризонтальной горизонтальной слоистостью, местами без явно выраженной слоистости. Мощность 0.3 м.

Разрез Калюты 5a (рис. 6) расположен на левом берегу р. Сарьянка, примерно в 200 м вверх по течению реки от обнажения Виренка 1.

Сарьянские слои, саргаевский горизонт (снизу вверх):

1. Доломит светло-желтый, желтый, участками с бурыми и ржавыми пятнами, тонкозернистый, плотный, с тонкой субгоризонтальной слоистостью, трещиноватый. Органические остатки – реликты ядер брахиопод, отпечатки и ядра цефалопод Evlanoceras ? sp. и Mesynoceras ? sp., единичные микро- и макромерные скелетные элементы рыб – фрагменты пластинок Bothriolepis sp., одно mixilaterale Bothriolepis cf. panderi Lahusen, один фрагмент anterior dorso-laterale cf. Stenurella sp., фрагмент пластинки Placodermi indet., обломки чешуи Osteolepididae gen. indet. и Sarcopterygii indet. Мощность 0.7 м.

2. Доломитовая мука светло-желтого, желтого цвета, латерально замещается доломитом того же цвета, тонкозернистым, массивным. Органические остатки в слое не обнаружены. Мощность 0.15 м.

3. Доломит светло-желтый, желтый, местами с бурыми и ржавыми пятнами, тонкозернистый, плотный, неяснослоистый, иногда с тонкой суб-

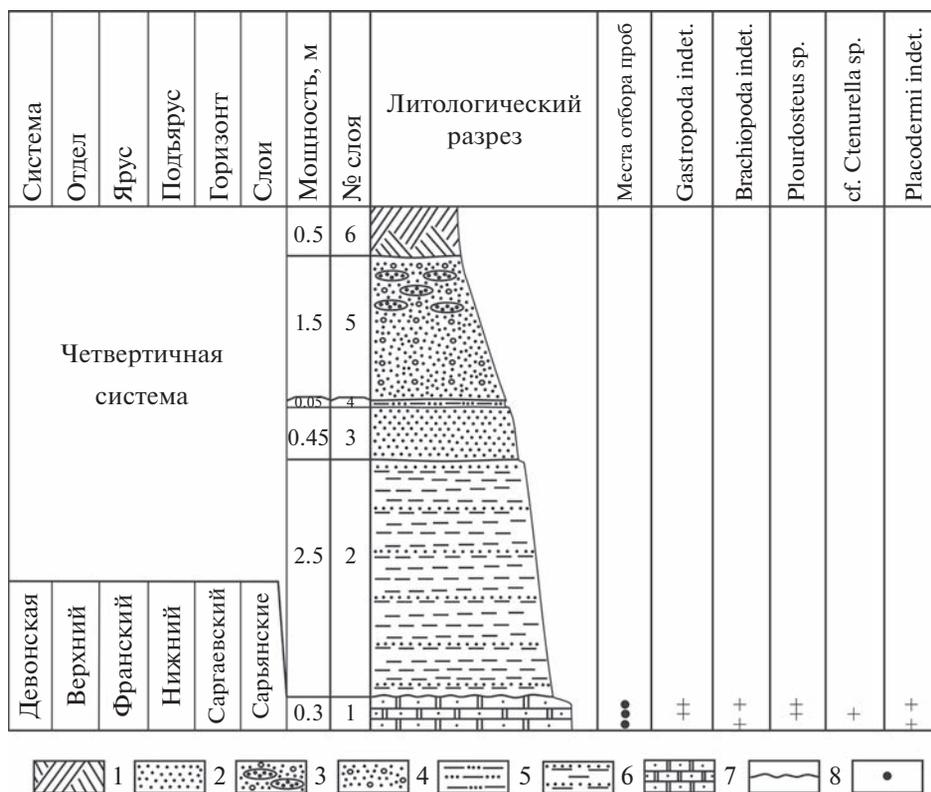


Рис. 5. Геологический разрез верхнедевонских отложений Виренка 1 с указанием распространения органических остатков.

1 – почвенно-растительный слой; 2 – песок, 3 – песок с линзами гравия и гальки; 4 – песок с гравием; 5 – глина песчанистая; 6 – глина с песчаными пропластками и тонкими слойками алеврита; 7 – доломит тонкозернистый (сахаровидный); 8 – поверхность перерыва; 9 – места отбора остатков ихтиофауны.

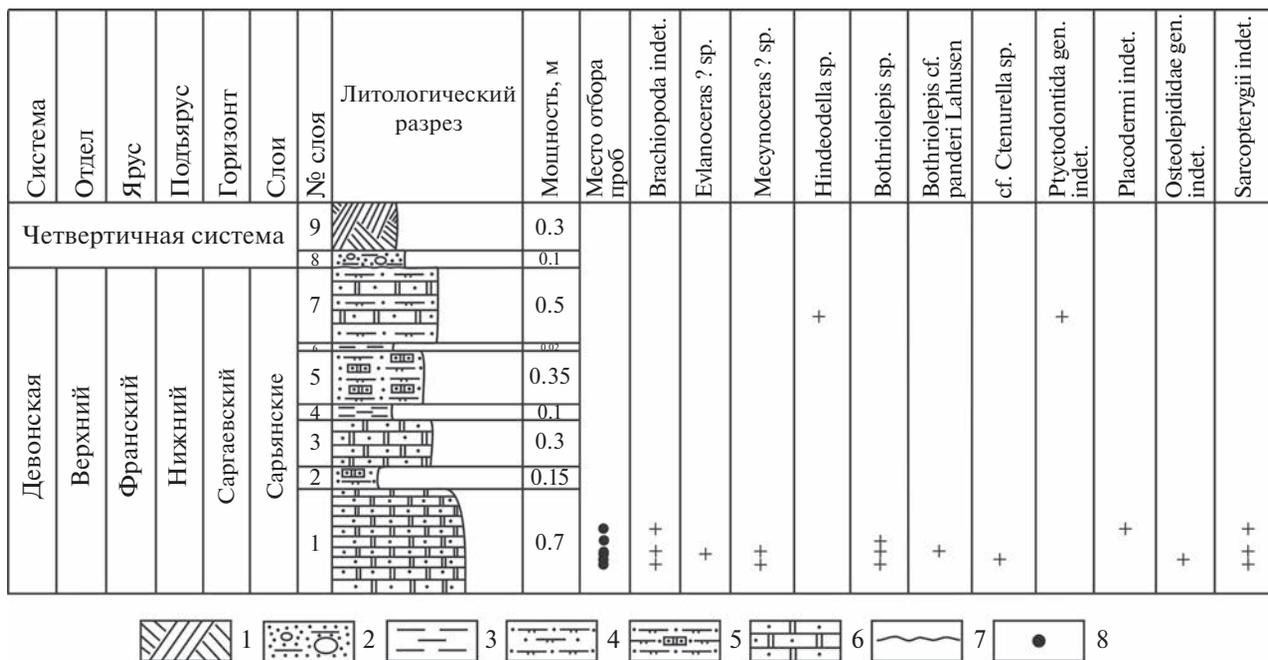


Рис. 6. Геологический разрез верхнедевонских отложений Калюты 5а с указанием распространения органических остатков.

1 – почвенно-растительный слой; 2 – глинистый песок с галькой и валунами; 3 – глина; 4 – доломитовая мука; 5 – доломитовая мука с включениями кусков доломита; 6 – доломит тонкозернистый (сахаровидный); 7 – поверхность перерыва; 8 – места отбора ископаемых.

горизонтальной слоистостью, трещиноватый. Органические остатки визуально не встречены. Мощность 0.3 м.

4. Глина пепельно-серая до черного цвета, участками темно-серая и горчичного цвета, комковатая, влажная, пластичная. Местами содержит углистое вещество. Мощность 0.1 м.

5. Доломитовая мука светло-желтого цвета, с обломками и плитками доломита светло-желтого, желтого, тонкозернистого, плотного. Органические остатки не найдены. Мощность 0.35 м.

6. Глина пепельно-серая, пластичная, плотная, комковатая, однородная. Мощность 0.02 м.

7. Доломит светло-желтый, участками с бурыми и ржавыми пятнами, с тонкой субгоризонтальной слоистостью, тонкозернистый, массивный, местами кавернозный (диаметр каверн 0.5–1 см), трещиноватый. Органические остатки – один конодонт *Hindeodella* sp. и фрагмент тридора *Ptyctodontida* gen. indet. Мощность 0.5 м.

Условия захоронения органических остатков в карбонатных отложениях сарьянских слоев саргаевского горизонта в долине р. Сарьянка отличаются от таковых в терригенных отложениях желонского горизонта. Так, в доломитах разреза Калюты 6 помимо многочисленной ихтиофауны обнаружены единичные сколекодонты, брахиоподы, гастроподы, конодонты, членики криноидей и немногочисленные оогонии харовых водорослей. Брахиоподы представлены ядрами и отпечатками отдельных раковин, замещенных доломитом. Ядра и отпечатки брахиопод распределены очень неравномерно и встречаются в основании карбонатной пачки. Они не образуют скоплений и приурочены к поверхностям напластования породы. Среди брахиопод встречаются особи разных возрастных стадий, которые чаще всего лежат на брюшной створке. Сортировка раковин по размеру не наблюдается. Обломков раковин в породе не обнаружено. Размеры ядер раковин от 5 до 20 мм. Сохранность отпечатков скульптуры раковин в целом удовлетворительная. Ядра гастропод, членики криноидей и конодонты встречаются редко. Они также распределены в породах очень неравномерно и обнаружены только в нижней части разреза. Сохранность их плохая, реже удовлетворительная. Это связано с последующими постседиментационными процессами перекристаллизации и замещения первичного вещества скелетообразующих тканей этих организмов доломитом. В толще доломитов обнаружен также один черный сколекодонт, имеющий хорошую сохранность. Оогонии харовых водорослей образуют небольшие скопления в доломитах и имеют несколько лучшую сохранность, чем ядра брахиопод и гастропод. Все их находки приурочены к нижней части доломитовой толщи.

Остатки ихтиофауны в сарьянских доломитах на р. Сарьянка встречаются наиболее часто и обычно имеют сохранность лучшую, чем все вышеперечисленные группы ископаемых организмов. Они представлены различными скелетными элементами: обломками пластинок плакодерм, тессерами, мелкими фрагментами пластинок и дентиновыми бугорками гетеростраков, обломками плавниковых шипов и чешуями акантодов, единичным зубом хрящевой рыбы, чешуями, зубами и небольшими фрагментами костей костных рыб. Они приурочены к пачке доломитов мощностью до 0.8 м. Установлено, что наиболее богатый комплекс позвоночных присутствует в нижней части карбонатной пачки. В верхней же части разреза этой пачки остатки ихтиофауны встречаются несколько реже. Большинство скелетных элементов ихтиофауны имеют сравнительно хорошую сохранность или слабоокатанные. Все они разрозненны, не представляют собой сочлененных скелетов и не образуют групповых скоплений. Располагаются они, как правило, в устойчивом положении. Среди найденных скелетных остатков встречаются слегка трещиноватые. Размеры скелетных элементов колеблются от 0.3 мм до 4 см. Степень фоссилизации большинства скелетных элементов приблизительно одинакова. Ржавые, бурые и черные налеты и разводы на поверхностях некоторых пластинок являются вторичными, образовались в результате осаждения гидроокислов железа и марганца. Остатки ихтиофауны в ходе захоронения не испытывали длительных перемещений, однако разрозненность и фрагментарность скелетных элементов, а также слабая окатанность некоторых из них могут указывать на незначительную транспортировку. Механическая дифференциация скелетного материала могла происходить под влиянием гидродинамических процессов. Такие захоронения, вероятно, образовались в относительно мелководных прибрежно-морских условиях. Подтверждением этому может служить также совместное нахождение остатков позвоночных с оогониями харовых водорослей, члениками криноидей, ядрами мелких гастропод, отпечатками и ядрами брахиопод. Анализ состава собранных в обнажении Калюты 6 скелетных элементов позвоночных свидетельствует о преобладании изолированных чешуй актиноптеригий, в меньшей степени – пластинок плакодерм над остатками других групп ихтиофауны.

В доломитах обнажения Виренка 1 обнаружены единичные реликты фауны беспозвоночных (коралл *Rugosa* (?), брахиоподы, гастроподы) и очень немногочисленные макро- и микромерные остатки пластинокожных рыб. Рыбные остатки характеризуются гораздо лучшей сохранностью, чем остатки беспозвоночных. Цвет их скелетных элементов светло-желтый и желтый. Остатки распределены в доломитах неравномерно и приуро-

чены в основном к плоскостям напластования породы. Отчетливой сортировки по размерам не наблюдается. Найденные пластинки рыб располагаются внешней орнаментированной стороной к плоскости напластования породы, и на них наблюдаются трещины. Исходя из набора установленных органических остатков, можно заключить, что обнаруженные организмы, как и организмы в обнажении Калюты 6, обитали в мелководном прибрежно-морском бассейне.

В глинах разреза Калюты 5а найдены немногочисленные миоспоры и акритархи плохой сохранности, а также неопределимые углефицированные растительные остатки. Из органических остатков в доломитах найдены редкие реликты ядер брахиопод, единичные отпечатки и ядра цефалопод, а также редкие микро- и макромерные остатки рыб. Все находки беспозвоночных обнаружены в средней и нижней частях разреза и приурочены к плоскостям напластования пород. Большинство остатков рыб обнаружено в средней и нижней частях разреза, единичные находки ихтиофауны сделаны в верхней части разреза. Цефалоподы встречаются поодиночке и не образуют скопления. По количеству найденных экземпляров цефалоподы (от 5 до 10 см в длину) превосходят находки ядер брахиопод и несколько уступают находкам остатков ихтиофауны. Остатки рыб имеют достаточно хорошую сохранность, разрозненные, групповых скоплений не образуют и распределены неравномерно, параллельно плоскостям напластования. Размеры различных скелетных элементов рыб колеблются от нескольких миллиметров до 4 см. Детали внутреннего и внешнего строения хорошо сохранились. Сочлененных скелетов рыб не обнаружено. Присутствие в отложениях бентосных мелководных цефалопод и брахиопод указывает на мелководный прибрежно-морской бассейн.

Разрез Гралево. Оршанской впадины нижнефранские отложения выходят на дневную поверхность только по берегам рек Днепр и Оршица в г. Орше, а также они обнажены в карьере Гралево и нескольких затопленных карьерах у пос. Руба. Многочисленные остатки раннефранской ихтиофауны впервые были обнаружены именно в доломитовых мергелях в карьере Гралево (Plax, 2017). Стоит отметить, что большая часть находок скелетных элементов рыб происходит из северной части карьера. К сожалению, в настоящее время доломитовые мергели, содержащие остатки ихтиофауны, не доступны для изучения, так как эта часть карьера затоплена. Однако в 2005–2007 гг. Белорусской геологоразведочной экспедицией было произведено бурение скважин на участке Гралево, которые вновь вскрыли доломитовые мергели. Изучение некоторых скважин позволило выявить новые остатки ихтиофауны, характерные представители которой представлены в табл. V–VII и IX. Ниже приводится сводное лито-

логическое описание верхнедевонских пород, вскрытых в северной части карьера (рис. 7).

Сарьянские слои, саргаевский горизонт

1. Доломит серый, кавернозный, крепкий, массивный. Мощность 1.5 м.

2. Доломит светло-серый, кавернозный, крепкий, массивный, толстоплитчатый. Мощность 0.9 м.

3. Мергель доломитовый, голубовато-зеленовато-серый, плотный, содержит много остатков ихтиофауны. Отсюда определены туберкулы псаммостеид *Psammosteus* sp., пластинки пластинокожих рыб *Plourdosteus* sp., *P. mironovi* (Obr.), *Coccosteoides* indet., *Bothriolepis* sp., *Bothriolepis cellulosa* (Pander), *B. cf. cellulosa* (Pander), *Grossilepis tuberculata* (Gross), чешуи и плавниковые шипы акантод *Acanthodii* gen. indet., чешуи, зубы, фрагменты челюстей саркоптеригии *Glyptolepis* sp., *Strunius* sp., *Struniiformes* gen. indet., *Osteolepididae* gen. indet., *Holoptychius* sp., чешуи и зубные пластинки *Dipteridae* gen. indet., *Dipterus* sp., *Rhinodipterus* cf. *secans* (Gross), *Sarcopterygii* indet. и чешуи актиноптеригии *Moynthomasia* sp. Мощность 1.1 м.

4. Доломит серый, темно-серый, плотный, слабокавернозный. Мощность 1.7 м.

5. Глина голубовато-серая, однородная, пластичная, плотная. Мощность 0.3 м.

6. Доломит серый, темно-серый, крепкий, кавернозный, в кровле пропласток (около 0.3 м) светло-серого плотного мергеля. Мощность 1.3 м.

Ведричские слои, саргаевский горизонт

7. Доломит серый, темно-серый, трещиноватый. Мощность 0.61 м.

8. Доломит серый, темно-серый, плотный, массивный. Мощность 0.7 м.

9. Доломит серый, темно-серый, массивный. Мощность 0.3 м.

10. Доломит серый, массивный, слабокавернозный. Мощность 1.9 м.

11. Доломит серый, массивный, в нижней части кавернозный. Мощность 0.5 м.

12. Доломит светло-серый, массивный, слабокавернозный. Мощность 0.5 м.

13. Доломит серый, светло-серый, массивный, местами трещиноватый. Мощность 0.7 м.

14. Доломит светло-серый, серый, кавернозный, в кавернах доломитовая мука. Мощность 0.8 м.

15. Доломит светло-серый, темно-серый, массивный. Мощность 0.7 м.

16. Доломит светло-серый, массивный. Мощность 0.9 м.

17. Доломит светло-серый, слабокавернозный, кремнистый. Мощность 0.7 м.

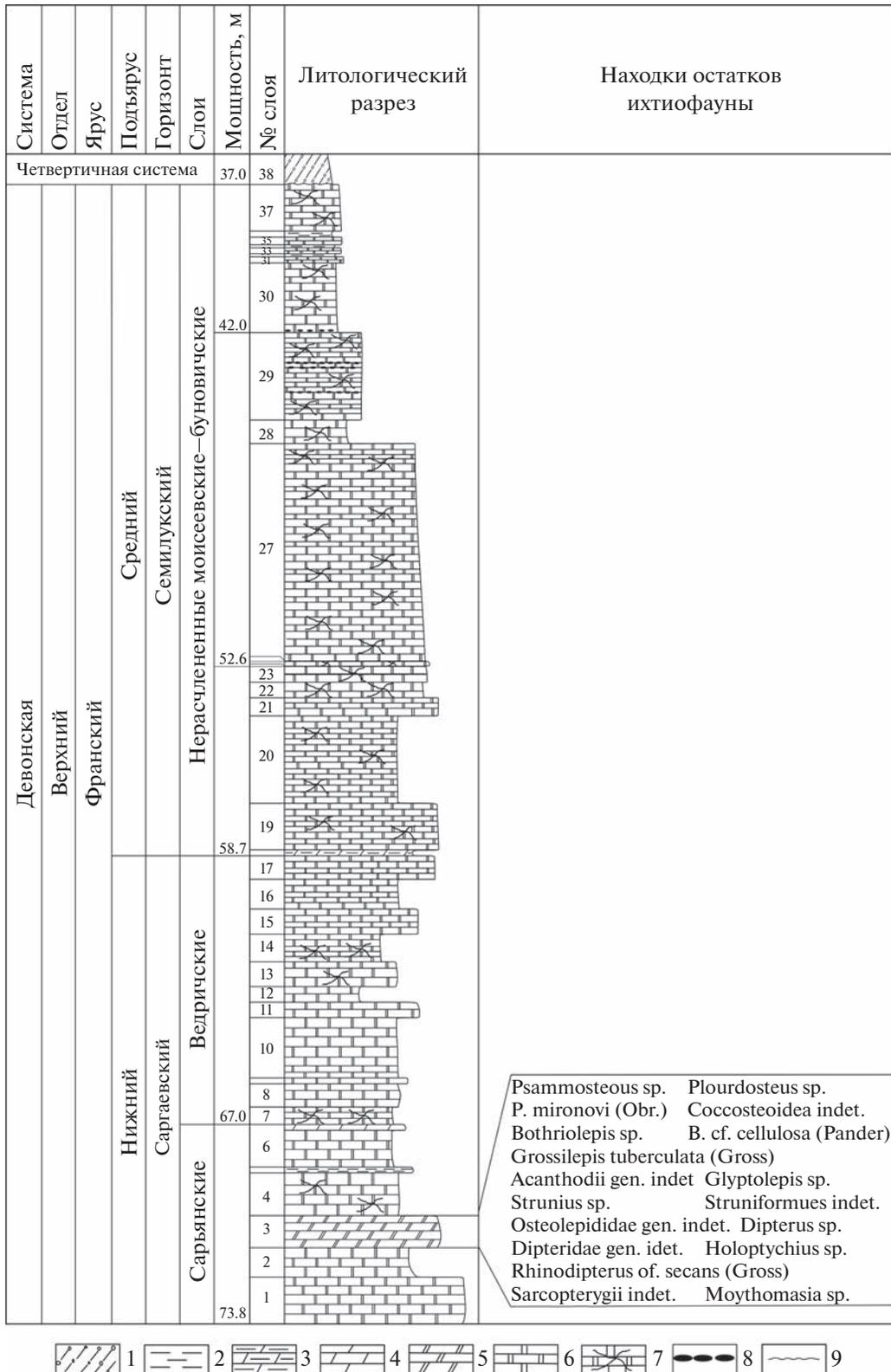


Рис. 7. Геологический разрез верхнедевонских отложений в северной части карьера Гралево с указанием находок остатков ихтиофауны.
 1 – супесь с гравием и галькой; 2 – глина; 3 – мергель глинистый; 4 – мергель; 5 – мергель доломитовый; 6 – доломит; 7 – доломит трещиноватый; 8 – кремневые конкреции; 9 – поверхность перерыва.

Семилужский горизонт

18. Мергель глинистый, темно-серый, плотный, плитчатый. Мощность 0.3 м.

19. Доломит мергелистый, серый, слабо трещиноватый. Мощность 1.5 м.

20. Доломит светло-серый, желтовато-серый, трещиноватый, кавернозный. Мощность 2.7 м.

21. Доломит светло-серый, желтовато-серый, массивный. Мощность 0.6 м.

22. Доломит желтоватый, сильнокавернозный (каверны от 3–5 мм до 1.0–1.5 см), трещиноватый, тонкокристаллический, окремненный. Мощность 0.5 м.

23. Доломит темно-серый, светло-желтый, кремневый, в нижней части кавернозный (от 0.5–1.0 до 5.0 см), трещиноватый, окремненный, скрытокристаллический, в середине слоя пропласток (1.5 см) аргиллита углистого, черного цвета, с оогониями харовых водорослей. Мощность 0.5 м.

24. Аргиллит углистый, битуминозный, доломитовый, с оогониями харовых водорослей. Мощность 0.03 м.

25. Доломит темно-серый, кремнистый, массивный. Мощность 0.2 м.

26. Аргиллит углистый, битуминозный, доломитовый, с оогониями харовых водорослей. Мощность 0.01 м.

27. Доломит желтый, в нижней части слоя темно-серый, комковатый, трещиноватый, участками кремнистый, со строматопороидеями, кораллами, брахиоподами, моллюсками и другими остатками беспозвоночных. Мощность 7.0 м.

28. Доломит светло-желтый, кремневый, кремнистый, слабокавернозный (диаметр до 3–5 см). Мощность 0.7 м.

29. Доломит желтый, комковатый, кавернозный, в слое много доломитового песка желтого цвета. Имеются три прослоя светло-серых кремневых конкреций овально-вытянутой формы толщиной от 1 до 8 см. Встречаются обломки кораллов, гастропод и брахиопод, а также губки, строматопороидеи, ходы червей, брахиоподы. Мощность 2.7 м.

30. Доломит светло-серый, кремневый, пористый, кремнистый, комковатый, мелкокристаллический, трещиноватый. В основании светло-серые кремневые конкреции. Встречаются кораллы, моллюски и брахиоподы. Мощность 2.4 м.

31. Доломит светло-серый до черного, кавернозный, комковатый, мелкокристаллический. Мощность 0.2 м.

32. Глина карбонатная, комковатая, плотная, светло-серая с зеленоватым оттенком, местами с выцветами и пятнами бурого и желтого цвета. Мощность 0.1 м.

33. Доломит светло-серый до черного, сильнокавернозный (до 10 см), комковатый, мелкокристаллический. Мощность 0.2 м.

34. Глина карбонатная, светло-голубовато-зеленая, комковатая, пластичная. Мощность 0.1 м.

35. Доломит светло-серый, пористый (поры до 5–10 см), мелкокристаллический. Мощность 0.25 м.

36. Глина карбонатная, голубовато-серая с зеленоватым оттенком, рыхлая, слабокомковатая. Мощность 0.2 м.

37. Доломит желтовато-серый, кремневый, скрытокристаллический, местами кавернозный, трещиноватый, в кавернах доломитовая мука. Мощность 1.5 м.

Большое количество остатков ихтиофауны в карьере Гралево встречается в голубовато-зеленовато-серых доломитовых мергелях. Остатки распределены обычно вдоль плоскостей напластования, образуют групповые скопления. Иногда встречаются сочлененные скелетные элементы рыб. Преобладают в основном различные пластинки антиарх, чешуи и зубы саркоптеригий, реже встречаются пластинки эвартродир, чешуи актиноптеригий, редко — остатки псаммостеид, чешуи и плавниковые шипы акантодов, фрагменты челюстей саркоптеригий. Обнаруженные скелетные элементы ихтиофауны имеют обычно хорошую и удовлетворительную сохранность. Деформации большинства скелетных элементов рыб незначительны. Из-за хрупкости некоторые пластинки плакодерм часто разрушаются на сравнительно мелкие фрагменты. Следов явной окатанности у них не выявлено. Остатки беспозвоночных в захоронении пока не найдены. Очень редко можно обнаружить единичные углефицированные растительные остатки. В целом характер сохранности остатков свидетельствует о том, что они были захоронены, не испытав длительной транспортировки.

Sr-изотопная характеристика фрагментов ихтиофауны из нижнефранских разрезов р. Сарьянка и карьера Гралево

Фосфатные остатки рыб, захороненные *in situ*, способны сохранять Sr-изотопную характеристику среды седиментации (Schmitz et al., 1991; Bertram et al., 1992; Holmden et al., 1996; Martin, Scher, 2004). В случае открытых и внутренних морей с нормальной соленостью, это открывает возможность использовать отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ископаемой фауне для уточнения возраста стратиграфического горизонта и проведения корреляции на основе метода стронциевой изотопной хемостратиграфии — SIS (Schmitz et al., 1991; Ebner et al., 1997; Qing et al., 1998; McArthur et al., 2012; Дубинин и др., 2018; Кузнецов и др., 2018). Однако значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ископаемой фауне, обитавшей в частично изолированных палеобассейнах, могут отличаться

Таблица 1. Изотопный состав Sr во фрагментах ихтиофауны желонского и саргаевского горизонтов нижнего франа Латвийской седловины и Оршанской впадины Беларуси

№ образца	Вид фрагмента и таксон	Разрез	Положение образца в разрезе, м	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Желонский горизонт, нижний фран				
29/1-62a	Чешуя <i>Sarcopterygii</i> indet.	Обухово 1	1.6–4.9	0.71065
29/2-180	Чешуя <i>Sarcopterygii</i> indet.	Обухово 1	1.6–4.9	0.71102
48/1x-1	Пластинка <i>Bothrolepis</i> sp.	Калюты 2	1.95–2.55	0.70932
48/2x-1	Чешуя <i>Dipnoi</i> indet.	Калюты 2	1.95–2.55	0.70922
48/3x-1	Пластинка <i>Placodermi</i> indet.	Калюты 2	1.95–2.55	0.70907
48/4x-1	Чешуя <i>Sarcopterygii</i> indet.	Калюты 2	1.95–2.55	0.70898
Сарьянские слои, саргаевский горизонт, нижний фран				
52/1x-1	Чешуя <i>Sarcopterygii</i> indet.	Калюты 6	1.2–1.6	0.70825
107/4x-1	Пластинка <i>Bothrolepis</i> sp.	Калюты 5a	1.8–2.5	0.70842
117/1x-1	Пластинка <i>Placodermi</i> indet.	Виренка 1	5	0.70831
1/192x-1	Пластинка <i>Bothriolepis cellulosa</i>	Гралево	67–75	0.70856
1/193x-1	Пластинка <i>Placodermi</i> indet.	Гралево	67–75	0.70837
1/193x-2	Пластинка <i>Placodermi</i> indet.	Гралево	67–75	0.70838

от величин $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в морских палеобассейнах. Это, в свою очередь, открывает возможность определения уровня солёности палеобассейна (Schmitz et al., 1991; Tütken et al., 2011; Кузнецов и др., 2014), а также отслеживания миграции рыб из морских в пресноводные бассейны (Tütken et al., 2011).

Влияние диагенеза на изотопный состав Sr в биогенном апатите до сих пор специально изучалось на геохимическом уровне. Поэтому некоторые работы показали незначительное различие между значениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в фосфатных остатках (в рыбьих зубах и конодонтах, вероятно древних прототипах зубов) и в брахиоподах и фораминиферах из вмещающих пород (Koch et al., 1992; Holmden et al., 1996; Ebneith et al., 1997; Qing et al., 1998; Martin, Scher, 2004). Тем не менее небольшая разница отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ между морской водой того времени и биоапатитом имеет систематический сдвиг (менее 0.00005–0.0001) и повторяет колебания кривой вариации отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в морской воде. Это говорит о том, что, несмотря на возможный изотопный сдвиг (который иногда отсутствует), значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в биоапатите сопоставимо с этим значением в среде обитания (Holmden et al., 1996; Ebneith et al., 1997; Qing et al., 1998; Martin, Scher, 2004). Более того, содержание Sr в апатите ископаемых зубов рыб очень высокое и варьирует от 1300 до 2200 мкг/г (Bertram et al., 1992; Holmden et al., 1996; Дубинин и др., 2018), что указывает на способность апатита буферировать эффект пресноводного диагенеза. Таким образом, взаимодействие с поровой водой с относительно низкой концентрацией Sr потенциально не оказывает влияния на исходную величину $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в водной среде, в которой обитала рыба (Schmitz et al., 1991).

Представленный выше литологический анализ показал, что большинство обнаруженных фрагментов ископаемой фауны в нижефранских отложениях были захоронены *in situ*. На отсутствие значительной транспортировки указывают совместное нахождение разнообразных палеонтологических остатков организмов, которые в прижизненном состоянии обитали совместно, а также минимальные следы окатанности отдельных фрагментов. Гидродинамический режим накопления каждой изученной пачки различался, но в целом это отложения мелководных морских обстановок в пределах сублиторали и проксимальных зон. Наиболее активный гидродинамический режим характерен для разреза Обухово 1, отложения которого несут следы придонных течений и волновых движений в литоральной зоне. В остальных разрезах текстурные признаки пород отражают обстановки прибрежно-морской зоны мелководного палеобассейна.

Изотопный состав стронция определен в разнообразных фрагментах ихтиофауны из шести разрезов, охватывающих желонский и саргаевский горизонты (табл. 1). Скелетные остатки ихтиофауны представляют собой чешуи саркоптеригий (*Sarcopterygii* indet. и *Dipnoi* indet.) и фрагментарные пластинки плакодерм (*Placodermi* indet. и *Bothrolepis*). Образцы желонского горизонта Латвийской седловины отобраны из слоя 2 и 3 в разрезе Обухово 1 и слоя 1 в разрезе Калюты 2. Образцы сарьянских слоев саргаевского горизонта Латвийской седловины отобраны из слоя 1 в разрезе Виренка 1, из середины слоя 1 в разрезе Калюты 5a и основания слоя 2 в разрезе Калюты 6. В доломитовом карьере Гралево Оршанской впадины отобрано 3 образца из интервала 67.0–75.0 м, который относится к сарьянским слоям саргаевского горизонта.

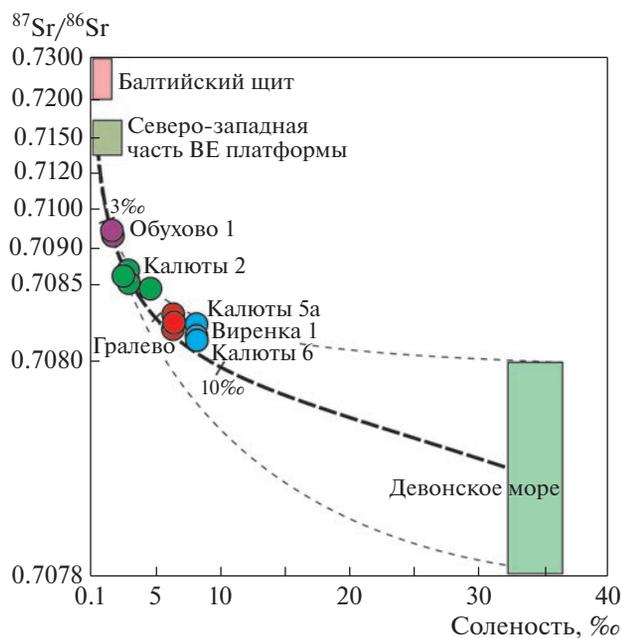


Рис. 8. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ископаемых остатках ихтиофауны из нижнефранских отложений в разрезах Обухово 1, Калюты 2, Калюты 6, Виренка 1, Калюты 5а и Гралево. Пунктирными линиями обозначены гипотетические линии смешения состава морской воды раннефранского времени (McArthur et al., 2012) и пресной воды континентального стока в северо-западной части Восточно-Европейской (ВЕ) платформы по данным (Кузнецов и др., 2014).

Среди изученных образцов наиболее низкое отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ обнаружено в образцах из сарьянских слоев разрезов Калюты 6 (0.70825), Калюты 5а (0.70842) и Виренка 1 (0.70831). Похожие низкие значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ показали образцы сарьянских слоев саргаевского горизонта из карьера Гралево — 0.70837–0.70856 (табл. 1). Образцы из желонского горизонта имеют высокие значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в разрезах Калюты 2 (0.70898–0.70932) и Обухово 1 (0.71065–0.71102). Следует отметить, что значения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ископаемых остатках из сарьянских слоев в разрезах Латвийской седловины и Оршанской впадины имеют близкие пределы вариаций.

Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ во всех ископаемых остатках желонского и саргаевского горизонтов выше, чем это отношение в морской воде раннефранского времени позднего девона: 0.7082–0.7110 против 0.7078–0.7080 (McArthur et al., 2012). Кроме того, значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ископаемых остатках различаются в зависимости от литологического состава пород. Наиболее низкие величины $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.70825–0.70856) характерны для ископаемых остатков из карбонатных пород и мергелей, в глинисто-карбонатных и глинистых породах они выше (0.70898–0.71102). Все это может указывать на

то, что изученные осадки отлагались в палеобассейне, который был частично изолирован от океана (рис. 8). Следует отметить, что наиболее низкие значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в остатках рыб согласуются с этими значениями в среднедевонских пластовых гипсах и верхнедевонских пластовых ангидридах Беларуси (0.70820–0.70874; Махнач и др., 2000). Повышенные значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в девонских сульфатах Беларуси интерпретировались как отражение значительной роли континентальных вод в мелководном палеобассейне галогенеза, поскольку на суше, служившей источником сноса в эйфельское и франское время, были обнажены породы, обогащенные радиогенным ^{87}Sr : кристаллический фундамент, терригенные и вулканические образования верхнего протерозоя и песчано-глинистые отложения кембрия (Махнач и др., 2000).

Анализ изменения отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в системе море—залив—озеро, проведенный ранее при изучении современных раковин моллюсков опресненных водоемов Балтийского моря и Финского залива, показал зависимость значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ от солености (Кузнецов и др., 2014). Так, отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ во внутренних заливах Балтийского моря составляет 0.7095–0.7111, в речных и озерных раковинах повышается до 0.7149 и 0.7222, что резко отличается от значения этого отношения в современном океане (0.7092; Кузнецов и др., 2012). Установленные зависимости отражают смешение в системе морская—пресная вода. В настоящее время Sr-изотопная характеристика воды в реке Нева и в горловине Финского залива отражает усредненное значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, сформированное при размыве архейско-протерозойских пород Фенноскандинавского (Балтийского) щита и палеозойских пород северо-запада Восточно-Европейской платформы.

Разнообразные докембрийские вулканические, карбонатные (мраморы), гранитные, песчано-глинистые породы, метаморфические гнейсограниты, сланцы и раннепалеозойские породы (кембрийские глины и ордовикские мергели) могли размываться в девонское время. Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в названных породах варьирует от 0.7033 до 0.8582 (Aberg, Wickman, 1987; Gorokhov et al., 1994; Горохов и др., 1998, 2007; Махнач и др., 2000; Виноградов и др., 2003; Shields et al., 2003; Kuznetsov et al., 2010; Кузнецов и др., 2021; Alifimova et al., 2022). В настоящее время не существует реконструкций, которые бесспорно представляли бы состав размываемых пород в девонское время при накоплении изученных отложений. Это позволяет нам использовать для оценки континентального стока либо значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, полученное для современной Невы и отражающее усредненный размыв докембрийского фундамента и палеозойского чехла, либо значение этого отношения, полученное

для Ладожского озера и отражающее усредненный размыв докембрийского фундамента. Поскольку сток р. Нева геологически более разнообразный и широкий, при имеющихся допущениях, величина $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ равная 0.7149 наиболее близко отражает состав континентальных вод в девоне на изученной части платформы. Именно это значение нами взято для оценки континентального стока при модельном расчете линии смещения в системе морская—пресная вода в позднем девоне. Значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для морской воды раннефранского времени принято равным 0.7079, как среднее из 0.7078–0.7080 (McArthur et al., 2012). Сопоставление измеренных значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в остатках ихтиофауны с модельной линией смещения показывает, что раннефранский палеобассейн содержал значительную примесь континентальной воды. Соленость палеобассейна в сарьянское время была около 5–8‰, а в желонское время — до 3–5‰. Дополнительный расчет при условии, что размывался только докембрийский фундамент и кембрийский чехол (значение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в Ладожском озере), приводит к получению похожих результатов солености, которые различаются на 1–2‰. Модельный расчет показывает, что соленость раннефранского палеобассейна, в котором обитала изученная ихтиофауна, сравнима с таковой современного Балтийского моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщены опубликованные ранее и полученные нами новые литологические описания разрезов желонского и сарагаевского горизонтов нижнего франа Латвийской седловины на территории Беларуси: Обухово 1, Калюты 2, Калюты 6, Виренка 1 и Калюты 5а.

Впервые приведено детальное описание семилукских и саргаевских отложений, вскрытых в карьере Гралево Оршанской впадины (Витебская область).

В разрезе Калюты 2 установлен зональный вид *Bothriolepis obrutschewi* Gross (табл. VI), который позволил сопоставить отложения этого обнажения с верхней частью аматского горизонта Главного девонского поля и отнести их к верхней части желонского горизонта Беларуси.

Дополнен таксономический состав ихтиофауны и других органических остатков, выявленных в разрезах Обухово 1, Калюты 2, Калюты 6, Виренка 1 и Калюты 5а, а также в разрезе карьера Гралево. Фотоизображения различных органических остатков представлены в табл. I–IX.

Новые литологические, палеонтологические и тафономические данные позволили уточнить фациальные условия седиментации отложений желонского и сарагаевского горизонтов. В желонское время гидродинамический режим в палеобассей-

не был более активным, чем в саргаевское время. Отложения желонского времени формировались в прибрежной полосе мелководного моря, в литоральной и сублиторальной зоне. В саргаевское время палеобассейн расширился и углубился, но оставался мелководным вблизи прибрежной зоны.

Получены первые Sr-изотопные данные для ископаемых остатков ихтиофауны, захороненной *in situ*, из нижнефранских отложений Латвийской седловины и Оршанской впадины. Полученные значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в ископаемых остатках из сарьянских слоев в карьере Гралево Оршанской впадины и из разрезов в долине р. Сарьянка на территории Латвийской седловины варьируют в близких пределах (0.70825–0.70842 и 0.70837–0.70856 соответственно), что свидетельствует о правомерности корреляции этих стратиграфических уровней.

Высокие значения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в остатках ископаемой ихтиофауны обоих горизонтов предполагают, что раннефранский палеобассейн был значительно опреснен по сравнению девонским морем. Модельные расчеты показывают, что соленость в палеобассейне сарьянского времени была сравнима с соленостью современного Балтийского моря, а соленость в желонское время была сравнима с соленостью внутренних заливов Балтийского моря.

Благодарности Авторы благодарны Т.Ю. Толмачевой, Б.Г. Покровскому и А.О. Иванову за важные замечания, которые позволили улучшить рукопись. Авторы статьи выражают глубокую признательность Д.А. Степаненко (Белорусский национальный технический университет, Минск) за оказанную помощь в фотографировании мелких скелетных элементов ихтиофауны, В.Г. Лугину (Белорусский государственный технологический университет, Центр физико-химических исследований, Минск) за помощь при съемке на электронном микроскопе. В работе использовалось оборудование РЦ “РДМИ” (НП СПбГУ, Санкт-Петербург) и ЦКП “АИРИЗ” (ИГГД РАН, Санкт-Петербург).

Источники финансирования. Изотопные работы проведены при поддержке РФФ (проект № 18-17-00247п).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алейников А.А.* Общая геологическая карта Европейской части СССР, западная половина и северо-восточная четверть 28-го листа 10-верстной карты. Труды ГГУ, 1933.
- Виноградов В.И., Головин Д.И., Буякайте М.И., Бурзин М.Б.* Этапы эпигенетических преобразований верхнедокембрийских отложений центральной части Русской платформы (по данным Rb–Sr и K–Ar изотопно-геохронологических исследований) // Литология и полезн. ископаемые. 2003. № 2. С. 209–214.

- Воробьева З.П. Фауна девонских отложений Белорусской ССР // Изв. АН БССР. 1950. № 6. С. 99–103.
- Геккер Р.Ф., Обручев Д.В., Филиппова М.Ф. Отложения Главного девонского поля // Тр. Ленингр. геологического гидрогеологического треста. 1935. Вып. 9. 82 с.
- Голубцов В.К. Палеонтология и стратиграфия // История геологических наук в Белорусской ССР. Минск: АН БССР, 1978. С. 53–86.
- Голубцов В.К., Кедо Г.И., Кручек С.А., Авхимович В.И., Демиденко Э.К., Линник Л.С., Некрята Н.С., Обуховская Т.Г., Пушкин В.И. Стратиграфическая схема девонских отложений Белоруссии // Материалы по стратиграфии Белоруссии (к Межведомственному стратиграфическому совещанию). Минск: АН БССР, 1981. С. 46–63.
- Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Мележик В.А., Константинова Г.В., Мельников Н.Н. Изотопный состав стронция в верхнеятулийских доломитах туломозерской свиты, Юго-Восточная Карелия // Докл. АН. 1998. Т. 360. № 4. С. 533–536.
- Горохов И.М., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В., Турченко Т.Л. Sm–Nd систематика тонкозернистых фракций нижнекембрийских “синих глин” Северной Эстонии // Литология и полезн. ископаемые. 2007. № 5. С. 536–551.
- Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Азимов П.Я., Дубинина Е.О., Васильева И.М., Ризванова Н.Г. Sr- и S-изотопная хемотратиграфия метакarbonатных пород палеопротерозойской сортавальской серии, Фенноскандинавский щит, Северное Приладожье // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2021. Т. 29. № 2. С. 3–22.
- Горохов И.М., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Константинова Г.В., Дубинина Е.О., Липенков Г.В., Ризванова Н.Г. Изотопные составы Sr и Pb в доломитах билляхской серии Анабарского поднятия: метод ступенчатого растворения в хемотратиграфии и геохронологии // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2022. Т. 30. № 4. С. 22–51.
- Девон и карбон Прибалтики. Ред. Сорокин В.С., Лярская Л.А., Савваитова Л.С. и др. Рига: Зинанте, 1981. 502 с.
- Дочетвертичные отложения Республики Беларусь. Масштаб 1 : 1250000 // Национальный атлас Беларуси. Государственный комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете министров Республики Беларусь. Минск: Белкартография, 2002. С. 38–39.
- Дубинин А.В., Кузнецов А.Б., Римская-Корсакова М.Н., Сафин Т.Х. Изотопный состав Nd и Sr в эмали зубов из Fe–Mn конкреций Капской котловины: возраст и источники вещества // Геохимия. 2018. № 12. С. 1173–1184.
- Иванов А.О., Плакса Д.П., Лукашевич Э.В. Раннефранская ихтиофауна окрестностей Рубы (северо-восток Беларуси) // Стратиграфия и палеонтология геологических формаций Беларуси. Минск: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2003. С. 142.
- Кручек С.А., Махнач А.С., Голубцов В.К., Обуховская Т.Г. Девонская система // Геология Беларуси. Ред. Махнач А.С. и др. Минск: Ин-т геологических наук НАН Беларуси, 2001. С. 186–236.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Изотопный состав Sr в водах Мирового океана, окраинных и внутренних морей: возможности и ограничения Sr-изотопной хемотратиграфии // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. Т. 20. № 6. С. 3–19.
- Кузнецов А.Б., Макарихин В.В., Покровский Б.Г., Константинова Г.В. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $\delta^{18}\text{O}$ хемотратиграфия и фациальные условия обитания плейстоценовых моллюсков Карелии (пос. Гридино) // Докл. АН. 2014. Т. 459. № 2. С. 198–202.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Стронциевая изотопная хемотратиграфия: основы метода и его современное состояние // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2018. Т. 26. № 4. С. 3–23.
- Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Азимов П.Я., Дубинина Е.О. Sr- и S-хемотратиграфический потенциал палеопротерозойских осадочных карбонатов в условиях средне-температурного метаморфизма: мраморы Рускеалы, Карелия // Петрология. 2021. Т. 29. № 2. С. 172–194.
- Лиешиньш П.П. Стратиграфия франских отложений Латвийской ССР // Франские отложения Латвийской ССР. Рига: АН Латв. ССР, 1963. С. 3–94.
- Лунгерсгаузен Л.Ф. Уступ у геалогію Беларусі // Працы Горы-Горыцкага навук. таварыства. Бел. АН, адз. прыроды і нар. гаспадаркі. 1930. Т. 7. С. 181–213.
- Лярская Л.А., Лукашевич Э.В. Состав и распространение бесчелюстных и рыб в силурийских и девонских отложениях Латвии // Палеонтология и стратиграфия фанерозоя Латвии и Балтийского моря. Рига: Зинанте, 1992. С. 46–62.
- Махнач А.А., Колодны И., Старински А., Спиро Б. Стабильные изотопы стронция в сульфатных минералах Беларуси // Докл. НАН Беларуси. 2000. Т. 44. № 6. С. 92–95.
- Обручев Д.В. Значение ихтиофауны для стратиграфии северо-западного девона // Изв. ГГРУ. 1930. Т. 49. Вып. 9. С. 92–99.
- Обуховская Т.Г., Кручек С.А., Пушкин В.И., Некрята Н.С., Плакс Д.П., Саченко Т.Ф., Обуховская В.Ю., Антипенко С.В. Девонская система // Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси. Объяснительная записка. Минск: ГП БелНИГРИ, 2010. С. 98–114 (с двумя стратиграфическими схемами по девонским отложениям Беларуси).
- Обуховская Т.Г., Обуховская В.Ю., Кручек С.А. О стратиграфии верхнефранских отложений Оршанской впадины в пределах Беларуси // Літасфера. 2018. Т. 1 (48). С. 88–104.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Горохов И.М., Крупенин М.Т., Маслов А.В., Турченко Т.Л. Pb–Pb возраст преобразования осадочных фосфоритов в нижнерифейских карбонатных отложениях, саткинской свита Южного Урала // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2008. Т. 16. № 2. С. 35–41.
- Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Васильева И.М., Горохов И.М., Крупенин М.Т., Гороховский Б.М., Маслов А.В. Pb–Pb возраст и Sr-изотопная характеристика среднерифейских фосфоритовых конкреций: зигазино-комаровская свита Южного Урала // Докл. АН. 2013. Т. 451. № 4. С. 430–434.
- Петров Л.С. К сопоставлению разрезов девонских отложений Белорусской ССР и Советской Прибалтики // Сборник материалов по обмену опытом. Геология и разведка. М.–Л.: Гостоптехиздат, 1951. С. 7–8.

- Петров Л.С.* Девонские отложения северо-запада Русской платформы. Л.: ВНИГРИ, 1956. 174 с.
- Плак Д.П.* Раннефранская ихтиофауна севера Беларуси // *Літасфера*. 2010. № 1 (32). С. 60–81.
- Плак Д.П., Кручек С.А.* Об ихтиофауне франских отложений Латвийской седловины бассейна реки Сарьянки (Беларусь) // *Палеонтология и совершенствование стратиграфической основы геологического картографирования*. LV сессия Палеонтологического общества РАН. Санкт-Петербург, 2009. С. 111–113.
- Плак Д.П., Кручек С.А.* Стратиграфия отложений среднего и верхнего девона Латвийской седловины (по данным изучения ихтиофауны из обнажений в долине реки Сарьянки, Беларусь) // *Літасфера*. 2010. № 1 (32). С. 43–59.
- Плак Д.П.* Комплекс ихтиофауны из верхнедевонских отложений карьера “Гралево” (пос. Руба, Витебская область) // *Палеонтологическая летопись региональных и глобальных событий*. LI сессия Палеонтологического общества РАН. Санкт-Петербург, 2005а. С. 96–98.
- Плак Д.П.* Предварительные результаты палеоихтиологического изучения девонских отложений бассейна р. Сарьянки (Витебская область) // *Весці НАН Беларусі*. Сер. хім. 2005б. № 5. С. 161–164.
- Сорокин В.С.* Этапы развития северо-запада Русской платформы во франском веке. Рига: Зинанте, 1978. 282 с.
- Стратиграфический словарь СССР*. Новые стратиграфические подразделения палеозоя СССР. Ред. Жамойда А.И., Ковалевский О.П., Котляр Г.В. и др. Л.: Недра, 1991. 556 с.
- Aberg G., Wickman F.E.* Variation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in water from streams discharging into the Bothnian Bay, Baltic Sea // *Nordic Hydrol.* 1987. V. 18. P. 33–42.
- Alfimova N.A., Kuznetsov A.B., Klimova E.V., Bekker A.* Archean-Proterozoic unconformity in the Fennoscandian Shield: geochemistry and Sr, C and O isotope composition of Paleoproterozoic carbonate-rich regolith from Segozero Lake (Russian Karelia) // *Precambrian Res.* 2022. V. 368. P. 106459.
- Bertram C.J., Elderfield H., Aldridge R.J., Morris C.S.* $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, and REEs in Silurian phosphatic fossils // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1992. V. 113. P. 239–249.
- Blasius J.H.* Reise im Europäischen Rußland in den Jahren 1840 und 1841. Bd. 1–2. Braunschweig, 1844.
- Ebneth S., Diener A., Buhl D., Veizer J.* Strontium isotope systematics of conodonts: Middle Devonian, Eifel Mountains, Germany // *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.* 1997. V. 132. P. 79–96.
- Esin D., Ginter M., Ivanov A., Luksevics E., Avkhimovich V., Golubtsov V., Petukhova L.* Vertebrate correlation of the Upper Devonian and Carboniferous on the East European Platform // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project)*. 2000. V. 223. P. 341–359.
- Gorokhov I.M., Clauer N., Turchenko T.L., Melnikov N.N., Kutuyavin E.P., Pirrus E., Baskakov A.V.* Rb–Sr systematics of Vendian-Cambrian claystones from the east European Platform: implications for a multi-stage illite evolution // *Chem. Geol.* 1994. V. 112. № 1/2. P. 71–89.
- Holmden C., Creaser R.A., Muehlenbachs K., Bergstrom S.M., Leslie S.A.* Isotopic and elemental systematics of Sr and Nd in 454 Ma biogenic apatites: implications for paleoseawater studies // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1996. V. 142. P. 425–437.
- Koch P.L., Halliday A.N., Walter L.M., Stearley R.F., Huston T.J., Smith G.R.* Sr isotopic composition of hydroxyapatite from recent and fossil salmon: the record of lifetime migration and diagenesis // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1992. V. 108. P. 277–287.
- Kuznetsov A.B., Melezhik V.A., Gorokhov I.M., Melnikov N.N., Konstantinova G.V., Kutuyavin E.P., Turchenko T.L.* Sr isotopic composition of Paleoproterozoic ^{13}C -rich carbonate rocks: the Tulomozero Formation, SE Fennoscandian Shield // *Precambrian Res.* 2010. V. 182. № 4. P. 300–312.
- Mark-Kurik E.* The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project)*. V. 223. 2000. P. 309–324.
- Martin E.E., Scher H.D.* Preservation of sea water Sr and Nd isotopes in fossil fish teeth: bad news and good news // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. V. 220. P. 25–39.
- McArthur J.M., Howard R.J., Shields G.A.* Strontium isotope stratigraphy // *The Geological Time Scale*. Eds. Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz M., Ogg G. Elsevier, 2012. Chap. 7. P. 127–144.
- Plax D.P.* Ichthyofauna from the Devonian deposits of the Orsha Depression (Belarus) // *Природные ресурсы*. 2017. № 2. P. 12–50.
- Plax D.P., Zaika Yu.V.* On the Sargaevo deposits (Frasnian, Upper Devonian) of the Latvian Saddle outcropping within Saryanka River basin (Belarus) // *Lithosphere*. 2018. № 2 (49). P. 54–82.
- 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) // *Природные ресурсы*. 2020. № 2. С. 18–35.
- Qing H., Barnes C.R., Buhl D., Veizer J.* The strontium isotopic composition of Ordovician and Silurian brachiopods and conodonts: relationships to geological events and implications for coeval seawater // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1998. V. 62. P. 1721–1733.
- Schmitz B., Aberg G., Werdelin L., Forey P., Bendix-Almgreen S.E.* Sr-87/Sr-86, Na, F, Sr, and La in skeletal fish debris as a measure of the paleosalinity of fossil-fish habitats // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1991. V. 103. P. 786–794.
- Shields G.A., Carden G.A.F., Veizer J., Meidl T., Rong J.Y., Li R.Y.* Sr, C, and O isotope geochemistry of Ordovician brachiopods: a major isotopic event around the Middle-Late Ordovician transition // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2003. V. 67. P. 2005–2025.
- Stüeken E.E., Kuznetsov A.B., Vasilyeva I.M., Krupenin M.T., Bekker A.* Transient deep-water oxygenation recorded by rare Mesoproterozoic phosphorites, South Urals // *Precambrian Res.* 2021. V. 360. P. 106–242.
- Tütken T., Vennemann T.W., Pfretzschner H.-U.* Nd and Sr isotope compositions in modern and fossil bones – proxies for vertebrate provenance and taphonomy // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2011. V. 75. P. 5951–5970.

Рецензенты А.О. Иванов,
Б.Г. Покровский, Т.Ю. Толмачева

Reference Sections, Fossil Ichthyofauna and Sr Isotope Signature of the Lower Frasnian Sediments of the Latvian Saddle and Orsha Depression, Belarus

D. P. Plax^{a, #}, A. B. Kuznetsov^{b, ##}, A. A. Gavrilova^{b, c}, and A. M. Kulkov^c

^a *Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

^b *Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

^c *Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

[#]*e-mail: agnatha@mail.ru*

^{##}*e-mail: antonbor9@mail.ru*

The article provides a lithological description of the sections of the Lower Frasnian Stage of the Upper Devonian: the Zhelon Regional Stage and the Saria Beds of the Sargaevo Regional Stage, exposing in the basin of the Saryanka river, the Latvian Saddle. The complete lithological description of the Sargaevo and Semiluki sediments of the Frasnian Stage in the Gralevo quarry of the Vitebsk region, Orsha Depression has been presented. Macro- and micro-dimensional remains of heterostracans, placoderms, acanthodians, sarcopterygians, actinopterygians, as well as scolecodonts and conodonts have been found in the Lower Frasnian sediments; their photographic images are presented. For the first time, the Sr isotope composition was measured in the remains of ichthyofauna from the Zhelon and Sargaevo sediments of Belarus. On the basis of palaeoichthyological and taphonomic data, lithology and Sr isotope composition of ichthyofauna fragments, depositional environments in the Zhelon and Saria times were clarified, and the distant sections were correlated. The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr values in ichthyofauna samples from the Saria Beds in sections of the Latvian Saddle (sections of Kalyuty 5a and 6, Virenka 1) and the Orsha Depression (Gralevo quarry) lie within similar ranges: 0.70825–0.70842 and 0.70837–0.70856, respectively. The ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr values in the ichthyofauna from the Zhelon sediments in the Kalyuty 2 and Obukhovo 1 sections (Latvian Saddle) vary within 0.70898–0.70932 and 0.71065–0.71102, respectively. High ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr values in the fossil ichthyofauna of both regional stages suggest that the Early Frasnian palaeobasin was significantly desalinated, and the salinity in the Saria palaeobasin was comparable to the salinity of the modern Baltic Sea.

Keywords: ichthyofauna, Sr isotopes, chemostratigraphy, Frasnian, Devonian