

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



Зеркаль Олег Владимирович

ПРИРОДА ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ И
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАЗВИТИЯ

Специальность 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва - 2025

Диссертация подготовлена на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

Официальные оппоненты - **Захаров Владимир Сергеевич**,
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова», геологический факультет,
кафедра динамической геологии, профессор
Строкова Людмила Александровна,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», Инженерная
школа природных ресурсов, отделение геологии,
профессор
Шашкин Алексей Георгиевич,
доктор геолого-минералогических наук,
ООО «Институт строительного проектирования
“Геореконструкция”», генеральный директор

Защита диссертации состоится 18 апреля 2025 года в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.1 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119234, РФ, Москва, Ленинские горы, д. 1, главное здание МГУ, корпус «А», геологический факультет, аудитория 415.

E-mail: mgu.04.01@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3327>

Автореферат разослан 12 февраля 2025 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор геолого-минералогических наук, доцент



Н.А.Харитоновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Важнейшей фундаментальной задачей инженерной геодинамики, как одного из направлений инженерной геологии, является разработка учения о закономерностях формирования и развития геологических и инженерно-геологических процессов.

Оползневые процессы относятся к наиболее опасным геологическим процессам, нередко сопровождаются жертвами и экономическими потерями. Уже в нынешнем тысячелетии (с 2004 г. по 2016 г.) произошедшие в мире свыше 4800 несейсмогенных оползней являлись причинами гибели порядка 56 тыс. человек (по обобщенным данным M.J. Froude и D.N. Petley (2018)). К значительным человеческим жертвам и существенному экономическому ущербу привели сейсмогенные оползни при Кашмирском землетрясении (Пакистан, Индия, 2005 г.), Венчуаньском землетрясении (Китай, 2008 г.), а также при землетрясениях в 2015 г. в Непале и в 2023 г. в Турции. Поэтому изучение, анализ, оценка развития оползневых процессов являются одной из основных, самостоятельных задач инженерной геодинамики, как одного из направлений инженерной геологии.

Знания о закономерностях развития оползневых процессов, понимание их динамики во времени и в пространстве способствуют решению широкого спектра фундаментальных геологических проблем, в том числе затрагивающих вопросы образования, накопления и эволюции осадков на склонах и прилегающих областях как в морских, так и в континентальных условиях, механизмов формирования гравитационно перемещенных толщ в пределах тектонически активных областей, роли оползневых процессов в формировании геологического строения горно-складчатых регионов. Изучение подобных явлений имеет важнейшее значение для обеспечения безопасности людей, устойчивого развития территорий, подверженных активному воздействию оползневых процессов. Однако, несмотря на более чем двухсотлетнюю историю таких исследований, многие вопросы, решение которых необходимо для оценки геологических опасностей, обусловленных развитием и воздействием оползней на хозяйственные объекты, их влияния на инженерно-геологические условия территорий, все еще остаются далеки от окончательного разрешения.

Актуальность настоящей работы обусловлена необходимостью дальнейшего развития и совершенствования научно-методических подходов к изучению и анализу развития оползневых процессов, а также определяется значимостью оценки закономерностей формирования и распространения оползней при рассмотрении роли опасных геологических процессов в формировании современных инженерно-геологических условий.

Степень разработанности. В настоящее время оползневедение следует рассматривать как одно из направлений в составе инженерной геодинамики, как одной из

составляющих инженерной геологии, включающей весь круг вопросов, связанных с изучением оползневых и других геологических склоновых процессов.

К настоящему времени накоплен значительный объем данных о развитии оползневых процессов различных типов для множества регионов, существенно различающихся по природным условиям и особенностям хозяйственного освоения. Начиная со второй половины XIX в. вышло более десяти тысяч отечественных публикаций и несколько сот тысяч зарубежных научных работ, рассматривающих особенности развития отдельных оползней или их групп, посвященных анализу и оценке развития оползневых процессов как на отдельных территориях, так и в пределах крупных регионов, направленных на изучение различных аспектов развития оползней и методов их изучения, обоснования способов инженерной защиты. Вместе с тем, среди публикаций практически отсутствуют обобщающие работы, в которых были бы проанализированы и сформулированы общие закономерности формирования и развития оползней, было бы выявлено влияние комплекса инженерно-геологических условий на активность оползневых процессов.

В диссертационной работе на основе обобщения частных закономерностей, полученных при изучении оползневых процессов в отдельных регионах с различными природными условиями, установлены общие закономерности развития оползневых процессов.

Цель работы заключается в развитии теоретических основ изучения оползневых процессов, выявлении локальных и региональных закономерностей формирования и распространения оползней.

Основные задачи:

1. Рассмотрение, анализ и обобщение существующих воззрений на содержание, понимание, трактовку терминов "оползневой процесс" и "оползень". Анализ основных теоретических положений изучения закономерностей развития и распространения оползневых и других склоновых процессов.

2. Анализ и оценка роли геологической истории развития территории в образовании оползней.

3. Оценка и анализ региональных закономерностей развития оползневых процессов.

4. Рассмотрение, анализ и оценка влияния эндогенных геологических процессов на оползнеобразование.

5. Оценка роли зональных геологические факторов в современной активности развития оползневых процессов.

6. Рассмотрение влияния техногенных факторов на развитие оползневых процессов.

Объект и предмет исследований. Объектом изучения рассматриваются оползневые

процессы и их проявления. Предметом изучения выступают особенности и закономерности распространения, развития (активность, интенсивность) оползневых процессов и их проявлений.

Фактический материал. В диссертационной работе изложены результаты многолетних научно-теоретических и прикладных исследований (1987-2023 г.г.), проводившихся автором. Выполненная работа опирается на материалы, собранные автором в ходе выполнения региональных работ по научно-исследовательским и геологосъемочным тематикам, проводившихся в различных регионах Российской Федерации (о. Сахалин, Западная Сибирь, Северное Приазовье, Северный Кавказ, Центрально-Европейский регион, Крым и др.), а также Центральной Азии, основывается на методических наработках автора, выполненных в рамках ведения мониторинга опасных геологических процессов, а также данных, полученных автором при инженерных изысканиях на участках строительства ряда объектов (Загорской ГАЭС, объектов горного кластера XXII Зимней Олимпиады в г. Сочи (район Красной Поляны), объектов транспортной инфраструктуры на Северном Кавказе и Дальнем Востоке, участках развития оползней в г. Москве, г. Сочи и других городах).

Начиная со второй половины 90-х годов прошлого столетия, автор принимал участие в ряде международных научных проектов, в частности: в проекте Рабочей группы по окружающей среде Российско-Американской комиссии по экономическому и технологическому сотрудничеству («Экологические последствия землетрясения в г. Нефтегорске, май 1995 г.», 1996), в проекте Международной программы по геологической корреляции (IGCP-425 «Оценка и управление оползневой опасностью для участков высокой культурной и социальной значимости», 1998-1999), в проекте Программы развития ООН по Управлению риском стихийных бедствий («Разработка методологии оценки риска стихийных бедствий на территории Республики Таджикистан», 2009-2011), в проектах Международной программы по изучению оползней, реализуемой при поддержке Международного оползневого консорциума и ЮНЕСКО (IPL-169 «Оценка оползневой опасности и риска в Долине Гейзеров (Камчатка)», 2011-2012; IPL-215 «Влияние палеоползней на современную устойчивость склонов», 2017-2018). Материалы, собранные в ходе этих исследований, также использовались при работе над диссертацией.

В диссертационной работе выполнено обобщение обширного объема опубликованных данных о развитии оползневых процессов, условий их формирования и активизации, а также материалов, представленных в Государственных докладах о состоянии окружающей природной среды по территориям субъектов Российской Федерации, в Информационных бюллетенях и Информационных сводках государственного мониторинга состояния недр.

Личный вклад автора заключается в формулировании и обосновании научной

проблемы, постановке цели и конкретных задач исследований, их решении, в участии на всех этапах проводимых исследований, включая полевые работы, направленные на сбор первичных данных, тематическую обработку и интерпретацию данных дистанционного зондирования, обработку, анализ и обобщение материалов, в результате которых был получен значительный объем новой инженерно-геологической информации, а также выявлены закономерности распространения и развития оползневых процессов, представляемые в работе.

Автор лично участвовал в сборе, анализе, интерпретации, обобщении представленных в диссертации материалов, описывающих проявления оползневых процессов, признаки, характеризующие факторы развития и активизации оползней. Приведенные практические примеры основаны на работах, выполненных автором в период с 1987 г. по 2023 г. В рамках проведенных исследований автор интерпретировал полученные результаты, проводил их анализ и обобщение, делал выводы. Автор принимал активное участие в создании представленных инженерно-геологических ГИС-приложений и лично проводил пространственный анализ данных и осуществлял построение тематических картографических материалов.

Научная новизна

1. Показана полисемантическая понятийного аппарата оползневедения, обусловленная различными подходами к изучению оползневых и других геологических склоновых процессов. Сформулировано представление о специфических механизмах смещения оползневых масс, существующих наряду с основными механизмами, и являющихся составной частью комбинации реальных механизмов перемещения масс при оползнеобразовании.

2. Сделан вывод о том, что в теоретическом плане «оползень» следует понимать как геологическое тело, имеющее естественно-историческую природу, а собственно оползневые смещения представляют собой результат, как правило, длительного геологического развития территории.

3. Проведено выделение участков разновременного повторного развития оползневых процессов (участков типа "палимпсест"¹). Показано, что для участков типа "палимпсест" характерна ре-активизация деформаций в современных инженерно-геологических условиях, в то время как формирование и начальное развитие оползневых смещений происходило в иных, в настоящее время не существующих инженерно-геологических условиях.

4. Получены формы количественных зависимостей встречаемости оползней от их

¹ Термин "палимпсест" (греч. - παλιμψηστος) наследуется из исторических наук. В диссертационной работе термин "палимпсест" характеризует наложение последовательных событий, материальные следы которых частично уничтожаются или перерабатываются при наложении. Детально рассмотрено в главе 3.

объема.

5. Показано, что в зонах взаимодействия жестких блоков земной коры ("диффузных границах тектонических плит") и на территориях интенсивного высвобождения эндогенной энергии, представляющих собой региональные пояса и территории со сложными инженерно-геологическими условиями и обстановками, локализуются области и отдельные ареалы массового активного развития оползневых процессов.

6. Показано, что области массового развития оползней на территории Российской Федерации характеризуются приуроченностью к "диффузным границам тектонических плит". Отмечено, что в пределах внутриплитных областей интенсивность развития оползней на территории Российской Федерации определяется особенностями современного рельефа и историей его формирования (как медленно изменяющегося фактора оползнеобразования).

7. Показан кумулятивный эффект, возникающий при совместном активном влиянии региональных геологических (медленно изменяющихся) и зональных геологических (быстро изменяющихся) факторов. В качестве триггера (непосредственной причиной развития оползневых процессов) могут выступать как природные факторы, так и техногенное воздействие (на территориях интенсивного освоения), действующие либо отдельно, либо совместно.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, развивают теоретическую базу учения о закономерностях развития и распространения оползневых и других склоновых процессов.

Вопросы обеспечения безопасности и сохранения устойчивого развития объектов и территорий с учетом осуществляемой и планируемой инженерно-хозяйственной деятельности человека, происходящей в условиях изменения климата, нередко сопровождающейся интенсивным развитием опасных геологических процессов, включая оползневые процессы, в настоящее время являются наиболее острыми в практических приложениях инженерной геологии в целом, и инженерной геодинамики, в частности. Полученные результаты диссертационного исследования, выявленные закономерности, позволяют решать теоретические, специальные научные и конкретные практические задачи по анализу, оценке и прогнозированию развития оползневых и других геологических склоновых процессов в природных условиях, а на территориях интенсивного освоения – с учетом характера техногенного воздействия.

Результаты проведенного диссертационного исследования внедрены в практику учебного процесса на кафедре инженерной и экологической геологии Геологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова (курс «Вопросы картирования и прогнозирования опасных геологических процессов», читаемый,

начиная с 2016 г., курс «Геологическое обоснование инженерной защиты территорий и сооружений», читаемый, начиная с 2022 г.). Также получены (в соавторстве) Патент на полезную модель №35452 «Система мониторинга состояния недр» (зарегистр. 10.01.2004 г.), Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2003611398 «Программно-аналитический комплекс по анализу и дешифрированию материалов дистанционного зондирования Земли при ведении мониторинга опасных геологических процессов "GeoSpace" (АРМ "GeoSpace")» (зарегистр. 09.07.2003 г.) и Свидетельство о регистрации базы данных №2004620277 «База данных "Учет проявлений экзогенных геологических процессов в составе информационно-аналитической системы государственного мониторинга состояния недр" (БД "Учет проявлений ЭГП в составе ИАС ГМСН")» (зарегистр. 03.12.2004 г.).

Методология и методы исследования. В основе проведенных исследований лежат основные методологические подходы, используемые в науках геологического цикла, - естественно-исторический и сравнительно-геологический подходы. Выполненная работа опирается на основной принцип инженерной геодинамики, как одного из направлений инженерной геологии как науки, - положение о зависимости условий развития и активизации оползневых процессов от совокупности природных (региональных и зональных геологических) и техногенных факторов.

Порядок проводимых исследований, в целом, являлся стандартным для изучения геологических объектов и процессов. Он включал: тематическое дешифрирование данных дистанционного зондирования, полевые наблюдения с фиксацией первичных данных → камеральную обработку полученных данных, в т.ч. создание баз данных и ГИС-проектов, целевую обработку, анализ и синтез информации, нацеленных на выявление частных и общих, в т.ч. региональных, закономерностей → осмысление и обобщение полученной информации. Таким образом, при решении поставленных задач в работе широко использовался метод сопоставления теоретических, полевых и экспериментальных (в т.ч. полученных при пространственном анализе) данных.

Положения, выносимые на защиту:

1. Изучение особенностей образования и смещения оползней должно основываться на естественно-историческом подходе с анализом всей геологической истории развития территории с выделением как фазы образования и трансформации массивов горных пород и фазы расчленения их поверхности, сопровождающейся формированием склонов, так и фазы собственно развития деформаций, при которой формируется оползневое тело, и фазы постоползневого развития.

2. Территории наблюдаемого проявления оползневых процессов подразделяются на

участки современного развития склоновых деформаций и участки разновременного повторного развития оползневых процессов (участки типа "палимпсест").

3. Распределение проявлений оползневых процессов по своей масштабности (общим объемам) на территории их развития/активизации описывается логарифмической функцией, коэффициенты которой варьируют в зависимости от особенностей инженерно-геологических условий, причем полихронность развития оползневых процессов осложняет получение количественных закономерностей.

4. Регионы с наиболее высокой интенсивностью оползневых процессов (по масштабности, разнообразию типов) на современном этапе геологического развития тяготеют к "диффузным границам тектонических плит", а также к областям внутриплитного высвобождения эндогенной энергии. Совместное действие эндогенных факторов оползнеобразования и метеоклиматических воздействий приводит к формированию кумулятивного эффекта при активизации оползней.

5. В пределах относительно жестких блоков земной коры:

- предрасположенность территорий к развитию оползневых процессов определяется действием медленно изменяющихся региональных геологических факторов, среди которых ведущую роль играет геоморфологический фактор;

- внутригодовая и многолетняя активность развития оползневых процессов контролируется действием современных быстро изменяющихся зональных геологических факторов;

- на территориях интенсивного освоения техногенное воздействие выступает определяющим фактором развития оползневых процессов.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов диссертационного исследования определяется обоснованностью применения современных методов исследования, подтверждением и сопоставимостью полученных результатов теоретических исследований и интерпретации инженерно-геологической информации на основе выявленных закономерностей с результатами полевых работ по изучению оползней, апробацией результатов исследований, а также государственной регистрацией патента и электронных баз данных.

Основные результаты настоящей работы представлялись и докладывались на международных научных форумах в 1995-2024 г.г., в т.ч. международной конференции "Проблемы сейсмологии и инженерной геологии" (Ташкент, 1995), VII, VIII, IX и XIII международных симпозиумах по изучению оползней (Тронхейм, 1996, Кардифф, 2000, Рио-де-Жанейро, 2004, Картахена, 2020), VIII, XII и XIV конгрессах Международной ассоциации по инженерной геологии и охране окружающей среды (IAEG) (Ванкувер, 1998, Турин, 2014,

Ченду, 2023), международном симпозиуме по стабилизации склонов (IS-Shikoku-1999, Шикоку), XXXII международном геологическом конгрессе (Флоренция, 2004), V международной конференции "Инженерная защита территорий и объектов в связи с развитие опасных геологических процессов " (Гурзуф, 2007), I, II, IV и V Всемирных оползневых форумах (Токио, 2008, Рим, 2011, Любляна, 2017, Киото, 2020), симпозиуме Международной Ассоциации инженер-геологов (IAEG) "Инженерно-геологические проблемы в крупных строительных проектах" (Ченду, 2009), конференции Международной Ассоциации инженер-геологов (IAEG) "Экологические геонауки и инженерная защита территорий и населения" (EngeoPro-2011, Москва), I, IV и V международных симпозиумах по изучению высокоинтенсивных землетрясений и их длительных эффектов (Ченду, 2013, 2015, 2018), симпозиуме по изучению оползней в Адриатико-Балканском регионе (Загреб, 2013), симпозиуме "Проблемы инженерной геологии и геотехники после стихийных бедствий" (София, 2016), конференции Международной Ассоциации инженер-геологов (IAEG) "Внедрение инновационных методов в инженерной геологии" (Афины, 2021), XX конгрессе Международного Союза по изучению четвертичного периода (INQUA) (Дублин, 2019), а также всероссийских (в т.ч. с международным участием) конгрессах, конференциях, совещаниях, в т.ч. конференциях "Мониторинг геологической среды: активные эндогенные и экзогенные процессы" (Казань, 1997), "Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века" (Санкт-Петербург, 2000), "Новые типы инженерно-геологических и эколого-геологических карт" (Москва, 2001), I, II, III и VII конференциях "Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций" (Москва, 2001, 2002, 2003, Кр. Поляна, 2007), конференциях "Проблемы снижения природных опасностей и рисков" ("Риск-2000", "Риск-2003", "Риск-2012", "Геориск-2015", "Геориск-2018", Москва, 2000, 2003, 2012, 2015, 2018), конференции "Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики" (Москва, 2006), конгрессе "Великие реки'2006" (Н. Новгород, 2006), конференциях "Гидрогеология в начале XXI века" (Новочеркасск, 2006), "Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем" (Москва, 2007), "Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка" (Москва, 2009), "Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии" (Москва, 2010), I и II конференциях "Новые технологии обработки и использования данных дистанционного зондирования Земли в геологоразведочных работах и при ведении мониторинга опасных геологических процессов" (Санкт-Петербург, 2012, 2014), II и X конференциях "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа" (Грозный, 2012, 2020), годичных сессиях Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Сергеевские чтения) в 2004 г., 2007 г.,

2009 г., 2010 г., 2015 г., 2022 г., 2023 г. и 2024 г., конференциях "Современные проблемы инженерной геодинамики" (Москва, 2014), "Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения" (Москва, 2017), III конференции "Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи" (Краснодар, 2016), "Инженерная и экологическая геология в МГУ: выдвинутые научные идеи, их развитие и реализация" (Москва, 2018), III конференции "Геодинамические процессы и природные катастрофы" (Южно-Сахалинск, 2019), "Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии" (Москва, 2021).

Публикации автора по теме диссертации. Автором лично и в соавторстве опубликовано 259 работ, в том числе 172 работы по теме диссертации. Основные идеи и положения работы изложены в 39 научных работах автора общим объемом 56,67 п.л., в том числе 22 публикациях (объемом 11,29 п.л.) в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит два тома. Том 1 (диссертация) изложен на 315 страницах и состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы из 932 наименований. Текст содержит 17 таблиц и 94 рисунка. Том 2 (Приложения) имеет общий объем 86 страниц и состоит из 3 приложений.

Благодарности. Автор выражает искреннюю, глубокую благодарность профессору, доктору геолого-минералогических наук, академику РАЕН В.Т. Трофимову, поддержка и ценные советы которого способствовали выполнению представленной диссертационной работы. Формирование научного мировоззрения автора было бы невозможно без продолжительного общения с моими научными наставниками профессорами Г.С. Золотаревым и Э.В. Калининым.

Автор искренне благодарен профессорам Е.А. Вознесенскому, В.А. Королёву и Е.Н. Самарину за обсуждение работы, а также коллективу Лаборатории инженерной геодинамики и обоснования инженерной защиты территорий кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова за оказанную поддержку в выполнении работы и ее обсуждении.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Часть I. Теоретические аспекты изучения оползневых процессов

Глава 1. Развитие и современные представления об оползневых процессах, подходы к их изучению, исследованию закономерностей формирования и распространения

В главе 1 проведен обзор результатов изучения оползневых процессов.

Начало научного изучения оползневых процессов относится к концу XVIII в. – первой половине XIX в., к времени становления геологии как науки. При изучении каменной лавины "Гольдау" (хр. Россберг, Швейцария), Д. Мейер (1806) и К. Зай (1807) впервые делают вывод о значительной роли климатического фактора в развитии склоновых процессов. М. Гаюи (1831), проводивший исследования оползней в г. Одессе (с 1813 г.), указал на значимость подземных вод в их формировании. В 1846 г. А. Коллин, изучая образование оползней, впервые отметил, что поверхность, по которой происходит смещение, образовалась в процессе оползания и имеет круглоцилиндрическую (в современной терминологии) форму.

Толчок к изучению оползней в конце XIX в. – начале XX в. дают исследования, произошедших катастрофических геологических событий (оползень-обвал Эльм (Швейцария, 1881), сейсмогенные оползни при Верненском (1887 г.) и Кебинском (1910 г.) землетрясениях в Центральной Азии, ледово-каменная лавина в долине Геналдона (Кавказ, 1902), оползень-обвал "Франк" (Канада, 1903), Усойский оползень-обвал (Памир, 1911)), выполненные А. Геймом (1882), И.В. Мушкетовым (1890), И.А. Преображенским (1920), Р. МакКоннели и Р. Броком (1904) и др. Значительное влияние на развитие отечественной школы изучения оползней оказали работы А.П. Павлова (1903, 1905).

Одними из важнейших итогов исследований оползневых и других склоновых процессов, выполненных в XIX в. – начале XX в., стали формализация представлений об оползнях как геологических явлениях, выработка понимания термина "оползень" и разработка суждений о том, что следует рассматривать в качестве ведущего фактора в развитии склоновых процессов. Вплоть до начала 30^х г.г. XX в. образование оползней увязывалось исключительно с деятельностью поверхностных и подземных вод, рассматриваемых в качестве ведущих факторов оползнеобразования. Ф.П. Саваренский (1937) относил оползни к денудационным процессам, причисляемым, по мнению Ф.Ю. Левинсон-Лессинга (1923), к непуническим процессам. Эту точку зрения в отдельных публикациях можно встретить до настоящего времени.

Результаты исследований Шведской геотехнической комиссии (1914-1922 г.г.), включавшие расчеты устойчивости склонов с учетом «действия силы тяжести на состояние равновесия грунтов», дали толчок к переосмыслению понимания природы оползневых процессов и уточнению основного фактора их развития - действию гравитационных сил. Эти воззрения развиваются в отечественном оползневедении, начиная с работ Н.Ф. Погребова (1935), А.П. Нифантова (1935, 1940), С.К. Абрамова с соавторами (1940), Н.Н. Маслова (1941). В настоящее время представления о том, что оползневые процессы относятся к гравитационным склоновым процессам, является преобладающими.

Вопросы методики и практики, различные аспекты изучения оползневых и других

склоновых процессов во второй половине XX в. рассматривались в работах И.В. Аникина, В.Е. Ануфриева, Г.Ч. Арешидзе, С.С. Буцько, Г.Г. Великого, С.М. Винниченко, К.А. Гулакяна, А.М. Дранникова, Е.П. Емельяновой, Г.С. Золотарева, И.П. Иванова, Э.В. Калинина, И.А. Клевцова, В.И. Клименко, В.А. Ключевой, В.Ф. Краева, Г.Л. Круковского, В.С. Круподерова, В.В. Кюнцеля, З.А. Макеева, Н.Н. Маслова, Е.Е. Минервиной, Р.А. Ниязова, К.С. Оводова, С.С. Орлова, Г.Б. Пальшина, И.В. Попова, Г.П. Постоева, В.И. Преснухина, М.К. Рзаевой, В.И. Славина, Г.И. Тер-Степанян, И.О. Тихвинского, Ю.Б. Тржцинского, В.С. Федоренко, Н.Н. Федоровского, Е.А. Черкеза, К.Ш. Шадунца, Г.М. Шахунянца, А.И. Шеко, Н.Л. Шешени, а также в работах зарубежных специалистов - P. Antoine, E.E. Brabb, D. Brunnsden, A. Carrara, M.A. Carson, D.R. Coates, D.M. Cruden, J.V. DeGraff, R.E. Goodman, J.N. Hutchinson, K.J. Klengel, V. Mencl, N. Miyabe, A. Nemčok, J. Pašek, P. Reiche, C.N. Savage, R.L. Schuster, Y. Takeda, K. Terzaghi, D.J. Varnes, G.F. Wieczorek, Q. Záruba и многих других.

В последние десятилетия вопросы изучения оползневых и других склоновых процессов в своих работах затрагивают В.Н. Бевз, Е.К. Безуглова, Б.П. Важенин, И.М. Васьков, Р.А. Гакаев, О.В. Зеркаль, А.В. Зуска, А.И. Казеев, Е.А. Козырева, М.П. Кропоткин, Н.В. Легкая, М.О. Лейбман, С.И. Маций, В.Е. Ольховатенко, В.А. Осюк, А.Ю. Пахомов, В.И. Петина, Н.Ф. Петров, В.В. Симонян, Н.А. Скнарина, А.Л. Стром, Л.А. Строкова, И.К. Фоменко, Д.Ю. Шуляков и другие, за рубежом - F. Agliardi, P.T. Bobrowsky, J. Corominas, J. Chacón, M. Chigira, G. Crosta, D. Cruden, S.G. Evans, R. Fell, C. Irigaray, T. Glade, F. Guzzetti, R. Huang, O. Hungr, S. Leroueil, J. Locat, R. Poisel, K. Sassa, D. Stead и многие, многие другие.

Одним из аспектов изучения и анализа региональных закономерностей развития оползневых процессов в последние десятилетия является выявление факторов, влияющих на активность оползней, требующих учета и анализа при подготовке прогнозов и оценок оползневой опасности. Начиная с 70^х гг. XX в., в рамках исследований региональных закономерностей развития и распространения оползней выработался определенный консенсус о составе более двух десятков факторов, определяющих оползнеобразование, подразделяемых на две основные группы:

- группа факторов, формирующих среду/условия развития оползней;
- группа факторов, определяемых как триггерные факторы, непосредственно влияющих на собственно потерю устойчивости склонами или активизацию существующих оползней.

Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что среди факторов, влияющих на развитие оползней, практически не учитывается роль современных тектонических условий. Лишь

только в отдельных отечественных и единичных зарубежных работах анализируется вклад региональных тектонических особенностей, рассматриваемых с позиции учета времени завершения складчатости. Также далек от окончательного разрешения вопрос выделения ведущих факторов, предопределяющих предрасположенность территории к оползнеобразованию.

Глава 2. Особенности оползневых и других гравитационных склоновых процессов, их проявлений как объектов изучения

В главе 2 выполнено рассмотрение особенностей оползневых и других гравитационных склоновых процессов, их проявлений как объектов изучения, проведен анализ механизмов смещения оползней.

Отмечено, что термины "оползневой процесс" и "оползень" существуют уже длительное время и активно используется в научной практике. Вместе с тем, их понимание различно, а трактовка неоднозначна. В ходе диссертационного исследования было проведено рассмотрение признаков оползневых процессов, позволяющих четко выделять их среди всей совокупности экзогенных геологических процессов. Был выполнен анализ определений и содержания термина "оползневые процессы" (или термина "оползни", в его трактовке как процесса), представленных в более 140 публикациях, вышедших начиная с 1970 г. по настоящее время (рис. 1).

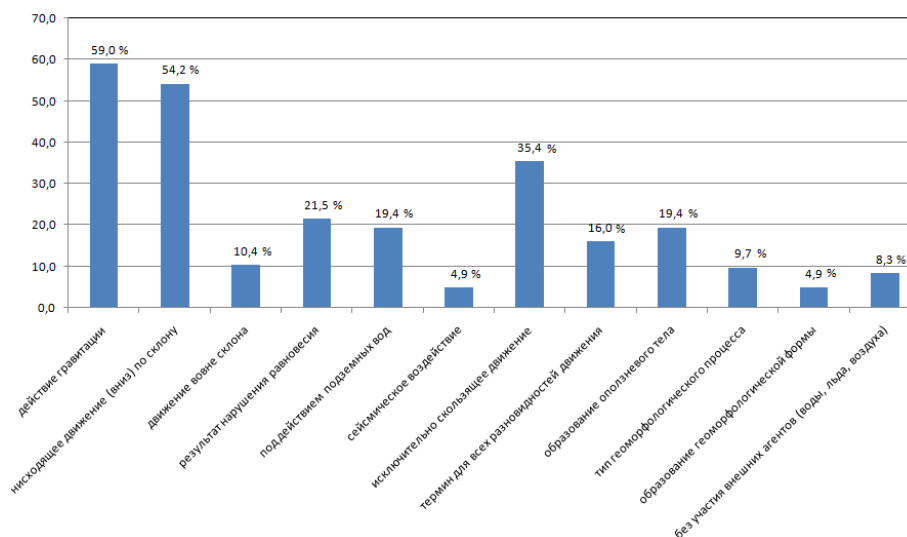


Рис. 1. Основные признаки, используемые при определении термина "оползневые процессы" (или термина "оползни", в его трактовке как процесса).

Выполненный анализ трактовок термина «оползневые процессы», а также результаты собственных наблюдений автора, позволили сформулировать следующее понимание термина «оползневые процессы»:

Собственное (без действенного участия внешних агентов – воды, воздуха и т.д.) перемещение под действием гравитационных сил потерявших равновесие массивов грунтов

различных классов и подклассов (скальных, полускальных, дисперсных (обломочных и связных); с различной степенью водонасыщения; и в т.ч. мерзлых), происходящее вниз по склону, зачастую с выходом на прилегающие территории, в результате которого формируется новое геологическое тело, располагающееся как на склоне, так и за его пределами, имеющее, как правило, четкие границы, образующее на дневной поверхности новые геоморфологические формы и ландшафты. Механизм такого перемещения может быть различным, включая скольжение, сдвиг, течение (пластическое, вязко-пластическое, вязкое; в виде потоков или в форме выдавливания, выжимания, выплывания), а также в отдельных, специфических случаях – опрокидывание, качение (роллерный механизм), «планирование» (смещение на воздушной подушке). Во многих случаях имеет место комбинация различных механизмов перемещения грунтов, в т.ч. с полной или частичной потерей контакта с неподвижной частью массива.

В диссертационной работе термин "оползневой процесс" понимается, используется в приведенной трактовке, а под термином "оползень" подразумеваются проявления оползневых процессов.

В предложенном понимании понятия "оползневые процессы" сохранены три признака, подчеркиваемые ранее большинством специалистов – (1) развитие оползней происходит под действием гравитационных сил, (2) смещение потерявших равновесие массивов грунтов (3) происходит вниз по склону. Эти признаки определяют отнесение оползневых процессов к склоновым геологическим процессам. Вместе с тем, дополнительно дается еще один признак – (4) перемещение массивов грунтов при развитии оползней происходит без действительного участия внешних агентов (воды, воздуха, льда и т.д.), который следует рассматривать в качестве "видового" признака, позволяющего вычленять "оползневые процессы" среди других склоновых геологических процессов - перевевание песков на склонах (агент перемещения - воздушные массы), делювиальных, пролювиальных процессов (агент перемещения – вода), транспортировка моренного материала ледниками, движущимися вниз по уклону рельефа (агент перемещения – лёд) и т.д.

Важной составляющей определения понятия "оползневые процессы" является принятие того, что перемещения при развитии оползневых процессов могут иметь различный механизм, включая не только скольжение, сдвиг и течение как основные механизмы смещения, детально рассмотренные ранее в многочисленных публикациях, но и специфические механизмы – опрокидывание (с обрушением), качение (роллерный механизм), "планирование" (смещение на воздушной подушке). В работе приведены примеры специфических механизмов перемещения материала при развитии оползневых процессов, наблюдавшихся автором, - опрокидывание (с обрушением) в головной части

Кучук-Койского оползня (ЮБК), качение (на участках «Воробьевы горы» и "Могул" (Красная Поляна), в оползне "Долины гейзеров" (03.06.2007)), "планирование" (смещение на воздушной подушке) - для ледово-каменных и каменных лавин.

Глава 3. Оползни как природные и природно-техногенные явления

Выполненное рассмотрение понимания в научных публикациях термина "оползень" показало, что этот термин является сложным, многоаспектным. Его применение в исследованиях "оползней", требует четкого указания на тот или иной аспект рассматриваемого объекта, который является предметом изучения. Проведенный в ходе диссертационного исследования анализ концептуальных подходов в оползневедении показал, что в настоящее время обособливается пять основных подходов к выделению "ведущего признака", предопределяющего направление изучения "оползней" в рамках тех или иных исследований, включающих следующие трактовки понятия "оползень" (обобщенно):

- геологический подход, рассматривающий **оползень-как-"геологическое тело"** ("*оползневое тело*"), – геологическое тело, характеризующееся собственным строением и границами, формирующееся при смещении материала под действием гравитационных сил;

- геодинамический подход, рассматривающий **оползень-как-"геологический процесс"** ("*оползневые процессы*"), - перемещение вниз по склону объема масс под действием гравитационных сил, дестабилизированных под влиянием естественных или искусственных причин как внутреннего, так и внешнего характера;

- геоморфологический подход, трактующий **оползень-как-"форму рельефа"** (*оползневой рельеф*), образованную в результате смещения материала под действием гравитации;

- геомеханический подход, рассматривающий **оползень-как-"элемент массива грунтов"**, - часть (геологической) среды, либо находящейся в состоянии предельного равновесия, либо вышедшей из равновесия под воздействием градиента гравитационного поля (формирующего поле напряжений), под влиянием которого возникают конечные необратимые деформации (перемещения);

- ландшафтный подход, трактующий **оползень-как-"ландшафт"** ("*оползневой ландшафт*"), - генетически единый ПТК, характеризующийся структурно-функциональной целостностью, повышенной (за счет гравитации) энергонасыщенностью и переменным (динамическим) состоянием, определяющимся упорядоченным (системоформирующим) потоком вещества и энергии, подчиненных силам гравитационного поля и стекающей воды.

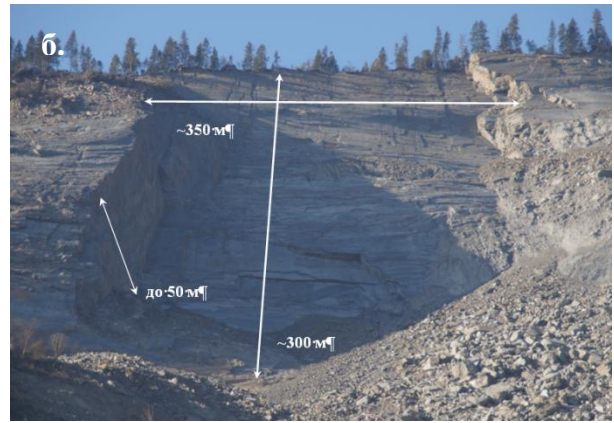
Для решения задач, поставленных в настоящей работе, использовалось преимущественно сочетание геологического и геодинамического подходов.

Другим важным аспектом в понимании оползневых процессов, их проявлений как объектов изучения является осмысление их природы. Оползневые процессы являются не одномоментными, их развитие занимает определенный временной отрезок – от крайне быстрых (десятки секунд – первые минуты) до крайне медленных (годы, десятилетия и больше). Длительное время также занимает подготовка условий для развития деформаций. Иными словами развитие склоновых деформаций может характеризоваться определенной историей. В настоящее время преобладающими представлениями об "историчности" оползней, изложенными в работах Ф.Ф. Голынца (1932), Ф.П. Саваренского (1935), К. Терцаги (1950, 1958), И.В. Попова (1961), Е.П. Емельяновой (1953, 1972), Г.С. Золотарева (1985), Е. Эберхарда (2016) и других, рассматриваемая "история" развития оползневых процессов, в большинстве случаев, ограничивается временным периодом, начиная с момента образования склона, т.е. периода действия факторов, снижающих устойчивость склона.

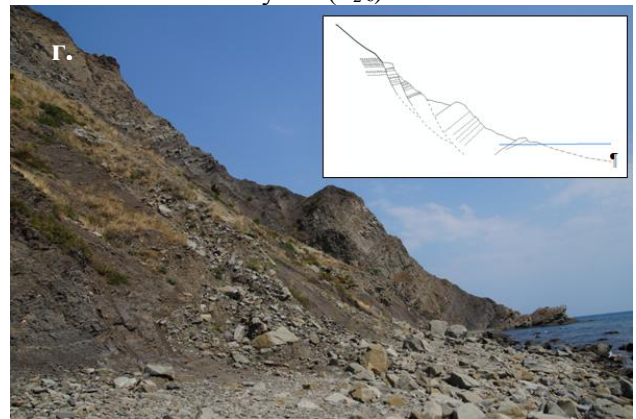
Вместе с тем, влияние геологической истории на развитие оползневых процессов существенно шире и охватывает не только период действия факторов, снижающих устойчивость склона ("сдвигающих" сил, учитываемых при анализе устойчивости), но также временной отрезок формирования условий, обеспечивающих устойчивость склона ("удерживающих" сил, также учитываемых при анализе устойчивости) (рис. 2). Значимость роли геологической истории в образовании современных оползневых процессов было показано сравнительным анализом особенностей современного оползнеобразования на трех участках в различных регионах распространения отложений флишевой формации, образовавшихся в триас-юрское время в близких геологических условиях, но в дальнейшем характеризующихся различиями в своем геологическом развитии (рис. 2., табл. 1):

- участок "Ксенмо" (Xinmo), расположенный в пределах тектонического блока Сунпань-Ганцзы в северо-восточной части Цинхай-Тибетского нагорья (Китай);
- участок "мыс Ай-Фока", расположенный в пределах Перчемской антиклинали (южный берег Крымского полуострова);
- Краснополянский оползневой район, расположенный в пределах тектонической зоны Южного склона Большого Кавказа (Кавказский прогиб).

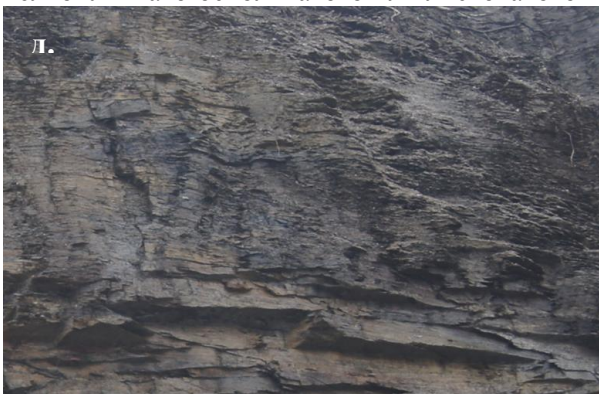
Различия в постседиментационных преобразованиях отложений флишевой формации, произошедших в ходе геологической истории (метаморфизация до филлитовой стадии (тектонический блок Сунпань-Ганцзы), аргиллитовая стадия катагенеза (по В.Т.Фролову) (Крымский полуостров), слабая литификация (Краснополянский район)), предопределяют различия типов современных проявлений оползневых процессов (оползни течения и оползни скольжения - Краснополянский район, оползни скольжения - Крымский полуостров, оползни сдвига и каменные лавины - тектонический блок Сунпань-Ганцзы) (рис. 2).



Участок "Ксенмо" (Китай). а. Обнажение образований флишевой формации (в начальной (филлитовой) стадии региональной метаморфизации). б. Головная часть оползня Ксенмо на участке оползня сдвига в метаморфизованных флишевых образованиях свиты Загунао (T_{2z})



Участок «мыс Ай-Фока» (ЮБК). в. Флишевые образования (аргиллитовая стадия катагенеза, по В.Т.Фролову) таврической серии (T_3 - J_{1tv}), неразмокающие, при выветривании разрушаются до мелкоплитчато-оскольчатого или листоватого щебня. г. Общий вид оползня скольжения



Участок "Русские горки" (Красная Поляна). д. Флишевые образования чжежипсинской свиты ($J_1čv$), размокающие при увлажнении. е. Оползень течения

Рис. 2. Различия современного развития оползневых процессов в регионах распространения отложений флишевой формации с различными постседиментационными преобразованиями в ходе геологической истории (фото О.В. Зеркала).

Исходя из этого, изучение оползней следует начинать с исследования состояния массива грунтов, слагающих склон и примыкающие территории, учитывая их формирование и трансформации в течение длительного геологического времени (рис. 3). Иными словами, с научно-методической точки зрения "начало изучения" склоновых деформаций не должно

совпадать с моментом образования оползня, не должно совпадать с моментом образования склона, как это предлагается в рамках существующего методического подхода при изучении оползней. Изучение склоновых деформаций должно включать в себя исследование предшествующих состояний массива горных пород, в котором сформирован склон, в т.ч. рассмотрение всей истории его естественного геологического развития.



Сценарии подготовки развития оползней:

- А - длительная постепенная (денудационная) подготовка склоновых деформаций;
- Б - катастрофическое воздействие триггерного фактора (например, высокоинтенсивного сейсмического воздействия низкой повторяемости);
- В - воздействие триггерного фактора, которое не привело к мгновенной потере устойчивости склоном;
- Г - интенсификация негативного воздействия факторов (например, интенсификация тектонического воздымания, рост крутизны и высоты склонов, или понижение базиса эрозии при регрессии моря);
- Д - снижение негативного воздействия факторов (например, снижение количества и интенсивности осадков).

Рис. 3. Схематическое представление развития оползня как естественно-исторического геологического тела.

Таким образом, последовательность геологических событий, произошедших изменений, предопределяющих современную устойчивость склонов, представляет собой геологическую историю формирования инженерно-геологических условий территории, в которой оползнеобразование является частью продолжающегося геологического развития территории. На основе изложенного материала сформулировано первое защищаемое положение (см. стр. 8).

Вместе с тем, существует вероятность неоднократного возникновения условий оползнеобразования в геологической истории развития той или иной территории. При этом, палеообстановки оползнеобразования могут существенно различаться по сравнению с современными инженерно-геологическими условиями, а типы и механизмы смещения

реликтовых оползней быть отличными от современных оползней. Помимо этого, проявления палеооползневых процессов при развитии территории будут подвергаться воздействию других геологических процессов, в т.ч. эродироваться, перекрываться и т.д., затрудняя их выявление и изучение. В диссертационной работе участки разновременного повторного развития оползневых процессов определены как оползневые участки типа "палимпсест" ¹. В работе приведен ряд примеров участков разновозрастного, разномасштабного развития оползневых процессов - Юго-Западный оползневой подрайон в составе инженерно-геологической области южного склона Главной гряды Крымских гор и участок долины р. Кунья в районе Загорской ГАЭС, расположенной в 70 км северо-восточнее г. Москвы. Расшифровка геологической истории развития долины р. Кунья, влияние геологических событий, происходивших в палеоген-четвертичное время, как на современную, так и палеоустойчивость склонов, показана на рисунке 4. В геологическом развитии участка долины р. Кунья было выделено несколько эпох активного развития оползневых процессов:

1. Раннеплиоценовая эпоха - формирование оползней скольжения в толще парамоновских глин (K_1pr) в западном борту переуглубленной пра-долины р. Кунья. Реликтовые оползни представлены серией блоков (dIN_2). Кровля глин опущена на 11-12 м. Оползни позднее были перекрыты отложениями богородской свиты (N_2-QEbg).

2. Эоплейстоценовая эпоха - образование оползней-потоков в глинах загорской свиты (K_2zg). Глины (в оползневом залегании) полностью дислоцированы и перемяты. Оползневой язык спускается по борту переуглубленной пра-долины р. Кунья, частично выстилая ее днище.

3. Ранняя среднеэоплейстоценовая (лихвинская) эпоха - формирование оползней скольжения в толще парамоновских глин (K_1pr) при эрозионном подмыве восточного борта палеодолины в период деградации ледника долинной стадии оледенения. По данным бурения выделено от трех до пяти оползневых блоков.

4. Среднеэоплейстоценовая (одинцовская) эпоха - образование оползней-потоков в моренных суглинках совместно с подстилающими их эоплейстоценовыми оползневыми образованиями. Оползневое тело, сформировавшееся в результате вязко-пластичного течения, плащеобразно покрывает древний склон и языком выходит в осевую часть палеодолины, где оползневые отложения перекрывают морену долинной стадии оледенения.

5. Современный этап оползнеобразования, представляющий собой период с интенсивным техногенным воздействием, оказывающим влияние на устойчивость склонов.

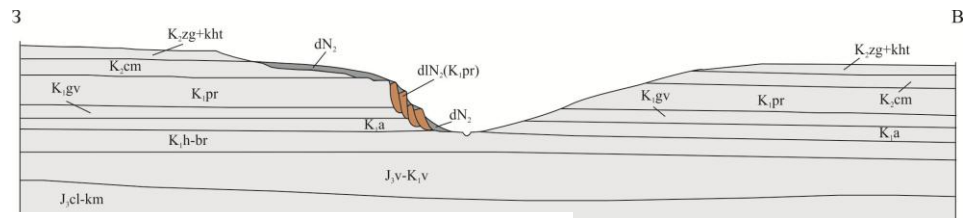
¹ Термин "палимпсест" (греч. - *παλίμψητος*) наследуется из исторических наук (историографии, археологии), где он применяется к древним рукописям, в которых начальный текст был соскоблен или смыт, и на его месте был вписан другой текст.

Влияние геологической истории на особенности современного развития оползневых процессов

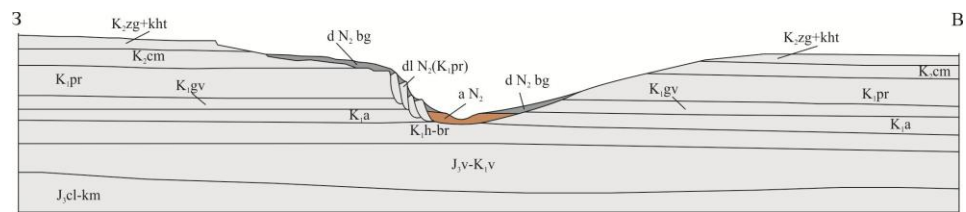
Дооползневая и предоползневая стадии	Особенности развития оползневых деформаций
Оползень Ксенмо (Xinmo)	
<p>1. <i>Формирование условий, обеспечивающих устойчивость массива:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - накопление флиша в триасовое время (T_{2z}); - постседиментационные преобразования отложений флишевой формации (региональная метаморфизация до филлитовой фации) в периоды фаз тектонической активности; <p>2. <i>Формирование условий, снижающих устойчивость массива:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - складкообразование с приобретением отложениями падения «по склону»; - современная тектоническая активность в пределах тектонического блока Сунпань-Ганцзы, прослеживаемая начиная с миоцена; - формирование современного рельефа с образованием эрозионного вреза долины р. Сонпэнгу, перепад высот превышает 1 км; <p>3. <i>Триггерное воздействие</i> – интенсивные осадки</p>	<p>В пределах тектонического блока Сунпань-Ганцзы все разности флишевых толщ по своим прочностным показателям относятся к скальным грунтам.</p> <p><u>Типичным проявлением оползневых процессов на рассматриваемой территории являются оползни сдвига, трансформирующиеся при смещении в каменные лавины.</u></p>
Оползень на участке «мыс Ай-Фока»	
<p>1. <i>Формирование условий, обеспечивающих устойчивость массива:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - накопление флиша таврической серии (T₃-J_{1tv}); - постседиментационные преобразования отложений флишевой формации (до аргиллитовой стадии катагенеза); - складкообразование с приобретением отложениями падения «в склон»; <p>2. <i>Формирование условий, снижающих устойчивость массива:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - формирование современного рельефа, периодическое понижение уровня Чёрного моря; - абразионный подмыв склона; <p>3. <i>Возможное триггерное воздействие</i> – резкая активизация абразии в условиях шторма</p>	<p>Флишевые образования таврической серии имеют высокую степень литификации, являются неразмокающими, разрушаясь при выветривании только до мелкоплитчато-оскольчатого или листоватого щебня.</p> <p><u>Типичным проявлением оползневых процессов на участках распространения флиша в коренном залегании являются оползни скольжения.</u></p>
Оползень на участке «Русские горки» (Краснополянский оползневой район)	
<p>1. <i>Формирование условий, обеспечивающих устойчивость массива:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - накопление флиша в раннеюрские время (J_{1čv}); - постседиментационные преобразования отложений флишевой формации; - складкообразование с приобретением отложениями падения «в склон»; - прохождение каменной лавины, создание упора в основании склона; <p>2. <i>Формирование условий, снижающих устойчивость массива:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - формирование современного рельефа с образованием эрозионного вреза; - резкое снижение показателей прочностных свойств при увлажнении в результате действия климатических факторов; - техногенное воздействие (подрезка и пригрузка склона) <p>3. <i>Триггерное воздействие</i> – техногенная деятельность</p>	<p>Невысокая степень литификации флиша. Флишевые образования не потеряли способности размокать.</p> <p><u>Типичным проявлением оползневых процессов на участках распространения флиша в коренном залегании являются как оползни скольжения, так и оползни течения.</u></p>



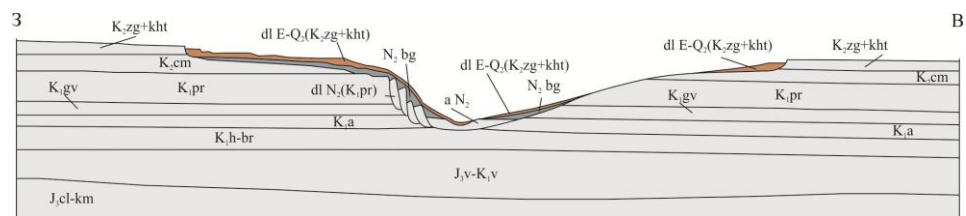
Раннеплистоценовая эпоха оползнеобразования



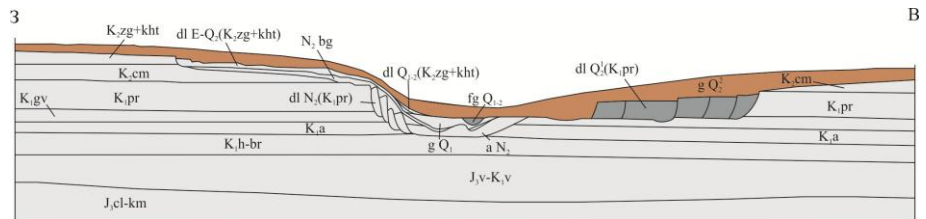
Перекрытие раннеплистоценовых оползней



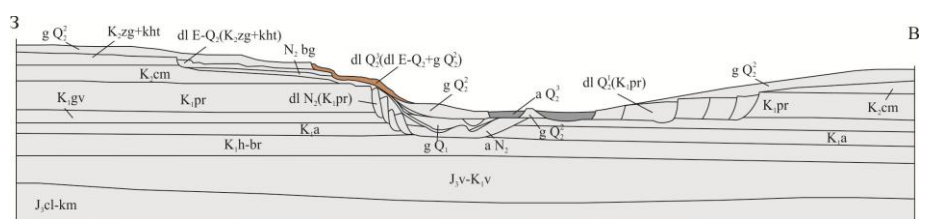
Эоплейстоцен-ранне-среднеплейстоценовая эпоха оползнеобразования



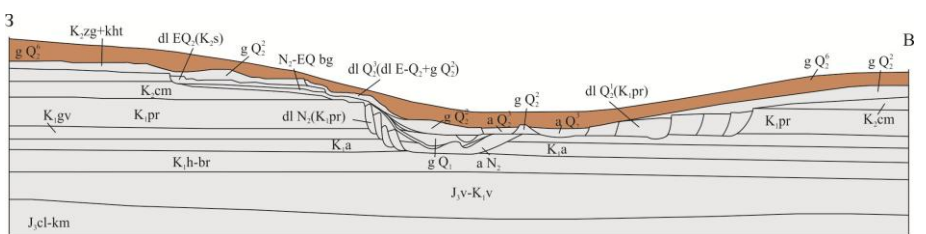
Перекрытие реликтовых оползней гляциальными отложениями



Среднеплейстоценовая эпоха оползнеобразования



Повторное перекрытие территории гляциальными отложениями



Современные условия

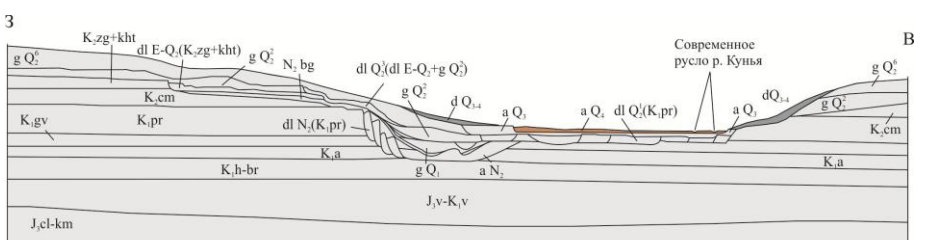


Рис. 4. История развития долины р. Кунья и ее влияние на современную устойчивость. Пояснения даны в тексте.

Таким образом, для рассматриваемого участка долины р. Кунья характерно разновременное (в геологической истории) развитие оползневых процессов (как последовательности геологических событий), происходившее в изменяющихся геологических и природно-климатических условиях, отличающихся от современных. Разновозрастные тела реликтовых оползней эродировались и перекрывались более поздними отложениями, ретушируя сложность геологического строения. Отмеченные особенности в полной мере соответствуют выделенным признакам оползневого участка типа "палимпсест".

Изложенный материал является основой для формулирования второго защищаемого положения (см. стр. 8-9).

Часть II. Локальные и региональные закономерности развития оползневых процессов

Глава 4. Глобальные закономерности развития оползневых процессов

В главе 4 рассмотрены общие закономерности развития оползневых процессов. В первой части главы дана оценка распределения по объемам крупнейших проявлений оползневых процессов на Земле, а вторая часть посвящена анализу закономерностей развития оползневых процессов на территории Российской Федерации.

Для оценки и анализа глобальных закономерностей были собраны опубликованные сведения о крупнейших проявлениях оползневых процессов (оползни, оползни-обвалы, каменные лавины, для подводных условий – обломочно-грунтовые лавины) на Земле, к которым были отнесены оползни объемами $\geq 1,5 \text{ км}^3$ (для оползней возрастом менее 500 лет - $\geq 0,8 \text{ км}^3$) на суше и $\geq 5 \text{ км}^3$ - для подводных оползней. В собранный набор данных вошли сведения о 456 проявлениях оползневых процессов, в т.ч. о 32 оползнях, произошедших, развивающихся за последние ~500 лет.

В составе проанализированной выборки крупнейших проявлений оползневых процессов >33,5% оползней образовались в подводных (субаквальных) условиях, смещение >27% оползней произошло в горных регионах в субаэральных условиях, >39% оползней сформировались на вулканических постройках, в т.ч. ~17,5% - образовалась в прибрежной зоне (в переходных условиях).

Анализ распределения крупнейших проявлений оползневых процессов по объемам горных пород, вовлеченных в смещения, показал достаточно закономерное снижение частоты оползней с увеличением их объемов (рис. 5). Оценка зависимости встречаемости крупнейших проявлений оползневых процессов от их объема (при анализе с учетом условий их образования) выявила, что, в целом, встречаемость оползней в зависимости от объема наилучшим способом может быть описана с использованием логарифмической функции

(табл. 2).

Более детальное рассмотрение кумулятивного графика встречаемости крупнейших проявлений оползневых процессов по объемам горных пород, вовлеченных в смещения, указывает, что в составе рассмотренного набора данных имеет место наложение нескольких выборок встречаемости крупнейших проявлений оползневых процессов по объемам (рис. 6), что ярко видно при использовании логарифмической шкалы по оси абсцисс (рис. 6б).

Анализ условий развития оползней, составляющих различные группы, показал, что первую группу преимущественно (до 70%) составляют оползни (в составе анализируемого набора данных), образовавшиеся в субаэральных или переходных условиях, вторая группа включает подводные оползни, а третья, наименее многочисленная группа, сформирована реликтовыми оползнями, возраст которых превышает десятки миллионов лет. Таким образом, разделение всего набора данных на группы по условиям оползнеобразования при оценке встречаемости крупнейших проявлений оползневых процессов по объемам является обоснованным.

Для проверки сделанного вывода о возможности описания встречаемости оползневых явлений по их объему с использованием логарифмической функцией был выполнен анализ материалов о проявлениях оползневых процессов на территории Российской Федерации. Анализ был проведен для двух типов данных:

1. "Сводные данные" – материалы по общей (накопленной) интенсивности развития проявления оползневых процессов без учета времени образования оползней - на участке "Долина гейзеров", где было закартировано 527 оползней (распределение по механизму смещения показано на рис. 7а, кумулятивные графики распределения оползней по их объему - на рис. 8), и в пределах Краснополянской оползневой территории, где было закартировано более 740 оползней (распределение по механизму смещения показано на рис. 7б, кумулятивные графики распределения оползневых явлений по их объему - рис. 9);

2. "Данные, фиксированные по времени" – материалы по активности развития проявления оползневых процессов, с фиксированным/заданным временным периодом активизации и образования оползней, включающие:

- период массовой активизации оползней - массовая региональная активизация в Северо-Кавказском регионе в июне 2002 г.¹ (467 активизировавшихся оползней, 95 вновь образовавшихся оползней, суммарный объем грунтов, вовлеченных в смещения - более 1,12 км³), произошедшая в результате аномального выпадения осадков (кумулятивные графики распределения оползневых явлений по объему - рис. 10);

¹ Исходные фактические данные взяты из Зеркаль О.В. и др. Информационный бюллетень "Экзогенные геологические процессы на территории Российской Федерации в 2002 г.". - М.: Госцентр "Геомониторинг"-ФГУП "Гидроспецгеология", 2003, Вып. 13 (5).

- стандартно заданный период времени развития оползней - активность оползней в течение 1 года в областях интенсивного развития проявления оползневых процессов, в т.ч.:

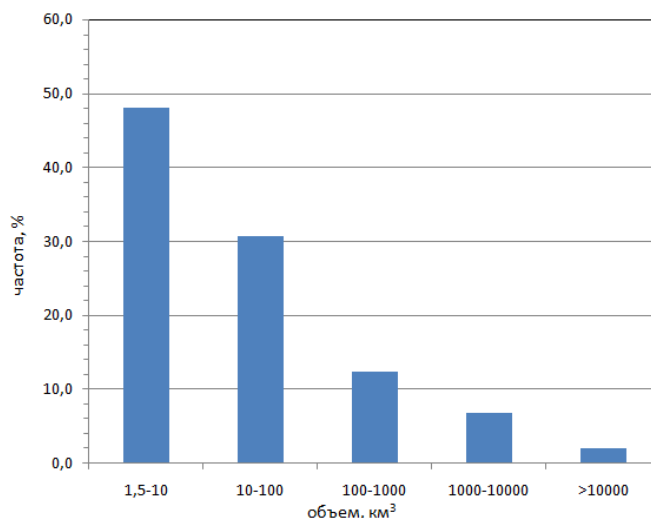


Рис. 5. Распределение крупнейших проявлений оползневых процессов по объему.

Таблица 2.

Оценка встречаемости крупнейших проявлений оползневых процессов по их объемам, полученные с использованием различных методов аппроксимации для совокупного набора данных (с учетом условий оползнеобразования)

Метод аппроксимации	субаэральные		подводные	
	Функция	Достоверность аппроксимации (R ²)	Функция	Достоверность аппроксимации (R ²)
линейный	$y = -2,835x + 135,2$	0,534	$y = -0,002x + 75,57$	0,197
степенной	$y = 383,1x^{-0,91}$	0,898	$y = 364,4x^{-0,38}$	0,575
экспоненциальный	$y = 151,7e^{-0,06x}$	0,938	$y = 63,03e^{-8E-0x}$	0,904
логарифмический	$y = -56,0\ln(x) + 205,9$	0,950	$y = -16,8\ln(x) + 158,1$	0,960

x – объем оползня в км³.

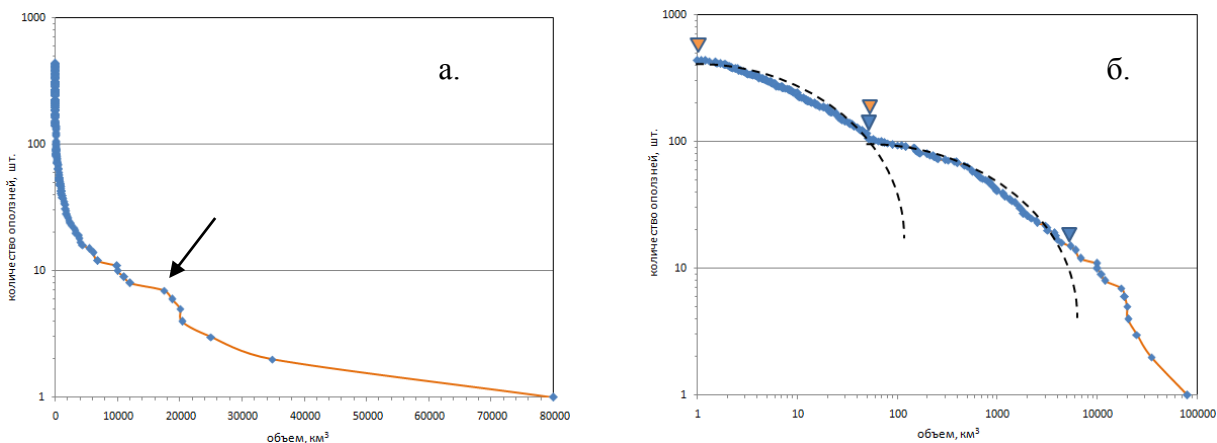


Рис. 6. Наложения нескольких выборок встречаемости крупнейших проявлений оползневых процессов в зависимости от их объема с аппроксимацией с использованием логарифмической функции (сост. О.В. Зеркалем).

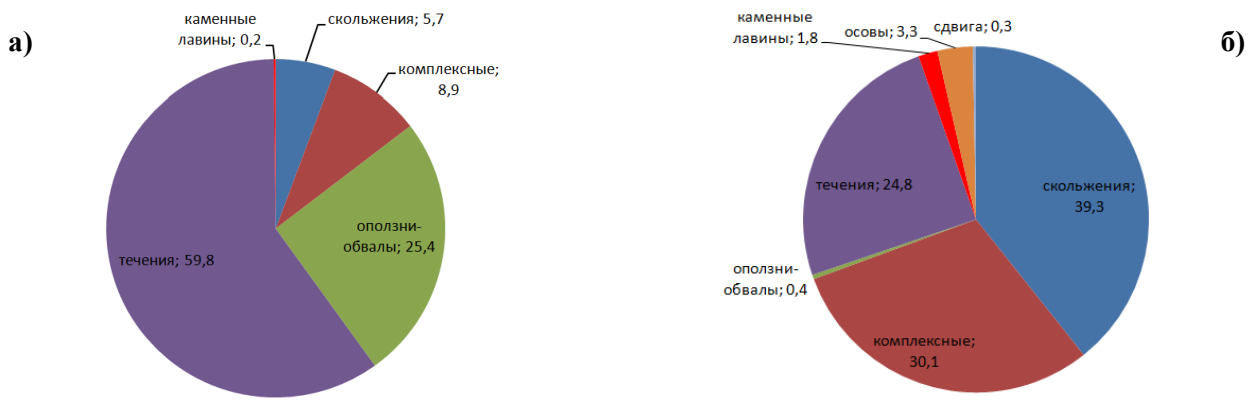


Рис. 7. Распределение проявлений оползневых и других склоновых процессов по механизму смещения. а) на участке "Долина гейзеров" б) в Краснополянском оползневом районе.

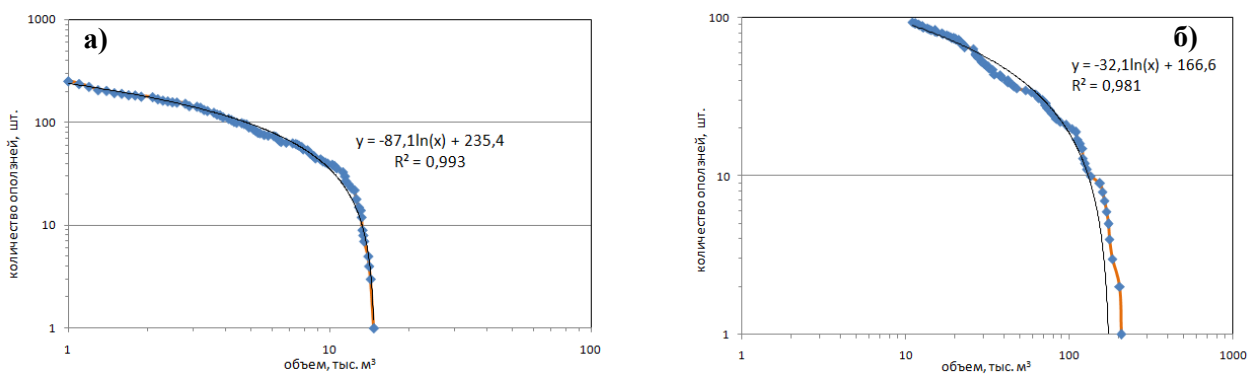


Рис. 8. Кумулятивные графики распределения оползневых явлений по их объему на участке "Долина гейзеров" с аппроксимацией с использованием логарифмической функции.

а) для оползней течения (n = 253)

б) для оползней, зона отрыва которых представляет собой скольжение (n = 94).

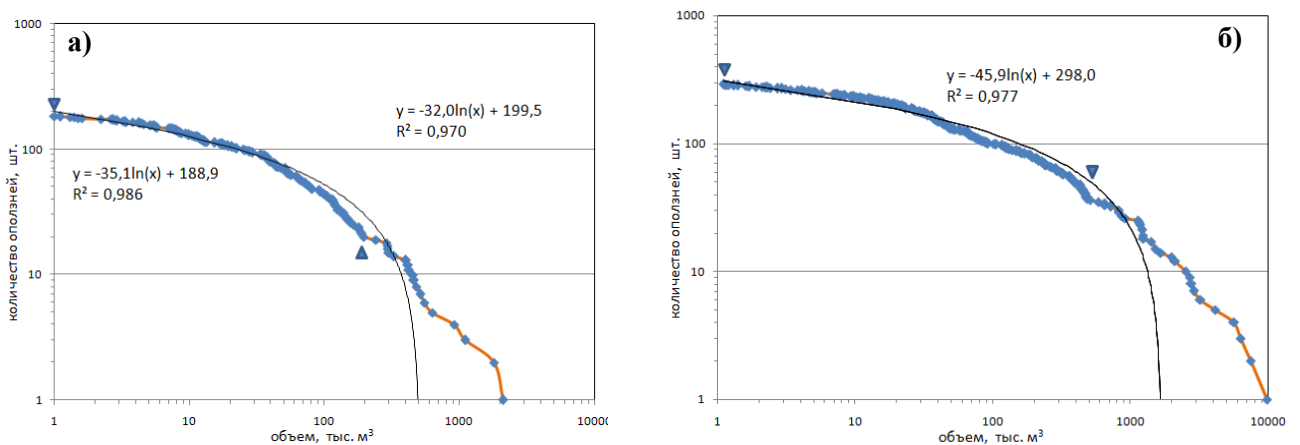


Рис. 9. Кумулятивные графики распределения оползневых явлений по их объему в Краснополянском оползневом районе с аппроксимацией с использованием логарифмической функции.

а) для оползней течения (для выборки оползней с объемом до 1 млн. м³, n=164);

б) для оползней, зона отрыва которых представляет собой скольжение (аппроксимация для выборки оползней с объемом до 1 млн. м³, n=264).

- данные о развитии оползней в Сочинском регионе ¹ (территории, приуроченные к Черноморскому побережью Кавказа в районе г. Сочи и на прилегающей области) в 1979 г. (307 оползней), 1981 г. (498 оползней) и 2018 г. (97 оползней) - кумулятивные графики распределения оползней по объему - рис. 11;

- данные о развитии оползней на территории г. Горького ² (в настоящее время – г. Н. Новгород) в 1985 г. (25 оползней) - кумулятивный график распределения оползней по их объему - рис. 12 (выборка включает 2 группы - новообразованные мелкомасштабные смещения и ранее существовавшие, активизировавшиеся оползни);

- данные о развитии оползней на территории г. Барнаула в 1990 г. ³ (27 оползней) - кумулятивный график распределения оползней по их объему - рис. 13 (выборка включает 2 группы - активизировавшиеся оползни и новообразованные смещения).

Таким образом, встречаемость проявлений оползневых процессов на территории Российской Федерации, оцененная на примере ряда регионов, также хорошо описывается логарифмической функцией, коэффициенты которой варьируются в зависимости от особенностей инженерно-геологических условий. Значения коэффициентов аппроксимации (R^2) достаточно высоки - преимущественно колеблются от 0,941 до 0,995 (лишь в одном случае $R^2=0,875$), независимо от состава выборки.

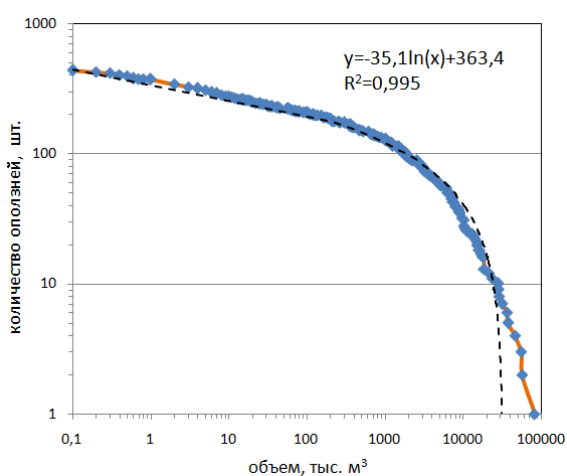


Рис. 10. Кумулятивный график распределения оползней по объемам в зоне региональной активизации 2002 г. по их объемам

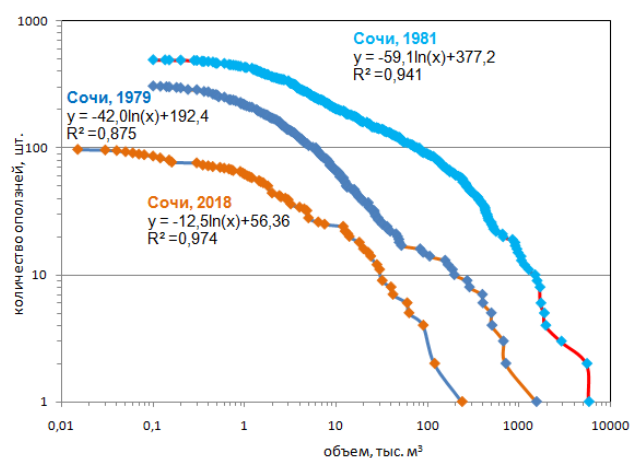


Рис. 11. Кумулятивные графики распределения оползней по объемам, произошедших в г. Сочи и прилегающих территориях в 1979 г., 1981 г. и 2018 г.

¹ Исходные фактические данные взяты из Комарницкий Н.И. и др. Инженерно-геологический ежегодник Черноморской г/г и ИГ партии за 1979 г. - Сочи, 1980. – 1 кн.; Чернов Н.И. и др. Инженерно-геологический ежегодник Черноморской г/г и ИГ партии за 1981 г. - Сочи, 1982. - 1 кн.; Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации за I, II, III и IV кварталы 2018 г. - М.: Гидроспецгеология, 2018.

² Исходные фактические данные взяты из Устинова Т.В. и др. Отчет-ежегодник по результатам изучения экзогенных геологических процессов на Окско-Волжском побережье в Горьковской области и Марийской АССР, выполненного Гидрогеологической режимной партией в 1985 г. - Горький, 1986.

³ Исходные фактические данные взяты из Бородавко В.Г. Результаты стационарных наблюдений за геодинамическими процессами левого берега р. Оби и правого берега р. Барнаулки в районе г. Барнаул. Отчет оползневого отряда по работам за 1990 г. - Новокузнецк, Алтайская г/г экспедиция, 1991.

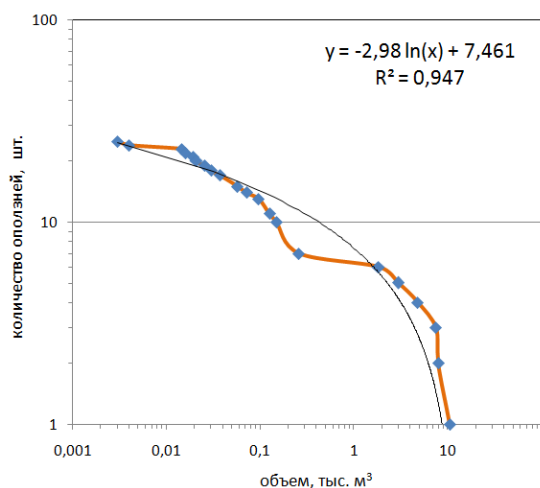


Рис. 12. Кумулятивный график распределения оползней по объемам, произошедших на территории г. Горького (в настоящее время – г. Н. Новгород) в 1985 г.

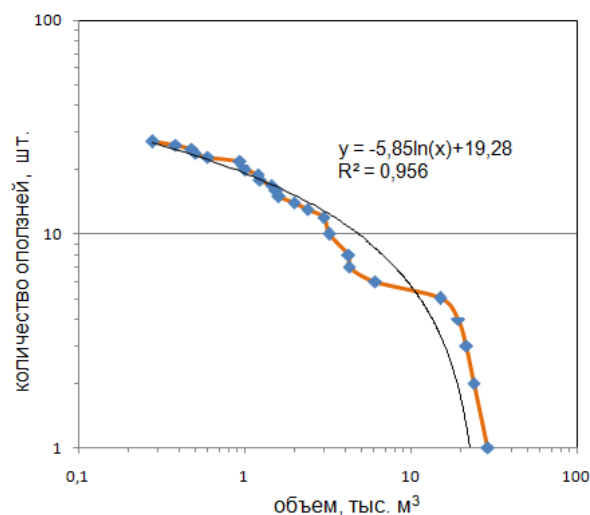


Рис. 13. Кумулятивный график распределения оползней по объемам, произошедших на территории г. Барнаула в 1990 г.

Материалы, представленные в главе 4, являются обоснованием третьего защищаемого положения (см. стр. 9).

Глава 5. Региональные закономерности развития современных оползневых процессов

В главе 5 рассмотрены региональные закономерности развития оползневых процессов. В первой части главы проанализированы материалы о ~539 тысячах сейсмогенных оползней различных типов и объемов, произошедших при 87 ощутимых и сильных землетрясениях второй половины XX в. – начала XXI в., охвативших территории с общей площадью ~581 тыс. км². Вторая часть главы посвящена выявлению роли эндогенных геологических процессов в формировании региональных закономерностей развития крупнейших проявлений оползневых процессов на Земле. В третьей части главы дополнительно рассмотрена значимость метеоклиматических воздействий в развитии оползневых процессов при совместном действии с эндогенными факторами.

В рамках диссертационной работы в основу анализа роли в развитии оползней эндогенных геологических процессов, рассматриваемых в качестве "фактора среды", предопределяющего общие закономерности распространения современных оползневых процессов, положены воззрения концепции тектоники литосферных плит. Для решения поставленных задач была подготовлена (с использованием материалов В.Е.Хаина, Ю.Г. Гатинского с соавторами, П. Бёрда, Ч. ДеМетса, В.Г. Трифонова) «Схема основных плейт-тектонических структур Земли» (рис. 14). На представленной «Схеме...» в качестве основных плейт-тектонических структур показано 7 литосферных плит I порядка (мегаплит), 16 литосферных плит II порядка (мезоплит) и 16 литосферных плит III порядка (микроплит), а также 15 "транзитных зон" (по Ю.Г. Гатинскому и Д.В. Рунквисту), представляющих собой региональные пояса сложного геологического строения ("диффузные границы плит" (по

В.Е. Хаину)). Также на «Схему...» были вынесены данные о расположении «горячих точек» (гавайской, канарской и др.), представляющих собой области в пределах литосферных плит, находящихся над мантийными струями.

Анализ пространственного соотношения основных плейт-тектонических структур Земли, в первую очередь, региональных поясов "транзитных зон" ("диффузных границ плит"), и расположения наиболее крупномасштабных оползней показал (рис. 14):

- в непосредственной близости (не далее, чем 200 км) от границ литосферных плит (кроме "диффузных границ плит"), располагается ~13% наиболее крупномасштабных проявлений оползневых процессов;

- непосредственно в пределах региональных поясов "транзитных зон" ("диффузных границ плит") располагается >56% наиболее крупномасштабных проявлений оползневых процессов;

- в районах вулканических островов, вблизи воздействия «горячих точек», находится >13% наиболее крупномасштабных проявлений оползневых процессов;

- в областях современных активных тектонических движений, обусловленных разрушением ледяных щитов последнего оледенения, располагается ~3% наиболее крупномасштабных проявлений оползневых процессов.

Таким образом, в областях современного активного проявления эндогенных процессов располагается свыше 85% наиболее крупномасштабных проявлений оползневых процессов на Земле. Помимо этого, свыше 90% областей массового развития оползней при землетрясениях также располагается либо непосредственно в пределах региональных поясов "транзитных зон", либо в непосредственной близости от границ литосферных плит (рис. 14).

На примере оползнеобразования в близких геоморфологических условиях (среднегорье) в эпицентральных зонах землетрясений Авей (Иран, 2002) и Ибури (Хоккайдо, Япония, 2018), имевших близкие магнитуды, но расположенных в различных климатических условиях, было показано, что действие эндогенных факторов и метеоклиматических воздействий приводит к формированию кумулятивного эффекта и может сопровождаться увеличением количества формирующихся оползней на порядок (табл. 3).

На основе материала, изложенного в пятой главе, сформулировано четвертое защищаемое положение (см. стр. 9).

Глава 6. Общие закономерности развития оползневых и других гравитационных склоновых процессов на территории Российской Федерации

В главе рассмотрены и проанализированы закономерности развития оползневых и других склоновых процессов на территории Российской Федерации.

Оползни на территории Российской Федерации развиты неравномерно. Ежегодно на

территории страны фиксируется активное развитие от <1 тыс. до >2,6 тыс. оползней, а также образуется от нескольких десятков до 300 новых оползней. На развитие и распространение оползневых процессов основное влияние оказывают эндогенная геодинамика и геоморфологические условия (характер и степень расчленения поверхности), являющиеся взаимосвязанными факторами, т.к. основные черты геоморфологического облика территорий предопределяются тектоническими движениями (рис. 15).

Наиболее ярко влияние структурно-тектонических и геоморфологических факторов на распространение и развитие оползневых процессов прослеживается на окраинах Евразийской литосферной плиты и территориях примыкающих к "диффузным границам плит" (по В.Е. Хаину) или "транзитным зонам" (по Ю.Г. Гатинскому и Д.В. Рунквисту). Для Северо-Кавказского региона, представляющего собой инженерно-геодинамически активную зону взаимодействия Евразийской литосферной плиты с серией микроплит Альпийско-Гималайской транзитной зоны, площадная пораженность оползневыми процессами составляет от 25% (центральная часть северного склона Кавказа) до более 60% (западный фланг северного склона Кавказа), частотная пораженность составляет от 0,09 оп/км² (северный макросклон Кавказа) до 0,45 оп/км² (Черноморское побережье Западного Кавказа, без Сочи), возрастая в зонах интенсивного техногенного воздействия до значений от 1,67-2,29 оп/км² (Ставрополь, Севастополь, ЮБК) до 11,03 оп/км² (Сочи). Для сравнения, в центральной части Евразийской литосферной плиты общая площадная пораженность оползневыми процессами составляет от нескольких десятых процента до первых процентов, возрастая лишь на отдельных участках в зоне влияния геоморфологических факторов в долинах крупных рек до 9-10% (участки долин рек Волги, Оки, Дона), частотная пораженность составляет от 0,010 оп/км² (центральная часть Восточно-Европейской равнины) до 0,012 оп/км² (Приволжская возвышенность), возрастая на порядок в зонах интенсивного техногенного воздействия - до 0,23-0,54 оп/км² (Москва, Н. Новгород).

Существенно различаются внутриплитные области и зоны взаимодействия плейт-тектонических структур по активности оползневых процессов. Среднегодовое значение активности оползней в пределах Северо-Кавказского региона составляет 30-40% активных форм ежегодно при пиковых значениях в условиях массовой активизации до 90% от общего числа проявлений оползневых процессов (рис. 16). Для Алтая, также представляющего собой инженерно-геодинамически активную зону сочленения Евразийской литосферной плиты с

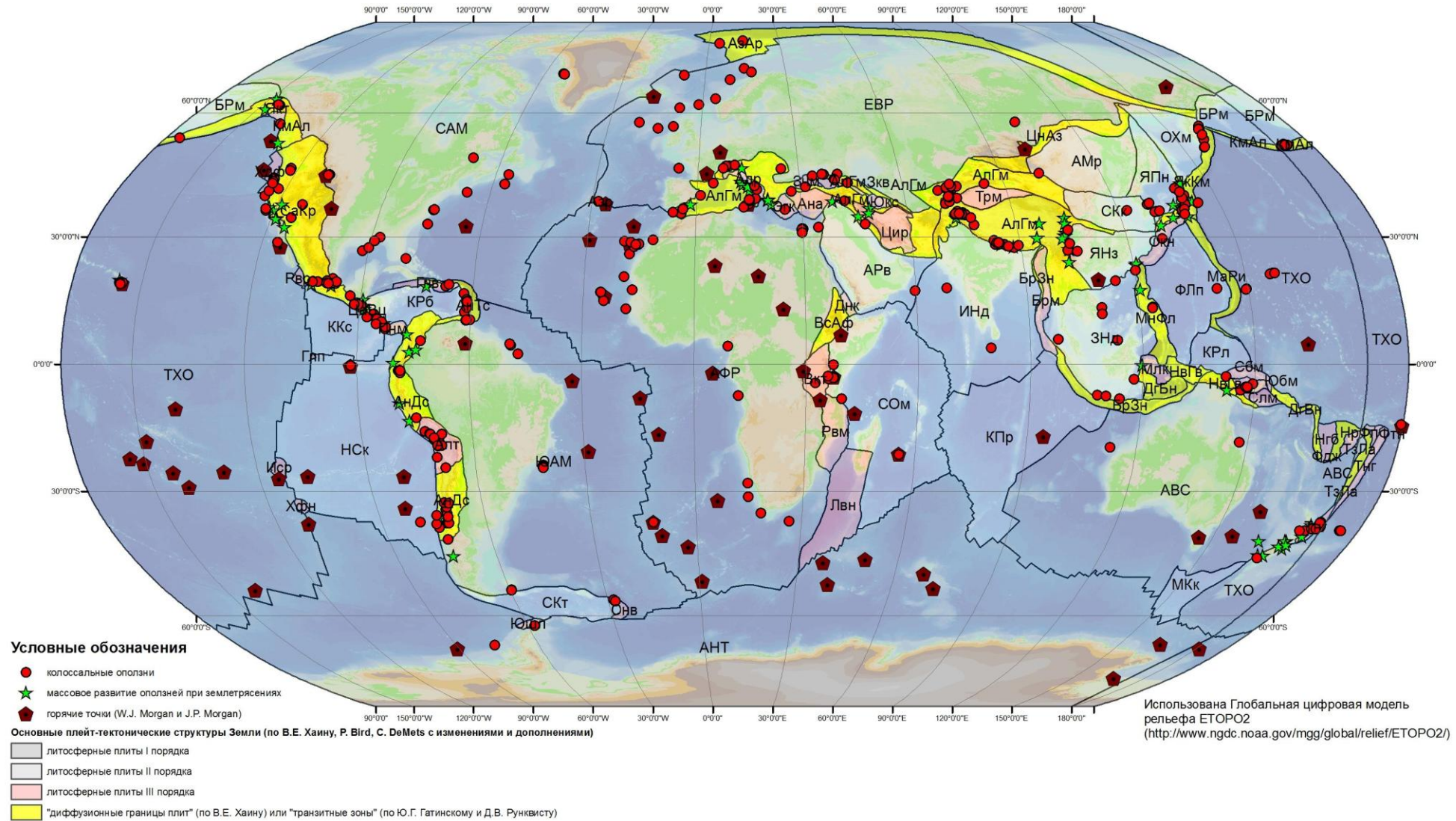


Рис. 14. Пространственное соотношение основных плит-тектонических структур Земли и расположения наиболее крупномасштабных проявлений оползневых процессов и областей массового развития оползней при землетрясениях (сост. О.В. Зеркалем).

Буквенными индексами на рисунке 14 обозначены следующие основные плейт-тектонические структуры Земли (по В.Е. Хаину):

литосферные плиты I порядка: АВС – Австралийская, АНТ – Антарктическая, АФР – Африканская, ЕВР – Евразийская, САМ – Североамериканская, ТХО – Тихоокеанская, ЮАМ – Южноамериканская;

литосферные плиты II порядка: АМр – Амурская, АРв – Аравийская, БРм – Беринговоморская, ЗНд – Зондская, ИНд – Индийская, ККс – Кокос, КРб – Карибская, КРл – Каролинская, НСк – Наска, ОХм – Охотоморская, СКк – Северокитайско-Корейская, СКт – Скотия, СОм – Сомалийская, ФЛп – Филиппинская, ЯНз – Яндзы (Южнокитайская), ЯПн – Япономорская;

литосферные плиты III порядка: Глп – Голапагосская, Иср – Истер, Нгб – Новогибридская, Окн – Окинава, Пнм – Панамская, Рвр – Ривера, Сбм – Северобисмаркская, Слм – Соломонова, Снв – Сандвичева, Тнг – Тонга, Фдж – Фиджи, Фтн – Футуна, Хдф – Хуан-де-Фока, Хфн – Хуан-Фернандес, Юбм – Южнобисмаркская, Якт – Якутат;

"диффузные границы плит" (по В.Е. Хаину) или "транзитные зоны" (по Ю.Г. Гатинскому и Д.В. Рунквисту): АзАр – Азиатско-Арктическая, АлГс – Альпийско-Гималайская, АнДс – Андская, БрЗн – Бирмано-Зондская, Всаф – Восточно-Африканская, ДгБн – дуги Банда, ДгВн – дуги Вануату, КмАл – Командорско-Алеутская, МаРи – Марианская, МнФл – Манило-Филиппинская, НвГв – Новогвинейская, НрФл – Норфолк, СаКр – Североамериканских Кордильер, ТзЛа – Лау, ЦнАз – Центрально-Азиатская, ЯкКм – Японско-Курильско-Камчатская.

Таблица 3.

Проявление кумулятивного эффекта при совместном воздействии эндогенного (сейсмичность) и метеоклиматического факторов на оползнеобразование

	Эпицентральная зона землетрясения Авей (Иран)	Эпицентральная зона землетрясения Ибури (Хоккайдо, Япония)
Дата	22.06.2002	06.09.2018
Магнитуда (M_w)	6,5	6,6
Среднегодовое количество осадков в регионе	210-460 mm	800-1200 mm
Выпадение осадков после землетрясения	нет	300 мм спустя 1 день (тайфун Джеби)
Площадь, охваченная активизацией оползней, км ²	3600	2266,5
Количество оползней	550	5977

серией структур Центрально-Азиатской транзитной зоны, среднемноголетнее значение активности оползней достигает 15% активных форм ежегодно при пиковых значениях в условиях массовой активизации до 45% от общего числа проявлений оползневых процессов. Для сравнения, в пределах Восточно-Европейской коровой плиты (часть Евразийской литосферной плиты) среднемноголетнее значение активности оползней (в областях, относимых к районам с высокой (!) пораженностью (Н.Новгород, Волгоград)) не превышает 7-10% активных форм ежегодно при пиковых максимальных значениях в условиях массовой активизации до 20%, реже - 30%, от общего числа проявлений (рис. 16).

В региональных поясах взаимодействия жестких блоков земной коры (литосферных плит, тектонических плит), характеризующихся современными контрастными

тектоническими движениями (как следствие – расчлененным рельефом) и высокой сейсмичностью, действие других геологических факторов (состав комплексов пород, характер их залегания, гидрогеологические условия) существенно ретушируется ведущим эндогеодинамическим фактором, контролирующим интенсивность, масштабность развития склоновых процессов. В этих регионах преобладающими типами гравитационных процессов являются обвалы, оползни-обвалы и каменные лавины, оползни скольжения и оползни сдвига, осыпи, водокаменные сели, в районах с широким распространением глинистых формаций - оползни течения и грязекаменные сели. Здесь также типично широкое развитие сейсмогенных или сейсмоиндуцированных проявлений современных склоновых процессов.

Во внутриплитных областях на первый план по уровню воздействия на развитие современных склоновых процессов выходят особенности геоморфологических условий и строения верхней части (т.е. вблизи дневной поверхности) геологического разреза. В пределах внутриплитных областей повышенная активность развития оползней приурочена к участкам с относительно контрастным рельефом, сформировавшимся на новейшем (тектоническом) и современном (постледниковом) этапе геологического развития территории. При этом контрастность рельефа внутриплитных регионов (перепад высот 50-150 м, реже более) существенно ниже контрастности рельефа, характерного для областей взаимодействия жестких блоков земной коры, где перепады высот склонов могут составлять от многих сотен метров до более 1 км.

В пределах Российской Федерации существенное влияние на особенности современной активности оползневых процессов оказывают тип и режим современной увлажненности и теплообеспеченности территории, которые носят отчетливый зонально-секторный характер и рассматриваются в качестве быстро изменяющихся факторов оползнеобразования. На большей части Российской Федерации развитие современных оползней происходит в условиях избыточного увлажнения и лишь в южных регионах страны степень увлажнения становится недостаточной или скудной. В течение всего года над Российской Федерацией преобладает субширотный характер переноса влаги. Влияние западного атлантического потока влаги превалирует до $\sim 90^\circ$ в.д. (до меридианально ориентированных горных цепей Урала), уменьшаясь и ослабевая в полосе 90° - 120° в.д., где возрастает влияние тихоокеанского потока влаги, а также сказывается меридиональный (арктический) поток влаги с севера на юг. В восточной части страны ведущим является преимущественно тихоокеанский (с юго-востока) поток влаги.

Анализ и оценка влияния на развитие оползневых процессов зональных геологических, быстро изменяющихся факторов с учетом типа климата по широтной зональности и режиму циркуляции атмосферы показали высокую синхронность (по годам)

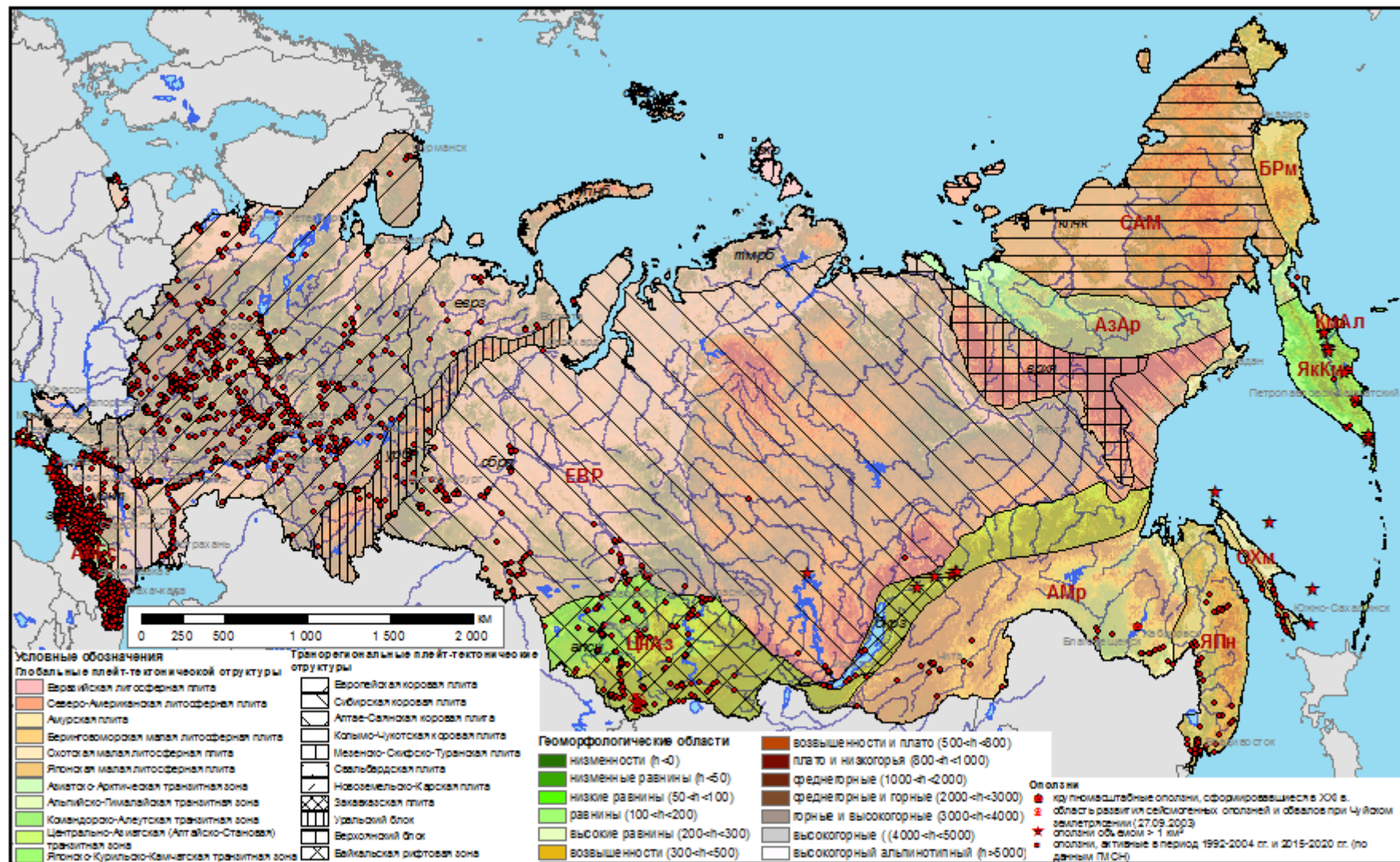


Рис. 15. Современная активность оползней в пределах плит-тектонических структур Северной Евразии (сост. О.В. Зеркалем).

Буквенными индексами обозначены:

I. Основные (глобальные) плейт-тектонические структуры (по В.Е. Хаину):

литосферные плиты I порядка: ЕВР – Евразийская, САМ – Североамериканская;

литосферные плиты II порядка: АМр – Амурская, БРм – Берингоморская, ОХм – Охотская (Охотоморская), ЯПн – Япономорская;

"диффузные границы плит" (по В.Е. Хаину) или "транзитные зоны" (по Ю.Г. Гатинскому и Д.В. Рунквисту): АЗАр – Азиатско-Арктическая, АлГс – Альпийско-Гималайская, КМал – Командорско-Алеутская, ЦнАз – Центрально-Азиатская, ЯкКм – Японско-Курильско-Камчатская.

II. Трансрегиональные плейт-тектонические структуры:

алси - Алтае-Саянская коровая плита

еврп - Европейская коровая плита

зквк - Закавказская плита

клчк - Колымо-Чукотская коровая плита

мскт - Мезенско-Скифско-Туранская коровая плита

сбрп - Сибирская коровая плита

зстр - Западно-Сибирско-Туранская субплита

свбр - Свальбардская плита

нзкр - Новоземельско-Карская плита

врхя - Верхоянский блок

урбл - Уральский блок

бкрз - Байкальская рифтовая зона

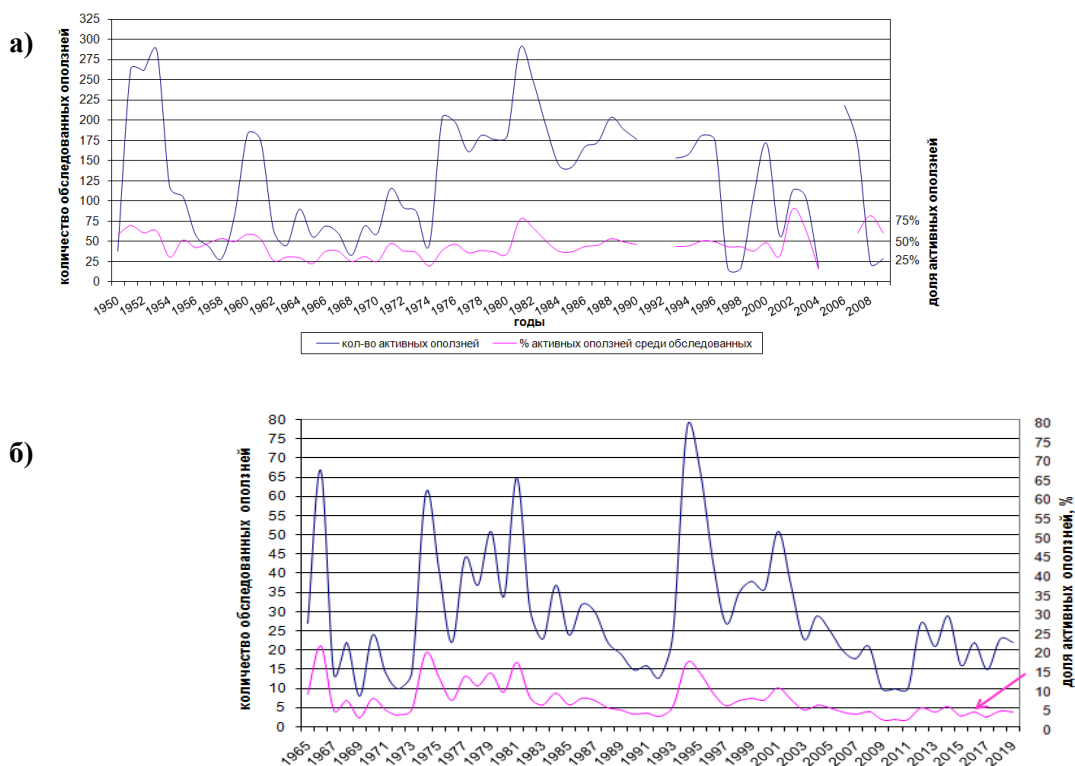


Рис. 16. Изменчивость активности оползневых процессов:

а) в Сочинско-Мацестинском районе (Альпийско-Гималайская транзитная зона);

б) в пределах Окско-Волжского косогора (центральная часть Евразийской литосферной плиты).

активизации оползней в пределах территорий с близким типом климата по широтной зональности. На рисунке 17 приведено сравнение динамики развития оползней в увязке с действием зонального геологического, быстро изменяющегося фактора на достаточно удаленных друг от друга участках - в пределах Окско-Волжского косогора (рис. 17а) и в районе г. Барнаула (рис. 17б), расположенных в пределах территории с одинаковым (среднеширотным) типом климата, но с различным режимом циркуляции атмосферы - атлантическим и среднеазиатским, соответственно, а также в Дагестане (рис. 17в) и на Сахалине (рис. 17г), расположенных в пределах территории с одинаковым (южным) типом климата, но с различным режимом циркуляции атмосферы - атлантическим и тихоокеанским, соответственно.

Активность и характер современных антропогенно обусловленных оползневых процессов при различных типах инженерно-хозяйственной деятельности в значительной мере зависят от влияния, с одной стороны, особенностей природных условий, а, с другой стороны, интенсивности и типа техногенного освоения территории. По особенностям воздействия и специфическим группам антропогенно обусловленных оползневых процессов выделены следующие типы техногенеза: горнодобывающий, гидротехнический, транспортный (преимущественно линейное строительство), селитебный (промышленное и гражданское строительство), сельскохозяйственный, включая мелиоративную деятельность, лесотехнический.

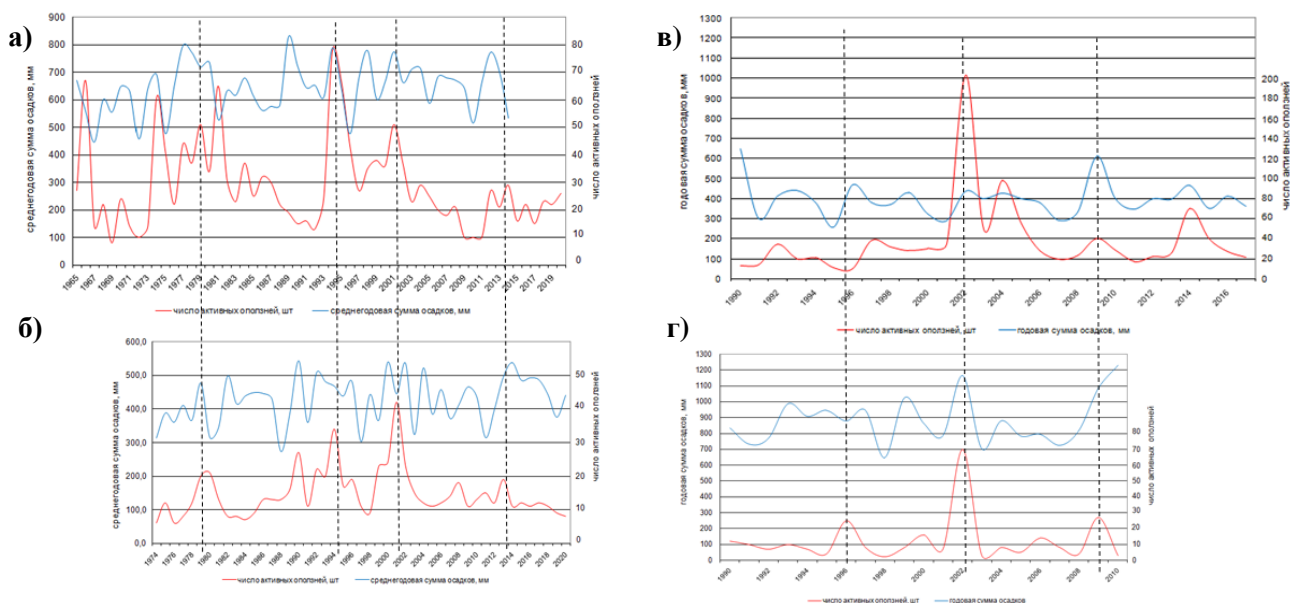


Рис. 17. Сравнение влияния быстро изменяющихся факторов развития оползневых процессов в пределах среднеширотного (а-б) и южного (в-г) типов климата (по широтной зональности) в областях с различным режимом циркуляции атмосферы:

- а) - атлантическим (в пределах Окско-Волжского косогора) и б) - среднеазиатским (район г. Барнаула);
- в) - атлантическим (Дагестан) и г) - тихоокеанским (Сахалин).

Природные факторы формируют фоновые условия образования и последующего развития техногенно индуцированных оползневых процессов, а антропогенное воздействие выступает триггерным фактором оползнеобразования. Техногенно индуцированные оползни при антропогенном воздействии развиваются как на естественных склонах, так и формируются на искусственно созданных склонах. Как было отмечено выше, интенсивность развития оползневых процессов под влиянием техногенного воздействия может возрастать на порядок.

Изложенный материал является основой для формулирования пятого защищаемого положения (см. стр. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оползневые процессы, являясь одними из наиболее катастрофических геологических процессов, представляют собой разномасштабные, сложные по своей структуре явления, с различной динамикой и особенностями, развивающиеся как в природных условиях, так и, нередко, при негативном техногенном влиянии на геологическую среду. Изучение оползневых процессов является одной из основных, самостоятельных задач, решаемых в инженерной геологии и смежных научных дисциплинах.

В рамках выполненных исследований отмечено наличие нескольких концептуальных подходов в изучении оползневых и других склоновых процессов, что предопределяет сложность, полисемантическую понятийной базы оползневедения.

Показано, что изучение особенностей образования и смещения оползней должно основываться на естественно-историческом подходе с анализом геологической истории развития территории с выделением нескольких фаз в подготовке и развитии процесса оползания – (1) образования и трансформации массивов горных пород, (2) расчленения поверхности с формированием склонов, (3) собственно развития склоновых деформаций и (4) последующего развития территории.

Обосновано, что участки разновременного, повторного развития оползневых процессов необходимо выделять в самостоятельный тип - участки типа "палимпсест", для которых характерна ре-активизация деформаций в современных инженерно-геологических условиях, в то время как формирование и начальное развитие оползневых смещений происходило в иных, в настоящее время не существующих инженерно-геологических условиях.

Доказано, что распределение проявлений оползневых процессов по своей масштабности (объемам) на территории их развития/активизации количественно

описывается логарифмической функцией, коэффициенты которой варьируют в зависимости от особенностей инженерно-геологических условий.

В результате проведенных исследований выявлены основные региональные закономерности развития оползневых процессов, обоснована роль эндогенных процессов как одного из важнейших региональных (медленно изменяющихся) факторов, влияющих на формирование оползней. Показано, что регионы с наиболее высокой интенсивностью развития оползневых процессов тяготеют к диффузным границам тектонических плит, а также к областям внутриплитного высвобождения эндогенной энергии.

Установлено, что в пределах относительно жестких блоков земной коры предрасположенность территорий к развитию оползневых процессов определяется действием региональных геологических факторов (преимущественно геоморфологического). При этом внутригодичная и многолетняя активность развития оползневых процессов контролируется действием метеоклиматических факторов, имеющих зонально-секторный характер. Показано, что на территориях интенсивного освоения значимым фактором развития оползневых процессов является техногенное воздействие.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности и отрасли наук:

1. **Зеркаль, О.В.** Этапы развития, современное состояние и перспективы ведения мониторинга экзогенных геологических процессов в составе государственного мониторинга состояния недр РФ / О.В. Зеркаль, В.В. Маркарьян // Записки Горного института. – 2003. – Т. 153. – С. 67-69. Импакт-фактор РИНЦ – 4,92; объем публикации: 0,28 п.л., вклад соискателя: 0,14 п.л.

2. **Зеркаль, О.В.** Основные подходы к применению ГИС-технологий при ведении мониторинга экзогенных геологических процессов / О.В. Зеркаль, И.С. Антипина, Н.Ю. Терешкова // Записки Горного института. – 2003. – Т. 153. – С. 64-66. Импакт-фактор РИНЦ – 4,92; объем публикации: 0,28 п.л., вклад соискателя: 0,11 п.л.

3. Калинин, Э.В. Изменение напряженно-деформированного состояния массивов горных пород при прохождении сейсмических волн / Э.В. Калинин, Л.Л. Панасьян, **О.В. Зеркаль** // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2004. – № 3. – С. 265-272. Импакт-фактор РИНЦ – 0,45; объем публикации: 0,98 п.л., вклад соискателя: 0,34 п.л.

4. **Zerkal, O.V.** The Karmadon rock-ice blockage: its formation and degradation / O.V. Zerkal, A.A. Goncharov, A.P. Polkvoi, G.A. Dolgov, I.M. Vas'kov // Italian Journal of Engineering Geology and Environment / Special Issue on Security of Natural and Artificial Rockslide Dams. – 2006. – № 1. – P. 95-97. Импорт-фактор SJR – 0,19; объем публикации: 0,38 п.л., вклад соискателя: 0,11 п.л.

5. **Зеркаль, О.В.** Инженерно-геологическое и инженерно-сейсмологическое изучение эпицентральных зон сильных землетрясений / О.В. Зеркаль // ГеоРиск. – 2010. – № 1. – С. 62-65. Импорт-фактор РИНЦ – 0,128; объем публикации: 0,33 п.л.

6. Pánek, T. A megalandslide in the Northern Caucasus foredeep (Uspenskoye, Russia): Geomorphology, possible mechanism and age constraints/T. Pánek, K. Šilhán, J. Hradecký, A. Strom, V. Smolková, **O. Zerkal** // Geomorphology. – 2012. – V. 177. – № 1. – P. 144-157. Импорт-фактор SJR – 1,06; объем публикации: 1,95 п.л., вклад соискателя: 0,20 п.л.

7. **Зеркаль, О.В.** Оценка влияния анизотропии свойств грунтов на устойчивость склонов / О.В. Зеркаль, И.К. Фоменко // Инженерные изыскания. – 2013. – № 9. – С. 44-50. Импорт-фактор РИНЦ – 0,286; объем публикации: 0,57 п.л., вклад соискателя: 0,23 п.л.

8. **Зеркаль, О.В.** Основные направления инженерно-геодинамических исследований на современном этапе и развитие методов изучения оползневых процессов (по материалам XII Международного конгресса IAEG) / О.В. Зеркаль // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2015. – № 5. – С. 441-449. Импорт-фактор РИНЦ – 0,45; объем публикации: 0,98 п.л.

9. Фоменко, И.К. Оценка устойчивости склонов при инженерных изысканиях: нормативные требования и проблемы их выполнения / И.К. Фоменко, **О.В. Зеркаль** // Инженерные изыскания. – 2016. – № 10-11. – С. 64-70. Импорт-фактор РИНЦ – 0,286; объем публикации: 0,57 п.л., вклад соискателя: 0,29 п.л.

10. **Зеркаль, О.В.** Влияние различных факторов на результаты вероятностного анализа активизации оползневых процессов / О.В. Зеркаль, И.К. Фоменко // Инженерная геология. – 2016. – № 1. – С. 16-21. Импорт-фактор РИНЦ – 0,275; объем публикации: 0,75 п.л., вклад соискателя: 0,38 п.л.

11. **Зеркаль, О.В.** Оползни в скальных грунтах и оценка их устойчивости / О.В. Зеркаль, И.К. Фоменко // Инженерная геология. – 2016. – № 4. – С. 4-21. Импорт-фактор РИНЦ – 0,275; объем публикации: 2,25 п.л., вклад соискателя: 1,13 п.л.

12. **Зеркаль, О.В.** Современные проблемы четвертичной геологии центральной части Крымского полуострова / О.В. Зеркаль, Р.Р. Габдуллин, Е.Н. Самарин // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2017. – №3. – С. 27-34. Импорт-фактор РИНЦ – 0,201; объем публикации: 1,00 п.л., вклад соискателя: 0,33 п.л.

Zerkal, O.V. Current Problems in the Quaternary Geology of Central Crimea / O.V. Zerkal, R.R. Gabdullin, E.N. Samarin // Moscow University Geology Bulletin. – V. 72. – № 4. – P. 255-262. Импакт-фактор SJR – 0,24; объем публикации: 1,00 п.л., вклад соискателя: 0,33 п.л.

13. Нгуен, Ч.К. Оценка оползневого риска (на примере северо-западной части провинции Лаокай, Вьетнам) / Ч.К. Нгуен, И.К. Фоменко, **О.В. Зеркаль**, В.В. Пендин // Инженерная геология. – 2018. –Т. 13. – № 3. – С. 40-53. Импакт-фактор РИНЦ – 0,275; объем публикации: 1,75 п.л., вклад соискателя: 0,44 п.л.

14. Алексеев, А.С. Погребенный оползневой блок в разрезе среднеюрских отложений на территории Москвы / А.С. Алексеев, Р.Р. Габдуллин, Е.Н. Самарин, **О.В. Зеркаль**, Ю.И. Ростовцева // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2019. – № 3. – С. 28-34. Импакт-фактор РИНЦ – 0,201; объем публикации: 0,88 п.л., вклад соискателя: 0,18 п.л.

Alekseev, A.S. A buried landslide block in a section of middle jurassic deposits in the Moscow region / A.S. Alekseev, R.R. Gabdullin, E.N. Samarin, **O.V. Zerkal**, J.I. Rostovtsteva // Moscow University Geology Bulletin. – 2019. – V. 74. – № 4. – P. 357-363. Импакт-фактор SJR – 0,24; объем публикации: 0,88 п.л., вклад соискателя: 0,18 п.л.

15. **Зеркаль, О.В.** Буреинский оползень 11 декабря 2018 г. Условия формирования и особенности механизма развития / О.В. Зеркаль, А.Н. Махинов, А.В. Кудымов, М.Е. Харитонов, И.К. Фоменко, О.С. Барыкина // ГеоРиск. – 2019. – Том XII. – № 4. – С. 46-58. Импакт-фактор РИНЦ – 0,128; объем публикации: 1,06 п.л., вклад соискателя: 0,42 п.л.

16. **Зеркаль, О.В.** Проблемы и современное развитие представлений о крупных оползнях г. Москвы (комментарии к статье М.П. Кропоткина, Н.А. Орловой «Крупные оползни Москвы - новые взгляды или новые заблуждения?») / О.В. Зеркаль, О.С. Барыкина, И.К. Фоменко // Инженерная геология. – 2020. – Т. XV. – № 4. – С. 30-41. Импакт-фактор РИНЦ – 0,275; объем публикации: 1,38 п.л., вклад соискателя: 0,46 п.л.

17. **Зеркаль, О.В.** Оползни скольжения и оползни сдвига: особенности развития и типизация / О.В. Зеркаль // Инженерная геология. – 2021. – Т. XVI. – № 1. – С. 38-59. Импакт-фактор РИНЦ – 0,275; объем публикации: 2,63 п.л.

18. Strom, A. Role of flysch in rock avalanches formation in the eastern sector of the Alpine-Mediterranean belt / A. Strom, **O. Zerkal** // Rivista Italiana Di Geotecnica. – 2022. – V. 1236. – № 2. – P. 24-33. Импакт-фактор SJR – 0,189; Объем публикации: 0,84 п.л., вклад соискателя: 0,50 п.л.

19. Зыонг, В.Б. Влияние разрешения цифровой модели рельефа на картирование предрасположенности территории к развитию оползней / В.Б. Зыонг, И.К. Фоменко, Д.Т. Та, Ч.К. Нгуен, **О.В. Зеркаль**, Д.Н. Горобцов, Х.Д. Ву // Известия Томского политехнического

университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 8. – С. 164-181. Импакт-фактор РИНЦ – 1,127; объем публикации: 1,74 п.л., вклад соискателя: 0,26 п.л.

Duong, V.B. Influence of digital elevation model resolution on mapping territory susceptibility to landslide development / V.B. Duong, I.K. Fomenko, D.T. Ta, T.K. Nguyen, **O.V. Zerkal**, D.N. Gorobtsov, H.D. Vu // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University Geo Assets Engineering. - 2023. - v. 334 - №8. Импакт-фактор SJR – 0,28; объем публикации: 1,74 п.л., вклад соискателя: 0,26 п.л.

20. Фролова, Ю.В. Гидротермальные преобразования пород как фактор развития оползневых процессов в геотермальных районах Курило-Камчатской вулканической дуги / Ю.В. Фролова, **О.В. Зеркаль**, И.Е. Большаков // Грунтоведение. – 2023. – № 2(21). – С. 36-43. Импакт-фактор РИНЦ – 0,04; объем публикации: 0,98 п.л., вклад соискателя: 0,33 п.л.

21. Зыонг, В.Б. Оценка оползневой опасности с использованием метода соотношения частот и комбинированного фрактально-частотного метода на примере города Тиньтук провинции Каобанг (Вьетнам) / В.Б. Зыонг, И.К. Фоменко, Ч.К. Нгуен, **О.В. Зеркаль**, О.Н. Сироткина, Х.Д. Ву // Записки Горного института. – 2024. –Т. 268. – С. 613-624. Импакт-фактор РИНЦ – 4,92; объем публикации: 0,93 п.л., вклад соискателя: 0,15 п.л.

Duong, V.B. Landslide hazard assessment in Tinh Tuc town, Cao Bang province, Vietnam using frequency ratio method and the combined fractal-frequency ratio method / V.B. Duong, I.K. Fomenko, Nguyen Trung Kien, **O.V. Zerkal**, O.N. Sirotkina, Vu Hong Dang // Journal of Mining Institute. – 2024. – V. 268. Импакт-фактор SJR – 1,14; объем публикации: 0,93 п.л., вклад соискателя: 0,15 п.л.

22. **Зеркаль, О.В.** Оползневые отложения как отдельный генетический тип грунтов. Их классификация (Статья 1) / О.В. Зеркаль // Грунтоведение. – 2024. - №1(22). – С. 9-19. Импакт-фактор РИНЦ – 0,04; объем публикации: 1,35 п.л.

Иные научные труды

Статьи в сборниках из баз SCOPUS и WoS

23. **Zerkal, O.V.** Landslide hazard evaluation based on studies of peculiarities of slope deposit deformation during landslide flow movement/O.V. Zerkal, V.N. Sokolov // Engineering Geology: Proc. of 8th Congress of the IAEG. – Rotterdam: Balkema, 2000, V. 6. – P. 4119-4124. Объем публикации: 0,4 п.л., вклад соискателя: 0,2 п.л.

24. Gvozdeva, I.P. Hydrothermally altered rocks as a field of dangerous slope processes (the Geysers Valley, Kamchatka peninsula, Russia) / I.P. Gvozdeva, **O.V. Zerkal** // Volcanic Rocks and Soils: Proc. of the Internat. Workshop on Volcanic Rocks and Soils. - London: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2016. – P. 115-118. Объем публикации: 0,26 п.л., вклад соискателя: 0,13 п.л.

25. **Zerkal, O.V.** Modeling of stress concentration zones in heterogeneous rock masses within slopes / O.V. Zerkal, E.V. Kalinin, L.L. Panasyan // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proc. of the 2018 European Rock Mechanics Symposium (Eurock'2018). - London: Taylor&Francis Group, 2018, V. 2. – P. 1521-1525. Объем публикации: 0,76 п.л., вклад соискателя: 0,25 п.л.

Монографии, учебники, учебные пособия и методические рекомендации

26. **Зеркаль, О.В.** Временные требования по подготовке ежеквартальных информационных отчетов по ведению мониторинга экзогенных геологических процессов / О.В. Зеркаль, В.В. Маркарьян. – М.: Изд-во МГУ, 2002. - 54 с. Объем публикации: 4,38 п.л., вклад соискателя: 2,19 п.л.

27. **Зеркаль, О.В.** Склоновые геологические процессы / О.В. Зеркаль, Э.В. Калинин, О.С. Барыкина, Н.Б. Артамонова, И.П. Гвоздева, И.К.Фоменко, А.И. Тюрин, В.Ю. Ионов, А.Л. Стром / Под редакцией В.Т. Трофимова, О.В. Зеркаля. – М.: Изд-во «Перо», 2022. – 724 с. Объем публикации: 90,5 п.л., вклад соискателя: 29,88 п.л.

Главы в монографиях

28. **Зеркаль, О.В.** Закономерности распределение современных природных геологических процессов (гл. 32)/О.В. Зеркаль / Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России / под ред. В.Т.Трофимова и Э.В.Калинина. – М.: КДУ, 2013а. – С. 674-696. Объем публикации: 2,67 п.л.

29. **Зеркаль, О.В.** Закономерности распределения современных антропогенных геологических процессов (гл. 33) / О.В. Зеркаль / Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России / под ред. В.Т.Трофимова и Э.В.Калинина. – М.: КДУ, 2013б. – С. 696-713. Объем публикации: 1,98 п.л.

30. **Зеркаль, О.В.** Инженерно-геодинамическое районирования территории России (гл. 34) / О.В. Зеркаль / Инженерная геология России. Т. 2. Инженерная геодинамика территории России/под ред. В.Т.Трофимова и Э.В.Калинина. – М.: КДУ, 2013в. – С. 714-723. Объем публикации: 1,16 п.л.

31. **Zerkal, O.V.** Overview of landslides distribution in Russian Federation and variation of their activity due to climatic change (гл. 8)/O.V. Zerkal, A.L. Strom // Slope Safety Preparedness for Impact of Climatic Change/Н. Ken et al. (eds.). - London: CRC Press/Balkema, 2017. - P. 253-288. Объем публикации: 2,93 п.л., вклад соискателя: 1,47 п.л.

32. **Zerkal, O.V.** Landslide activity and landslide hazard in Geysir Valley (Kamchatka Peninsula, Russia) (гл. 23) / O.V. Zerkal, I.P. Gvozdeva // Natural Hazards and Risk Research in

Russia: Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering. - Springer, 2019. - P. 317-344. Объем публикации: 2,28 п.л., вклад соискателя: 1,14 п.л.

33. **Zerkal, O.V.** Study and instrumental monitoring of landslides at the "Russkie Gorki" site in the Mzymta River valley, Sochi region, Russia (гл. 12) / O.V. Zerkal, I.V. Averin, A.A. Ponomarev, E.N. Samarin, I.K. Fomenko, I.A. Rodkina // Landslides: Detection, Prediction and Monitoring / P. Thambidurai and T.N. Singh, eds. – Springer, 2023. – P. 245-261. Объем публикации: 1,38 п.л.; вклад соискателя: 0,23 п.л.

Статьи в журналах

34. **Зеркаль, О.В.** Влияние глобального изменения климата на активность опасных экзогенных геологических процессов на территории Северо-Кавказского региона / О.В. Зеркаль, И.Б. Королёв // ГеоРиск. – 2008. – № 3. – С. 16-20. Импакт-фактор РИНЦ – 0,50; объем публикации: 0,41 п.л., вклад соискателя: 0,29 п.л.

35. **Зеркаль, О.В.** Оценка геологических рисков в практике инженерных изысканий/О.В. Зеркаль // Инженерные изыскания. 2009. – № 9. – С. 40-43. Импакт-фактор РИНЦ – 0,256; объем публикации: 0,33 п.л.

36. **Зеркаль, О.В.** Оползни течения: роль строения массивов грунтов в их формировании, особенности развития и типизация / О.В. Зеркаль // Грунтоведение. – 2022. №1(18). - С. 3-23. Импакт-фактор РИНЦ – 0,294; объем публикации: 2,57 п.л.

Статьи в иных сборниках

37. Samarin, E.N. Paleolandslides in valley of Kunya-river and their influencing on modern slope instability // Landslides: Evaluation & Stabilization/E.N.Samarin, **O.V. Zerkal**. – Balkema, 2004. - V. 1. - P. 243-249 – Объем публикации: 0,56 п.л., вклад соискателя: 0,28 п.л.

38. **Zerkal, O.V.** Paleolandslides a Central Part of East European Plain (Russia) // Proc. of the Ist World Landslide Forum / O.V. Zerkal, E.N.Samarin. – Tokyo: ISDR-ICL, 2008. - Poster Session Volume. - P. 119-122. Объем публикации: 0,42 п.л.; вклад соискателя: 0,21 п.л.

39. **Зеркаль, О.В.** Особенности оползней как объектов изучения // Фундаментальные и прикладные вопросы инженерной геодинамики /О.В. Зеркаль / Сергеевские чтения, Вып. 24. - М.: Изд-во «Геоинфо», 2023. – С. 13-17. Объем публикации: 0,40 п.л.