

ISSN 1561-8323 (Print)

ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 551.24(477+553.98)

<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-5-597-607>

Поступило в редакцию 02.05.2019

Received 02.05.2019

Член-корреспондент Р. Е. Айзберг*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь***ПРИПЯТСКИЙ АРЕАЛ ПОЗДНЕДЕВОНСКОГО МАГМАТИЗМА И ЕГО СВЯЗЬ С ПЛЮМ-ТЕКТОНИКОЙ ДНЕПРОВСКОГО СЕГМЕНТА ЛИТОСФЕРЫ**

Аннотация. Припятский ареал позднедевонского магматизма (ПАПДМ) охватывает восточную и северо-восточную территорию одноименного сегмента литосферы. Пространственная асимметрия ПАПДМ относительно Припятского палеорифтового грабена является фундаментальной особенностью западного фланга Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена. Проявления на этой территории в позднем девоне эксплозивного и эффузивно-интрузивного магматизма в значительной степени определялись пред- и синмагматической деструкцией земной коры в пределах области рифтогенеза и сопряжением в районе Брагинско-Лоевской седловины с Западно-Днепровской рифтовой подушкой (РП), сформированной коровым внедрением мантийных плюмов. Синрифтовые присдвиговые зоны растяжения в ПАПДМ являлись трассерами перемещения магматических расплавов в сторону верхнекоровых «камер» пониженного давления из глубинных магматических очагов. Общегеологическая позиция очагов маркирована Западно-Днепровской РП.

Ключевые слова: Припятский палеорифт, Днепровский палеорифт, магматизм, герцинская плюм-тектоника, Западно-Днепровская рифтовая подушка, присдвиговое растяжение

Для цитирования: Айзберг, Р. Е. Припятский ареал позднедевонского магматизма и его связь с плюм-тектоникой днепровского сегмента литосферы / Р. Е. Айзберг // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 5. – С. 597–607. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-5-597-607>

Corresponding Member Romma Ye. Aizberg*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus***PRIPYAT AREA OF THE LATE-DEVONIAN MAGMATISM AND ITS ASSOCIATION WITH THE PLUME TECTONICS OF THE DNIEPER LITHOSPHERE SEGMENT**

Abstract. The Pripyat area of the Late-Devonian magmatism (PALDM) covers the eastern and northeastern territories of the lithosphere segment of the same name. The space asymmetry of the PALDM relative to the Pripyat paleorift graben is the fundamental feature of the western side of the Pripyat-Dnieper-Donets aulacogen. The explosive and effusive-intrusive magmatism manifested within this territory in the Late Devonian was determined to a large extent by the premagmatic and synmagmatic destruction of the earth's crust within the riftogenesis area and a junction with West-Dnieper rift pillow (RP) formed by the core intrusions of the mantle plumes in the region of the Bragin-Loyev Saddle. The synrift shear zones of tension within the PALDM were the tracers for the magmatic melt motion from the deep magmatic chambers towards the upper crustal “chambers” of lowered pressure. Their general geological position is marked by the West-Dnieper RP.

Key words. Pripyat paleorift, Dnieper paleorift, magmatism, Hercynian plume tectonics, West-Dnieper rift pillow, shear tension

For citation: Aizberg R. Ye. Pripyat area of the late-devonian magmatism and its association with the plume tectonics of the Dnieper lithosphere segment. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019, vol. 63, no. 5, pp. 597–607 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-5-597-607>

Данные глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) (проект ГЕОРИФТ-2013 [1]) вдоль Припятского и Днепровского палеорифтовых прогибов позволяют вместе с результатами предыдущих исследований значительно продвинуться в решении фундаментальных проблем геологического строения и эволюции важнейших горно-промышленных регионов Беларуси и Украины. Одной из таких проблем является выявление влияния плюм-тектонических событий в Днепровском сегменте литосферы на становление сопредельного с ним Припятского ареала позднедевонского магматизма (ПАПДМ) – территории распространения щелочно-ультраосновной–щелочно-базальтоидной формации площадью около 2000 км² и суммарной мощностью до 2,0–2,3 км.

В пределах ареала выявлено два района развития этой формации (рис. 1). Основной занимает восточную и северо-восточную периферию Припятского грабена и северную часть Брагинско-Лоевской седловины, а также прилегающую к ним территорию Северо-Припятского плеча и Го-

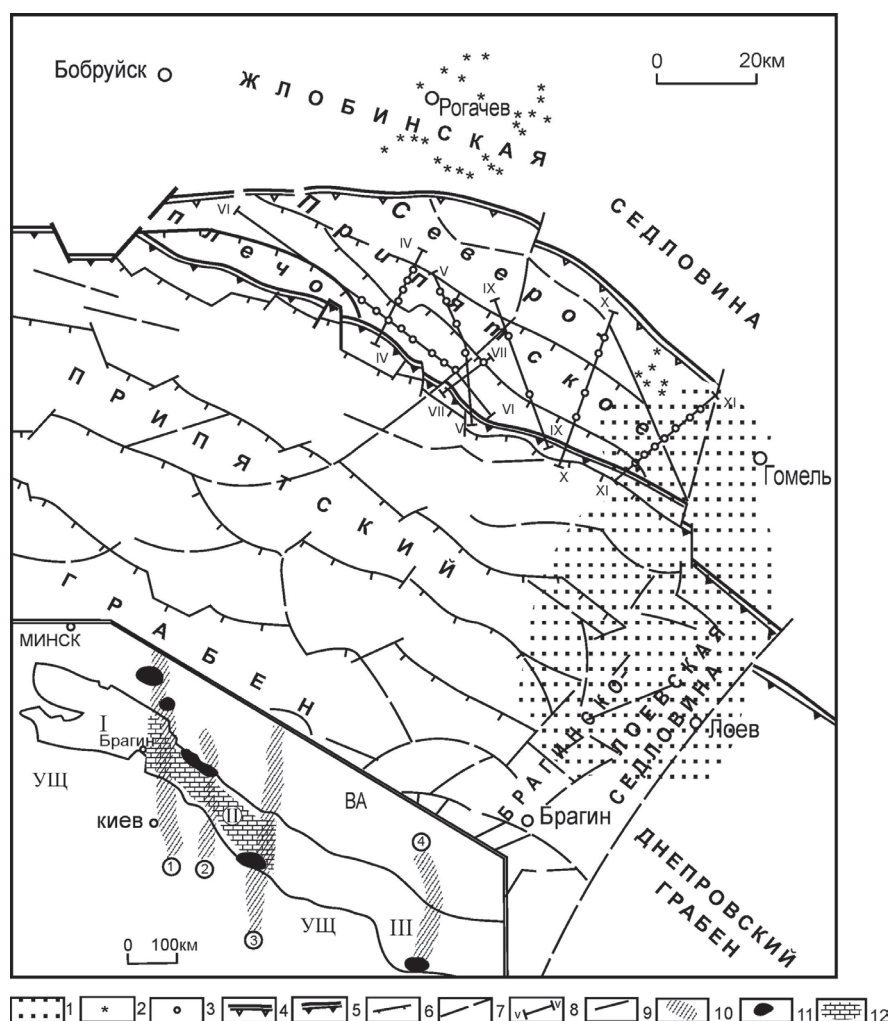


Рис. 1. Припятский ареал позднедевонского синрифтового магматизма: 1 – зона развития верхнефранско-фаменской щелочно-ультраосновной формации Припятского прогиба; 2 – трубки взрыва, установленные бурением; 3 – субвулканические тела, установленные сейсморазведкой (по данным С. В. Клушина и др.); 4–7 – разломы, ограничивающие: 4 – Припятский прогиб, 5 – Припятский и Днепровский грабены, 6 – ступени Припятского прогиба, 7 – прочие разломы; 8 – сейсмические профили. На врезке – схема проявления франского щелочно-ультраосновного магматизма Припятско-Донецкого авлакогена (по З. М. Ляшкевич, с доп. автора): 9 – краевые глубинные разломы Припятско-Днепропровско-Донецкого авлакогена (ПДДА); 10 – зоны древних допозднепротерозойских поперечных глубинных разломов (цифры в кружках: 1 – Одесский, 2 – Знаменско-Пирятинский, 3 – Криворожский, 4 – Кальмиусско-Айдарский); 11 – поля развития щелочно-ультраосновных пород; 12 – нижнекоровое сейсмическое высокоскоростное тело (по данным [1]), отождествляемое с Западно-Днепровской рифтовой подушкой; тектонические элементы: ВА – Воронежская антеклиз, УЩ – Украинский щит, ПДДА: I – Припятский прогиб, II – Днепровский прогиб, III – Донецкое складчатое сооружение

Fig. 1. The Pripyat area of the Late Devonian synrift magmatism: 1 – the zone of development of the Upper Frasnian-Famenian alkaline-ultrabasic formation of the Pripyat Trough; 2 – explosion tubes installed by drilling; 3 – subvolcanic bodies installed by seismic exploration (according to S. V. Klushin and others); 4–7 – faults limiting: 4 – the Pripyat Trough, 5 – the Pripyat and Dnieper grabens, 6 – the steps of the Pripyat Trough, 7 – other faults; 8 – seismic profiles. On the inset – the pattern of the manifestation of frasnian alkaline-ultrabasic magmatism of the Pripyat-Donets aulacogen (PDDA); 9 – marginal faults of the Pripyat-Dnieper-Donets aulacogen (PDDA); 10 – zones of ancient pre-late Proterozoic transverse deep faults (figures in circles: 1 – Odessa, 2 – Znamensko-Pyryatinsky, 3 – Krivorozhsky, 4 – Kalmyusko-Aydarsky); 11 – fields of the development of alkaline-ultrabasic rocks; 12 – low-crust seismic high-speed body (according to [1]), identified with the West Dnieper rift pillow; tectonic elements: BA – Voronezh antekliza, USh – Ukrainian shield, PDDA: I – Pripyat deflection, II – Dnieper deflection, III – Donets folded structure

мельской структурной перемишки. Второй район развития щелочно-ультраосновной субформации приурочен главным образом к Жлобинской седловине; эксплозивный магматизм проявлен здесь в виде трубок взрыва – диатрем. Основополагающие результаты изучения петрологии, минералогии, формы проявления, вертикальной и горизонтальной зональности щелочно-продолжаются в настоящее время [4]. Строение и геодинамические особенности формирования верхнедевонской магматической формации Припятского ареала рассматривались в [5; 6].

Верхнефранская и нижнефаменская вулканогенные толщи в пределах основного поля развития формации к югу от Северного краевого разлома Припятского грабена имеют схожее строение и близкие контуры распространения. Они сложены набором, в общем, одних и тех же ультраосновных, основных и средних вулканогенных пород щелочного ряда и отличаются, главным образом, количественным соотношением различных петрографических и фациальных их представителей [2; 3]. В верхней (нижнефаменской) толще при сохранении фациальных типов проявления и щелочного характера магматизма представлены более разнообразные по составу породы за счет увеличения основных и средних по составу разностей. Основным объемом вулканогенных образований слагают эффузивно-пирокластические породы, которые образуют потоки и покровы лав палеовулканов центрального и трещинного типов. В составе вулканогенных толщ установлены также породы субвулканической (жерловой) и гипабиссальной (интрузивной) фаций магматизма – силлы и дайки. Диатремы Жлобинского поля, которое приурочено к северо-восточному сектору Припятской области герцинского рифтогенеза, представляют собой воронкообразные и морфологически близкие к ним тела, прорывающие нижнюю (доверхнефранскую) часть платформенного чехла [3]. В плане диатремы имеют преимущественно округлую или овальную форму. Их размеры по кровле составляют от 60 м по короткой оси до 1000 м – по длинной. Широкая кратерная конусообразная часть диатрем на глубине 250–400 м от их поверхности переходит в узкую жерловую размерами от десятков до нескольких метров. Более глубокие части диатрем и их подводящие каналы пока почти не изучены, так как лишь на части из них пробурены скважины глубиной до 500–600 м. В современном рельефе диатремы не выражены. Они отражены лишь в магнитном поле более или менее изометричными локальными аномалиями интенсивностью от нескольких десятков до 300 нТл. По данным [3], вещественный состав, минералого-петрографические и структурно-текстурные особенности пород диатрем Жлобинского поля однозначно свидетельствуют об их принадлежности к группе ультраосновных пород щелочного ряда, а в пределах этой группы – к классу вулканических и интрузивных пород, среди которых резко преобладают вулканокластические разности при подчиненном содержании собственно магматических (субвулканических и интрузивных) аналогов. Изучение литокластического материала и массивных магматических пород диатрем Жлобинского поля показало, что в них присутствуют породы всех трех семейств щелочно-ультраосновного ряда: щелочных пикритов, ультраосновных фойдитов и мелилититов.

Обобщающие данные о герцинском магматизме Днепровского палеорифта, в том числе зоны, сопредельной с Припятским ареалом, изложены в [7; 8]. Западная зона Днепровского ареала позднедевонского магматизма (ДАПДМ) представлена, как и в пределах Припятского ареала, лавами щелочно-ультраосновного состава, щелочными базальтоидами и их дифференциатами. Указанные исследователи полагают, что позднедевонская магматическая активность в западной части Днепровского прогиба была приурочена к синрифтовым разломам, особенно в местах их пересечения с меридиональными зонами доплатформенных разломов фундамента. Показано, что только небольшая часть магмы была вынесена в платформенный чехол, а большая часть проникла в кору в виде силлов, даек и мощного корового внедрения основных пород [8]. Последнее ассоциировалось, в частности, с обособленным Т. В. Ильченко на профиле ГСЗ Пирятин-Талалаевка высокоскоростным телом под осевой частью Днепровского грабена [1]. Результаты обработки и интерпретации результатов ГСЗ по проекту ГЕОРИФТ-2013 показали, что установленное на профиле Пирятин-Талалаевка высокоскоростное тело является лишь небольшой составной частью выявленной вдоль Днепровского грабена региональной ниже- и среднecоровой рифтовой подушки (rift pillow) протяженностью 230 км и мощностью до 18 км (эту рифтовую подушку целесообразно именовать Западно-Днепровской – см. врезку к рис. 1 и рис. 2).

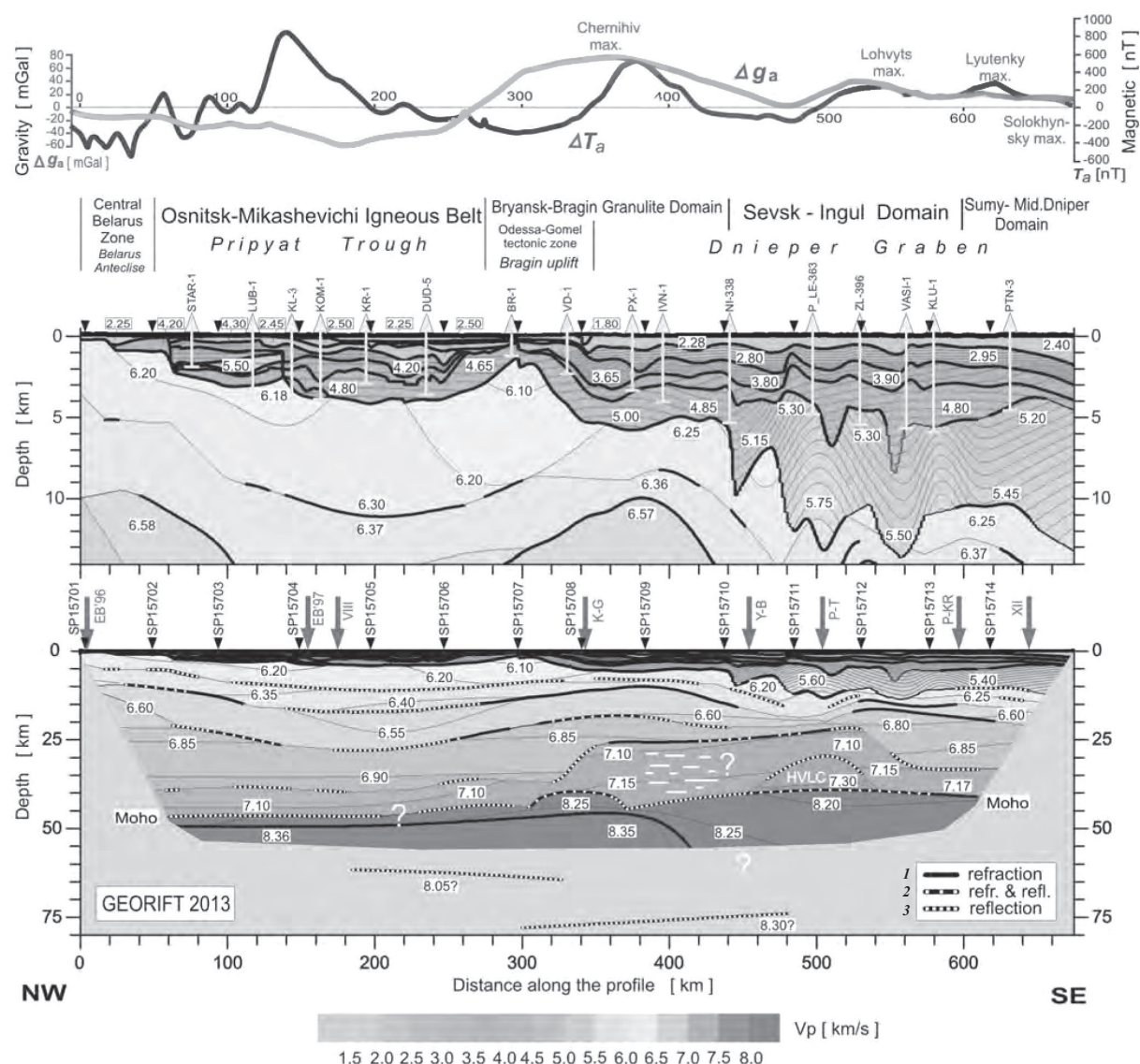


Рис. 2. Сейсмическая модель коры и верхней мантии по профилю ГЕОРИФТ-2013 [1]. Фрагменты основных сейсмических границ на основе интерпретации Р-волн: 1 – преломленных, 2 – пакета преломленных и отраженных, 3 – отраженных. Цифры в клетках на разрезе – скорость продольных Р-волн, км/с

Fig. 2. Seismic and speed model of core and upper mantle by GEORIFT 2013 profile [1]. Fragments of the main seismic frames on the base of P-waves interpretation: 1 – refracted, 2 – packet refracted and reflected, 3 – reflected. The numbers in the cells in the section are the velocity of the longitudinal P-waves, km/s

Сейсмический образ Западно-Днепровской РП на профиле ГСЗ ГЕОРИФТ-2013 (рис. 2) представлен резко выраженным вздутием нижней коры (в интервале пикетов 320–550 км) с сейсмической скоростью продольных волн $V_p \sim 7,1$ км/с. Западное замыкание РП подстилает зону Брагинско-Лоевской седловины, восточное приурочено в Днепровском прогибе к границе Сребневской депрессии и Северо-Яровского трога платформенного чехла и субмеридиональной Криворожской зоне раннепротерозойских разломов фундамента. Под Брагинско-Лоевской седловиной поверхность РП испытывает резкое флексурное погружение на запад в сторону Припятского прогиба с глубины 26 км (пикет (ПК) 350 км) до глубины 38 км (ПК 320 км). К востоку от ПК 350 км эта поверхность испытывает медленный подъем до 22 км (ПК 530 км), затем резко трассируется вниз до глубины 34 км (ПК 550) и до восточного окончания профиля залегает субгоризонтально. Подошва РП сопряжена с разделом Мохо на глубине 38–40 км. Внутренняя структура РП характеризуется увеличением значений скорости Р-волн от 7,1 км/с в верхней части рифтовой

подушки и до $\sim 7,17$ км/с – в нижней части, при этом в пределах последней над поверхностью Мохо в интервале пикетов 460–540 км на основе синтетических сейсмограмм моделируется отдельное высокоскоростное тело с $V_p = 7,3$ км/с [1]. Обращает на себя внимание, что РП находится, в основном, вне зоны позднепротерозойского рифтогенеза, обоснованной В. Б. Соллогубом, А. В. Чекуновым и другими исследователями в Днепровском сегменте к востоку от Полтавы и, возможно, на участке Полтава–Ичня. Генезис высокоскоростного ниже- и среднекорового тела, выявленного поперечным профилем ГСЗ Пирятин–Талалаевска и продольным профилем ГЕОРИФТ-2013 в Днепровском грабене, все исследователи связывают с интенсивной переработкой земной коры вследствие внедрения мантийных расплавов [1; 9]. Указанные события можно рассматривать как проявление в Днепровском сегменте плюмовой тектоники – совокупности тектонических, геодинамических и магматических процессов в литосфере и подлитосферной мантии, обусловленных подъемом подлитосферных долговременных и нижнелитосферных кратковременных горячих плюмов. Проявления плюмтектоники на стадии герцинского рифтогенеза в Днепровском сегменте литосферы были наиболее полно показаны А. В. Чекуновым [9; 10] на основе региональных геофизических исследований, а с учетом петрологии и геохимии магматических пород рассмотрены З. М. Ляшкевич и М. Wilson [8]. Девонские плюм-тектонические события в рифтовых зонах Восточно-Европейской платформы (ВЕРП), в том числе в ПДДА, рассматривались в [11] с учетом данных по сейсмической томографии. Важные результаты исследований о масштабах и механизме проявления плюм-тектонических процессов в Днепровском сегменте ПДДА на основе анализа минералого-геохимических и геофизических аспектов глубинной дегазации изложены в [12].

Итоги петролого-геохимических исследований редких земель, изотопов стронция (Sr) и неодайма (Nd) в ПАПДМ и ДАПДМ показали, что в генерации верхнедевонских магматических пород принимали участие вещества мантийного плюма [8]. Было определено, что максимальное проявление позднедевонского магматизма на западе Днепровского грабена и Брагинско-Лоевской седловины инициировано подъемом мантийного плюма в позднем фране. Предполагается, что он зародился в подошве астеносферы, а в позднем фране достиг подошвы коры. Представляется, что верхняя часть плюмов, достигая в зоне рифтогенеза границы Мохо, испытывает дифференциацию: более легкая, чем нижняя кора, часть расплава может интродуцировать в находящуюся в условиях растяжения кору, а более тяжелая образовывать линзы под разделом Мохо. Аналогичная Западно-Днепровской рифтовая подушка Рилфут (Северо-Американская платформа), согласно [13], вследствие внедрения в процессе рифтогенеза основных магм в нижнюю кору включает минимум 10 % мантийного материала. Следует отметить, что и в пределах центра и запада Днепровского палеорифта ареал позднедевонского магматизма и пространственная позиция РП совпадают почти полностью. Это указывает на генетическую связь ДАПДМ с магматическим подслаиванием (андерплейтингом) – формированием Западно-Днепровской РП при ведущей роли плюм-тектонических процессов. Они, вероятно, были унаследованы от неопротерозойского суперплюма, который, как полагает А. В. Чекунов, возник в Прикаспийском регионе и развивался в сторону апикальной части Сарматского домена [10]. Это явилось триггером для формирования в неопротерозое в пределах современных вала Карпинского, Донбасса, восточной и центральных зон Днепровского прогиба глубокой рифтовой системы. На герцинском этапе в этой протяженной зоне Сарматско-Туранского линеамента возобновились плюм-тектонические процессы, дополненные воздействием суперрегиональных сдвигов со стороны Туаркырско-го рифта, который возник на продолжении срединно-океанического хребта Палеотетиса. Рифтогенез захватил в девоне всю территорию ПДДА, в том числе и замыкающую структуру рассматриваемого ансамбля – Припятский сегмент. Структурное воздействие Донецко-Днепровского плюма на коро-мантийную границу в девонское время отражено «антиклинальным перегибом раздела М со сводом в виде узкого эллипса неправильной формы» [9]. В соответствии с данными ГСЗ по проекту ГЕОРИФТ-2013 приосевой антиклинальный перегиб поверхности Мохо охватывает почти весь Днепровский прогиб (за исключением его юго-восточного фланга), а максимально приподнятая до глубины ~ 37 км сводовая часть приурочена к отрезку ПК 460–560 км (рис. 2). Именно в этой зоне над разделом Мохо в нижнекоровом ядре Западно-Днепров-

ской РП выявлена аномально высокоскоростная и высокоамплитудная антиформа, генезис которой может быть связан с районом наиболее активного проявления герцинской плюм-тектоники.

По мере удаления от эпицентров глубинной активности подлитосферных плюмов энергетический потенциал последних слабеет и в зоне литосферной верхней мантии они могут приобретать субвертикальную и субгоризонтальную форму, а создаваемые этими плюм-тектоническими процессами структуры приобретают более вытянутые формы [10]. А. Е. Лукин [12] связывает генезис долгоживущего «материнского» Донецко-Днепровского суперплюма с границей нижней мантии и внешнего слоя земного ядра; зарождающиеся здесь сверхглубинные плюмы являются основными путями (трассерами) для флюидопроводящих систем. При этом определяется возможность различных режимов их существования, например, импульсного, при котором происходит «впрыскивание» сверхглубинных флюидов по более проницаемым плюмовым каналам к подошве литосферы. По-видимому, региональная высокоамплитудная Западно-Днепровская РП отражает активное импульсное проявление позднедевонских плюм-тектонических процессов и, как показано ранее, четко маркирует их пространственную позицию [14]. Таким образом, можно полагать, что именно к территории Западно-Днепровской РП приурочены верхнемантийные вертикальные, субвертикальные и даже субгоризонтальные флюидопроводящие системы, которые являлись основными путями перемещения к подошве коры флюидов от нижнемантийных и более глубоких очагов. Внедрение мантийных флюидов в нижнюю и отчасти среднюю кору привело к формированию РП и проявлению основного магматизма прежде всего над рифтовой подушкой и примыкающими к ней зонами интенсивного растяжения земной коры. При этом обращает на себя внимание, что подстилающий периферийную зону рифтовой подушки Брагинско-Черниговский выступ границы Мохо (рис. 2, ПК 305–370 км) характеризуется применительно к самому верхнему мантийному слою, заключенному здесь между поверхностями Мохо и субМохо, тем же сейсмоскоростным показателем $V_p = 8,25$ км/с, что и верхний слой мантии западного фланга Днепровского сегмента литосферы. Изложенные данные позволяют интерпретировать Брагинско-Черниговский выступ границы Мохо как антиформное структурное проявление субгоризонтального деривата Донецко-Днепровского плюма в зоне четко выраженного изменения глубины залегания этого раздела и резкого погружения границы субМохо. Можно допустить, что в подкоровом пространстве выступа Мохо, ограниченном с запада поперечными субмеридиональными дорифтовыми разломами, происходило нагнетание (скупивание) мантийного материала.

Выявленные на основе интерпретации данных ГСЗ реальный масштаб и тектоническая позиция Западно-Днепровской РП и возможные условия ее формирования определили значимость корреляции герцинских плюм-тектонических процессов в Днепровском рифте, с одной стороны, и позднедевонского магматизма в Припятском ареале – с другой. В связи с этим помимо возможного установления в этом ареале «собственного» магматического резервуара вне пределов Западно-Днепровской РП, особое значение имеет оценка синрифтовых полей напряжения земной коры в процессе проявления магматизма на сопредельной с рифтовой подушкой территории ПАПДМ, который своей юго-восточной частью находится над западной периферией РП. Формирование ПАПДМ происходило в зоне сочленения Припятского и Днепровского рифтов в условиях синхронного проявления магматизма над Западно-Днепровской рифтовой подушкой, генетически связанной, как отмечено выше, с коровым внедрением мантийных плюмов. Центральной, стержневой структурой зоны сочленения является поперечная Брагинско-Лоевская седловина, ограниченная герцинскими сдвигами: с запада – левосторонним Лоевским, с востока – Верхнеднепровским [5; 9]. В зоне сочленения угловой излом простирания обоих рифтов составляет по системе северных краевых разломов $15\text{--}17^\circ$, а по системе южных краевых разломов – 35° . Припятский рифт формировался на фоне левостороннего, а Днепровский – правостороннего вращения крупных мегаблоков литосферы, в результате чего обе структуры в плане представляют собой клинообразные раздвиги с углом раскрытия для Припятского прогиба 20° , а для Днепровского – $8\text{--}10^\circ$. Такое встречное вращение формировало в районе Брагинского выступа индентор (блок-штамп), вектор горизонтального сдвигания которого был направлен с юга на север (рис. 3). Именно в этом районе индентации создавалась зона максимального поперечного

сжатия с первоначальным распределением напряжения на его пограничных участках и дальнейшего его перераспределения в зону растяжения северо-восточного сектора Припятской области рифтогенеза. При анализе структурного рисунка зоны сочленения Припятского и Днепровского палеорифтов установлено общее диагональное смещение первого относительно второго на север по Верхнеднепровскому правостороннему сдвигу, который в иерархии поперечных сдвигов всей зоны является, видимо, основным. Реализация по этому сдвигу напряжения горизонтального вдавливания со стороны Брагинского индентора происходила по относительно простой схеме: на севере оно «дополнило» и совпало по вектору с синрифтовым региональным растяжением в северной части Припятского прогиба, а на юге – аналогично, но в южной сопредельной части Днепровского прогиба. Первопорядковому правостороннему сдвигу соответствуют в вертикальном разрезе литосферы: в нижней коре – флексурное замыкание в сторону Припятского прогиба Западно-Днепровской региональной рифтовой подушки, по границе Мохо – апикальная часть Брагинско-Черниговского сводового выступа, по поверхности субМохо – резкое погружение, которое разграничивает сегменты верхней мантии: Припятский высокоскоростной и Днепровский менее скоростной и, видимо, деплетированный. Суперпозиция указанных неоднородностей в поперечном субмеридиональном разрезе отражает их взаимосвязь с синрифтовой геодинамикой региона и синхронными плюм-тектоническими процессами, формировавшими региональную рифтовую подушку и промежуточные магматические резервуары.

Левый (Лоевский) сдвиг, соподчиненный правому (Верхнеднепровскому), формировался как сдвиг ограничения блока вдавливания (индентора) на участке излома Южно-Припятского краевого разлома на границе с Брагинским выступом; визуально он следится до широты Буйновичско-Наровлянского разлома. Согласно результатам тектонофизических исследований при субгоризонтальном внедрении индентора (блок-штампа) в поперечную структуру с изломом ее простираения в плане во фронтальной (выпуклой) части этой структуры развивается продольное растяжение, а в тыловой (вогнутой) части – продольное сжатие, связанное с недостатком пространства в непосредственной близости к штампу (аналогичная картина наблюдается в кровле и подошве пласта при формировании антиклинальной складки). В соответствии с этой моделью в районе сочленения Припятского и Днепровского палеорифтов на Брагинско-Лоевской седловине на синрифтовой стадии в позднем девоне сформировались 3 зоны динамического влияния Брагинского индентора, различающиеся обстановками напряжения (рис. 3) [5]. *Первая зона.* На Южном участке, соответствующем собственно Брагинскому выступу, как уже отмечено, напряжения сжатия были реализованы по ограничивающим его с запада и востока лево- и правостороннему сдвигам трансформного типа до широты Буйновичско-Наровлянского разлома. *Вторая зона.* К северу от первой зоны до широты Малодушинского разлома располагалась территория максимального всестороннего сжатия (тыловая часть штампа) с характерной решетчато-блоковой мелкофрактальной структурой фундамента и подсолевого комплекса. Она образована пересечением ортогональных сдвиго-сбросов, соподчиненных простираению субширотных «припятских» разломов, и левостороннего сдвига-трансформа вдоль Лоевского разлома. При отсутствии «свободного пространства» сдвиговая компенсация проявила себя здесь путем своеобразного сжатия в виде хаотического сочленения мелких блоков; это объемное сжатие способствовало формированию Брагинско-Черниговского выступа поверхности Мохо. *Третья зона.* В северной части Брагинско-Лоевской седловины (от широты Малодушинского разлома вплоть до Северного краевого) и на сопредельном участке Припятского прогиба структура разломной сети кардинально изменяется, приобретая лучевой и веерообразный облик, открытый в направлении северных и северо-западных румбов. Вся эта территория и представляла собой зону динамического влияния фронтальной части Брагинского индентора (штампа), где на региональное поле растяжения, которое обусловило синрифтовое развитие Припятского прогиба, было наложено дополнительное продольное поле растяжения третьей (северной) динамической зоны Брагинско-Лоевской седловины (рис. 3). Простираения осей растяжения названных полей, сформированных двумя разными динамическими источниками напряжений – Припятским региональным и Брагинским индентором, были субперпендикулярны с азимутами 20° и 275° соответственно. Закономерно, что в главную фазу рифтогенеза именно к этой присдвиговой зоне, где проявилась

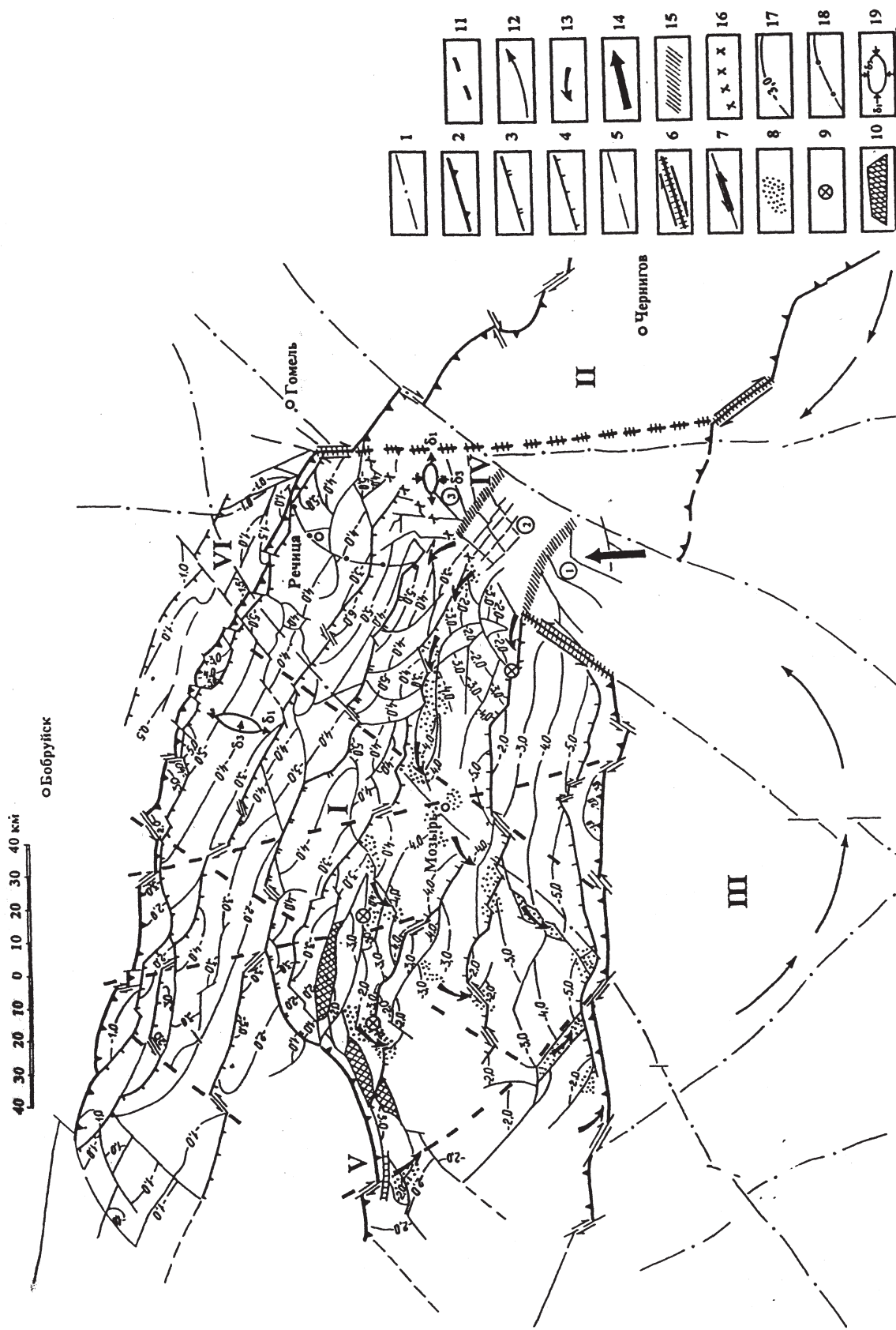


Рис. 3. Карта динамических признаков синрифтовых дислокаций Припятской зоны рифтогенеза [5]. Разломы: 1 – доплатформенные, ограничивающие крупные блоки фундамента; платформенные, отраженные по поверхности фундамента и подошве синрифтового комплекса сбросами и ограничивающие: 2 – Припятский и Днепровский палеорифты, 3 – Внутренний грабен и Северную зону ступеней Припятского палеорифта, 4 – структурные элементы второго порядка (ступени, зоны бортовых уступов и осевых погребенных выступов), 5 – прочие; отраженные левыми и правыми сдвигами и сбросо-сдвигами: 6 – трансформного и трансформного типов на участках сочленения с краевыми разломами палеорифта, 7 – прочие, выделяемые по визуальному горизонтальному смещению блоков по данным сейсмо- и магниторазведки. Структурные рисунки: структурные признаки проявления сдвиговых дислокаций: 8 – участки мозаично-блокового строения с обратным, встречным и ортогональным падением поверхности блоков, 9 – изменение падения плоскости разлома на обратное со сменой положения поднятой и опущенной крыльев; структурные признаки проявления раздвиговых дислокаций: 10 – микрограбены растяжения. Прочие обозначения: 11 – трассы диагональной сети сдвигов; 12 – направление горизонтального вращения мегаблоков УЩ; 13 – вектор смещения сдвиговых зон, связанных с общим левосторонним поворотом мегаблока УЩ и территории Внутреннего грабена; 14 – направление перемещения Брагинского блока-штампа; 15 – границы зон динамического влияния Брагинского блока-штампа (цифры в кружках): 1 – Брагинский выступ, 2 – тыловая зона продольного (и всестороннего) сжатия, 3 – фронтальная зона продольного растяжения; 16 – условная граница Припятского грабена и Брагинско-Лоевская седловина; 17 – изогипсы основания синрифтового комплекса (подошвы воронезского горизонта франского яруса); 18 – западная граница распространения вулканитов верхнефранско-фаменского возраста; 19 – эллипсы деформаций и положение осей алгебраически максимальных (δ_1) и минимальных (δ_3) главных нормальных напряжений. Тектонические структуры: 1 – Припятский грабен, 2 – Днепровский грабен, 3 – Украинский щит, 4 – Брагинско-Лоевская седловина, 5 – Микашевичско-Житковичский выступ, 6 – Северо-Припятское плечо

Fig. 3. The map of dynamic features of synrift dislocations of the Pripyat rifting zone [3]: Fissures: 1 – sub-platform, limiting large blocks of the basement; platform, reflected on the basement surface and the base of the synrift complex by discharges and limiting: 2 – Pripyatsky and Dneprovsky paleorifts, 3 – Inner graben and the Northern zone of the steps of the Pripyatsky paleorift, 4 – structural elements of the second order (steps, the areas of side ledges and axial buried protrusions) 5 – other; reflected by left and right shifts and dropping shifts: 6 – transform and transfer types in junction areas with the boundary faults of the paleorift, 7 – others, distinguished by the visual horizontal displacement of blocks according to seismic and magnetic prospecting data. Structural drawings: structural signs of the manifestation of shear dislocations: 8 – sections of a mosaic-block structure with reverse, counter and the orthogonal falling of the surface of the blocks, 9 – change of the fall of the fault plane to the reverse with changing position of the raised and lowered wings; structural signs of the development of shear dislocations: 10 – stretching micrograbens. Other designations: 11 – traces of the diagonal network of shifts; 12 – direction of the horizontal rotation of the megablocks of the Ukrainian shield; 13 – the displacement vector of the shift zones associated with the general left-hand turn of the Ukrainian shield megablock and the territory of the Inner graben; 14 – the direction of movement of the Bragin block-stamp; 15 – boundaries of epy zones of epy dynamic influence of the Bragin block-stamp (figures in circles): 1 – Bragin ledge, 2 – rear zone of longitudinal (and comprehensive) compression, 3 – frontal zone of longitudinal stretching; 16 – conditional boundary of the Pripyatsky graben and the Bragin-Loev saddle; 17 – isogypsums of the base of the synrift complex (the foot of the Voronezh horizon of the Frasnian tier); 18 – the western boundary of the spread of the volcanic rocks of Upper Frasnian-Famenian age; 19 – deformation ellipses and the position of the axes of the algebraically maximum (δ_1) and minimum (δ_3) principal normal stresses. Tectonic structures: 1 – Pripyatsky graben, 2 – Dniiprosky graben, 3 – Ukrainian shield, 4 – Bragin-Loyev saddle, 5 – Mikashevichsky-Zhitkovichsky bulge, 6 – North-Pripyat shoulder

интерференция поперечного и продольного растяжения и как следствие – повышенные деструкция и коровая проницаемость, было приурочено проявление щелочно-ультраосновного и щелочно-базальтоидного магматизма, генетически связанного с Днепровским сегментом литосферы. При этом в отмеченных выше первой (южной) и второй (центральной) зонах Брагинско-Лоевской седловины, где в это же время доминировали напряжения сжатия, проявления позднедевонского магматизма отсутствуют. Вероятно, эти зоны объемного сжатия являлись барьером на пути миграции магматических расплавов со стороны Днепровского рифта.

Закключение. Изложенные данные позволяют сделать вывод, что восточный и северо-восточный районы Припятской области рифтогенеза в позднем девоне входили в зону непосредственного воздействия плюм-тектонических событий Днепровского сегмента литосферы. Большое сходство наборов верхнедевонских магматических пород в ПАПДМ и ДАПДМ и их сопредельная тектоническая позиция в едином авлакогене, пространственная сближенность ПАПДМ с Западно-Днепровской рифтовой подушкой, повсеместно подстилающей ДАПДМ, отражает высокую степень общности первичных магм щелочно-ультраосновного состава применительно к обоим ареалам. Мантийные очаги этих магм маркируются Западно-Днепровской рифтовой подушкой. Предполагается, что миграция в Днепровском сегменте литосферы мантийных флюидов по субвертикальным и субгоризонтальным энергетически высокопотенциальным плюмовым трассерам приводила к избирательному преодолению реологических барьеров и коровому внедрению магм в центральной и западной частях Днепровского рифта – формированию региональной рифтовой подушки. В Припятском прогибе в предмагматическую фазу подвергалась деструкции обширная область рифтогенеза, включая, кроме рифтового грабена, площади современного Северо-Припятского плеча, Брагинско-Лоевской седловины и Жлобинской седловины. По мере развития рифтогенеза сформировалась все более разветвленная сеть разломов, которые в зоне сочленения с Днепровским сегментом активной плюм-тектоники представляли собой в позднем фране и раннем фамене магмопроводящие пути из промежуточных «камер», где на разных глубинах происходила дифференциация щелочно-ультраосновной магмы («материнской» относительно всех магматических пород региона). В синмагматическую фазу рифтинга особая роль в ПАПДМ принадлежала верхнекорovým сдвиговым зонам растяжения с характерными для них «камерами» пониженного давления, в сторону которых происходила миграция больших объемов магматических расплавов.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № X18P-109).

Acknowledgements. The work was sponsored by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (Project no. X18P-109).

Список использованных источников

1. Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine) / V. Starostenko [et al.] // *Geophysical Journal International*. – 2018. – Vol. 212, N 3. – P. 1932–1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>
2. Корзун, В. П. Верхнедевонская щелочная формация Припятской впадины / В. П. Корзун, А. С. Махнач. – Минск, 1977. – 154 с.
3. Веретенников, Н. В. Верхнедевонский магматический комплекс / Н. В. Веретенников, В. П. Корзун, А. С. Махнач // *Геология Беларуси*. – Минск, 2001. – С. 446–459.
4. Mineral composition of the alkaline trachyandesites of the late Devonian of Belarus (parametric welb Prybor) / O. Kuzmenkova [et al.] // *Materials of the International Conference on Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits*. – Moscow, 2018. – P. 176–178.
5. Айзберг, Р. Е. Синрифтовая геодинамика Припятского прогиба / Р. Е. Айзберг, Т. А. Старчик. – Минск, 2013. – 146 с.
6. Старчик, Т. А. Позднедевонский магматизм и проблемы нефтегазоносности Припятской области рифтогенеза / Т. А. Старчик, Р. Е. Айзберг, В. Н. Бескопыльный // *Літасфера*. – 2014. – № 40. – С. 3–23.
7. Ляшкевич, З. М. Магматизм Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена / З. М. Ляшкевич. – Киев, 1987. – 176 с.
8. Wilson, M. Magmatism and geodynamic of the Pripyat-Dnieper-Donets rift East European Platform / M. Wilson, Z. M. Lyashkevich // *Tectonophysics*. – 1996. – Vol. 268, N 1–4. – P. 65–81. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(96\)00234-x](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(96)00234-x)
9. Чекунов, А. В. К геодинамике Днепровско-Донецкой рифт-синеклизы / А. В. Чекунов // *Геоф. журнал*. – 1994. – Т. 16, № 3. – С. 1–12.

10. Чекунов, А. В. Эволюция астенолитов и ее геологические следствия / А. В. Чекунов // Докл. АН УССР. Сер. Б. Геол., хим. и биол. науки. – 1988. – № 3. – С. 30–34.
11. Никишин, А. М. Тектонические обстановки. Внутриплитные и окраинноплитные процессы / А. М. Никишин. – М., 2002. – 364 с.
12. Лукин, А. Е. Глубинная дегазация Земли – ведущий фактор газовой дегазации литосферы / А. Е. Лукин // Очерки дегазации Земли. – Киев, 2018. – С. 35–123.
13. Ervin, C. P. Reelfoot rift: reactivated precursor to the Mississippi Embayment / C. P. Ervin, L. D. McGinnis // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1975. – Vol. 86, N 9. – P. 1287–1295. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1975\)86%3C1287:rrrptt%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1975)86%3C1287:rrrptt%3E2.0.co;2)
14. Айзберг, Р. Е. Особенности глубинного строения и синрифтовой геодинамики Припятского и Днепровского сегментов земной коры / Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2018. – Т. 62, № 4. – С. 473–479. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-473-479>

References

1. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Czuba W., Środa P., Lysynchuk D., Aizberg R., Garetsky R., Karatayev G., Gri-bik Y., Farfaliak L., Kolomiyets K., Omelchenko V., Komminaho K., Tiira T., Gryn D., Guterch A., Legostaeva O., Thybo H., Tolkunov A. Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 2018, vol. 212, no. 3, pp. 1932–1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>
2. Korzyn V. P., Mahnach A. S. *Upper Devonian alkaline formation of the Pripyaska depression*. Minsk, 1977. 154 p. (in Russian).
3. Veretennikov N. V., Korzyn V. P., Mahnach A. S. Upper Devonian magmatic complex. *Geologiya Belarusi [Geology of Belarus]*. Minsk, 2001, pp. 446–459 (in Russian).
4. Kuzmenkova O., Laptsevich A., Nosova A., Yutkina E., Pospelov A. Mineral composition of the alkaline trachyandes-ites of the late Devonian of Belarus (parametric welb Prybor). *Materials of the International Conference on Magmatism of the Earth and related strategic metal deposits*. Moscow, 2018, pp. 176–178.
5. Aizberg R. E., Starchik T. A. *Sinriftovalaya geodinamika Pripyatskogo progiba [Synrift geodynamics of the Pripyat Trough]*. Minsk, 2013. 146 p. (in Russian).
6. Starchik T. A., Aizberg R. E., Beskopylnyi V. N. Late Devonian magmatism and the problems of the petroleum poten-tial of Pripyat region of rifting. *Litasfera [Lithosphere]*, 2014, no. 40, pp. 3–23 (in Russian).
7. Lyashkevich Z. M. *Magmatism of Pripyat-Dnieper-Donets aulacogen*. Kiev, 1987. 176 p. (in Russian).
8. Wilson M., Lyashkevich Z. M. Magmatism and geodynamic of the Pripyat-Dnieper-Donets rift East European Plat-form. *Tectonophysics*, 1996, vol. 268, no. 1–4, pp. 65–81. [https://doi.org/10.1016/s0040-1951\(96\)00234-x](https://doi.org/10.1016/s0040-1951(96)00234-x)
9. Chekynov A. V. To geodynamics of the Dnieper-Donetsk rift syneclise. *Geofizicheskii Zhurnal [Geophysical Journal]*, 1994, vol. 16, no. 3, pp. 1–12 (in Russian).
10. Chekynov A. V. The evolution of asthenoliths and its geological consequences. *Doklady Akademii Nauk USSR. Seriya B. Geologicheskije, khimicheskie i biologicheskie nauki [Reports of the AS of USSR. Series of geological, chemical and bio-logical sciences]*, 1998, no. 3, pp. 30–34 (in Russian).
11. Nikishin A. M. *Tectonic ambiances. Intra-slab and marginal-plate processes*. Moscow, 2002. 364 p. (in Russian).
12. Lykin A. E. Deep degassing of the Earth – a leading factor in the gas degassing of the lithosphere. *Ocherki degazacii Zemli [Essays on Earth's Degassing]*. Kiev, 2018, pp. 35–123 (in Russian).
13. Ervin C. P., McGinnis L. D. Reelfoot rift: reactivated precursor to the Mississippi Embayment. *Geological Society of America Bulletin*, 1975, vol. 86, no. 9, pp. 1287–1295. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1975\)86%3C1287:rrrptt%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1975)86%3C1287:rrrptt%3E2.0.co;2)
14. Aizberg R. Ye., Gri-bik Ya. G. Features of the deep structure and synrift geodynamics of the Pripyat and Dniepr segments of the earth crust. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2018, vol. 62, no. 4, pp. 473–479 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2018-62-4-473-479>

Информация об авторе

Айзберг Ромма Ефимович – член-корреспондент, д-р геол.-минералог. наук, гл. науч. сотрудник. Инсти-тут природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скори-ны, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: chistaya@nature.basnet.by.

Information about the author

Aizberg Romma Yefimovich – Corresponding Member, D. Sc. (Geology), Chief researcher. Institute for Nature Man-agement of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skorina Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chistaya@nature.basnet.by.