_____ ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ _____ ПРОЦЕССЫ

УДК 551.4.042 (470.57)

ВИДЫ И СОВРЕМЕННАЯ АКТИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ И В ПРЕДУРАЛЬЕ

© 2022 г. А. И. Смирнов^{1,*}

¹ Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Ул. Карла Маркса, д. 16/2, Уфа, 450077 Россия

*E-mail: smalil@mail.ru

Поступила в редакцию 06.12.2021 г.
После доработки 15.12.2021 г.

Принята к публикации 13.01.2022 г.

Опасные геологические процессы — геологические процессы, отрицательно воздействующие и которые потенциально могут негативно воздействовать на объекты экономики, вызывать чрезвычайные ситуации и обстоятельства, неблагоприятно сказывающиеся на жизнедеятельности человека. Установлены наиболее распространенные и опасные по причиняемому ущербу виды геологических процессов региона: боковая эрозия рек, карст и оползневой процесс. Для кажлого процесса произведена оценка современной активности их развития за период 2000-2020 гг. Скорость размыва берегов в целом по региону оценена как слабая (со скоростью размыва до 0.5 м/год) и средняя (0.5-1.0 м/год) при наибольшей активности в Предуралье и предгорьях Южного Урала. Высокие скорости размыва берегов (1.1-3.0 м/год) зафиксированы в 2012-2014 и 2017 гг., отличавшиеся в ряду наблюдений повышенной многоводностью. Современная активность развития карста и оползневого процесса оценена по частоте образования новых крупных карстовых провалов и значительных новых оползневых смещений. Средняя активность провалообразования в целом по региону в 2000— 2020 гг. составила 1.7 провала в год и связана с карстом в гипсах кунгурского яруса нижнего отдела пермской системы. Наибольшая частота образования провалов зафиксирована в 2016 г. в Предуралье на территории городских агломераций, где к природным факторам развития карста добавляются антропогенные, главным образом, утечки из водонесущих коммуникаций. Активность развития оползневого процесса в целом по региону слабая и чаще всего, наряду с метеофакторами, обусловлена техногенезом – искусственной подрезкой склонов.

Ключевые слова: боковая эрозия рек, карст, оползневой процесс, активность развития, Южный Урал, Предуралье, Республика Башкортостан

DOI: 10.31857/S0869780922020084

ВВЕДЕНИЕ

Южный Урал и Предуралье охватывают территорию семи субъектов Российской Федерации (РФ). Основная часть рассматриваемого региона целиком занимает территорию Республики Башкортостан и лишь частично затрагивает сопредельные с ней субъекты РФ.

На Южном Урале и Предуралье, как и в других регионах, геологические процессы представлены процессами эндогенного и экзогенного генезиса.

Процессы эндогенного генезиса (ЭнГП), вызывавшие разрушение или деформацию зданий и сооружений, в последние 50 лет в рассматриваемом регионе не фиксировались. Согласно общему сейсмическому районированию территории РФ (СП 14.13330.2018) на Южном Урале и в его предгорьях 34 населенных пункта (0.7% от всех

пунктов Башкортостана) расположены в районах с расчетной сейсмической интенсивностью 6 балов (по шкале MSK-64) и степенью сейсмической опасности 1–5% в течение 50 лет [19, с. 60]. Современные тектонические движения, влияющие на активность развития экзогенных геологических процессов, обусловливают общий, хотя и неравномерный подъем территории Республики Башкортостан (РБ). В Предуралье скорости подъема достигают 4.5–5.0 мм/год, в Предуральском прогибе — 2.8–4.8 мм/год и на Урале 5.5–6.5 мм/год [17].

Весьма разнообразные геолого-геоморфологические и гидрогеологические условия Южного Урала и Предуралья предопределили развитие генетически различных видов экзогенных геологических процессов (ЭкГП), характерных как для равнинных, так и для горных областей. Наиболее

распространены в регионе процессы, связанные с деятельностью: гравитационных сил (курумообразование, осыпной, обвальный и оползневой процессы), поверхностных вод (абразия, речная и овражная эрозия) и преимущественно подземных вод (карст, суффозия). Установлено, что наибольшее воздействие на населенные пункты республики оказывают речная боковая эрозия и карст, значительно в меньшей степени — оползневой процесс, а отрицательное воздействие других видов ЭкГП проявляется эпизодически и локально [24].

Каждый четвертый населенный пункт Башкортостана подвержен или может быть подвержен отрицательному (с прямым материальным ущербом) воздействию ЭкГП [25].

Согласно Своду Правил (СП 115.13330.2016) "Геофизика опасных природных воздействий" [20], указанные ЭкГП относятся к опасным геологическим процессам (ОГП), под которыми автор понимает геологические процессы, отрицательно воздействующие или, которые потенциально могут негативно воздействовать на объекты экономики, вызывать чрезвычайные ситуации и другие обстановки природной среды, неблагоприятно сказывающиеся на жизнедеятельности человека.

Актуальность исследований. Современная активность развития ОГП является важным показателем для принятия управленческих решений по предотвращению негативного их воздействия на объекты экономики и безопасности населения. Сводные данные о современной активности их развития по региону приводятся впервые.

Цель исследования — определение современной активности наиболее распространенных и опасных видов экзогенных геологических процессов Южного Урала и Предуралья.

Исходными данными для исследований послужили производственные геологические отчеты ПГО "Башкиргеология" по изучению ЭкГП и составлению (по методике ВСЕГИНГЕО [16]) карт пораженности территории РБ проявлениями ЭкГП и подверженности населенных пунктов республики их воздействию масштаба 1:200000 (Смирнов, Ткачев, 1986 г., Смирнов, Нагуманов, Ткачев, 1989 г., Смирнов, 1994 г.). Они послужили основой для определения видов ОГП, характеру их распространения и активности развития.

Современная активность развития речной боковой эрозии оценена методом сравнения материалов дешифрирования аэрофотоснимков 1953—1955 гг. залета с современными (2018—2019 гг.) космоснимками на основе ГИС SAS. Planet (http://www.sasgis.org/sasplaneta). Результаты этого сравнения заверены данными ведения мониторинга состояния берегов водных объектов, который осуществлялся по госконтрактам Министер-

ства природопользования и экологии Республики Башкортостан (Минэкологии РБ) с ГУП "Башгеолцентр" (2009—2011 гг.), Научно-исследовательским институтом Безопасности жизнедеятельности Республики Башкортостан (2012—2018 гг., НИИ БЖД РБ) и ООО "Институт эколого-географических исследований" (2019—2020 гг., ООО ИЭГИ). Результаты ведения мониторинга состояния речных берегов отражены в ежегодных Государственных докладах о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан Минэкологии РБ [2, с. 276—279; 3, с. 309; 4, с. 281—286; 5, с. 306—309; 6, с. 286—288; 7, с. 261—266; 8, с. 262—266; 9, с. 273—278; 10, с. 247—250; 11, с. 253—257; 12, с. 256—257].

Современная активность развития карста и оползневого процесса оценена по частоте образования карстовых провалов [22, 25, 26] и оползней в 2000—2020 гг. на основе их оперативного обследования автором совместно с О.В. Садыковой (Отделение мониторинга по РБ Филиала "Приволжский Региональный центр ГМСН") и В.Г. Камаловым (ООО "Архстройизыскания").

БОКОВАЯ ЭРОЗИЯ РЕК

Вполне естественно, что в количественном отношении речная эрозия в сравнении с другими видами ЭкГП, оказывает наибольшее воздействие на хозяйственные объекты, поскольку подавляющая часть населенных пунктов расположена вдоль рек. В каждом седьмом населенном пункте республики (13.7% от всех населенных пунктов Башкортостана) имеются селитебные территории подверженные или, которые могут быть подвержены боковой эрозии рек, проявляющейся в подмыве и разрушении берегов. Основной ущерб от боковой эрозии рек заключается в сокращении площадей приусадебных участков. Однако, были зафиксированы случаи, когда из-за размыва речных берегов переносились на новое место жилые дома и части приречных улиц (д. Верхнеиткулово, Ишимбайский район РБ, правый берег р. Селеук).

Развитие речной боковой эрозии вынуждает ежегодно проводить строительство инженерных сооружений берегоукрепления и проведения русловыпрямительных работ на участках размыва берегов. Так, в 2019 г. они проведены на участках размыва берегов на р. Янаулка в г. Янаул; на р. Инзер у дд. Узунларово, Усть-Басу, Узунларово в Архангельском районе РБ [11]. В 2020 г. их строительство начато на р. Мал. Кизил в с. Баимово и д. Туишево; на р. Бол. Кизил в д. Искаково и с. Целинное в Абзелиловском районе; на р. Ай в дд. Гумерово, Новомещерово, Новояушево, Старомещерово, Тимиряково и Юнусово в Мечетлинском районе РБ. По данным Минэкологии РБ на строительство инженерных сооружений бере-

Таблица 1. Скорость размыва речных берегов Республики Башкортостан [по 23, 27, 31] (актуализирована на 01.01.2021)

Реки в пределах орографических районов	Диапазон скоростей раз- мыва берегов, м/год
Прибельская равнина:	
р. Белая в меридиональном течении (от г. Мелеуз до устья р. Сим)	0.5-3.0 (аномально до 5.0)
р. Белая в субмеридиональном течении (от устья р. Сим до западной границы РБ)	0.2-2.0 (аномально до 3.0)
левые притоки р. Белая	0.3-3.0 (аномально до 5.0)
правые притоки р. Белая	< 1.0 (аномально до 1.5)
Бугульмино-Белебеевская возвышенность	< 1.0 (аномально до 2.0)
Общий Сырт	0.1-1.5 (аномально до 2.5)
Уфимское плато	<0.5 (аномально до 1.0)
Приайская равнина:	ı
р. Ай и ее левые притоки	0.6-3.0 (аномально до 5.0)
р. Ай и ее правые притоки	0.2-2.0 (аномально до 3.0)
р. Юрюзань и ее притоки	<1.0 (аномально до 1.0)
Белокатайское плато	<1.0 (аномально до 1.5)
Хребет Уралтау, низко- и среднегорья западного и восточного склона Урала	0.2-1.0 (аномально до 2.0)
Западные и восточные предгорья Урала	0.2-2.5 (аномально до 5.0)
Южно-Уральское плоскогорье	0.1-1.0 (аномально до 1.5)
Сакмаро-Таналыкская равнина	0.2-2.0 (аномально до 3.0)
Кизило-Уртазымская равнина	0.3-3.0 (аномально до 4.0)

гоукрепления и проведения русловыпрямительных работ ежегодно затрачивается десятки миллионов рублей. Так, в 2017—2019 гг. на берегоукрепительные мероприятия на р. Белой (главной водной артерии региона) только в г. Уфа по федеральной целевой программе "Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012—2020 гг." из всех источников финансирования затрачено 2.3 млрд руб. [9—11].

Общеизвестно, что наивысшая скорость размыва берегов характерна для берегов, сложенных рыхлыми нелитифицированными отложениями, наиболее податливыми разрушению в периоды прохождений по рекам максимальных руслоформирующих расходов (весеннее половодье и летние паводки) на крутых поворотах русел рек, а также на зауженных участках долин рек, где вся живая сила водного потока сосредотачивается в их днищах.

По данным полевого обследования населенных пунктов, подверженных воздействию боковой эрозии рек при изучении ЭкГП в 1983—1994 гг. (Смирнов, Ткачев, 1986 г., Смирнов, Нагуманов, Ткачев, 1989 г., Смирнов, 1994 г.), оценена скорость размыва речных берегов региона, которая актуализирована методом сравнения конфигурации русел рек на аэрофотоснимках 1953—1955 гг. залета с таковыми на современных космоснимках 2017—2019 гг. (табл. 1, рис. 1).

Активность развития речной боковой эрозии рек в последнее десятилетние оценена по данным ведения мониторинга состояния берегов рек на наблюдательных участках, на которых ежегодно определялась скорость размыва речных берегов по грунтовым реперам вышеуказанными организациями. На 01.01.2021 наблюдательная сеть за режимом размыва речных берегов на территории РБ состоит из 29 участков (рис. 2).

На начало ведения мониторинга берегов (2009 г.) наблюдательные участки были определены на основе карт подверженности населенных пунктов воздействию ЭкГП, на которых боковая эрозия рек непосредственно угрожала объектам экономики.

Следует отметить, что на отрезках рек, где размыв берегов происходил наиболее интенсивно, еще до начала ведения мониторинга берегов рек были проведены берегоукрепительные мероприятия, и они не были включены в наблюдательную сеть.

В процессе ведения 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, где фиксировался активный размыв берегов рек. Вследствие это-

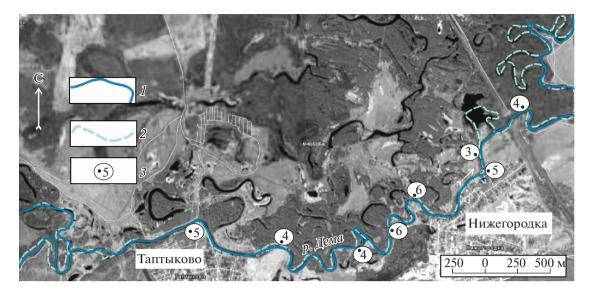


Рис. 1. Изменение конфигурации русла р. Дема. Контур русла реки: I — современный; 2 — на аэрофотоснимках 1953 г. залета; 3 — высота подмываемого берега, м.

го, количество наблюдательных участков от года к году колебалось от 26 до 36, но в целом структура наблюдательной сети оставалась неизменной.

На основе зафиксированных значений скоростей размыва речных берегов на наблюдательных участках 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/год) и очень высокая (более 3.0 м/год) [2-12].

Согласно 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 (см. сноску 2 [20]).

Низкие скорости размыва речных берегов практически не оказывают отрицательного воздействия на объекты экономики, а средние — для рассматриваемого региона являются обычными. Очень высокая скорость размыва речных берегов в 10-летнем ряду наблюдений зафиксирована в 2013 г. на р. Ай (4.0 м), где подмыву подвержены уступы I надпойменной террасы, сложенные песками и супесями. Высокая скорость размыва речных берегов наблюдалась в 2013 и 2014 гг., отличавшихся в ряду наблюдений наибольшей многоводностью [2—12]. Так, в 2013 г. она достигала на реках: Бол. Сурень — 2.4 м, Белая — 2.2 м, Сюнь — 1.6 м, Бол. Инзер — 1.2 м [5].

В последние 5 лет (2016—2020 гг.) скорость размыва речных берегов по всему рассматриваему региону оценивается как низкая и обусловлена маловодностью этого периода в ряду наблюдений [8—12] (рис. 3).

KAPCT

Карст — экзогенный геологический процесс, обусловленный растворяющей и эродирующей деятельностью природных и техногенных вод, циркулирующих в относительно легкорастворимых горных породах, в результате которой образуются подземные и поверхностные карстовые формы (карстопроявления). Типизация карста региона отражена на рис. 4.

В большинстве случаев, за исключением развития карста в условиях открытого (голого или средиземноморского) его типа, а также в пещерах, карстовый процесс срыт от непосредственного исследования, поэтому очень часто об интенсивности и активности его развития судят по карстопроявлениям, особенно на первых этапах изысканий.

Если условия развития карста для рассматриваемой территории, как и для других карстовых регионов, одинаковы, то факторы интенсивности распространения его форм и активности их развития зависят от конкретных природных условий, которые представлены двумя их основными группами: геолого-геоморфологической и климато-гидрогеологической [35]. На современном этапе к ним присоединилась группа техногенных факторов, которая определяется степенью антропогенной нагрузки на геологическую среду. Природные и техногенные факторы могут как замедлять, так и ускорять развитие карста и часто влияют на него в совокупности друг с другом [34, 35].

В силу большей скорости растворения сульфатов в сравнении с карбонатами интенсивность распространения карстопроявлений в районах развития первого до 5 раз выше, чем второго. По-

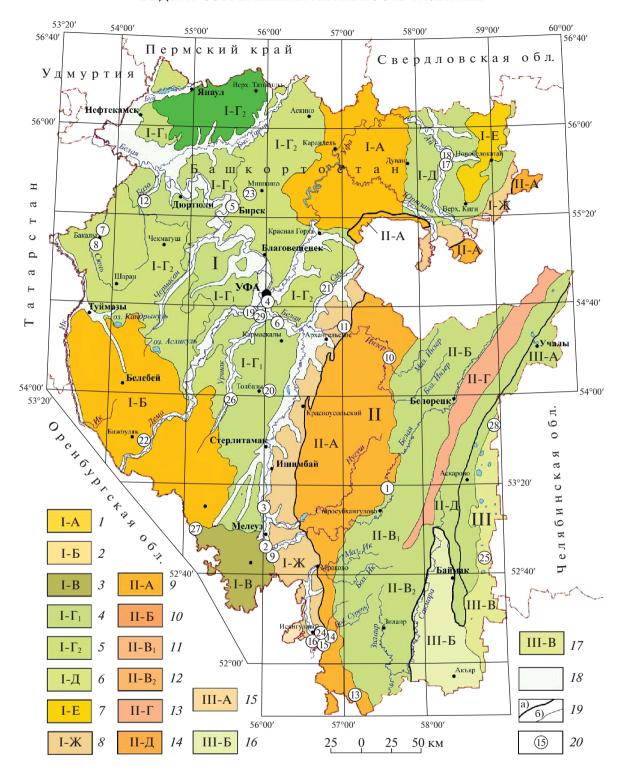


Рис. 2. Наблюдательная сеть мониторинга берегов водных объектов (ГУП "Башгеолцентр", НИИ БЖД РБ, ООО "ИЭГИ") на карте орографических областей и районов Республики Башкортостан по [23] на 01.01.2021. Условные обозначения: І. Область Русской равнины (Предуралье). Районы: I — Уфимское плато, 2 — Бугульмино-Белебеевская возвышенность, 3 — Общий Сырт (возвышенность); Прибельская равнина (І-Г): 4 — пологоволнистая и 5 — хол-

мисто-увалистая; 6— Приайская равнина; 7— Белокатайстое плато; 8— холмисто-увалистые предгорья западного склона Урала. II. Область горного Урала. Районы: 9— низкогорные хребты западного склона Урала, 10— среднегорные хребты западного склона Урала; Южно-Уральское плоскогорье (II-B): 11— Зилаирское плато, 12— плато Уралтау; 13— Хребет Уралтау; 14— низкогорные хребты восточного склона Урала.

III. Область Западно-Сибирской равнины (Зауралье). Районы: 15 — грядово-мелкосопочные предгорья восточного склона Урала, 16 — Сакмаро-Таналыкская высокая равнина, 17 — Кизило-Уртазымская равнина.

18 — террасы крупных речных долин. 19 — границы: а — областей, б — районов. 20 — наблюдательные участки (номер в кружке): 1-д. Байназарово, р. Белая; 2-с. Ир, 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. Новомещерево, Ай; 18-д. Старомещерево, р. Ай; 19-с. Нижегородка, р. Дема; 20-д. Новоитикеево, р. Аургазы; 21-с. Иглино, р. Белекес; 22-с. Менеузтамак, 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. Ашкадар; 28-с. Баимово, Мал. Кизил; 29-с. Зубово, р. Берсувань.

раженность карстовыми формами рельефа, связанными с развитием сульфатного карста, достигает 25% (иногда и выше), тогда как карбонатного — не превышает 5% и обычно составляет менее 1%. В Южном Предуралье максимальная закарстованность сульфатного карста наблюдается на участках, сложенных белыми сахаровидными (без примесей) гипсами, а для карбонатного карста — наиболее чистыми по составу органогенными известняками [24, 35].

Максимальное распространение поверхностных карстопроявлений наблюдается на участках сульфатного открытого карста. В районах его развития плотность поверхностных карстопроявлений (воронок, колодцев) достигает 400 (долина р. Аургазы) [24] и даже 1100 шт. (долина р. Селеук) на 1 км² площади карстовых полей [30]. При одинаковом составе покрывающих сульфатные карстующиеся породы отложений пораженность поверхностными карстопроявлениями обратно пропорциональна их мощности. При одинаковой мощности покрывающих карстующиеся породы отложений она увеличивается от крепких в физико-механическом отношении пород к более слабым и от водонепроницаемых пород к водопроницаемым по трещинам, при наибольшей пораженности ими покровных отложений, водопроницаемость которых обусловлена их пористостью.

Повсеместно поверхностная закарстованность закономерно уменьшается от древних форм рельефа к молодым [28] и увеличивается от осей отрицательных неотектонических структур к сводам положительных [1].

Наиболее часты и многообразны формы сульфатного карста на коренных склонах долин (карст речных долин). При этом на высоких склонах в обстановке активного водообмена карстовые формы более разнообразны и многочисленны, чем на низких и пологих, где водообмен затруднен [34, 35].

Многолетними (~40 лет) мониторинговыми наблюдениями за карстопроявлениями в г. Уфе установлено, что в условиях интенсивного водообмена карстовых вод образуется в среднем два новых, хотя и малых (в поперечнике до 3 м и глубиной не более 1.5 м) провала в год, тогда как в условиях затрудненного водообмена трещинно-карстовых вод возникновение их крайне редко.

Кроме того, установлено, что наиболее часто провалы образуются весной, а в многолетнем ряду — в годы с повышенным количеством атмосферных осадков [21, 26].

Наиболее представительным показателем современной активности развития карста является частота возникновения свежих карстовых провалов. Она опосредованно свидетельствует не только о скорости растворения и выщелачивания карстующихся пород, но вбирает в себя и все факторы, способствующие образованию современных карстопроявлений, а активность провалообразования является важным показателем карстоопасности территории и регламентирован СП 115.13330.2016 [20].

В 90 населенных пунктах Башкортостана карст активно проявляется на поверхности в виде провалов и воронок, а около 340 пунктов находятся на территориях возможного их образования (8.2% от всех населенных пунктов РБ). Вновь образующиеся карстовые провалы вызывают возникновение чрезвычайных ситуаций различного характера — от полного разрушения или деформаций зданий и сооружений до негативного моральнопсихологического воздействия на население, проживающее в районах их возникновения [27]. Только в Уфе с 1963 по 2020 гг. зафиксировано не менее 40 случаев деформаций зданий (в том числе многоэтажных) и инженерных сооружений (автомобильные и железнодорожные пути сообщения, ЛЭП и др.), обусловленных карстом [14]. Яркий пример – пятиэтажное здание Центра социальной защиты населения, возведенное в 1977 г., из-за деформации фундамента и самого здания, вызванной карстом, даже после принятия мер противокарстовой защиты в 1982 г., было признано аварийным, а позже снесено [15]. Свежий пример деформация 9-этажного жилого дома в Уфе по ул. Интернациональной, 193/2. Она обусловлена образованием 25.11.2016 рядом с домом карстового провала диаметром 5 м и глубиной 10 м, в котором исчез автомобиль Лада-Калина, что широко освещалось местными СМИ.

Провал, образовавшийся весной 2000 г. в Демском районе Уфы (Чебоксарский переулок, 15), на проезжей части дороги вынудил жителей ближайших домов покинуть их более чем на сутки, что было обусловлено активным увеличением его

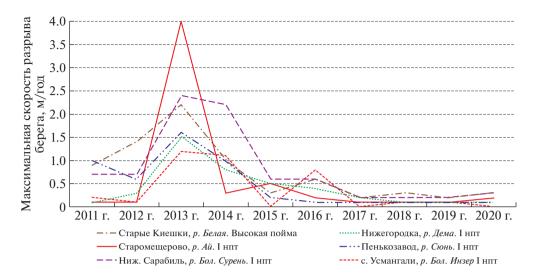


Рис. 3. Максимальные скорости размыва речных берегов на типичных наблюдательных участках, м/год. Примечание: нпт — надпойменная терраса.

размеров, которое сопровождалось содроганием грунта и излиянием из провала подземных вод [27].

Из фондовых и архивных источников автором собраны сведения по ~330 значительным (с поперечником и глубиной более 3 м) карстовым провалам, образовавшимся в регионе за последние 100 лет (1920—2020 гг.). Несомненно, что количество карстовых провалов в регионе значительно больше, но мелкие из них остались, по-видимому, не учтенными особенно вдали от населенных пунктов, тогда как крупные провалы редко остаются незамеченными местным населением. Согласно СП 115.13330.2016 [20], территории, на которых возникают карстовые провалы диаметром 3—20 м относятся к опасным, а диаметром более 20 м — к весьма опасным.

Собранные сведения по провалам с фиксированным временем образования систематизированы автором в базе данных, сформированной в ГИС "Панорама" [26], на основании которой произведена современная оценка развития карста.

Наиболее часто карстовые провалы возникали в Южном Предуралье и обусловлены развитием карста в нижнепермских гипсах кунгурского яруса. Ежегодно в регионе в районах развития сульфатного карста образуются 2—3 новых карстовых провала, а один раз в 3—5 лет возникают аномально крупные (поперечником до 40 м и глубиной до 20 м) [22]. В районах развития карбонатного и сульфатно-карбонатного карста современные провалы возникали относительно редко. С 1920 по 2020 гг. в районах развития этих типов карста возникло не более 20 значительных карстовых провалов поперечником до 12 м и глубиной до 6 м [26].

Наиболее полные сведения о карстовых провалах собраны автором с 2000 по 2020 гг. За этот

период достоверно установлено образование 34 относительно крупных карстовых провала в поперечнике более 3.0 м (до 40.0 м) и глубиной более 2.0 м (до 20.0 м). Все они возникли в Южном Предуралье и связаны с карстом в гипсах иренского горизонта кунгурского яруса. Наибольшее их количество образовалось в Уфе (12 шт.), где к природным факторам развития карста добавляются техногенные, главные из которых — утечки из водонесущих коммуникаций [35] (рис. 5).

Более половины карстовых провалов образовалось в долинах рек. Основная их часть (12 шт.) возникла в пределах вторых надпойменных террас р. Белая (левобережной) и р. Уфа (правобережной). Все они тяготеют к подножьям современных коренных склонов долин рек или к склонам предкинельских (ранний плейстоцен) палеодолин. На поймах и первых надпойменных террасах долин рек карстовые провалы образовывались значительно реже. Чаще всего они располагаются в тыловых их частях, характеризуются небольшими размерами в плане (не более 10.0 м) и незначительной глубиной (до 3.0 м). На вторых надпойменных террасах глубина чаше- и котлообразных провалов иногда достигает 10.0 м при поперечнике до 20.0 м. На склонах долин-дрен и водораздельных пространствах образовалось по 9 карстовых провалов. На первых они тяготеют к нижним или верхним их частям, а на вторых - к придолинным частям водораздельных пространств [26]. Приуроченность провалов к придолинным частям водораздельных пространств, связана с хорошо известной общей закономерностью усиления развития карста от "ядер" водораздельных пространств к речным долинам [32].

По количеству (15 шт.) и объему (81.7 тыс. м³) карстовые провалы наиболее часто образовыва-

40 СМИРНОВ

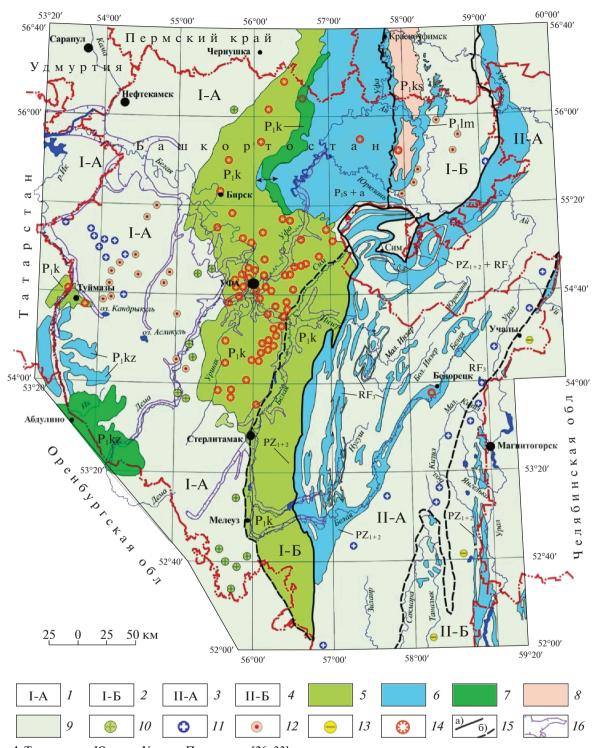


Рис. 4. Типы карста Южного Урала и Предуралья [26, 33] Условные обозначения: Карстовая страна Восточно-Европейской равнины (I): I-(I-A) равнинный карст в горизонтально и пологозалегающих породах Предуралья; 2-(I-B) равнинный и предгорный карст Предуралья в пологозалегающих и слабо дислоцированных породах. Уральская карстовая страна (II): 3-(II-A) горный и предгорный карст в дислоцированных и сильно дислоцированных образованиях Урала; 4-(II-B) равнинный карст в складчато-глыбовых отложениях Зауралья. Типы карста: 5- сульфатный в породах кунгурского яруса (P_1 k) нижней перми (I-A); 6- карбонатный в верхнепермских породах казанского (P_2 kz), уфимского (P_1 u) яруса и лемазинской свиты (P_1 lm) нижней перми (I-A), нижнего, среднего палеозоя (P_2 Lz) и верхнего рифея (P_3) (P_3

2022





Рис. 5. Техногенный провал над ливневым коллектором в Уфе, ул. Цюрупа, 38: а – общий вид провала, б – свод коллектора в борту провала. Дата образования 02.07.2021. Фото А.И. Смирнова.

лись в условиях закрытого (русского) типа карста, где красующиеся гипсы кунгурского яруса залегают под скальными и полускальными отложениями уфимского яруса с трешинной водопроницаемостью. Чуть реже они возникали в районах разперекрытого (подаллювиального камского) типа карста (14 шт. объемом 22.7 тыс. м³), в условиях перекрытия гипсов кунгура аллювиальными плейстоценовыми образованиями с поровой водопроницаемостью. Наименьшее же количество карстовых провалов произошло в условиях покрытия карстующихся гипсов суглинисто-глинистыми неоген-четвертичными слабоводопроницаемыми отложениями (2 шт. объемом 0.6 тыс. M^3) [26].

Обшим для всех современных карстовых провалов (в любых условиях их возникновения) является то, что они образовались на территориях с повышенной пораженностью поверхностными карстопроявлениями, что связано с унаследованностью их образования от развития карста в неоген-четвертичное время, как по территории, так и по направленности. Резко активизировавшись в предкинельское время (время заложения палеодолин рек), что обусловлено увеличением мощности дренированной карстующейся тощи, карст наиболее активно продолжает развиваться в тех же самых местах.

Еще одной общей особенностью образования современных карстовых провалов является их приуроченность к положительным неотектоническим поднятиям, на что указывал еще в конце 1970-х гг. В.Г. Вахрушев [1]. Так, в 2000–2020 гг. наиболее крупные провалы возникли в пределах Рязано-Охлебининского вала на Уршак-Бельском и Уфа-Симском междуречьях, для которого характеры наивысшие скорости подъема современных тектонических движений в Предуралье [22].

Среднее значение образования крупных провалов в 2000-2020 гг. в регионе составило 1.7 провала в год. В последнее десятилетие отмечается общее увеличение образования крупных карстовых провалов с 0.7 провала в год в 2000—2010 гг. до 2.7 провала в год в 2011—2020 гг., а наибольшая частота образования провалов (6 шт.) отмечена в 2016 г., с максимальным их объемом 69.7 тыс. м³ при среднем значении за 20 лет — 6.3 тыс. м³. Причины резкой активизации развития карста в 2016 г. достоверно не установлены, прямой связи ее с метеофакторами не прослеживается.

Согласно СП 115.13330.2016 [20], активность развития карста в 2000-2010 гг. можно оценить, как слабую, в 2011-2020 гг. - как высокую, а в 2016 г. — как очень высокую.

ОПОЛЗНЕВОЙ ПРОЦЕСС

Оползневой процесс в рассматриваемом регионе пользуется относительно ограниченным распространением, хотя его воздействие на объекты экономики не менее ощутимо, чем от других проявлений ЭкГП. Так, из-за развития в апреле 2007 г. оползневых смещений объемом около 50 тыс. м³ на правом склоне долины р. Стерля в г. Стерлитамак, 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 [5]. В результате активное развитие оползневого процесса приостановилось.

По механизму образования [13] оползневые смещения в рассматриваемом регионе представлены оползнями сдвига, оползнями скольжения и оползнями потоками. По строению [18] 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 холмистоувалистой равнине (см. рис. 2). На остальной территории они встречаются крайне редко. Предкинельский врез (глубиной до 200 м) в раннем плиоцене создал благоприятные условия для развития оползней на крутых склонах палеодолин, где они в то время были распространены очень широко. Позже, в крупных долинах рек сползшие в их днища оползневые тела были либо уничтожены речными водами, либо были погребены под плиоцен-четвертичными отложениями. Вследствие этого в современном рельефе древние оползни фиксируются только в верхних течениях рек, а в нижних – сохранились лишь их цирки.

На Бугульмино-Белебеевской возвышенности древние оползневые смещения приурочены к терригенным отложениям казанского яруса (P_2 kz). По форме они обычно циркообразные одноярусные. Размеры их достигают $100-250\,\mathrm{M}$ по фронту при ширине захвата склона $20-50\,\mathrm{M}$ и амплитуде смещения $20-40\,\mathrm{M}$. На Прибельской холмисто-увалистой равнине они распространены значительно в меньшей степени, что связано с ее меньшей энергией рельефа. Приурочены они к толщам переслаивания уфимских песчаников и аргиллитов (P_1 u). Размеры их не превышают $80-120\,\mathrm{M}$ по фронту и $20-30\,\mathrm{M}$ по ширине захвата, при амплитуде смещения до $10-15\,\mathrm{M}$.

Древние оползневые смещения в настоящее время являются, в основном, стабилизировавшимися. Активизация их наблюдается только на участках, где нарушается состояние равновесия древних оползневых смещений техногенезом (преимущественно подрезкой склонов).

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 10 м. У вторых соответственно: 10-15 (иногда до 150) м, 5-15 (редко до 100) м и 1-3 (до 7) м.

Повсеместно преобладают оползни-потоки в виде оплывин, развитие которых связано с раз-

жижением суглинисто-глинистых плиоценовых и четвертичных пород в период их весенне-осеннего увлажнения территории.

В зоне возможного отрицательного воздействия оползневого процесса находятся около 20 населенных пунктов Башкортостана, что составляет всего 0.4% от всех населенных пунктов республики.

По собранным автором сведениям с 2000 г. в рассматриваемом регионе зафиксировано образование 10 значительных (длиной по фронту более 50 м и амплитудой смещения более 2 м) новых оползневых смещений, угрожающих объектам экономики или оказавших на них отрицательное воздействие.

В последние 20 лет самый значительный оползень образовался в апреле 2000 г. в Иглинском районе на юго-западной окраине д. Шакша (Прибельская пологоволнистая равнина). В геоморфологическом отношении он возник на крутом (до 15°–20°) эрозионном уступе высотой 15—18 м, образованном безымянным ручьем в тыловой части ІІІ надпойменной террасы долины р. Уфа. Оползанию подверглись среднеплейстоценовые аллювиальные суглинки и глины. Длина оползня по фронту составила 250 м, ширина захвата 20—75 м и амплитуда смещения — 0.3—3.0 м [26]. По механизму образования это оползень сдвига, по структуре — асеквентный.

В середине 2000-х гг. в д. Хрусталево Альшеевского муниципального района РБ на правом крутом (до 30°) склоне долины р. Курсак (Бугульминско-Белебеевская возвышенность) в элювиально-делювиальных четвертичных отложениях. представленных песчано-глинистыми отложениями со щебнем и обломками коренных пород (песчаники, известняки, мергели), зафиксировано образование двух оползней-потока. Их параметры: первого — длина по фронту 100 м, ширина захвата -70 м, амплитуда смещения -2.5 м, объем — около 17.5 тыс. M^3 ; второго — 160 м, 80—100 м, 3-4 м и 48 тыс. M^3 соответственно. В зоне возможного воздействия оползневого процесса оказались 5 жилых домов, располагающихся в 5-10 м от вершины оползня. В настоящее время оползень в стабильном состоянии и угрозы хозяйственным объектам не представляет.

В последнее десятилетие оползневые смещения возникали в виде оплывин в 2013, 2017 и 2019 гг. в г. Уфа и его окрестностях. Установлено [14], что их образование в 2013 г. связано с незарегулированным поверхностным стоком территории в год с повышенной увлажненностью территории. Образование же оползней в 2017, 2019 и 2020 гг. в городе и его окрестностях вызвано искусственной подрезкой склонов (рис. 6).





Рис. 6. Общий вид оползня (а) с подпорной стенкой в борту котлована (б) в Уфе (ул. Коммунистическая, д. 106). Дата образования 03.12.2019. Фото А. И. Смирнова.

На остальной территории региона оползни, отрицательно воздействующие на объекты экономики в 2000—2020 гг., не фиксировались.

Таким образом, современную активность развития оползневого процесса в целом по региону можно оценить, как слабую, с наибольшей активностью его развития на урбанизированных территориях, обусловленную техногенезом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всех ОГП самым распространенным видом на территории РБ является боковая эрозия рек, которая в количественном отношении оказывает наибольшее воздействие на населенные пункты республики. В многолетнем разрезе активность ее развития в последнее десятилетие по всей территории рассматриваемого региона оценивается как слабая (скорость размыва до 0.5 м в год) и средняя (0.5—1.0 м/год) при наибольшей активности в Предуралье. Высокие скорости размыва берегов (1.1—3.0 м/год) зафиксированы в 2012—2014 и 2017 гг., отличавшиеся в ряду наблюдений наибольшей многоволностью.

Если подмыв и разрушение берегов рек прогнозируемы в пространстве, а при наличии прогноза гидрометеофакторов, и во времени, что позволяет заблаговременно осуществлять берегоукрепительные мероприятия, то современные проявления карстового процесса на поверхности во времени неожиданные и не предсказуемы, поэтому карст — самый опасный вид ОГП в регионе. Наивысшая активность его развития характерна для Предуралья в районах распространения сульфатного карста. Современная активность его развития в последние 20 лет, определенная по частоте образования карстовых провалов, в целом по рассматриваемому региону оценивается в образовании 1.7 свежих крупных провала в год. В 2011—

2020 гг. она была выше среднемноголетней при аномально высокой активности провалообразования в 2016 г.

Оползневой процесс на территории РБ развит локально. Активность его развития слабая и наряду с гидрометеофакторами обусловлена в основном техногенезом.

Полученные сведения по активности развития карста и оползневого процесса являются ориентировочными, поскольку достоверные данные о скорости их развития могут быть получены только на основе ведения мониторинга этих видов ЭкГП, который в настоящее время в регионе не организован. Наряду с осуществлением мониторинга ОГП, задачей их дальнейшего изучения является геолого-экономическая оценка воздействия отдельных их видов на объекты экономики, что позволит более реально обосновывать затраты на исследования ОГП и борьбу с ними.

Исследование выполнено в рамках государственной бюджетной темы № FMRS-2022-0010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Вахрушев Г.В. Неотектоника и современные карстовые провалы в Западной Башкирии // Матер. по геоморфологии и новейшей тектонике Урала и Поволжья. Уфа: БФАН СССР, 1969. № 2. С. 128—137.
- 2. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2010 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2011. 343 с.
- 3. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2011 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2012. 367 с.

- 4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2012 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2013. 319 с.
- 5. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2013 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2014. 336 с.
- 6. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2014 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2015. 325 с.
- 7. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2015 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2016. 309 с.
- 8. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2016 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2017. 314 с.
- 9. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2017 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2018. 329 с.
- Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2018 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2019. 275 с.
- 11. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2019 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2020. 286 с.
- 12. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2020 году. Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2021. 287 с.
- 13. Закономерности оползневого процесса на европейской территории СССР и его региональный прогноз. М.: Недра, 1980. 213 с.
- 14. *Камалов В.Г., Барышников В.И.* Опасные геологические процессы на территории Уфимского "полуострова" (Инженерная геодинамика). Уфа: Информреклама, 2019. 216 с.
- Мартин В.И., Травкин А.И. Анализ причин аварийных ситуаций (отказов оснований) с сооружениями, возведенными на закарстованных территориях г. Уфы // Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. С. 216—226.
- 16. Методические рекомендации по проведению специального инженерно-геологического обследования территории: М.: ВСЕГИНГЕО, 1981. 64 с.

- 17. *Рождественский А.П.* Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. 286 с.
- 18. *Саваренский Ф.П.* Инженерная геология. Изд. 2-е, перераб. М.: Л.: ГОНТИ, 1939. 486 с.
- 19. Свод правил СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81. М.: Стандартинформ, 2018. 115 с.
- 20. Свод правил СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СНиП 22-01-95. М.: Стандартинформ. Издание официальное, 2018. 31 с.
- 21. *Смирнов А.И*. Стационарные наблюдения за карстопроявлениями на Уфимском карстовом косогоре // Инженерная геология. 1992. № 2. С. 50—56.
- 22. *Смирнов А.И*. Аномально крупные карстовые провалы Южного Урала и Предуралья // Геологический сборник ИГ УНЦ РАН. 2013. № 10. Уфа: ДизайнПресс, С. 50–56.
- Смирнов А.И. Генетические типы и формы рельефа. Атлас Республики Башкортостан. Уфа: Китап, 2005. 65 с.
- 24. *Смирнов А.И.* Открытый сульфатный карст Южного Предуралья // Геологический сборник ИГ УНЦ РАН. 2014. № 11. С. 243—248.
- 25. Смирнов А.И. Опасные геологические процессы Южного Урала и Предуралья // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (ГЕОРИСК-2015): матер. 9-й междунар. на-учно-практ. конф. М.: РУДН, 2015. С. 380—386.
- 26. *Смирнов А.И.* Современные карстовые провалы на территории Южного Урала и Предуралья (в границах Республики Башкортостан) // Инженерная геология. 2020. Т. XV. № 4. С. 42–53. https://doi.org/10.25296/1993-5056-2020-15-4-42-53
- 27. *Смирнов А.И.* Чрезвычайные ситуации, вызванные карстом на Южном Урале и в Предуралье // Вестник Академии Наук РБ. 2020. Т. 37. № 4 (100). 2020. С. 29—39. https://doi.org/10.24411/1728-5283-2020-1040
- 28. *Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф., Дурнаева В.Н.* Пораженность рельефа Южного Предуралья формами сульфатного карста // Геоморфология. 2020. № 2. С. 74—84. https://doi.org/10.31857/S0435428120020078
- 29. *Смирнов А.И.*, *Бакиева А.Р*. Карта карста Уфимского плато (в границах Республики Башкортостан) // Геологический вестник. 2020. № 3. С. 123—136. https://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-3-10
- 30. Смирнов А.И., Соколов Ю.В. Ишеевский участок уникальный карстово-спелеологический объект Южного Предуралья // Известия Русского географического общества. 2021. Т. 153. № 3. С. 63—75. https://doi.org/10.31857/S086960712103006X
- 31. *Смирнов А.И., Ткачев В.Ф.* Инженерно-геологические условия строительства // Атлас Республики Башкортостан. Уфа: Китап, 2005. С. 66–68.
- 32. *Соколов Д.С.* Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 322 с.
- 33. Шеко А.И., Лехатинов А.М., Максимов М.М. Количественная оценка интенсивности проявления экзогенных геологических процессов при инженер-

- но-геологической съемке // Тр. ВСЕГИНГЕО. Вып. 3. 1971, C. 89–95.
- 34. Smirnov A.I. Clastocarst of the southern Cis-Urals // Proc. of the Int. Conf. "Science and innovations 2021: development directions and priorities", September 29, 2021. Melbourne, Australia). P. 179–187. https://doi.org/10.34660/INF.2021.29.35.016.
- 35. Smirnov A.I. Conditions and factors for karst development in the Southern Urals and Cis-Urals // Proc. of the Int. Conf. "Process Management and Scientific Developments". Birmingham, United Kingdom, October 13, 2021. Part 1. P. 133–143. https://doi.org/10.34660/INF.2021.49.94.022.

TYPES AND CURRENT ACTIVITY IN DEVELOPMENT OF HAZARDOUS GEOLOGICAL PROCESSES IN THE SOUTHERN URALS AND CISURALS

A. I. Smirnov^{a,#}

^a Institute of Geology, Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Karla Marksa, 16/2, Ufa, 450077 Russia
*E-mail: smalil@mail.ru

Hazardous geological processes are those that negatively affect or may potentially affect economic facilities, cause emergency situations and circumstances that adversely affect human life. The most widespread and hazardous types of exogenous geological processes in the region are lateral erosion of rivers, karst and landslides. The greatest impact on economic facilities is exerted by river lateral erosion in the form of bank erosion, which is recorded in every seventh settlement of the region. Surface manifestations of the karst process were recorded in 7% of settlements in the region, and landslide displacements – in 0.4%. Hazardous geological processes of exogenous genesis are most widespread in the plains of the Urals. For each of them, an assessment was made of the current activity of their development for the period 2000–2020. For river erosion of rivers, it was determined on the basis of aerial and satellite images at different times and on the basis of monitoring the state of river banks at 29 observation sites with different natural conditions. The rate of coastal erosion in the region as a whole is estimated as weak (with a rate of erosion of up to 0.5 m per year) and average (0.5–1.0 m/year), with the highest activity in the CisUrals and foothills of the Southern Urals. High rates of coastal erosion (1.1–3.0 m/year) were recorded in 2012–2014 and 2017, differing in the series of observations by increased water content. The current activity of karst and landslides was assessed by the frequency of the formation of new large karst sinkholes and significant new landslide displacements (with a front length of more than 50 m and a displacement amplitude of more than 5 m). Average activity of sinkhole formation was 1.7 sinkholes per year in 2000–2020 and was associated with karst in gypsum of the Kungurian stage of the lower section of the Permian system. An increase in the karst sinkhole formation frequencys was established from 0.7 in 2000–2010 up to 2.7 sinkhole per year in 2011–2020. The highest frequency of sinkhole formation was recorded in 2016 in the Cis-Urals on the territory of urban agglomerations, where anthropogenic factors (mainly leaks from water-bearing communications), are added to the natural factors of karst development. The activity of the development of the landslide process in the region as a whole is weak and most often, along with meteorological factors, is due to technogenesis, i.e., artificial cutting of slopes.

Keywords: lateral erosion of rivers, karst, landslide process, development activity, South Urals, Cis-Urals, Republic of Bashkortostan

REFERENCES

- 1. Vakhrushev, G.V. *Neotektonika i sovremennye karstovye provably v Zapadnoi Bashkirii* [Neotectonics and modern karst sinkholes in Western Bashkiria]. Materialy po geomorfologii i noveishej tektonike Urala i Povolzh'ya [Materials on geomorphology and modern tectonics of the Urals and the Volga region]. Ufa, BFAN SSSR, 1969, no. 2, pp. 128–137. (in Russian)
- Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2010 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2011, 343 p. (in Russian)
- Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2011 godu

- [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2012. 367 p. (in Russian)
- 4. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2012 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2013, 319 p. (in Russian)
- 5. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2013 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2014, 336 p. (in Russian)

- 6. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2014 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2015, 325 p. (in Russian)
- 7. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2015 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2016, 309 p. (in Russian)
- 8. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2016 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2016, 314 p. (in Russian)
- 9. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2017 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2018, 329 p. (in Russian)
- Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2018 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2019, 275 p. (in Russian)
- 11. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2019 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2020, 286 p. (in Russian)
- 12. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan v 2020 godu [State report on the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan]. Ufa, Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii Respubliki Bashkortostan, 2021, 287 p. (in Russian)
- 13. Zakonomernosti opolznevogo protsessa na evropeiskoi territorii SSSR i ego regional'nyi prognoz [Regularities of the landslide process in the European territory of the USSR and its regional forecast]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 213 p. (in Russian)
- 14. Kamalov, V.G., Baryshnikov, V.I. *Inzhenernaya geodinamika territorii Ufimskogo "poluostrova"* [Engineering geodynamics of the territory of the Ufa "peninsula"]. Ufa, Inforeklama Publ., 2019, 216 p. (in Russian)
- 15. Martin, V.I., Travkin, A.I. *Analiz prichin avariinykh situatsii (otkazov osnovanii) s sooruzheniyami, vozvedennymi na zakarstovannykh territoriyakh g. Ufy* [Analysis of the causes of emergencies (base failures) with structures erected on the karst territories of Ufa]. Karst of Bashkortostan. Ufa, Inforeklama Publ., 2002. pp. 216–226. (in Russian)
- 16. Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu spetsial'nogo inzhenerno-geologicheskogo obsledovaniya territorii [Methodical recommendations for carrying out a special engineering and geological survey of the territory]. Moscow, VSEGINGEO Publ., 1981, 64 p. (in Russian)

- 17. Rozhdestvenskii, A.P. *Noveishaya tektonika i razvitie rel'efa Yuzhnogo Priural'ya* [The newest tectonics and development of the relief of the Southern CisUrals]. Moscow, Nauka Publ., 1971, 286 p. (in Russian)
- 18. Savarenskii, F.P. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology]. Moscow, St. Petersburg, GONTI Publ., 1939, 486 p. (in Russian)
- 19. Svod pravil SP 14.13330.2018. Stroitel'stvo v seismicheskikh raionakh [Aktualizirovannaja redakcija SNiP II-7-81]. [The set of rules SP 14.13330.2014. Construction in seismic areas]. Moscow: Standartinform, Official edition, 2018, 115 p. (in Russian)
- 20. Svod pravil SP 115.13330.2016. Geofizika opasnykh prirodnykh vozdeistvii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 22-01-95 [Code of rules SP 115.13330.2016. Geophysics of Hazardous Natural Impacts. Updated edition of SNiP 22-01-95]. Moscow, Standartinform Publ., 2018, 31 p. (in Russian)
- 21. Smirnov, A.I. Statsionarnye nablyudeniya za karsto-proyavleniyami na Ufimskom karstovom kosogore [Stationary observations of karst occurrences at the Ufa karst slope]. Inzhenernaya gelogiya. 1992, no. 2, pp. 50–56 (in Russian)
- 22. Smirnov, A.I. *Anomal'no krupnye karstovye provaly Yuzhnogo Urala i Predural'ya* [Abnormally large karst failures of the Southern Urals and Cis-Urals]. Geologicheskii sbornik IG UNTs RAS, Ufa, 2013, pp. 50–56. (in Russian)
- 23. Smirnov, A.I. *Geneticheskie tipy i formy rel'efa* [Genetic types and landforms]. Atlas of the Republic of Bashkortostan. Ufa: Government of the Republic of Bashkortostan, 2005, 65 p. (in Russian)
- 24. Smirnov, A.I. *Otkrytyi sul'fatnyi karst Yuzhnogo Predural'ya* [Open sulfate karst of the Southern Urals]. Geologicheskii sbornik IG UNTs RAS, Ufa, 2014, no. 11. pp. 243–248. (in Russian)
- 25. Smirnov, A.I. *Opasnye geologicheskie protsessy Yuzhno-go Urala i Predural'ya* [Hazardous geological processes in the Southern Urals and the Cis-Urals]. Materialy 9-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: Analiz, prognoz i upravlenie prirodnymi riskami v sovremennom mire (GEORISK-2015). Moscow: Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology, 2015, pp. 380–386. (in Russian)
- 26. Smirnov, A.I. Sovremennye karstovye provaly na territorii Yuzhnogo Urala i Predural'ya (v granitsakh Respubliki Bashkortostan) [Modern karst sinkholes in the Southern Urals and Cis-Urals (within the borders of the Republic of Bashkortostan)]. Engineering Geology, 2020, vol. 15, no. 4. pp. 42–53. (in Russian)
- 27. Smirnov, A.I. *Chrezvychainye situatsii, vyzvannye karstom na Yuzhnom Urale i v Predural'e* [Karst-induced emergency situations in the Southern Urals and the Cis-Urals]. Vestnik Akademii nauk RB, 2020, vol. 37, no. 4 (100), pp. 29–39. (in Russian)
- 28. Smirnov, A.I., Abdrakhmanov, R.F., Durnaeva, V.N. *Porazhennost' rel'efa Yuzhnogo Predural'ya formami sul'fatnogo karsta* [Sulfate karst landforms in the Southern CisUrals]. Geomorfologiya, 2020, no. 2, pp. 74–84. (in Russian)

- 29. Smirnov, A.I., Bakieva, A.R. *Karta karsta Ufimskogo plato (v granitsakh Respubliki Bashkortostan)* [Karst map of the Ufa plateau (within the boundaries of the Republic of Bashkortostan)]. Geologicheskii vestnik, 2020, no. 3, pp. 123–136. (in Russian)
- 30. Smirnov, A.I., Sokolov, Yu.V. *Isheevskii uchastok unikal'nyi karstovo-speleologicheskii ob'ekt Yuzhnogo Predural'ya* [Isheevskii site as a unique karstic speleological object in the Southern CisUrals]. Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva, 2021, vol. 153, no. 3, pp. 63–75. (in Russian)
- 31. Smirnov, A.I., Tkachev, V.F. *Inzhenerno-geologicheskie usloviya stroitel'stva* [Engineering geological conditions of construction]. Atlas of the Republic of Bashkortostan. Ufa, Government of the Republic of Bashkortostan, 2005, pp. 66–68. (in Russian)
- 32. Sokolov, D.S. *Osnovnye usloviya razvitiya karsta* [Basic conditions for the development of karst]. Moscow, Gosgeoltehizdat Publ., 1962, 322 p. (in Russian)

- 33. Sheko, A.I., Lekhatinov, A.M., Maksimov, M.M. Kolichestvennaya otsenka intensivnosti proyavleniya ekzogennykh geologicheskikh protsessov pri inzhenerno-geologicheskoi s'emke [Quantitative assessment of the intensity of manifestation of exogenous geological processes during engineering-geological survey]. Trudy VSEGINGEO, Moscow, VSEGINGEO Publ. 1971, issue, pp. 89–95. (in Russian)
- 34. Smirnov, A.I. Clastokarst of the southern Cis-Urals. Proc. of the International Conference "Science and innovations 2021: development directions and priorities", September 29, 2021. Melbourne, Australia). pp. 179–187. https://doi.org/10.34660/INF.2021.29.35.016.
- 35. Smirnov, A.I. Conditions and factors for karst development in the Southern Urals and Cis-Urals. Proc. of the International Conference "Process Management and Scientific Developments". Birmingham, United Kingdom, October 13, 2021. Part 1. pp. 133–143. https://doi.org/10.34660/INF.2021.49.94.022.