
Научная статья

УДК 551.4.042 (470.57)

DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-12

ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН И АКТИВНОСТЬ ИХ РАЗВИТИЯ В ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ (2013–2023 ГГ.)

А. И. Смирнов

Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, smalil@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3129-6142>

Экзогенные геологические процесс — совокупность дискретных изменений приповерхностной части геологической среды в результате энергомассообмена в зоне контакта литосферы с атмосферой и гидросферой, которые приводят к необратимому преобразованию состояния недр. Представлены основные группы экзогенных геологических процессов связанные преимущественно с действием: гравитационных сил, поверхностных вод, подземных и поверхностных вод, ветра и с хозяйственной деятельностью человека. В каждой из групп по ведущему процессу выделены виды экзогенных геологических процессов, формы проявления и география их распространения. Установлено, что из всех зафиксированных на территории Республики Башкортостан экзогенных геологических процессов наибольшее развитие получили процессы, обусловленные деятельностью поверхностных и подземных вод, а наибольшее воздействие на селитебные территории республики оказывает боковая эрозия рек, карст и оползневой процесс в Южном Предуралье. Данные о современной активности развития этих процессов являются актуальными показателями для принятия управленческих решений по предотвращению негативного их воздействия на объекты экономики и безопасности жизнедеятельности населения. Современная активность развития речной боковой эрозии оценена методом сравнения материалов дешифрирования аэрофотоснимков 1953–1955 гг. залёта с современными космоснимками. Результаты этого сравнения заверены данными мониторинга состояния берегов водных объектов на 29 наблюдательных участках, который осуществлялся отраслевыми организациями по государственным контрактам с Министерством природопользования и экологии Республики Башкортостан. Установлено, что активность развития речной боковой эрозии в последние 10 лет была ниже среднесреднегодной. Современная активность развития карста определена по частоте образования новых карстовых провалов на основе созданной базы данных провалов земной поверхности любого генезиса с фиксированным временем образования. Установлено, что на территории республики средняя частота образования крупных (поперечником и глубиной более 3 м) карстовых провалов за последнее 100 лет составила два провала в год, а в последние 10 лет — 3–6 провалов в год. В соответствие с действующими нормативными документами активность провалообразования, обусловленного развитием карста в последнее десятилетие в целом по территории Башкортостана оценена, как высокая, а в 2023 г. — как очень высокая. Современная активность развития оползневой процесса оценена как низкая. Другие виды современных экзогенных геологических процессов имеют ограниченное распространение, активность развития и воздействие их на социально-экономические объекты республики носят эпизодический характер.

Ключевые слова: боковая эрозия рек, сульфатный карст, скорость размыва речных берегов, провалообразование, оползни, Южное Предуралье

Благодарности: Исследование выполнено по госбюджетной теме FMRS-2022–0010.

Для цитирования: Смирнов А. И. Экзогенные геологические процессы Республики Башкортостан и активность их развития в последнее десятилетие (2013–2023 гг.) // Геологический вестник. 2024. № 2. С. 183–197. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-12

For citation: Smirnov A. I. (2024) Exogenous geological processes of the Republic of Bashkortostan and activity of their development in the last decade (2013–2023). *Geologicheskii vestnik*. 2024. No. 2. P. 183–197. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-12

© А. И. Смирнов, 2024

Original article

EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN AND ACTIVITY OF THEIR DEVELOPMENT IN THE LAST DECADE (2013-2023)

A. I. Smirnov

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, smalil@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3129-6142>

Exogenous geological processes refer to a series of discrete alterations occurring within the near-surface geological environment due to the exchange of energy and mass at the interface of the lithosphere with the atmosphere and hydrosphere. These processes result in irreversible transformations in the state of the subsurface. The principal categories of exogenous geological processes encompass phenomena primarily influenced by: gravitational forces, surface water, groundwater, wind, and anthropogenic activities. Within each group, prominent processes, types of exogenous geological processes, manifestations, and geographical distributions are delineated to provide comprehensive insight. Studies have shown that among all exogenous geological processes observed in the territory of the Republic of Bashkortostan, processes driven by surface and groundwater activity are the most pronounced. Particularly impactful on residential areas of the republic are lateral erosion of rivers, karst formations, and landslides in the Southern Urals. Information regarding the ongoing development of these processes serves as crucial indicators for informing managerial decisions aimed at mitigating their adverse effects on economic assets and ensuring the safety of the population's livelihoods. The contemporary activity of river lateral erosion development was assessed by comparing aerial photo interpretation materials from 1953–1955 with modern satellite imagery. The results of this comparison are corroborated by monitoring data on the condition of water body banks at 29 observation sites, conducted by sectoral organizations under state contracts with the Ministry of Nature Management and Ecology of Republic of Bashkortostan. It was determined that the rate of river lateral erosion development over the past 10 years has been lower than the average annual rate. The current activity of karst development is assessed based on the frequency of new karst sinkhole formations, utilizing a database of sinkholes of various origins with documented time of formation. It has been determined that on the territory of the republic, the average frequency of large karst sinkholes (with cross-section and depth exceeding 3 meters) over the past 100 years was two sinkholes per year, while in the last 10 years, it increased to 3–6 sinkholes per year. In accordance with current regulatory documents, the activity of sinkhole formation due to karst development over the last decade in Bashkortostan is generally estimated as high, and in 2023 specifically, as very high. Current activity of landslide process development is assessed as low. Other types of modern exogenous geological processes have limited distribution, the activity of development and their impact on socio-economic objects of the republic are episodic.

Keywords: lateral river erosion, sulfate karst, river bank erosion rate, sinkhole formation, landslides, Southern Cis-Urals

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state budget theme No. FMRS-2022–0010.

Введение

Республика Башкортостан (РБ) площадью ~143 тыс. км², на которой проживает около 4 миллионов человек, расположена в пределах Южного Предуралья, горного Урала и равнинного Зауралья. В Предуралье выделяются ряд плато (Уфимское и Белокатайское), возвышенностей (Бугульмино-Белебеевская и Общий Сырт) и равнин (Прибельская и Приайская), а также холмисто-увалистые предгорья западного склона Южного Урала. В юго-восточной горной части

республики, наряду с низко- и среднегорными хребтами сформированы Зилаирское плато и плато Уралтау. Рельеф Зауралья представлен грядово-мелкосопочными предгорьями восточного склона Южного Урала, Сакмаро-Таналыкской и Кизило-Уртазымской равнинами [Смирнов, 2005].

На Урале распространены весьма различные по возрасту (от верхнего протерозоя до нижней перми) и составу осадочные, метаморфические и магматические породы, в Зауралье — осадочные и вулканогенно-осадочные палеозойские, реже мезозойские, осадочные образования, а в Предуралье

приповерхностная часть геологической среды представлена исключительно осадочными отложениями (от верхнепалеозойских до неоген-четвертичных).

Разнообразные геолого-геоморфологические и гидрогеологические условия РБ обуславливают развитие на её территории генетически различных видов экзогенных геологических процессов (ЭГП). Исходя из представлений о геологической среде и процессов в ней развивающихся Е. М. Сергеева, Г. К. Бондаренко, Г. С. Золотарева, В. И. Осипова, А. И. Шеко, В. С. Круподёрова, В. Ф. Трофимова и других исследователей, ЭГП представляют собой совокупность необратимых дискретных изменений приповерхностной части геологической среды (точнее, отдельных наименее устойчивых её элементов) в результате энергомассообмена в зоне контакта литосферы с атмосферой и гидросферой. Эти изменения неизбежно приводят к преобразованию двух основных компонентов геологической среды – горных пород и рельефа. Этим признаком, а также необратимостью вызываемых изменений геологической среды ЭГП отличаются от других экзогенных процессов – гидрогеологических, гидрологических и метеорологических, изменения элементов которых имеют обратимый характер.

Современные климатические условия РБ сравнительно однообразны и определяют относительно однотипный режим развития ЭГП.

Данные о современной активности развития опасных геологических процессов являются важным показателем для принятия управленческих решений по предотвращению негативного их воздействия на социально-экономические объекты и безопасность жизнедеятельности населения.

Цель настоящего исследования – определение современной активности наиболее распространенных и опасных видов ЭГП на территории РБ в последнее десятилетие (2013–2023 гг.). Исходными данными для исследований послужили систематизированные сведения о развитии ЭГП в регионе из фондовых и опубликованных источников, а также полевые обследования автора. Методы исследований охарактеризованы ниже в соответствующих разделах статьи.

Виды экзогенных геологических процессов

Развитые в регионе виды ЭГП, основные формы проявления и география их распространения приведены в табл. 1, из которой видно, что наибольшее распространение на территории

РБ получили процессы, обусловленные деятельностью поверхностных и подземных вод. Среди них максимальное воздействие на селитебные и сельские территории республики оказывает боковая эрозия рек и карст [Смирнов, 2022].

Каждый четвертый населенный пункт РБ подвержен или может быть подвержен отрицательному (с прямым материальным ущербом) воздействию ЭГП [Smirnov, 2022].

По причиняемому ущербу основным видом ЭГП является речная боковая эрозия. Подмыв и разрушение берегов рек вынуждает ежегодно проводить строительство инженерных сооружений, направленных на снижение размыва берегов рек. Так, только в 2017–2019 гг. на берегоукрепительные мероприятия на р. Белой в г. Уфе по федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 гг.» из всех источников финансирования было затрачено 2.3 млрд руб. [Смирнов, 2022].

Карст на территории РБ – второй по негативному воздействию ЭГП на социально-экономические объекты. Около 340 населенных пунктов республики находятся на территориях возможного образования новых карстовых провалов, которые вызывают чрезвычайные ситуации различного характера – от деформаций зданий и сооружений до полного их разрушения [Смирнов, 2020б]. Только в г. Уфе за последние 60 лет (1963–2023 гг.) зафиксировано не менее 40 случаев деформаций зданий (в том числе многоэтажных) и инженерных сооружений, обусловленных карстом [Епифанова, Смирнов, 2022, 2024].

Если подмыв и разрушение берегов рек возможно спрогнозировать, то карстовые провалы возникают внезапно и образование их пока мало предсказуемо и в этом отношении карст на территории РБ является самым опасным видом ЭГП.

Третьим видом ЭГП, отрицательно воздействующим на состояние социально-экономических объектов РБ, является оползневой процесс. Современные оползни в рассматриваемом регионе распространены ограниченно. В зоне возможного отрицательного воздействия оползневой процесса находятся около 20 населенных пунктов Башкортостана, что составляет всего 0.4% от всех населенных пунктов республики [Смирнов, 2022].

Таким образом, из всех видов ЭГП развитых в регионе к опасным проявлениям ЭГП можно отнести подмыв и разрушение берегов рек, карстовые провалы и оползни. До недавнего времени к опас-

Таблица 1 Современные экзогенные геологические процессы Республики Башкортостан
Table 1 Modern exogenous geological processes of the Republic of Bashkortostan

Группа процессов обусловленные действием:	Вид процесса		Основные проявления процесса	Характер распространения	
1	2		3	4	
Гравитационных сил	Курумообразование		Каменные моря и реки	Среднегорные хребты и горы Южного Урала выше абс. отм. 900–1000 м: Зигальга, Машак, Кумурдак, Нары, Юша, Ямантау, Иремель и др.	
	Осыпной		Осыпи, россыпи, высыпки	Повсеместно в горной части РБ с наибольшим распространением на склонах долин рек на западном склоне Урала и на хребтах Ирэндик, Крыкты — на восточном. Локально — на остальной части республики	
	Обвальная		Обвалы, вывалы		
	Оползневой		Оползни древние, обычно стабилизировавшиеся	Локально, с наибольшей встречаемостью в равнинном Предуралье и Бугульмино-Белебеевской возвышенности	
Оползни современные, обычно активные			Локально преимущественно в рыхлых нелитифицированных неоген-четвертичных отложениях		
Поверхностных вод	Эрозия	Речная	Глубинная	Углубление русел рек	Повсеместно, с наибольшей активностью развития в горной части республики
			Боковая	Подмываемые речные берега	Повсеместно, с наибольшей активностью разрушения берегов в средних течениях рек
			Плоскостная	Плоскостной смыв с затопляемых территорий	Редко и локально в периоды естественных и искусственных (прорыв плотин) половодий и паводков
	Овражная	Склоновая	Овражно-балочные явления	Повсеместно с наибольшей активностью развитием в равнинном Предуралье	
		Плоскостная	Плоскостной смыв (водная эрозия почв)	Повсеместно на возделываемых землях (сельхозугодиях)	
	Абразионный		Переработка берегов озер и водохранилищ	Павловское, Кармановское, Юмагузинское и Нугушское водохранилища; локально на крупных озерах	
Подземных и поверхностных вод	Карстовый		Поверхностные и глубинные карстопоявления различных форм и размеров	Повсеместно в районах распространения карстующихся пород, с наибольшей интенсивностью развития в равнинном Предуралье	
	Суффозионный		Воронки и западины	Локально и редко	
Подземных и поверхностных вод	Заболачивание		Болота и заболоченности	Относительно редко, с наибольшим распространением в северных районах Зауралья и нижних течениях рек (на террасах) в Предуралье; локально в среднегорной части Южного Урала	
Ветра	Эоловый		Развевание и навевание (ветровая эрозия почв)	Локально, с наибольшим распространением на юге Зауралья, реже — в южных районах Предуралья	
Хозяйственной деятельностью человека	Уничтожение естественных ландшафтов при разработке месторождений твердых полезных ископаемых		Карьеры, отвалы, хвостохранилища и т. п.	Локально, с наибольшей встречаемостью в Зауралье и на юге Предуралья	
	Оседание земной поверхности при добыче нерудных полезных ископаемых		Просадки	Локально (слабо изучены)	
	Незарегулированность поверхностного стока, утечки из водонесущих коммуникаций и т. п.		Затопление и подтопление	Локально, в пределах урбанизированных территорий	

Примечание к Таблице 1.

1. Кроме перечисленных ЭГП на территории РБ крайне ограничено распространены: сели (единичные случаи), солифлюкция (преимущественно в горной части республики и на Бугульмино-Белебеевской возвышенности), наледи и морозное пучение, солончаки (южные районы Зауралья и Предуралья), просадки, обусловленные палеотермокарстом (в низовьях р. Белой), выгоранием торфа.
2. Нередко отдельные виды ЭГП развиваются совместно и в тесной взаимосвязи между собой, образуя при этом формы рельефа сложного генезиса (карстово-суффозионные воронки, эрозионно-карстовые овраги, карстово-оползневые и эрозионно-оползневые цирки, обвально-осыпные россыпи и т. п.).
3. Любой ЭГП (из группы естественных) может быть вызван и активизирован или приостановлен в своем развитии хозяйственной деятельностью человека.
4. Группа процессов, обусловленная совокупной деятельностью климатических факторов (выветривание) развита повсеместно, но прямого отрицательного воздействия на социально-экономические объекты не оказывает.

Note for Table 1.

1. In addition to the listed EGPs on the territory of the Republic of Bashkortostan are extremely limited: mudflows (isolated cases), solifluction (mainly in the mountainous part of the republic and on the Bugulmino-Belebeevskaya Upland), ice dams and frost heaving, salt marshes (southern regions of the Trans-Urals and Cis-Urals), subsidence caused by paleothermocarst (in the lower reaches of the Belaya River), peat burning.
2. Often, individual types of EGP develop together and in close interrelation with each other, forming relief forms of complex genesis (karst-suffosion sinkholes, erosion-karst ravines, karst-landslide and erosion-landslide cirques, landslide placers, etc.).
3. Any EGP (from the group of natural ones) can be caused and activated or suspended in its development by human economic activity.
4. A group of processes caused by the combined activity of climatic factors (weathering) is developed everywhere, but does not have a direct negative impact on socio-economic objects.

ным ЭГП относился только карст [Абдрахманов и др., 2022].

Активность развития экзогенных геологических процессов

В новейшее (неоген-четвертичное) время наибольшая активность развития всех ЭГП региона наблюдалась в раннем плиоцене, в период заложения и началом формирования глубоко врезаемых (до 200 м) палеодолин рек, обусловленного резким подъемом территории после общей пенеппленизации региона в миоцене [Рождественский, 1971]. В плейстоцене она постепенно ослабевала, а на современном этапе ЭГП продолжают унаследовано активно развиваться в тех же самых районах, что и на всем протяжении квартала [Яхимович, 1971].

Современная активность развития речной боковой эрозии оценена методом сравнения материалов дешифрирования аэрофотоснимков 1953–1955 гг. залёта с современными (2018–2019 гг.) космоснимками [Смирнов, 2022], которые заверены данными мониторинга состояния берегов водных объектов 2010–2023 гг. Наблюдения за развитием речной эрозии рек в разные годы осуществлялись на около 30 участках по всей территории РБ по госконтрактам Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан с ГУП «Башгеолцентр» (2009–2011 гг.), Научно-исследовательским институтом Безопасности жизнедеятельности (2012–2018 гг.), ООО «Институт эколого-географических исследований» (2019–2021 гг.) и ИП Биктасов А. З. (2022–2023 гг.). Результаты

мониторинга состояния речных берегов отражены в ежегодных Государственных докладах о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан. Первоначально наблюдательные участки были определены на основе карт подверженности населенных пунктов воздействию ЭГП масштаба 1:200 000 (Смирнов, Ткачев, 1986ф; Смирнов, Нагуманов, Ткачев, 1989ф; Смирнов, 1994ф). По ним были установлены населенные пункты, в которых боковая эрозия рек непосредственно угрожала социально-экономическим объектам, определены скорости размыва речных берегов по основным рекам РБ [Смирнов, Ткачев, 2005] и организована наблюдательная сеть за режимом активности развития речной боковой эрозии (рис. 1).

На начало мониторинга берегов (2009 г.) на отрезках рек, где размыв берегов происходил наиболее интенсивно были проведены берегоукрепительные мероприятия и такие участки не были включены в наблюдательную сеть. В процессе мониторинга наблюдательная сеть подвергалась корректировке. Участки, где размыв речных берегов практически не наблюдался или на которых в период ведения мониторинга состояния берегов были созданы берегоукрепительные сооружения, закрывались, а вместо них открывались новые, но структура наблюдательной сети в целом оставалась неизменной. В последние три года мониторинг состояния водных объектов осуществлялся на 29 наблюдательных участках (см. рис. 1).

Исследованиями прошлых лет установлено, что наивысшая скорость размыва берегов харак-

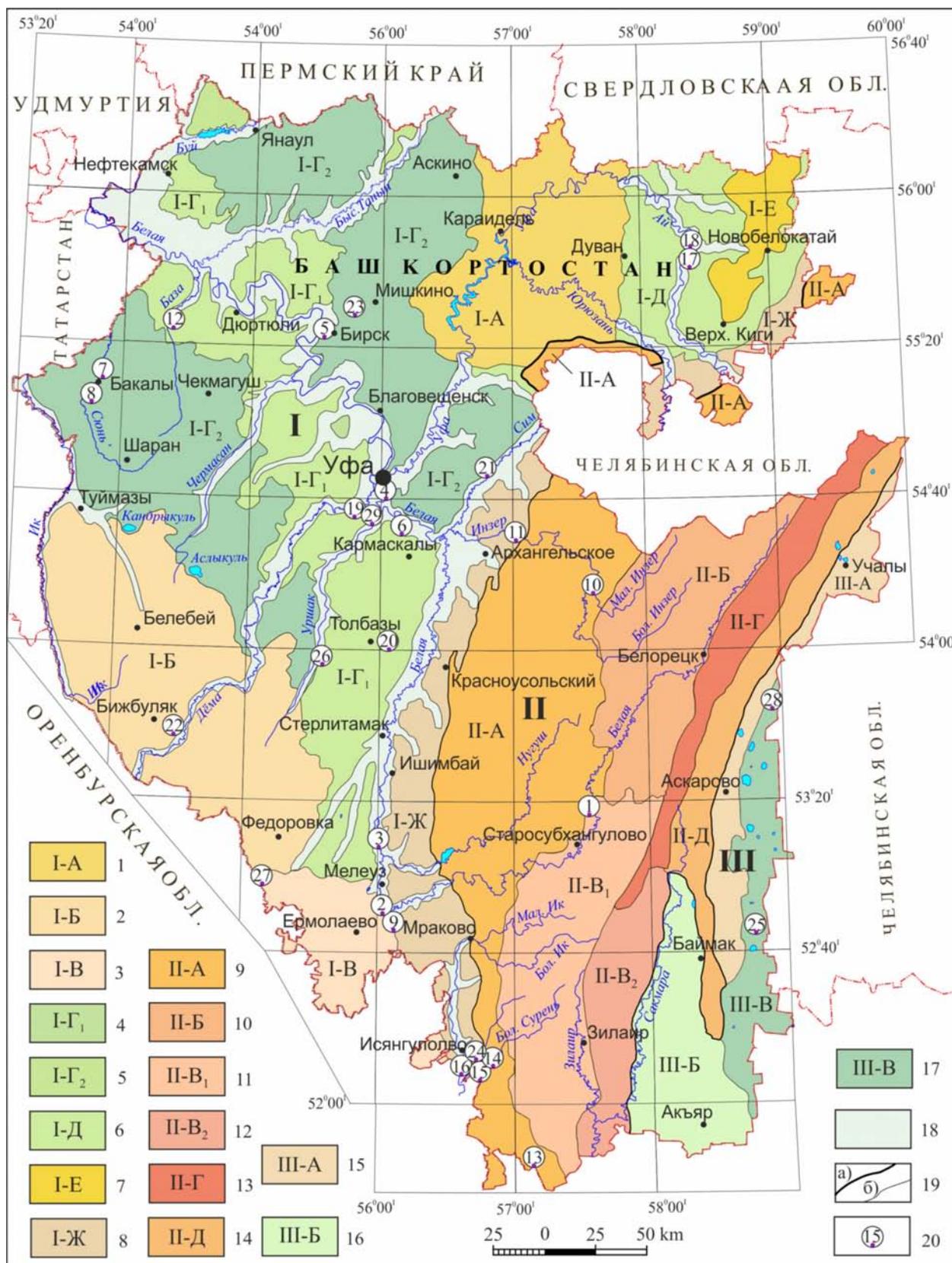


Рис. 1. Наблюдательная сеть мониторинга речных берегов [Смирнов, 2022]

Fig. 1. Observational network for monitoring river banks [Smirnov, 2022]

Условные обозначения к рис. 1: I. Область Русской равнины (Южное Предуралье). Районы: 1 – Уфимское плато (I-A), 2 – Бугульмино-Белебеевская возвышенность (I-Б), 3 – Общий Сырт (I-В); Прибельская равнина (I-Г): 4 – пологоволнистая (I-Г1) и 5 – холмисто-увалистая (I-Г2), 6 – Приайская равнина (I-Д), 7 – Белокатайское плато (I-Д), 8 – холмисто-увалистые предгорья западного склона Южного Урала (I-Ж). II. Область горного Урала районы: 9 – низкорослые хребты западного склона Южного Урала (II-A), 10 – среднегорные хребты западного склона Южного Урала (II-Б); Южно-Уральское плоскогорье (II-В): 11 – Зилайское плато (II-В1), 12 – плато Уралтау (II-В2), 13 – хребет Уралтау (II-Г), 14 – низкорослые хребты восточного склона Южного Урала. III. Область Западно-Сибирской равнины (Зауралье) – районы: 15 – грядово-мелкосопочные предгорья восточного склона Южного Урала (III-A), 16 – Сакмаро-Таналыкская высокая равнина (III-Б), 17 – Кизило-Уртазымская равнина (III-В). 18 – террасы крупных речных долин. 19 – Границы: а) областей, б) районов. 20 – наблюдательные участки: 1. д. Байназарово, р. Белая; 2. с. Ира, р. Белая; 3. с. Зирган, р. Белая; 4. г. Уфа (район Мелькомбината), р. Белая; 5. г. Бирск, р. Белая; 6. д. Старые Киешки, р. Белая; 7. с. Бакалы, р. Сюнь; 8. д. Пенькозавода, р. Сюнь; 9. д. Худайбердино, р. Кривля; 10. с. Усмангали, р. Бол. Инзер; 11. с. Узунларово, р. Инзер; 12. с. Юнны, р. База; 13. д. Утягулово, р. Касмарка; 14. с. Тазларово, р. Мал. Сурень; 15. д. Ниж. Сарабиль, р. Бол. Сурень; 16. д. Биккужа, р. Бол. Сурень; 17. д. Новомещеро, Ай; 18. д. Старомещеро, р. Ай; 19. с. Нижегородка, р. Дема; 20. д. Новоиткеево, р. Аургаза; 21. с. Иглино, р. Белекес; 22. с. Менеузтамк, р. Менеуз; 23. д. Чебыково, р. Шады; 24. с. Исянгулово, р. Ташла; 25. г. Сибай, р. Камышлы-Узяк; 26. с. Турумбетово, р. Уршак; 27. с. Кирюшкино, р. Ашкарар; 28. с. Баимово, Мал. Кизил; 29. с. Zubovo, р. Берсувань

Legend for fig. 1: I. The region of the Russian Plain (Southern Cis-Urals). Areas: 1 – Ufa plateau (I-A), 2 – Bugulmino-Belebeyevskaya upland (I-Б), 3 – Obshchy Syrt (I-В); Pribelskaya plain (I-Г): 4 – low angle wavy (I-Г1) and 5 – gently rugged (I-Г2), 6 – Priai plain (I-Е), 7 – Belokatayskoe plateau, 8 – gently rugged foothills of the western slope of the Southern Urals (I-Н). II. The area of the mountainous Urals - districts: 9 – low ridges of the western slope of the Southern Urals (II-A), 10 – middle ridges of the western slope of the Southern Urals (II-Б); South Ural plateau (II-В): 11 – Zilair plateau (II-В1), 12 – Uraltau plateau (II-В2), 13 – Uraltau ridge (II-Г), 14 – low ridges of the eastern slope of the Southern Urals. III. Area of the West Siberian plain (Trans-Urals) - regions: 15 – ridge-shallow foothills of the eastern slope of the Southern Urals (III-A), 16 – Sakmaro-Tanalyk high plain (III-Б), 17 – Kizilo-Urtazym plain (III-В). 18 – terraces of large river valleys. 19 – Boundaries: a) regions, b) districts. 20 – observation sites: 1. Baynazarovo village, Belaya river; 2. Ira settlement, Belaya river; 3. Zirgan settlement, Belaya river; 4. Ufa town (Melkombinat area), Belaya river; 5. Birsk town, Belaya river; 6. Starye Kishki village, Belaya river; 7. Bakaly village, Syun river; 8. Penkozavod village, Syun river; 9. Khudaiberdino village, Krivlia river; 10. Usmangali settlement, Bolshoy Inzer river; 11. Uzunlarovo settlement, Inzer river; 12. Yunny settlement, Baza river; 13. Utyagulovo village, Kasmarka river; 14. Tazlarovo villagr, Maluy Suren' river; 15. Nizhny Sarabil village, Bolshoy Suren' river; 16. Bikkuja village, Bolshoy Suren' river; 17. Novomesherevo village, Ai river; 18. Staromeshcherovo village, Ai river; 19. Nizhegorodka settlement, Dema river; 20. Novoitkeyevo village, Aurgaza river; 21. Iglino settlement, Belekes river; 22. Meneuztamak settlement, Meneuz river; 23. Chebykovo village, Shady river; 24. Isyngulovo settlement, Tashla river; 25. Sibai town, Kamyshly-Uzyak river; 26. Turumbetovo settlement, Urshak river; 27. Kiryushkino settlement, Ashkadar river; 28. Baimovo settlement, Maluy Kizil river; 29. Zubovo settlement, Bersuvan river

терна в периоды весеннего половодья и летних паводков, сложенных рыхлыми нелитифицированными плейстоценовыми отложениями на крутых поворотах русел рек (рис. 2, А) и на зауженных участках долин рек, где вся живая сила водного потока сосредотачивается в их днищах (см. рис. 2, Б).

На основе зафиксированных значений скоростей размыва речных берегов на наблюдательных участках

в 2010–2023 гг. они были ранжированы на 4 категории: низкая (скорость размыва менее 0.5 м/год), средняя (0.6–1.0 м/год), высокая (1.1–3.0 м). Согласно Своду правил «Геофизика опасных природных воздействий» [СП 115.13330.2016] отрезки рек со скоростями размыва берегов более 3.0 м/год, 1.0–3.0 м/год и 0.1–1.0 м/год относятся к территориям соответственно: весьма опасным, опасным и умеренно опасным.



Рис. 2. Подмыв речных берегов

Условные обозначения: А – односторонний подмыв левого берега р. Белой у г. Стерлитамака; Б – двухсторонний подмыв берегов в нижнем течении р. Селеук (левый приток р. Белой). Фото А. И. Смирнова

Fig. 2. Riverbank scour

Legend: A – one-sided erosion of the left bank of the river. Belaya near Sterlitamak; Б – two-way erosion of the banks in the lower reaches of the river. Seleuk (left tributary of the Belaya River). Photo by A.I. Smirnov

Вполне естественно, что во временном разрезе, при любых геолого-геоморфологических условиях, активность размыва речных берегов находится в прямой зависимости от многоводности года. По данным ФГБУ «Башкирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» в последнее десятилетие уровни рек при прохождении максимальных руслоформирующих расходов в половодье характеризуется в основном значениями ниже среднееголетних, а уровни рек в половодье 2023 г. были ниже среднееголетних почти в 2.5 раза.

Высокие скорости размыва речных берегов в 10-летнем ряду наблюдений зафиксированы в 2013 и 2014 гг. (рис. 3), которые в последнее десятилетие на территории РБ отличались наибольшей многоводностью.

Максимальными они были в 2013 г. и достигали на реках: Ай — 4.0 м, Бол. Сурень — 2.4 м,

Белая — 2.2 м, Сюнь — 1.6 м, Бол. Инзер — 1.2 м [Смирнов, 2022]. В последние 7 лет (2017–2023 гг.) скорость размыва речных берегов на всей территории РБ в целом можно оценить как низкую, что обусловлено маловодностью этого периода в ряду наблюдений.

Низкие скорости размыва речных берегов практически не оказывают отрицательного воздействия на социально-экономические объекты Башкортостана, а средние — для рассматриваемого региона являются обычными.

Современная активность развития карста оценена по частоте возникновения новых карстовых провалов. Этот показатель является наиболее представительным параметром современной активности развития карста. Он опосредованно свидетельствует не только о скорости растворения и выщелачивания карстующихся пород, но вбирает в себя и все факторы, способствующие образова-

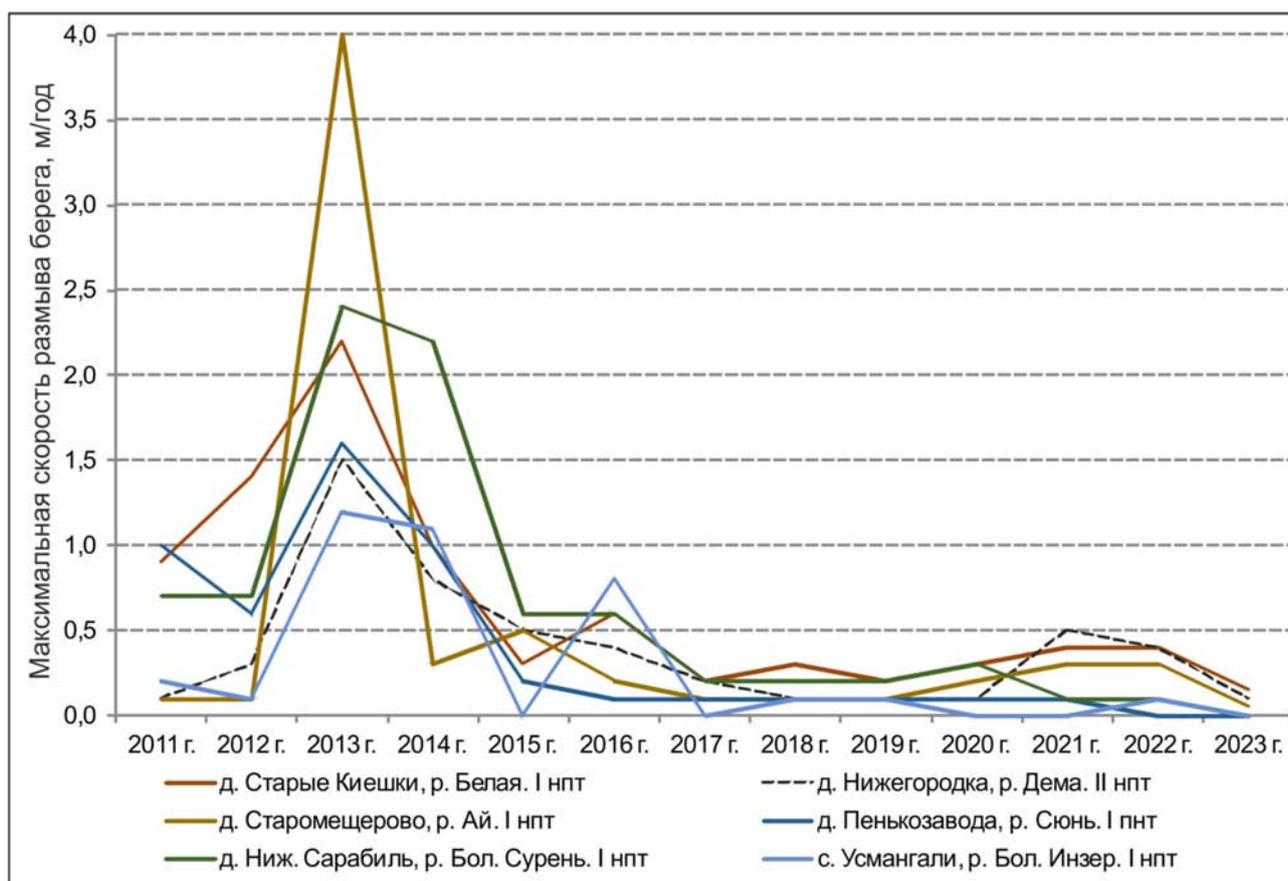


Рис. 3. Максимальные скорости размыва речных берегов на типичных участках, м/год

Условные обозначения: нпт – надпойменная терраса

Fig. 3. Maximum river bank scour rates at typical sites, m/year

Legend: нпт – river terrace above the floodplain

нию современных карстопроявлений, а активность провалообразования является важным показателем карстоопасности территории и регламентирован Сводом правил «Геофизика опасных природных воздействий» [СП 115.13330.2016].

Типы карста на территории РБ приведены на рис. 4, на котором в дополнение к карте карста В. И. Мартина [2002] отражены и нетрадиционные его типы.

Следует особо отметить, что в 2022 и 2023 гг. были опубликованы обзорные карты карста Южного Урала и Предуралья [Абдрахманов и др., 2022; Абдрахманов, Дурнаева, 2023], однако на них приведены только районы распространения карстующихся пород, геологическая индексация которых не соответствует современной международной геохронологической шкале и стратиграфическому кодексу. Более того, на них без пояснений территории городов Уфы, Благовещенска и Бирска, на которых неоднократно фиксировалось образование новых карстовых провалов, обусловленных развитием сульфатного карста, показаны вне его распространения. В то же время, в равнинной части Южного Предуралья по левобережью р. Белой без каких-либо обоснований показана большая площадь развития кластокарста, на которой достоверно зафиксирован лишь единственный факт образования кластокарстовых воронок при создании малого по объёму (0,9 км³) водохранилища на р. Агарды (левый приток р. Кармасан). Образование их вызвано фильтрацией воды в обход короткого левого плеча плотины водохранилища, вызвавшей суффозию и растворение сульфатного и карбонатного цемента в аргиллитоподобных глинах уфимского яруса. Диаметр воронок не превышал 2 м, а глубина 1 м [Мартин, 2002]. Образование других поверхностных проявлений кластокарста на юго-западе Башкортостана в последние 35 лет не фиксировалось, тогда как на северо-востоке республики с 1952 по 2020 гг. достоверно зафиксировано образование 8 крупных (диаметром до 30 м и глубиной до 32 м) и не менее 10 более мелких кластокарстовых провалов [Smirnov, 2021].

На основе созданной и постоянно пополняемой базы данных по карстовым провалам Башкортостана [Смирнов, 2020а, 2022] за последние 100 лет на территории республики достоверно установлено образование не менее 300 карстовых провалов с фиксированным временем образования. Из них почти половина зафиксирована в пределах г. Уфы [Епифанова, Смирнов, 2022, 2024], где учтены все

новые провалы независимо от их размеров, что обусловлено большей информативностью данных о них. За его пределами учтены только крупные (поперечником более 10 м и/или глубиной более 3 м), которые редко остаются незамеченными местным населением, но более мелкие остаются не учтёнными.

Исследованиями прошлых лет установлено, что наиболее часто карстовые провалы возникали в Южном Предуралье и обусловлены развитием сульфатного карста в нижнепермских гипсах кунгурского яруса на Прибельской равнине, а также в загипсованных и карбонатизированных песчаниках кошелёвской свиты кунгура (кластокарст) на Приайской равнине [Смирнов, 2020а]. В районах развития карбонатного и сульфатно-карбонатного карста современные провалы возникали значительно реже. За последние 100 лет в районах развития этих типов карста возникло не более 20 значительных карстовых провалов поперечником до 12 м и глубиной до 6 м [Смирнов, 2022].

Общим для всех современных карстовых провалов является их возникновение в районах с повышенной поражённостью территории поверхностными карстопроявлениями. Установлено, что это связано с унаследованностью образования современных провалов от развития карста в неоген-четвертичное время как по районам, так и по направленности активности процесса [Смирнов, 2020а].

Все провалы 2013–2023 гг. образования возникли в равнинном Предуралье и представлены карстово-гравитационными и техногенными провалами и просадками. Первые обусловлены обрушением сводов карстовых пустот в гипсах кунгурского яруса [Смирнов, 2024], вторые — обрушением сводов подземных коммуникаций и утечками из водонесущих систем в г. Уфе [Епифанова, Смирнов, 2024] (рис. 5).

Наибольшая частота образования карстовых провалов зафиксирована в 2016 (6 шт.) и 2023 (4 шт.) гг. в условиях развития закрытого (русского) и перекрытого (камского) типов карста, где карстующиеся гипсы кунгура залегают соответственно под терригенно-карбонатными породами уфимского яруса и аллювиальными плейстоценовыми отложениями. В эти годы наблюдались и самые масштабные по размерам провалы: в 2016 г. — поперечником до 60 м при глубине 20 м и в 2023 г. — глубиной 31 м при диаметре 30 м (см. рис. 5). При этом в 2023 г. зафиксированы самые глубокие карстово-гравитационные провалы за всю историю наблюдений (см. рис. 5, А и Б).

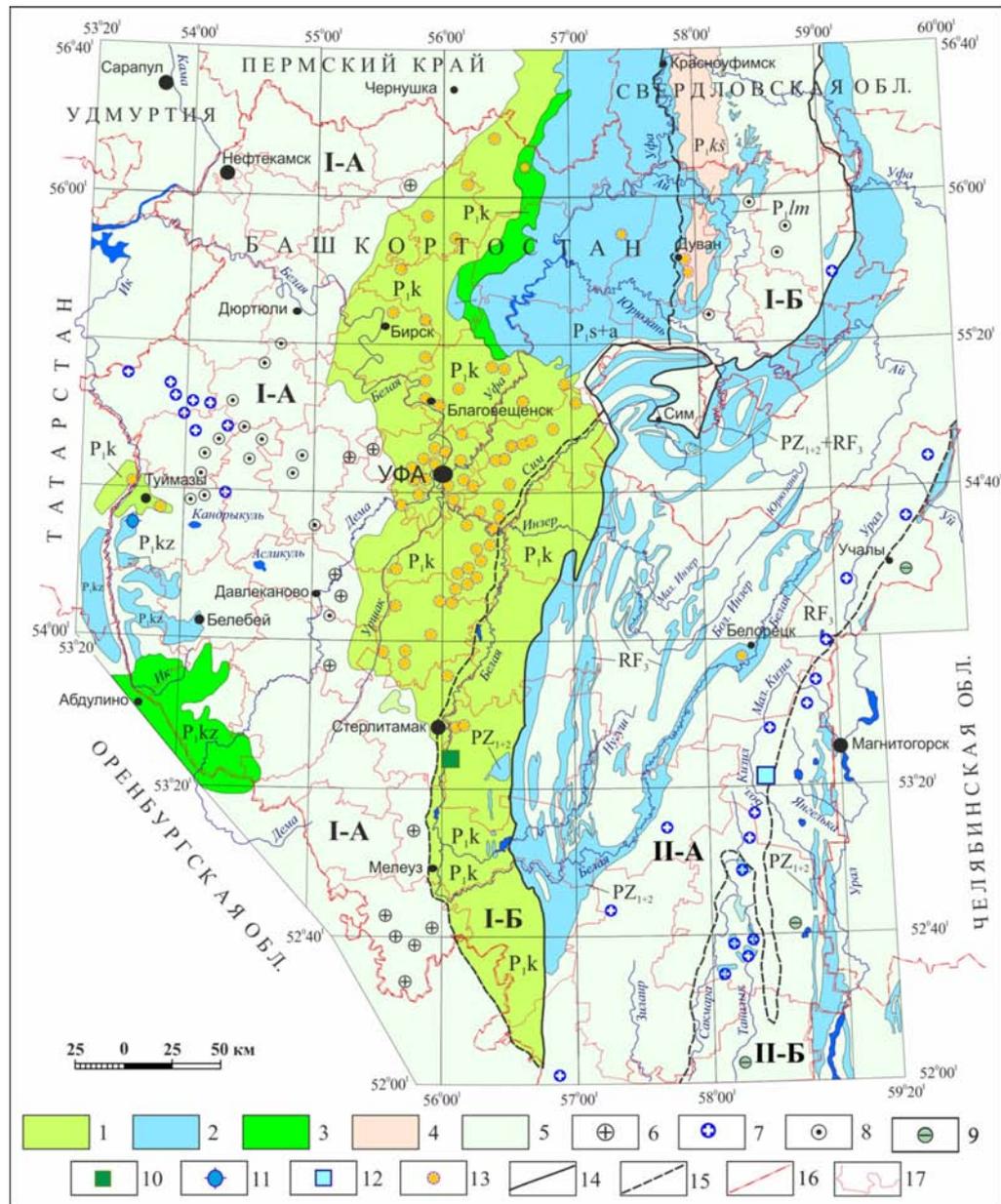


Рис. 4. Типы карста Южного Урала и Предуралья [Смирнов, 2023]

Условные обозначения: Карстовая страна Восточно-Европейской равнины (I): I-A – равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах Предуралья; I-B – равнинный и предгорный карст Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах. Уральская карстовая страна (II): II-A – горный и предгорный карст в сильно дислоцированных образованиях Урала; II-B – равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья. Типы карста: 1 – сульфатный, 2 – карбонатный, 3 – сульфатно-карбонатный, 4 – кластокарст. 5 – территории с отсутствием карстопоявлений. Локальные проявления карста: 6 – сульфатного, 7 – карбонатного, 8 – кластокарста, 9 – сульфидного, 10 – соляного, 11 – известковых туфов, 12 – в мраморах. Карстовые провалы: 13 – с фиксированным временем образования. Границы: 14 – карстовых стран, 15 – типов карста по характеру рельефа и условиям залегания пород, 16 – субъектов РФ, 17 – муниципальных районов.

Fig. 4. Types of karst in the Southern Urals and Cis-Urals [Smirnov, 2023]

Legend: Karst country of the East European Plain (I): I-A – plain karst in horizontally and hollowly bedded rocks of the Cis-Urals; I-B – plain and foothill karst of the Urals in hollowly bedded and weakly dislocated rocks. Ural karst country (II): II-A – mountainous and foothill karst in strongly dislocated formations of the Urals; II-B – plain karst in folded clastic deposits of the Trans-Urals. Types of karst: 1 – sulfate, 2 – carbonate, 3 – sulfate-carbonate, 4 – clastokarst. 5 – territories with no karst occurrences. Local manifestations of karst: 6 – sulfate karst, 7 – carbonate karst, 8 – clastokarst, 9 – sulfide karst, 10 – salt karst, 11 – calcareous tufts, 12 – in marbles. Karst sinkholes: 13 – with fixed time of formation. Boundaries: 14 – karst countries, 15 – karst types by relief character and rock occurrence conditions, 16 – subjects of the Russian Federation, 17 – municipal districts.



Рис. 5. Провалы земной поверхности на территории Башкортостана в 2020–2023 гг.

Условные обозначения: Карстовые провалы, обусловленные развитием сульфатного карста: в условиях закрытого (А и Б) и перекрытого (В и Г) карста: А – Мишкинский район, 1.1 км СЗ д. Кигазытамаково, колодецеобразный провал диаметром 10 м глубиной 15 м, дата образования 03.05.2023; Б – Балтачевский район, в 1.2 км к востоку от СВ оконечности д. Кунтугушево, колодецеобразный провал диаметром 30 м, глубиной 31 м, дата образования 18.09.2023; В – Стерлитамакский район, 0.2 км СВ карьера Шахтау, чашеобразный провал размером с поверхности 14.2x16.4 м глубиной 2.4 м, дата образования 10.05.2023; Г – Благовещенский район, 0.17 км ЮВ от южного въезда в д. Новоминзитарово, чашеобразный провал размером с поверхности 9.7x9.0 м, глубиной 3.0 м, дата образования 26.10.2023 [Смирнов, 2024]. Техногенные провалы над ливневыми коллекторами: Д – г. Уфа, ул. Блюхера, 14; колодецеобразный провал диаметром 3–3.5 м, глубиной 4.0 м, дата образования 10.08.2023, фото П.Е. Челпанова; Е – г. Уфа, перекресток ул. Коммунистической и Цурюпа, колодецеобразный провал поперечником 3.9x5.4 м, глубиной 2.8–3.4 м, дата образования 02.07.2021. Фото А.И. Смирнова; Ж – г. Уфа, ул. Запотоцкого, 62, просадка грунта, вызванная утечкой из водонесущих коммуникаций поперечником 30–40 м, глубиной до 1.5 м, дата образования 10–14.05.2020. Фото А.И. Смирнова

Fig. 5. Earth surface failures on the territory of Bashkortostan in 2020–2023

Legend: Karst sinkholes caused by the development of sulfate karst: in conditions of closed (A and B) and overlapped (B and G) karst: A – Mishkinskiy district, 1.1 km NW of Kigazitamakovo village, 10 m deep well-shaped failure 15 m in diameter, date of formation 03.05.2023; B – Baltachevsky district, 1.2 km to the east from the NE end of Kuntugushevo village, well-shaped dip 30 m in diameter, 31 m deep, date of formation 18.09.2023; B – Sterlitamaksky district, 0.2 km to the NE of Shakhtau quarry, bowl-shaped dip measuring 14.2x16.4 m from the surface, 2.4 m deep, date of formation 10. 05.2023; G – Blagoveshchensky district, 0.17 km SE of the southern entrance to the village of Novominzitarovo, bowl-shaped dip with the surface size 9.7x9.0 m, depth 3.0 m, date of formation 26.10.2023 [Smirnov, 2024]. Technogenic failures over storm sewers: D – Ufa city, 14, Blucher St.; well-shaped sinkhole with a diameter of 3–3.5 m, depth 4.0 m, date of formation 10.08.2023, photo by P.E. Chelpanova; E – Ufa city, intersection of Kommunisticheskaya St. and Tsuruyupa St., well-shaped dip with a cross section of 3.9x5.4 m, depth 2.8–3.4 m, date of formation 02.07.2021. Photo by A.I. Smirnov; Z – Ufa, Zapototskogo street, 62, ground subsidence caused by leakage from water-carrying communications with a cross section of 30–40 m, depth up to 1.5 m, date of formation 10–14.05.2020. Photo by A. I. Smirnov

Провалы в 2023 г., как и в предыдущие годы, возникли в периоды весеннего и осеннего максимумов трещинно-карстовых вод, то есть их образование обусловлены гидрометеофакторами [Смирнов, 2024].

В последние десятилетие новые природные карстопроявления на территории РБ какого-либо существенного отрицательного воздействия не оказали, поскольку возникли они вне селитебных зон и не получили широкого общественного резонанса.

Современная активность развития оползневой процесса. Оползни в рассматриваемом регионе пользуется относительно ограниченным распространением, хотя их воздействие на объекты экономики не менее ощутимо, чем от других проявлений ЭГП. Из-за развития в апреле 2007 г. оползневых смещений объемом около 50 тыс. м³ на правом склоне долины р. Стерля в г. Стерлитамаке, под угрозой разрушения оказались 4 коттеджа. В 2013 г. для снижения активности развития оползня в его теле сооружены дренажные колодцы, из которых по трубам грунтовые воды отведены в р. Стерля, по фронту оползня длиной ~200 м воздвигнуты подпорные бетонные стенки, а его цирк засыпан песчано-гравийной смесью [Смирнов, 2022]. В результате активное развитие оползневой процесса приостановилось.

По механизму образования оползневые смещения в рассматриваемом регионе представлены оползнями сдвига, оползнями скольжения и оползнями потоками. По строению они в большинстве

случаев являются асеквентными и инсеквентными, значительно реже консеквентными, а по возрасту подразделяются на древние (доголоценовые), образовавшиеся в периоды формирования палеодолин рек и современные, развитие которых связано с голоценовым врезом эрозионной сети.

Древние оползни распространены, главным образом, в Предуралье на Бугульмино-Белебеевской возвышенности и Прибельской холмисто-увалистой равнине и детально охарактеризованы в работе [Смирнов, 2022].

Современные оползни распространены в основном в равнинных частях региона и развиты преимущественно в суглинисто-глинистых плейстоценовых и неогеновых отложениях, очень редко в уфимских терригенных породах (консеквентные оползни). По механизму образования они представлены главным образом оползнями сдвига и оползнями потоками. Длина по фронту первых обычно составляет 60–80 м (редко до 250 м), ширина захвата — 10–15 м (до 30 м), амплитуда смещения — не более 20 м. У вторых соответственно: 10–15 (иногда до 150) м, 5–15 (редко до 100) м и 1–3 (до 7) м.

В последнее десятилетие оползневые смещения возникали в 2013, 2017, 2019 и 2023 гг. Основная их часть образовывалась в г. Уфе и его окрестностях и связана с незарегулированным поверхностным стоком территории в год с повышенной увлажненностью территории (2013 г.) и с искусственной подрезкой склонов (2017 г.,



Рис. 6. Оползень в северо-восточном борту котлована, строящегося дома на ул. Коммунистической рядом с д. 106
Условные обозначения: А – общий вид с подпорной стенкой, Б – вид сверху на линию отрыва вдоль подпорной стенки. Дата образования 03.12.2019. Фото А. И. Смирнова.

Fig. 6. Landslide in the northeast side of the excavation, house under construction on Kommunisticheskaya Street near building 106

Legend: А – general view with retaining wall, Б – top view of the breakaway line along the retaining wall. Date of formation 03.12.2019. Photo by A. I. Smirnov.

2019 г.). Наиболее значительный из них образовался на ул. Коммунистической д. 106 (рис. 6).

За пределами г. Уфы в 2023 г. отделением мониторинга по РБ Приволжского филиала регионального центра ГМСН ФГБУ «Гидроспецгеология» зафиксировано образование оползня сдвига на юг-юго-западной окраине с. Кумурлы Архангельского района РБ. Оползень образовался на крутом подмываемом уступе второй надпойменной террасы долины р. Инзер высотой 10–15 м в начале апреля. Оползневому смещению подверглись верхнеплейстоценовые супеси и суглинки с включениями гальки, которые прекратились к концу сентября 2023 г. Длина оползня по фронту составила 130 м, ширина и мощность захвата составили соответственно 40–47 и 10–12 м (рис. 7).

Следует отметить, что в с. Кумурлы на правом берегу р. Инзер к юго-западу от оползня 2023 г. образования в аналогичных геолого-геоморфологических условиях в начале 1980-х гг. уже фиксировались оползневые смещения длиной по фронту до 250 м и шириной захвата 10–15 м с амплитудой смещения 9–16 м (Смирнов, Ткачев, 1986ф).

Оценивая активность развития оползневого процесса в целом по региону её можно определить в рассматриваемой период, как низкую, с наибольшей активностью его развития на урбанизированных территориях, где образование оползней часто вызвано техногенезом.

Выводы

Из всех развитых на рассматриваемой территории ЭГП самым распространенным видом является боковая эрозия рек, которая в количественном отношении оказывает и наибольшее воздействие на населенные пункты РБ. В многолетнем разрезе активность ее развития в последнее десятилетие по всей территории региона оценивается как слабая и средняя при наибольшей активности в Южном Предуралье. Высокие скорости размыва берегов зафиксированы в 2012–2014 гг. отличавшиеся в ряду наблюдений наибольшей многоводностью.

Если подмыв и разрушение берегов рек прогнозируемы в пространстве, а при наличии прогноза гидрометеорофакторов и во времени, что позволяет заблаговременно осуществлять берегоукрепительные мероприятия, то современные проявления карстового процесса на поверхности во времени неожиданны и пока слабо предсказуемы, поэтому карст — самый опасный вид ЭГП в регионе. Наивысшая активность его развития характерна для районов распространения сульфатного карста. Современная активность его развития в последние 10 лет, определенная по частоте образования карстовых провалов, в целом по рассматриваемому региону оценивается выше среднемноголетней при аномально высокой активности провалообразования в Южном Предуралье в 2016 и 2023 гг.



Рис. 7. Оползень на ЮЮЗ окраине с. Кумурлы Архангельского района в 2023 г.

Условные обозначения: А – общий вид, Б – средняя часть оползневого тела. В – нижняя часть оползневого тела, сильно увлажненная с выходами грунтовых вод. Фото О. В. Садыковой.

Fig. 7. Landslide on the south-southwest edge of the Kumurly village outskirts of Arkhangelsk district in 2023

Legend: A – general view, Б – middle part of the landslide body. В – lower part of the landslide body, strongly moistened with groundwater outlets. Photo by O. V. Sadykova.

Оползневой процесс на территории РБ развит локально. Современная активность его развития в рассматриваемый период оценена как низкая.

Другие развитые в регионе ЭГП существенного отрицательного воздействия на социально-экономические объекты Башкортостана в последнее десятилетие не оказывали.

Список литературы

Абдрахманов Р. Ф., Дурнаева В. Н. Карта карста Южного Урала и Предуралья. В сборнике: Гидрогеология и карстование. Межвузовский сборник научных трудов. Пермь: изд-во Пермского государственного национального исследовательского университета. 2023. С. 70–74.

Абдрахманов Р. Ф., Полева А. О., Дурнаева В. Н., Бакиева А. Р., Еранов Е. А., Носарева С. П. Карст Южного Урала и Предуралья, современная активность его развития // Геологический вестник. 2022. № 1. С. 3–22. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-1-1

Епифанова Д. Р., Смирнов А. И. Современная активность карстовых и техногенных провалов на территории Уфимского «полуострова» // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. 2022. № 10. С. 224–229.

Епифанова Д. Р., Смирнов А. И. Условия и факторы образования карстовых провалов на «Уфимском полуострове» // Геонауки: современные вызовы и пути решения, 2024. С. 498–502.

Мартин В. И. Типы и районирование карста Башкортостана // Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. С. 133–177.

Рождественский А. П. Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. 286 с.

Свод правил СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. М.: Стандартинформ. Издание официальное, 2018. 31 с.

Смирнов А. И. Генетические типы и формы рельефа. Атлас Республики Башкортостан / Гл. ред. И. М. Япаров. Уфа: Омская картогр. ф-ка, Роскартография, 2005. с. 65.

Смирнов А. И. Современные карстовые провалы на территории Южного Урала и Предуралья (в границах Республики Башкортостан) // Инженерная геология. 2020а. Т. 15, № 4. С. 42–53. DOI: 10.25296/1993-5056-2020-15-4-42-53

Смирнов А. И. Чрезвычайные ситуации, вызванные карстом на Южном Урале и в Предуралье // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2020б. Т. 37, № 4 (100). С. 29–39.

Смирнов А. И. Виды и современная активность развития опасных геологических процессов на Южном Урале и в Предуралье // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2022. № 2. С. 338–347. DOI: 10.31857/S0869780922020084

Смирнов А. И. Нетрадиционные типы карста Южного Урала и Предуралья // Геоэкология. Инженерная геология,

гидрогеология, геокриология. 2023. № 3. С. 26–36. DOI: 10.31857/S0869780923030104

Смирнов А. И. Аномально крупные карстовые провалы на Южном Урале и в Предуралье 2023 года образования / Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: Геоинфо, 2024. С. 90–94.

Смирнов А. И., Ткачев В. Ф. Инженерно-геологические условия строительства / Гл. ред. И. М. Япаров. Уфа: Омская картогр. ф-ка, Роскартография, 2005. С. 66–67.

Якимович В. Л. Этапы геологического развития Башкирского Предуралья в неогене // Стратиграфия неогена востока Европейской части СССР. М.: Недра, 1971. С. 45–64.

Smirnov A. I. Clastocarst of the Southern Cis-Urals / Proceedings of the International Conference «Science and innovations 2021: development directions and priorities» (September 29, 2021. Melbourne, Australia). Melbourne: Scientific publishing house Infinity, 2021. P. 179–187. DOI: 10.34660/INF.2021.29.35.016

Smirnov A. I. Types and current development activity of hazardous geological processes in the Southern Urals and the Cis-Ural region // Doklady Earth Sciences. 2022. Т. 507, № S1. P. S173 — S184. DOI: 10.1134/S1028334X22601584

References

Abdrahmanov R. F., Durnaeva V. N. (2023) Karta karsta Juzhnogo Urala i Predural'ja [Map of karst of the Southern Urals and Cis-Urals]. In the collection: *Hydrogeology and karstology. Interuniversity collection of scientific papers*. Perm, 70–74. (In Russian).

Abdrahmanov R. F., Poleva A. O., Durnaeva V. N., Bakieva A. R., Eranov E. A., Nosareva S. P. (2022) Karst Juzhnogo Urala i Predural'ja, sovremennaja aktivnost' ego razvitija [Karst of the Southern Urals and Cis-Urals, modern activity of its development]. *Geologicheskii vestnik*. No. 1, 3–22. (In Russian). DOI: 10.31084/2619-0087/2022-1-1

Epifanova D. R., Smirnov A. I. (2022) Sovremennaja aktivnost' *karstovyh i tehnogenykh provalov na territorii Ufimskogo «poluostrova» [Current activity of karst and man-made sinkholes on the territory of the Ufa «peninsula»]. *Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories*. No. 10, 224–229. (In Russian).

Epifanova D. R., Sminov A. I. (2024) Uslovija i faktory obrazovanija karstovykh provalov na «Ufimskom poluostrove» [Conditions and factors for the formation of karst sinkholes on the «Ufa Peninsula»]. *Geosciences: modern challenges and solutions*. 498–502. (In Russian).

Martin V. I. (2002) Tipy i rajonirovanie karsta Bashkortostana [Types and zoning of karst in Bashkortostan]. *Karst of Bashkortostan*. 133–177. (In Russian).

Rozhdestvenskij A. P. (1971) *Noveishaya tektonika i razvitie rel'efa Yuzhnogo Priural'ja* [The latest tectonics and development of the relief of the Southern Cis-Urals]. Moscow: Science, 286 p. (In Russian).

Svod pravil SP 115.13330.2016 (2018) Geofizika opasnyh prirodnyh vozdeystvij. Aktualizirovannaja redakcija SNIp 22-01-95 [Set of rules SP 115.13330.2016 Geophysics of hazardous natural impacts. Updated version of SNIp 22-01-95]. Moscow: Standartinform. Izdanie oficial'noe, 31 p. (In Russian).

Smirnov A. I. (2005) Geneticheskie tipy i formy rel'efa. Atlas Respubliki Bashkortostan [Genetic types and landforms]. *Atlas of the Republic of Bashkortostan, Editor-in-Chief I. M. Yaparov. Ufa: Omsk cartography. factory, Roscartography.* 65. (In Russian).

Smirnov A. I. (2020) Sovremennye karstovye provaly na territorii Juzhnogo Urala i Predural'ja (v granicah Respubliki Bashkortostan) [Modern karst sinkholes in the Southern Urals and Cis-Urals (within the borders of the Republic of Bashkortostan)]. *Engineering Geology World*, Vol. XV, No. 4, 42–53. (In Russian). DOI: 10.25296/1993-5056-2020-15-4-42-53

Smirnov A. I. (2020) Chrezvychajnye situacii, vyzvannye karstom na Juzhnom Urale i v Predural'e [Karst-induced emergency situations in the Southern Urals and the Cis-Urals]. *Vestnik of the academy of sciences of the Respublik Bashkortostan*. Vol. 37, No. 4 (100), 29–39. (In Russian). DOI: 10.24411/1728-5283-2020-10404

Smirnov A. I. (2022) Vidy i sovremennaja aktivnost' razvitiya opasnyh geologicheskikh processov na Juzhnom Urale i v Predural'e [Types and current activity in development of hazardous geological processes in the Southern Urals and Cis-Urals]. *Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. No. 2, 338–47. (In Russian). DOI: 10.31857/S0869780922020084

Smirnov A. I. (2023) Netradicionnye tipy karsta Juzhnogo Urala i Predural'ja [Non-traditional karst types in the Southern

Urals and Cis-Urals]. *Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. No 3, 26–36. (In Russian). DOI: 10.31857/S0869780923030104

Smirnov A. I. (2024) Anomal'no krupnye karstovye provaly na Juzhnom Urale i v Predural'e 2023 goda obrazovaniya [Anomalously large karst failures in the Southern Urals and Cis-Urals in 2023]. *Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on problems of geocology, engineering geology and hydrogeology*. Moscow: Geoinfo. 90–94. (In Russian).

Smirnov A. I., Tkachev V. F. (2005) Inzhenerno-geologicheskie uslovija stroitel'stva [Engineering and geological conditions of construction]. *Atlas of the Republic of Bashkortostan, Editor-in-Chief I. M. Yaparov. Ufa: Omsk cartography. factory, Roscartography.* 66–67. (In Russian).

Jahimovich V. L. (1971) Jetapy geologicheskogo razvitiya Bashkirskogo Predural'ja v Neogene [Stages of geological development of the Bashkir Cis-Urals in the Neogene]. *Neogene stratigraphy of the eastern European part of the USSR*. Moscow: Nedra, 45–64. (In Russian).

Smirnov A. I. (2021) Clastocarst of the Southern Cis-Urals. Proceedings of the International Conference «Science and innovations 2021: development directions and priorities» (September 29, 2021. Melbourne, Australia). Melbourne: Scientific publishing house Infinity, 179–187. DOI: 10.34660/INF.2021.29.35.016

Smirnov A. I. (2022) Types and current development activity of hazardous geological processes in the Southern Urals and the Cis-Ural region. *Reports of the Academy of Sciences*. Vol. 507, No. S1, 173–184. DOI: 10.1134/S1028334X22601584

Сведения об авторе:

Смирнов Александр Ильич, кандидат геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, smalil@mail.ru

About the author:

Smirnov Alexandr Il'ich, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRS RAS), Ufa, smalil@mail.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.05.2024; одобрена после рецензирования 24.05.2024; принята к публикации 22.07.2024

The article was submitted 22.05.2024; approved after reviewing 24.05.2024; accepted for publication 22.07.2024