

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА «ВЛАДИКАВКАЗСКИЙ НАУЧНЫЙ
ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

На правах рукописи



Свалова Валентина Борисовна

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ЛИТОСФЕРЕ**

Специальность 1.6.21. – Геоэкология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

доктора геолого-минералогических наук

Научный консультант
доктор физико-математических наук,
профессор В. Б. Заалишвили

Москва – Владикавказ, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ БЕДСТВИЯ, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК.....	23
1.1. Природные опасности и катастрофы.....	23
1.2. Геодинамическая опасность.....	34
1.3. Природные опасности в городах России	37
1.4. Геодинамическая опасность, ее формирование и геоэкологический риск.....	39
1.5. Выводы.....	46
ГЛАВА 2. ГЕОДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ АЛЬПИЙСКОГО И ТИХООКЕАНСКОГО ПОЯСОВ И МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР НАД ПОДНИМАЮЩИМСЯ МАНТИЙНЫМ ДИАПИРОМ.....	47
2.1. Сравнительная геодинамика и геотермия Альпийского и Тихоокеанского поясов	47
2.2. Механико-математическое моделирование формирования и эволюции геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром	55
2.3. Формирование и эволюция геологических структур	61
2.4. Выводы.....	69
ГЛАВА 3. ГЕОДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА И РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГЕОДИНАМИКИ.	71
3.1. Сейсмичность Кавказского региона.....	71
3.2. Геодинамика Кавказского региона.....	73
3.3. Геотермия Кавказского региона	76
3.4. Решение обратной задачи геодинамики.....	79
3.5. Выводы.....	86
ГЛАВА 4. ГЕОДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА И ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА.....	88
4.1. Строение и геодинамика литосферы восточного сегмента Кавказского региона	88
4.2. Геотермия Прикаспийской впадины	92
4.3. Гравитационное поле Прикаспийской впадины и ее обрамления	96
4.4. Термогравиметрическая модель осадочного бассейна.....	97
4.5. Выводы.....	102

ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА. МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ МАСС ПО ОПОЛЗНЕВОМУ СКЛОНУ	103
5.1. Геоэкологическая опасность оползнего процесса.....	103
5. 2. Опасные природные процессы на Тайване.....	105
5.2.1. Оползни и сели на Тайване. Системы мониторинга.....	105
5.2.2. Вопросы инженерной защиты и управления селевым потоком	112
5.2.3. Российско-Тайваньское сотрудничество	116
5.3. Классификация оползней	121
5.4. Моделирование оползнего процесса - механико-математическое моделирование гравитационного движения масс по оползневому склону.	122
5.6. Выводы.....	129
ГЛАВА 6. РИСК ОПАСНЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	130
6.1. Управление геоэкологическим риском	130
6.1.1. Различные подходы к оценке риска	132
6.1.2. Общий подход к оценке геоэкологического риска	134
6.2. Оценка геоэкологического риска и проблемы устойчивого развития горных территорий	136
6.2.1. Устойчивое развитие горных территорий.	136
6.2.2. Опасные природные процессы, стихийные бедствия и катастрофы горных территорий	140
6.2.3. Опасные природные процессы Кавказского региона	142
6.2.3.1. Сейсмичность	142
6.2.3.2. Оползневой риск на Северном Кавказе	143
6.2.3.3. Наводнения на Северном Кавказе	144
6.2.4. Потенциальный ущерб от природных опасностей и катастроф. Анализ фактического материала	146
6.2.5. Метод анализа иерархий Саати.....	151
6.3. Оценка оползнего риска урбанизированных территорий	158
6.3.1. Оползневой риск на территории Москвы	159
6.3.2. Активизация оползневых процессов в Москве	168
6.3.3. Анализ потенциального ущерба на территории Москвы.....	175
6.3.4. Методика построения карты оползнего риска.	192

6.4. Геоэкологический риск и проблемы территориального планирования для размещения объектов утилизации и глубокой переработки отходов.....	198
6.4.1. Природные опасности Московской области	199
6.4.2. Анализ и оценка геоэкологического риска опасных природных процессов Московской области	204
6.5. Выводы.....	218
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	219
ПОЛНЫЙ СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ	222
ТЕРМИНОЛОГИЯ.....	258
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	266
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	297
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	309
ССЫЛКИ.....	345

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Опасные природные процессы, стихийные бедствия и катастрофы являются постоянным спутником населения Земли. Эндогенные и экзогенные процессы определяют эволюцию Земли и в комплексе с климатическим режимом формируют геоэкологическую обстановку, благоприятную или катастрофическую для биоценоза. Ущерб и жертвы от землетрясений, наводнений, штормов, ураганов, цунами, извержений вулканов, оползней, селей, лавин и других опасных природных процессов и явлений со временем не только не уменьшаются, но продолжают расти. За последние двадцать лет в мире при стихийных бедствиях и в катастрофах погибло свыше 3 млн. человек, пострадало свыше 800 млн. [Безопасность России, 2015]. Тенденция к повышению опасности и риска природных и техногенных катастроф представляет угрозу человечеству, как на глобальном, так и на национальном и региональном уровне. На глобальном уровне существует тенденция роста экономических последствий стихийных бедствий и катастроф, масштаб которых превышает темпы роста производства мирового валового продукта. В этой связи возрастает необходимость на более глубоком научном уровне развития и разработки новых направлений и подходов к решению задач теории безопасности и прикладных методов анализа и управления риском опасных природно-техногенных процессов, чрезвычайных ситуаций, стихийных бедствий и катастроф. Одним из путей решения проблемы является углубленный анализ опасных природных процессов на основе разработки теории формирования и эволюции геологических структур, теории геодинамической и тектонической опасности и риска (риск-анализа) и развития методов оценки и управления геоэкологическим риском (риск-менеджмента).

Вертикальные и горизонтальные движения в литосфере неотделимы друг от друга, что вытекает из закона сохранения энергии и непрерывности масс. Тектонические движения и напряжения являются источником опасных геологических процессов. И хотя не существует опасных геологических

процессов, напрямую связанных с геодинамической и тектонической опасностью, выражающейся в наличии разломов, значительных вертикальных и горизонтальных скоростей движения поверхности, контрастности скоростей, трещиноватости пород, повышенного теплового потока, проявлений геотермальной активности, тем не менее, геодинамическую и тектоническую опасность следует рассматривать как источник и триггер многих известных опасных геоэкологических процессов, таких как землетрясения, оползни, вулканы, карст, лавины, сели и другие.

Прогноз и предупреждение стихийных бедствий или катастроф является одной из важнейших задач научной и народно-хозяйственной деятельности, полностью не решенных до сих пор. Большой объем работ при изучении опасных природных процессов связан с решением проблем формирования и эволюции геологических структур. Но комплексный подход к совместному решению этих проблем проработан недостаточно.

Степень разработанности темы исследования

В решении проблем оценки геодинамической опасности и управления природным и техногенным риском достигнут значительный прогресс. Особо следует отметить фундаментальные работы академика В.И. Осипова, д.г.-м.н. А.Л. Рагозина, ряда зарубежных авторов (Corominas J., Vranken L., Nadim, Dilley M., Wirtz A. и др.), а также многотомные издания «Природные опасности России» и «Безопасность России». Большой вклад в решение задач прогноза, мониторинга, раннего предупреждения и управления природным и техногенным риском вносит Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Большое количество работ посвящено решению проблем механико-математического и геодинамического моделирования в геологии. В этой связи необходимо отметить работы академика В.П. Мясникова, академика Е.В. Артюшкова, академика В.А. Бабешко, академика Л.И. Лобковского, академика Н.Л. Добрецова, академика А.Д. Гвишиани, чл.-корр. В.П. Трубицына, д.т.н. А.Г. Кирдяшкина, Д. Теркота и Дж. Шуберта, Х. Рамберга и многих других.

В.А. Бабешко разработал теорию блочных структур, позволяющую с высокой точностью описывать реальное поведение и свойства земной коры, Л.И. Лобковский разработал механико-математическую клавишную модель землетрясений, А.Д. Гвишиани и В.Н. Татаринов исследуют геодинамическую безопасность мест захоронения радиоактивных отходов, Ю.Л. Ребецкий исследует напряженно-деформированное состояние литосферы, М.Д. Хуторской анализирует связь теплового поля Земли и природных катастроф, разрабатывает проблему геоэкологического мониторинга, Е.А. Вознесенский изучает проблему влияния геодинамики на свойства грунтов при решении задач инженерной геологии, включая проблему разжижения грунтов. В работах В.И. Макарова исследуется связь эндогенных и опасных экзогенных процессов. В работах В.Б. Заалишвили, Х.О. Чотчаева, О.Г. Бурдзиевой анализируется причинно-следственная связь эндогенных геологических процессов с экзогенными процессами и с природными катастрофами. Такая связь наиболее ярко проявляется на горных территориях. В работах А.Л. Аникеева решаются задачи механического моделирования и оценки риска карста и суффозии. В работах Г.П. Постоева и А.И. Казеева решаются задачи механического моделирования и оценки риска оползневых процессов, в работах И.В. Козляковой для решения проблем подземного строительства разработаны методики оценки геоэкологического риска на основе геологической модели среды. В работах В.М. Макеева решаются задачи анализа и моделирования геологической среды при решении проблемы размещения площадок для строительства атомных станций. С.А. Несмеянов разрабатывает проблемы тектонической опасности на примере горных территорий Кавказа.

Одним из эффективных экономических инструментов управления риском является территориальное планирование на основе анализа, оценки и картографирования природных опасностей и рисков с выделением неблагоприятных для хозяйственной деятельности районов. Важнейшей задачей геолого-геофизических исследований является разработка комплексной системы геоэкологического мониторинга на основе теории управления риском. Но до сих

пор в России и мире нет разработанной общепринятой методики количественной оценки риска отдельных опасных природных процессов, а также интегрального риска [Осипов В.И., 2020].

Цель и основные задачи работы.

Целью исследования является разработка комплексной методологии оценки и управления геоэкологическим риском проявлений отдельных и интегральных природно-техногенных опасностей на основе механико-математического моделирования формирования и эволюции геологических структур.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1) Разработка комплексного подхода к изучению геодинамики литосферы и геоэкологического риска на базе механико-математического моделирования формирования и эволюции геологических структур по схеме: геодинамика литосферы – геодинамические процессы - геодинамическая опасность – опасные природные процессы – оценка природных опасностей– оценка и управление риском;

2) Создание механико-математической модели решения прямых и обратных задач геодинамики: – восстановление полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы по имеющимся данным о скоростях на дневной поверхности и – определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности. Полученные решения используются для анализа глубинных геодинамических процессов.

3) Разработка механико-математических моделей формирования и эволюции геологических структур с целью анализа геодинамической опасности регионов и отдельных территорий;

4) Выделение основных определяющих параметров геоэкологического риска для территорий различного масштаба: края, области, регионы и геологические обстановки;

5) Разработка унифицированной методики оценки ожидаемого геоэкологического риска отдельных и интегральных опасных природных процессов.

Объект исследований. Основным объектом исследования являются опасные природные процессы в литосфере и выявление их связей с глубинной геодинамикой с целью прогноза, предупреждения и снижения геоэкологического риска.

Предмет исследований. Обусловленные глубинными движениями геодинамические процессы, определяющие активность экзогенных процессов, методология оценок и управления геоэкологическим риском проявлений отдельных и интегральных природно-техногенных опасностей на основе механико-математического моделирования формирования и эволюции геологических структур.

Научная новизна.

Совместное решение проблем риск - анализа, оценки и управления природным риском и проблем формирования и эволюции геологических структур с целью анализа геодинамической опасности осуществляется впервые. Это способствует более глубокому пониманию проблемы прогноза и предупреждения опасных геоэкологических процессов, формирующих стихийные бедствия и катастрофы, разработке систем комплексного экологического мониторинга и раннего предупреждения, а также обеспечивает переход на унифицированный количественный подход к проблеме оценки и управления риском.

Впервые вводится понятие геодинамической опасности, как совокупности опасности геодинамических природных процессов и явлений в литосфере, связанных именно с движением вещества. Геодинамическая опасность – это опасность, вызванная движениями в литосфере разного масштаба. Геодинамические процессы связаны с геодинамикой и движением литосферных плит, подъемом мантийных диапиров и плюмов, движением в различных слоях литосферы и на поверхности Земли. Геодинамическая опасность характеризуется повышенными скоростями движения вещества тектонически расслоенной литосферы на разных глубинах, контрастностью скоростей поверхностных движений, повышенным напряженно-деформированным состоянием литосферы, трещиноватостью пород как показателем высоких напряжений, наличием

глубинных и поверхностных разломов, повышенным тепловым потоком, геотермальными проявлениями, повышенной сейсмичностью, вулканизмом и магматизмом, активизацией опасных природных процессов, таких как землетрясения, извержения вулканов, оползневые процессы, карст, цунами и др.

Комбинирование карт природных опасностей и рисков, а также карт, отражающих геодинамику литосферы, дает возможность установить их прямую связь и взаимозависимость. Зоны распространения землетрясений, вулканов, оползней, цунами совпадают с зонами активной геодинамики - коллизией литосферных плит, зонами активных разломов, зонами повышенного теплового потока, связанного с подъемом мантийных диапиров.

В свою очередь, проблема формирования и эволюции геологических структур в связи с подъемом мантийных диапиров на фоне коллизии литосферных плит служит основой для решения многих задач теоретической и практической геологии на новом научном количественном уровне. Взаимодействие и совместное развитие плюм-тектоники и тектоники литосферных плит отражает историю становления и борьбы концепций фиксизма и мобилизма, которая стала исторической вехой в развитии геологической науки. Такой подход позволяет объединить обе теории и решать проблемы теоретической геологии на базе механики сплошных сред. Это направление имеет самостоятельную научную значимость и новизну.

Многие геологические процессы определяются механическим поведением вещества на глубине мантии и на границе литосфера-астеносфера с источником процессов в ядре и нижней мантии. На механические движения налагаются геотермические процессы, геохимические преобразования вещества и фазовые переходы. Разогрев вещества и гравитационная неустойчивость определяют конвекцию и адвекцию в мантии.

Механические процессы, лежащие в основе формирования и эволюции геологических структур, являются тем базисом, который может и должен объединить концепции фиксизма и мобилизма и дать импульс к дальнейшему развитию новых направлений геологических наук на базе совместного развития

плюм-тектоники и тектоники плит, а также оценки и управления геологическим риском.

Вертикальные и горизонтальные движения в литосфере неотделимы друг от друга, что вытекает из закона сохранения энергии и непрерывности масс. Тектонические движения и напряжения являются источником опасных геологических процессов. И хотя не существует опасных геологических процессов, напрямую связанных с геодинамической и тектонической опасностью, выражающейся в наличии или активности разломов, значительных вертикальных и горизонтальных скоростей движения поверхности, контрастности скоростей, трещиноватости пород, повышенного теплового потока, проявлений геотермальной активности, тем не менее, геодинамическую и тектоническую опасность следует рассматривать как источник и триггер многих известных опасных геоэкологических процессов, таких как землетрясения, оползни, вулканы, карст, лавины, сели и другие.

Механические процессы являются основой для изучения и моделирования устойчивости оползневых склонов, движения селей, формирования обвалов и осыпей, схода лавин, формирования карста и суффозии, извержения вулканов, цунами, механики очага землетрясений, сейсмичности, переработки берегов, выветривания, наводнений, торнадо, штормов и др.

Тихоокеанское огненное кольцо и Альпийско-Гималайский пояс являются горячими линеаментами по геоэкологическому риску. Структуры характеризуются повышенным тепловым потоком и напряженно-деформированным состоянием литосферы, высокой сейсмичностью, извержениями вулканов, грязевым вулканизмом, гейзерами, горообразованием. Регионы характеризуются наличием интенсивных опасных природных процессов. Максимальная сейсмичность и самые глубокие и сильные землетрясения наблюдаются в зонах субдукции литосферных плит. Самый высокий тепловой поток фиксируется в центрах задуговых бассейнов, что связано с подъемом мантийных диапиров и где сейсмичность относительно ниже по сравнению с

зонами субдукции и островными дугами вследствие пониженной вязкости пород над горячим диапиром.

На этом напряженном геодинамическом фоне области с максимальной плотностью населения и инфраструктуры являются «горячими пятнами» по геоэкологическому риску. Одним из таких регионов является Кавказ.

В сжатой форме **научная новизна** работы может быть сформулирована следующим образом.

- Совместное решение проблем риск - анализа, оценки, управления природным риском и проблем формирования и эволюции геологических структур с целью анализа геодинамической опасности, обеспечивающее переход на унифицированный количественный подход к проблеме оценки и управления геоэкологического риска, осуществляется впервые.

- Разработаны модели формирования и эволюции геологических структур, обусловленные подъемом мантийных диапиров на фоне коллизии литосферных плит, что является основой совместного развития концепций плюм-тектоники и плит – тектоники.

- Вводится понятие геодинамической опасности, как совокупности опасностей геодинамических природных процессов и явлений в литосфере, связанных с движением вещества литосферы на различных масштабах.

- Предложены иерархические механико-математические модели формирования и эволюции разномасштабных геологических структур.

- Впервые разработана методика унифицированной оценки геоэкологического риска. Введено понятие «горячих пятен» риска, отличающихся повышенными уровнями геоэкологического риска.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке новых подходов при решении задач формирования и эволюции геологических структур на базе механико-математического моделирования с целью пошагового анализа развития и активизации опасных природных процессов, стихийных бедствий и катастроф, их прогноза, предупреждения и управления риском на основе концепции

геодинамической опасности (эндогенные и экзогенные процессы) в виде унифицированной количественной оценки и управления геоэкологическим риском.

Показано, что для практических целей нет необходимости строить подробную и трудоемкую карту геоэкологического риска. Более важным представляется выделить самые опасные и геоэкологически напряженные участки и территории, которые являются «горячими пятнами» по уровню ожидаемой опасности и соответствующему геоэкологическому риску. В этой связи предполагается необходимым полное исключение участков, характеризующихся наличием «горячих пятен», из целей практического развития, а именно – строительства зданий и сооружений и размещения особо опасных ответственных объектов. Большое значение приобретает концепция допустимого (приемлемого) риска, когда геоэкологический риск катастрофы значительно меньше преимуществ от освоения и развития территории.

В силу исторических и экономических причин не всегда возможно исключить сложившееся расселение на сейсмоопасных, оползнеопасных и цунамиопасных территориях. Но население должно быть об этом информировано, а властные структуры и МЧС - осведомлены о необходимых мерах мониторинга, прогноза, предупреждения и защиты.

Методология и методы исследования. При механико-математическом моделировании использовалась модель высоковязкой несжимаемой жидкости, описываемая уравнением Навье-Стокса. Использовались методы разложения по малому параметру, сращиваемых асимптотических разложений, последовательных приближений и приближения тонкого слоя.

При разработке проблем оценки и управления риском использовались методы и подходы риск-анализа и риск-менеджмента в связи с определением концепции управления риском, включающей следующие понятия: 1. Идентификация опасности; 2. Оценка уязвимости; 3. Анализ рисков; 4. Понятие приемлемого риска; 5. Оценка рисков; 6. Картографирование рисков; 7. Меры по снижению риска: а) законодательные; б) организационные и административные;

в) экономические, включая страхование; г) инженерно-технические; д) моделирование; е) мониторинг; ж) информация. В узком смысле управление риском рассматривается как система мер, ведущих к снижению риска.

Разработана и использована методика унифицированной оценки геоэкологического риска. Основой методики является выделение определяющих параметров опасности и ущерба, а также определение весовых характеристик параметров.

Использовались методы натурных наблюдений, методы комбинирования, комплексирования и суперпозиции геолого-геофизических данных и геологических карт, а также экспертных оценок. Одним из основных методов исследования при оценке риска явился метод анализа иерархий Саати.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Разработана концепция определяющей взаимосвязи геодинамической опасности и геоэкологического риска. Обосновано, что геодинамическая опасность – это опасность процессов движения или напряженно-деформированного состояния геологической среды для различных видов и масштабов движения вещества в литосфере. Геоэкологический риск опосредованно есть вероятностная мера геодинамической опасности.

2. Предложена механико-математическая модель формирования и эволюции геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром на основе приближенного решения уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости и применения методов разложения по малому параметру, сращиваемых асимптотических разложений, последовательных приближений и приближения тонкого слоя. Установлено, что по мере подъема диапира на дневной поверхности формируется сначала структура сводового поднятия, а затем – глубокая депрессия. Найдены критические параметры задачи, определяющие динамику геологических структур на разных этапах развития.

3. Разработана механико-математическая модель решения обратной задачи геодинамики прямым методом. Решена первая обратная задача геодинамики – восстановление полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы

по имеющимся данным о скоростях на дневной поверхности. Поставлена и решена вторая обратная задача геодинамики – определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности. Полученные решения используются для анализа глубинных геодинамических процессов.

4. Построена самосогласованная термогравиметрическая модель литосферы и астеносферы осадочного бассейна. Установлены количественные оценки подъема астеносферного диапира под геологической структурой.

5. Предложена механико-математическая модель гравитационного движения масс по оползневому склону на основе уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Найден критический параметр задачи смены режимов движения с выделением потенциальных областей мониторинга.

6. Разработана методология унифицированной оценки и картографирования геоэкологического риска на базе общей платформы управления риском. Введено понятие «горячих пятен», дифференцируемых по уровню ожидаемого геоэкологического риска. Выявлены «горячие пятна» геоэкологического риска для горных территорий Кавказа, территорий г. Москвы и Московской области.

Степень достоверности и апробация результатов.

Степень достоверности результатов определяется надежностью механико-математических методов моделирования, развитием новых подходов на большом надежном научном материале и базисе и их верификацией и подтверждением при сравнении с реальными геологическими и экологическими выводами и следствиями. Надежность результатов моделирования в отдельных случаях подтверждается получением сходных результатов на основе разных методов исследования. Метод анализа иерархий Саати апробирован на решении задач с известным результатом.

Апробация работы и публикации.

Фундаментальные исследования проводились по темам «Геологический риск урбанизированных территорий (оценка и картографирование на примере г. Москвы)», № гос. регистрации 01201355205; «Развитие теории и методов изучения новейшей тектоники и современной геодинамики платформенных и

орогенных территорий применительно к оценке их безопасности», № гос. регистрации – АААА-А19-119021190076-9; по проекту ГАЗПРОМА «Адаптационные технологии для обеспечения безопасности производственных объектов при изменении геокриологических условий» (2018-2019 г.г.).

Результаты научных исследований апробировались в процессе работы по международным и российским проектам и грантам и в международных научных организациях:

1) Грант РФФИ №19-47-02010 RSF-DST(2018-2021 гг.). "Natural hazards and monitoring for mountain territories in Russia and India". «Природные опасности и мониторинг для горных территорий в России и Индии».

2) Российско-болгарский проект РФФИ и Национального научного фонда Болгарии. №18-55-18004 (2018-2020). «Тепловой поток и геотермальная активность Болгарии».

3) «Механико-математическое моделирование и мониторинг оползневых процессов» (2009-2018). В рамках Международного консорциума по оползням. IPL-163. Руководитель проекта.

4) «Исследование геотермального поля, геотермальных ресурсов и экологии региона Черного и Каспийского морей» (2012-2017). В рамках Соглашения о научном сотрудничестве между РАН и Болгарской Академией наук. Руководитель проекта.

5) «Теория и методы систем раннего предупреждения о землетрясениях для подземных трубопроводов и оползнеопасных склонов». Российско-Тайваньский проект РФФИ (2008-2011), 08-05-92003-ННС_а.

6) «Исследование гидрогеотермальных ресурсов и экологические аспекты использования геотермальной энергии в Венгрии и России». Российско-Венгерский проект на основе Договора между РАН и ВАН. 2008-2013. Руководитель проекта.

7) «Оценка риска и мониторинг опасных природных процессов для урбанизированных территорий России и Италии». Российско-Итальянский проект на основе договора между РАН и CNR. 2008-2010. Руководитель проекта.

8) «Caspian Environmental and Industrial Data & Information Service. (CASPINFO)». 2009-2010. FP7.

9) «Up-grade Black Sea Scientific Network (UP-GRADE BS-SCENE)». 2009-2011. FP7.

10) “Mitigation of Natural and Human Induced Disasters”. («Снижение природных и техногенных опасностей»). Российско-Индийский проект РФФИ для организации совместных семинаров. 2009.

11) «Опасные природные процессы России и Тайваня». Российско-Тайваньский проект РФФИ для организации совместных семинаров. 2007.

12) Первая Российско-Индийской летняя школа по высокопроизводительным вычислениям и их применениям к задачам геофизики. Школа на базе Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х. М. Бербекова (КБГУ), г. Нальчик. 2014. Приглашенный лектор.

13) Российско-Вьетнамский семинар «Опасные природные процессы и риск». Вьетнам, 2014. Приглашенный лектор.

14) Работа в рамках Совета Директоров Международной Геотермальной Ассоциации IGA.

15) Работа в рамках Совета представителей Международного консорциума по оползням ICL.

16) Член редакционной коллегии журналов American Journal of Earth Science and Engineering (AJESE), Journal of Basic & Applied Sciences (JBAS), США.

Апробация результатов проводилась более чем на 200 научных конференциях и конгрессах в России и за рубежом, в частности:

II Российский научный форум «Экология и общество: баланс интересов». Россия, г. Вологда. ФГБУН ВолНИЦ РАН. 21 апреля 2022 года; WGC (World Geothermal Congress) 2021, Iceland. <https://www.youtube.com/watch?v=NHkWhYyggSo>; Всероссийская научная конференция с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа». Петропавловск-Камчатский, Россия. 6-11 сентября 2021; XI научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Глубинное строение,

геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. 20–24 сентября 2021 г., г. Екатеринбург; Всероссийская конференция с международным участием "Динамика и взаимодействие геосфер Земли". Томск. 8-11 ноября 2021; Российский научный форум «Экология и общество: баланс интересов», Россия, г. Вологда, ФГБУН ВолНЦ РАН, 16-20 ноября 2020 года; Международная конференция Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Владикавказ. 2019; Международная конференция «ГЕОРИСК». Москва. 2018; XVI Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2017). 2017. Москва. МЧС России; WLF4 (World Landslide Forum 4), Ljubljana, Slovenia, 2017; Международная конференция REENCON2016. Москва; II-ая Международная научно-практическая конференция «GEOENERGY-2016» . Чеченская республика. Г. Грозный; IV Международная конференция «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Махачкала, Дагестан, 2015; XIV научно-практическая конференция МЧС России «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». Москва, 2015; . Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, 2015; WGC (World Geothermal Congress) 2015, Melbourne, Australia; International conference “Landslides and slop stability” (SLOPE 2015). Bali, Indonesia; 2nd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan region (RESYLAB-2015). Belgrad, Serbia, 2015; IAEG XII Congress “Engineering geology for society and territory”, Torino-2014, Italy; Второй международный форум «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности». 10-11 ноября 2014 г. Москва. REENFOR-2014; XIII научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций», Москва, 14-15 мая 2014 г., МЧС России, ФКУ центр «Антистихия», 2014; Юбилейная конференция «Современные проблемы инженерной геодинамики», посвященная 100-летию со дня рождения профессора Г.С. Золотарева (1914-2006). МГУ, Москва, 2014; World Landslide Forum 3. 2014, Beijing, China; 45 Тектоническое совещание «Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования

впадин с субокеанической и аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой». Москва. 2013; European Geothermal Congress 2013. Pisa, Italy; International conference IAMG 2013. Spain, Madrid, 2013; Первый международный форум «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности». Москва, 2013; IPL (International Program on Landslides) Symposium, UNESCO, Paris, 2012; The 4th African Rift Geothermal Conference. (ARGeo C4) Nairobi, Kenya, 2012; 34 IGC (International Geological Congress), Australia, 2012; AGE2011 (Australian Geothermal Energy Conference 2011), Melbourne, Australia; The International Conference Ecology and safety, Bulgaria, 2011; EGU General Assembly 2011, Vienna, Austria, 2011; The 2nd World Landslide Forum 2011. Rome, Italy 2011; GEOCATACLISM 2011, Istanbul, Turkey, 2011; International Conference SES – Sustainable Earth Sciences, Valencia, Spain, 2011; II Международная конференция «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Махачкала, 2010; World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia; AGU (American Geophysical Union) International Conference “Meeting of Americas”, Brazil, Iguassu Falls, August 2010; IAEG Congress, 5-10 September 2010, Auckland, New Zealand; Geothermal Resources Council Annual Meeting 2010, Sacramento, CA, USA, 2010; International Association for Mathematical Geosciences Meeting (IAMG 2009), Stanford, California, USA, August 23-28, 2009; International Conference Geohazards 2009, Taiwan; General Assembly 2009 of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, 19-24 April 2009; X Международная конференция «Тепловое поле Земли и методы его изучения». 18-19 июня 2008 года, Москва; 33 International Geological Congress, Oslo, Norway, 2008; Petroleum Engineering Summer School, Interactive Seminar-Workshop “GeothermalFields Development”, Dubrovnik, Croatia, June 2008; 3-я Международная конференция «Альтернативные источники энергии для больших городов», Москва, 2008; VIII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Москва. 2007; European Geothermal Congress 2007, Germany; New Zealand Workshop and New Zealand Geothermal Association Seminar 2007, New Zealand; International conference “Mineral extraction from geothermal brines”. Tucson,

Arizona, USA, 2006; Geothermal Resources Council 2006 Annual Meeting “Geothermal Resources Securing Our Energy Future”, San Diego, California, USA, 2006; First East African rift geothermal conference. Geothermal energy: an indigenous, environmentally benign and renewable energy resource. Addis Abeba, Ethiopia, 2006; World Geothermal Congress 2005, Turkey, 2005; Geothermal Conference in Zakopane, Poland, 2004; 32 IGC, Florence, Italy, 20-28 August, 2004; International Conference Energy without Smoke. Sochi, 2003; Geothermal Conference in Reykjavik, Iceland, 2003; European Geothermal Conference 2003, Hungary; EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 2003; European Geophysical Society 27 General Assembly, 2002, Nice, France; International Conference IAMG, Berlin, 2002; International Conference The Earth's thermal field and related research methods, Moscow, 2002; International Symposium “Engineering-geological problems of the urban territories”, Ekaterinburg, 2001; International Conference Mining Prizibram Symposium IAMG (International Association for Mathematical Geology). Prague, Czech Republic, October 4-8, 1999. Geothermal Congress 2000, Japan; GRC (Geothermal Resources Council), IGA (International Geothermal Association) Conference. Sacramento, California, 1999; Mining Prizibram Symposium IAMG (International Association for Mathematical Geology). Prague, Czech Republic, October 4-8, 1999; Mining Prizibram Symposium IAMG (International Association for Mathematical Geology). Prague, Czech Republic, October 4-8, 1999; GRC Annual Meeting 1998, San Diego, California, USA; International Conference "The Earth's thermal field and related research methods". Moscow, 1998; 60 EAGE Conference, 1998, Leipzig, Germany; Вторая международная конференция Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Москва. МГУ. 1998; Third Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology IAMG'97, Barcelona, Spain, 1997; 5th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. San Paulo, Brazil, 1997; International Conference “Environmental geology and rational land use”, S.-Petersburg, 1997; 59 EAGE Conference, 1997, Geneva, Switzerland; World Geothermal Congress. Florence. 1995; International conference “Development of geothermal measurements in boreholes”. Germany, Klein-Keris. 1993; 29 IGC. Kyoto, Japan, 1992; Межд. конф. IAMG

(International Association for Mathematical Geology) Горнорудный Пржибрам в науке и технике. Пржибрам, Чехословакия. 1991; XVI General Assembly of EGS. Wiesbaden, Germany, 1991; XX General Assembly of IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). Vienna, Austria, 1991; CODATA conference Geomathematics and geostatistics. Leeds, U.K. 1990; Всесоюзная конференция Строение и геодинамика земной коры и верхней мантии. Москва, ГИН РАН, 1990; Международный симпозиум IAMG «Математические методы в геологии». 1989. Пржибрам, Чехословакия; Межд. конф. IAMG (International Association for Mathematical Geology) Горнорудный Пржибрам в науке и технике. Пржибрам, Чехословакия. 1987.

По теме диссертации **опубликовано** 310 научных работ, в том числе, 21 статья в журналах из Перечня ВАК и 11 статей из международных баз данных Web of Science и SCOPUS. Опубликована монография: Svalova V. Landslide Risk: Assessment, Management and Reduction. 2017. Nova Science Publishers, New York, 253 pp. (SCOPUS). Под редакцией Сваловой В.Б. изданы 4 коллективные монографии: 1) Svalova V. (editor). Risk Assessment. InTech, 2018, 384 pp., 2) Svalova V. (editor). Earthquakes - Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction. InTech, 2018, DOI: 10.5772/intechopen.71298. 3) Svalova V. (editor). Natural Hazards and Risk Research in Russia. Springer book: 86943020. 2019, 400 pp. 4) Svalova V. (editor). Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Springer book: 89082526. Switzerland. 2021. 559 pp.

Соответствие паспорту научной специальности: диссертационное исследование соответствует пунктам 1, 3, 9 паспорта специальности ВАК 1.6.21. Геоэкология (геолого-минералогические науки).

Структура и объем диссертации: диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка терминов, списка литературы, двух приложений. Общий объем: 367 страниц, включая 194 рисунка и 15 таблиц.

Личный вклад автора.

Исследования носят самостоятельный характер. Все представленные результаты научных разработок получены автором самостоятельно. В совместных

работах автору, как правило, принадлежит математическая часть и вопросы моделирования. В работе по мере необходимости широко использовались материалы ИГЭ РАН из открытой печати — карты, схемы.

Благодарности: Автор выражает огромную благодарность своему научному консультанту д.ф.-м.н. В.Б. Заалишвили за постоянную поддержку, помощь и внимание к работе, большую благодарность академику РАН В.И. Осипову за поддержку в работе, признательность заведующему Лаборатории эндогенной геодинамики и неотектоники ИГЭ РАН д.г.-м.н. В.М. Макееву за постоянную поддержку и помощь в работе, сотрудникам Лаборатории д.г.-м.н. С.А. Несмеянову, О.А. Воейковой, д.г.-м.н. П.С. Микляеву, И.В. Коробовой за сотрудничество и помощь, сотрудникам ИГЭ РАН к.г.н. Е.А. Карфидовой, Т.Б. Минаковой, Г.С. Королевой за помощь в работе, сотруднику ГИН РАН д.г.-м.н. М.Д. Хуторскому за постоянное сотрудничество в области геотермических исследований, сотруднику ИГЕМ РАН д.г.-м.н. Е.В. Шаркову за сотрудничество в работе.

Огромная благодарность и память академику В.П. Мясникову, чл.-корр. А.В. Николаеву, Б.Г. Поляку, М.А. Гончарову, А.В. Каракину.

ГЛАВА 1. ПРИРОДНЫЕ БЕДСТВИЯ, ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК

1.1. Природные опасности и катастрофы

Природные или стихийные бедствия представляют собой опасные физические процессы и явления, которые могут привести к травмам и гибели людей, материальному ущербу, социальным, экономическим и политическим потрясениям или ухудшению состояния окружающей среды.

Природные опасности можно разделить на различные группы: геологические, гидрометеорологические, климатологические, космические, биологические.

Стихийные бедствия могут быть одиночными, множественными, региональными, глобальными, космическими. Каждое стихийное бедствие характеризуется своим местоположением, интенсивностью и вероятностью. Бедствие – это серьезное нарушение нормального функционирования общества, вызывающее широкомасштабные человеческие, материальные, экономические или экологические потери. Бедствие возникает в результате сочетания опасностей, условий уязвимости и недостаточного потенциала или мер по прогнозированию и снижению негативных последствий риска (Рисунок 1.1 а).

Частота бедствий, связанных с опасными природными явлениями, неуклонно возрастает. Крупнейшей мировой страховой компанией Munich Re в среднем регистрировалось 405 событий в год в 1980-1989 гг., 650 событий в 1990-х годах, 780 событий в 2000-2009 гг. и более 800 событий в 2010-х годах [Wirtz et al. 2014].

Общее количество бедствий увеличивается, но количество геологических бедствий с 1980 по 2016 гг., в целом, не сильно изменилось по сравнению с количеством гидрометеорологических и климатологических явлений. Однако жертвы и экономический ущерб с годами резко возрастают (Рисунок 1.1б, 1.1в).

Разбивка всех бедствий, связанных со стихийными бедствиями во всем мире с 1980 по 2011 год, по регионам показана на Рисунке 1.1г. Почти 2/3 всех смертельных случаев (около 1,5 миллиона), а также 40% всех случаев (8080)

произошли в Азии и Тихоокеанском регионе (Австралия/Океания). Что касается экономических потерь, то Азия и Тихий океан также лидируют с 45%, включая Северную Америку. Центральная Америка и Карибский бассейн занимают второе место с 37% общих потерь. Катастрофы в Африке имеют другой аспект. Хотя в Африке происходит только 9% всех событий, на этом континенте регистрируется более 1/4 всех летальных исходов. Сравнение случаев потерь и смертельных случаев показывает, что в регионах с экономически менее развитыми странами больше смертельных случаев [Wirtz et al. 2014].

Number of events

Relevant natural loss events
worldwide 1980 – 2016

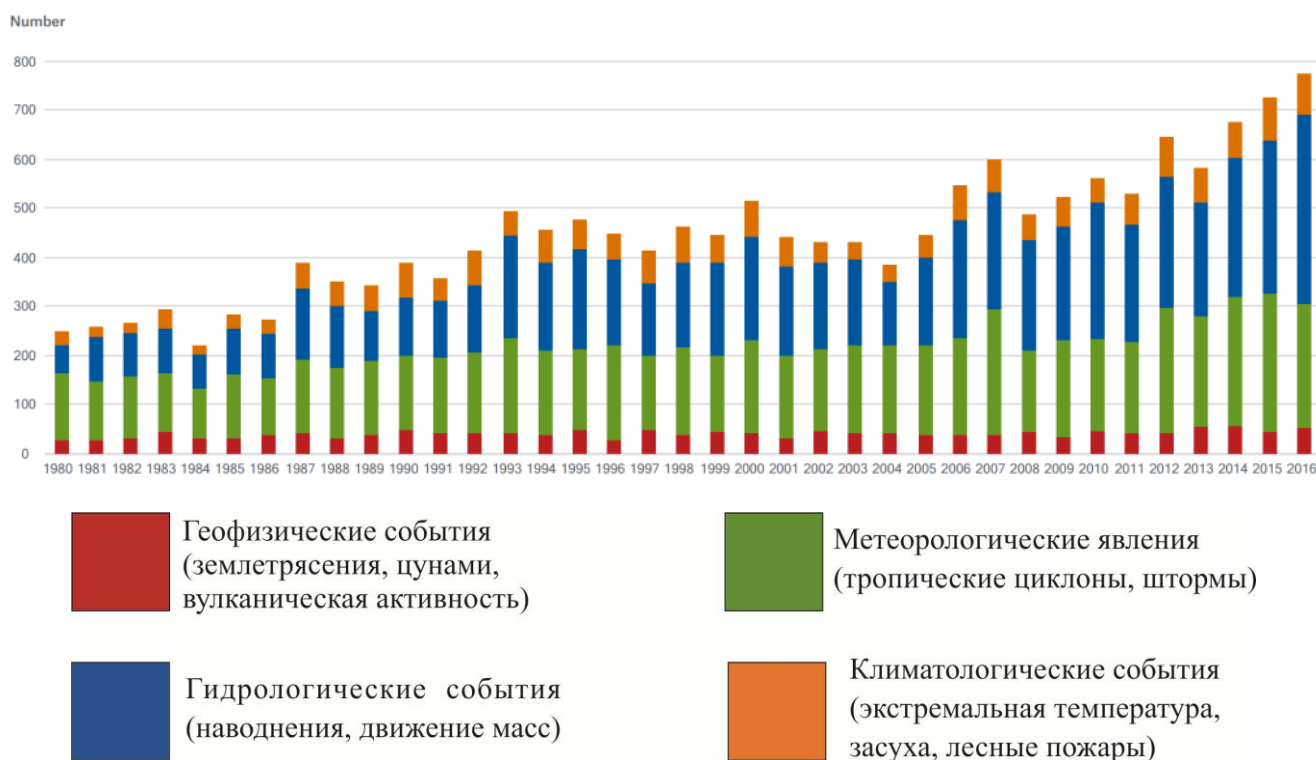


Рисунок 1.1a – Годовое количество бедствий, связанных с природными явлениями с 1980 по 2016 год 1: красным цветом отмечены геофизические события (землетрясения, цунами, вулканическая активность); 2: зеленым - метеорологические явления (тропические циклоны, штормы); 3: синим - гидрологические события (наводнения, движение масс); 4: оранжевым - климатологические события (экстремальная температура, засуха, лесные пожары) (NatCatSERVICE, Munich Re)

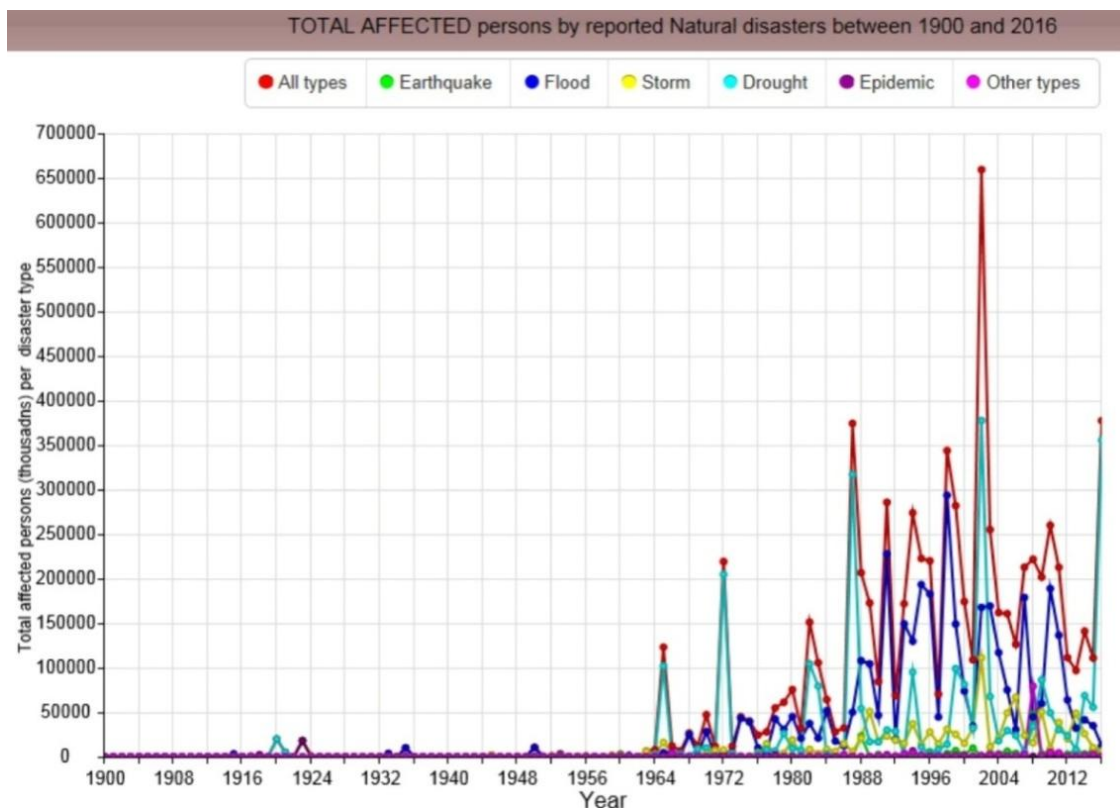


Рисунок 1.1б – Число пострадавших. 1900-2016 гг. <http://emdat.be/>

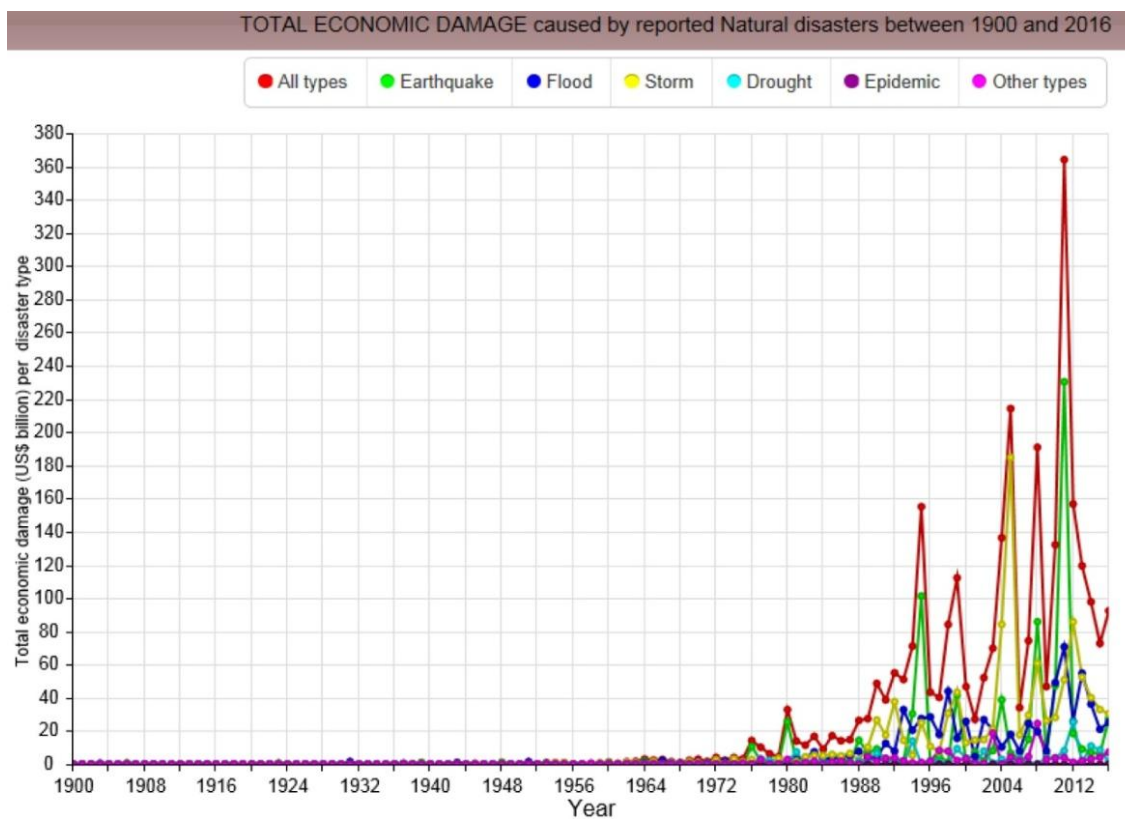


Рисунок 1.1в – Экономический ущерб. 1900-2016 гг. <http://emdat.be/>

Красный – все виды природных опасностей, зеленый – землетрясения, синий – наводнения, желтый – штормы, голубой – засуха, лиловый – эпидемии, алый – остальные опасности.

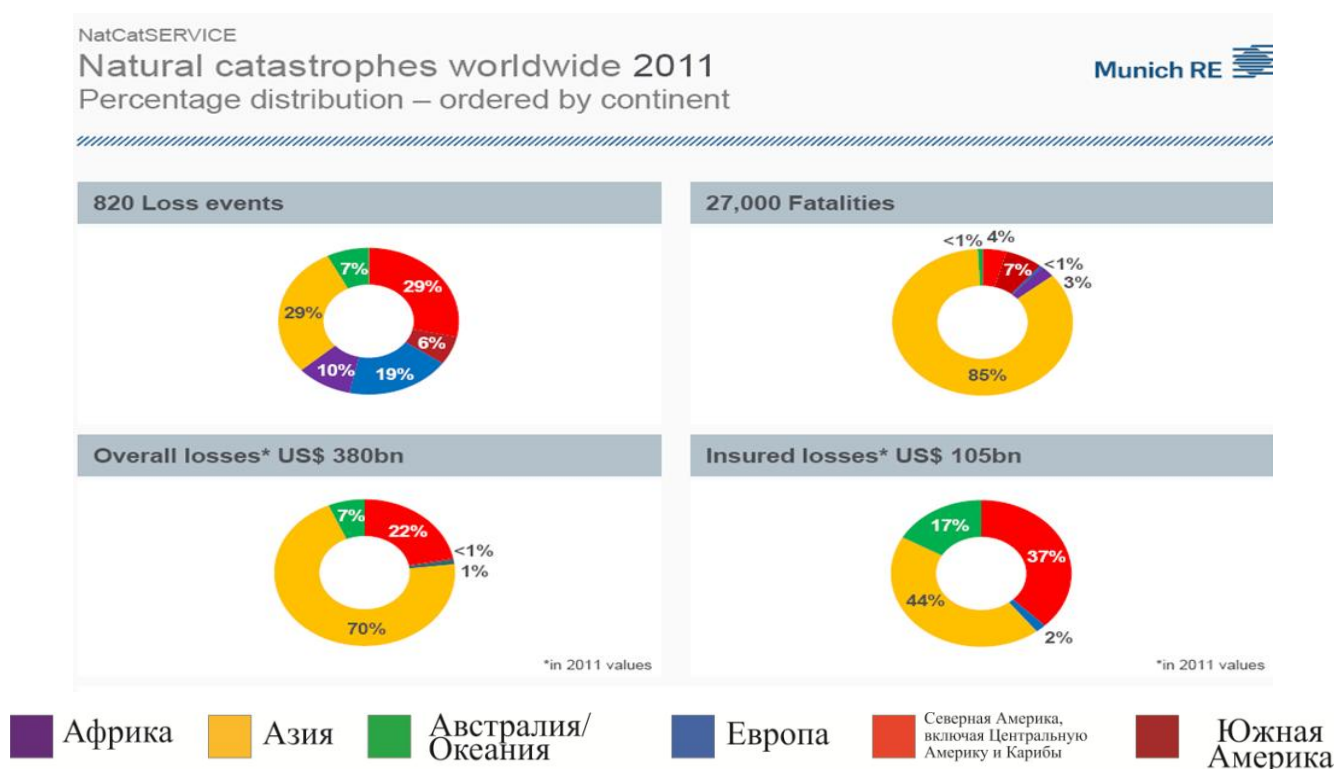


Рисунок 1.1 г – Региональное распределение (в процентах) случаев потерь (всего 20 200), смертельных случаев (всего 2 275 000) и убытков (всего 3 530 миллиардов долларов США в ценах 2011 г.) за 1980-2011 гг. [NatCatSERVICE; по Wirtz et al., 2014].

Синий - Африка, желтый – Азия, зеленый – Австралия/Океания, светло-синий – Европа, красный – Северная Америка, включая Центральную Америку и Карибы, черный – Южная Америка

Согласно анализу глобального риска, проведенному Всемирным банком [Dilley et al. 2005], на площади около 10 миллионов км², что эквивалентно 7,5% общей площади планеты, фиксируется вероятность возникновения землетрясений. На этой территории проживает примерно 1,2 миллиарда человек, то есть 20% населения мира (Приложение 1).

Вулканическая активность сосредоточена на площади около 0,4 млн. км², при этом потенциально может быть затронуто 93 млн. населения, особенно в таких странах, как Исландия, Япония, Филиппины, Индонезия, США, Мексика, Центральная Америка, Колумбия, Эквадор и Чили.

Около 3,7 млн. км² суши подвержены оползневым процессам, а население, подвергающееся их воздействию, составляет порядка 300 млн. человек. В районах с высоким риском оползней проживает 66 миллионов человек, занимающих площадь 820 000 км² [Dilley et al. 2005]. (Приложение 2).

Около 14 млн. человек подвергаются воздействию цунами. Основные потенциально затронутые районы расположены вдоль побережья стран, обращенных к океанам и морям [UNISDR 2009].

Миллионы человеческих жизней потеряны в результате землетрясений и извержений вулканов, а материальный ущерб превысил сотни миллиардов долларов США. (Рисунок 1.1д-з).

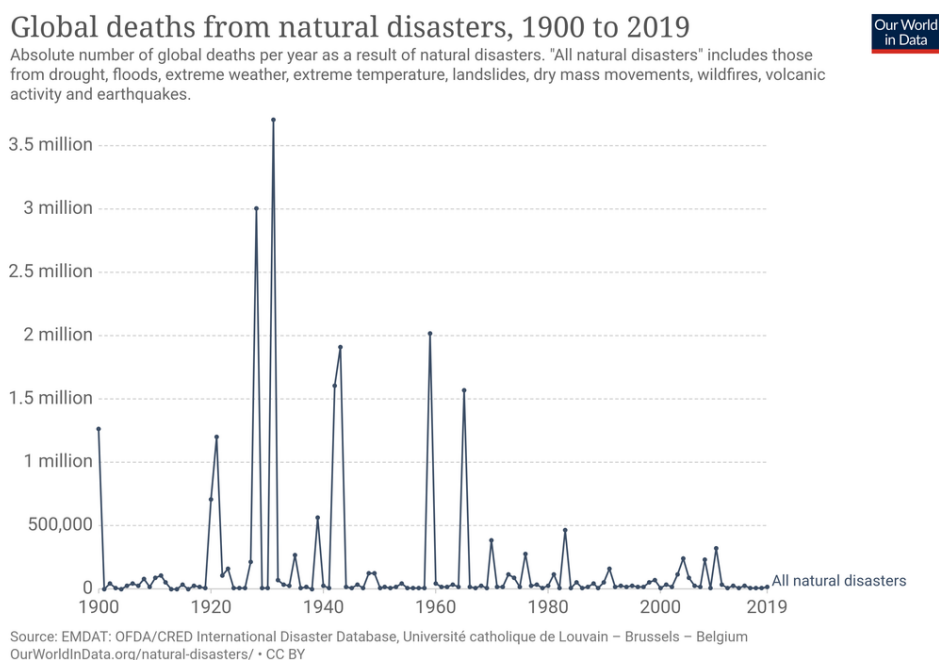


Рисунок 1.1 д – Глобальная смертность от природных бедствий. (EMDAT)

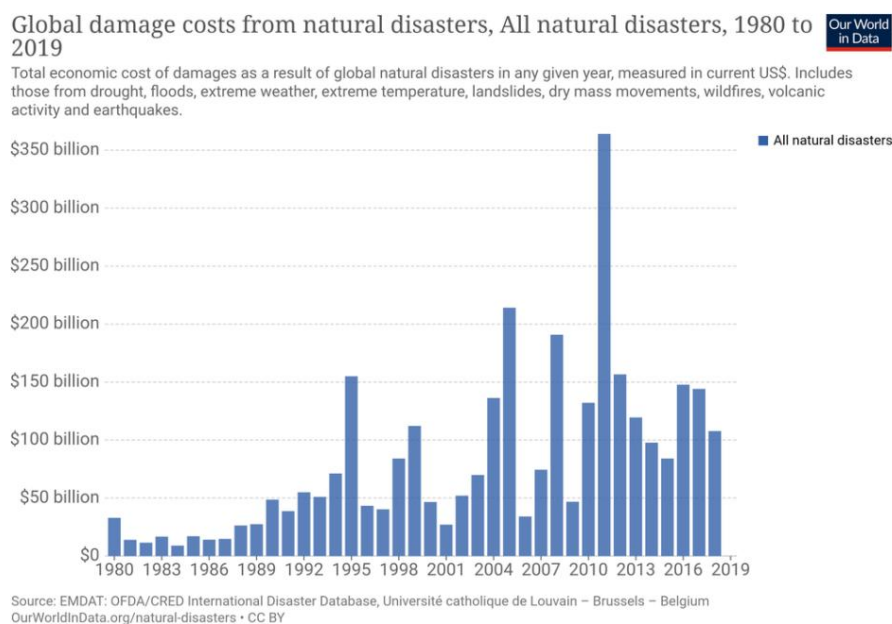


Рисунок 1.1 е – Стоимость глобального ущерба от природных бедствий. (EMDAT).

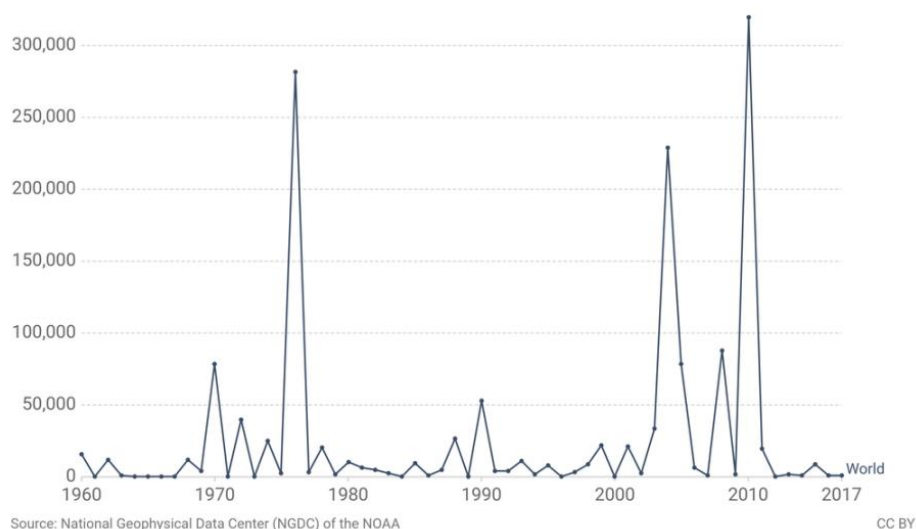


Рисунок 1.1 ж – Глобальное число смертей от землетрясений (1960-2017). (EMDAT)

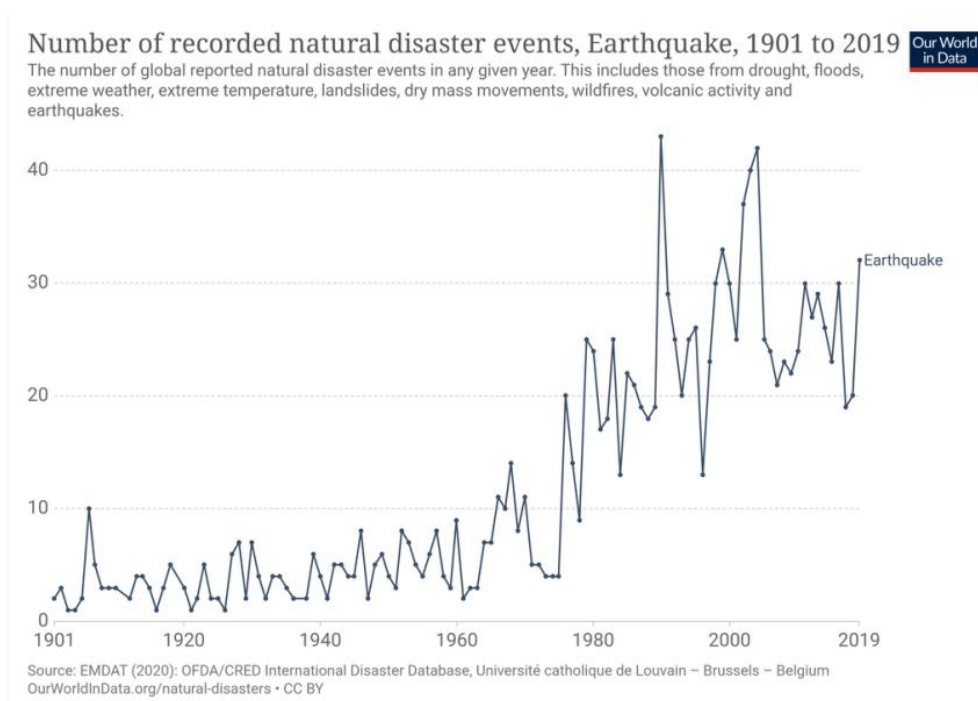


Рисунок 1.1 з – Глобальное число зарегистрированных землетрясений. (EMDAT)

Наблюдается связь природных опасностей с геодинамикой литосферы и приуроченность опасных природных процессов к границам тектонических плит и структурам Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского поясов.

Землетрясения, цунами, извержениями вулканов, оползневые процессы особенно распространены вблизи границ тектонических плит в зонах коллизии и субдукции и в зонах Тихоокеанского огненного кольца (Рисунок 1.2-1.5). На рисунке 1.2 (а-ж) показаны карты некоторых стихийных бедствий в мире и ущерб от них.

Большой вклад в тематику работы по моделированию геодинамических процессов внесен академиком РАН В.А. Бабешко [Бабешко и др., 2021а; Бабешко и др., 2021б; Бабешко и др., 2022; Babeshko et al., 2022]. В частности, им разработана теория блочных структур, позволяющая с высокой точностью описывать реальное поведение и свойства земной коры, разработана геоинформационная модель «Сейсмозона», позволяющая отслеживать движение зон концентрации напряжений в земной коре, оценивать риски возникновения землетрясений, прогнозировать их силу, место и время, создана система геодинамического мониторинга движения литосферных плит в Причерноморском регионе Юга России, проведены исследования по сейсмической безопасности городов, которые находятся на стыке геофизики и механики, разработана система сейсмической безопасности для Олимпиады в Сочи-2014.

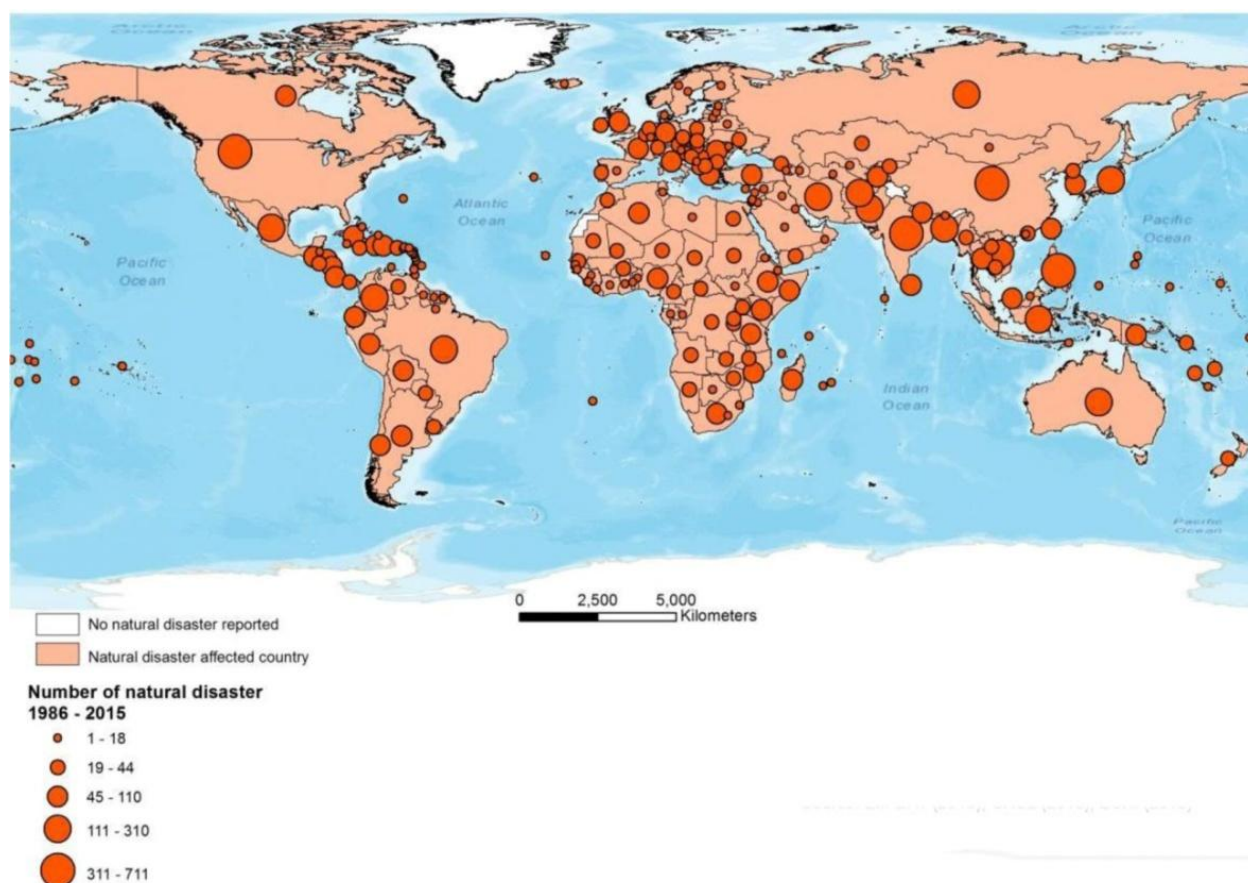


Рисунок 1.2 а – Количество природных бедствий 1986–2015 гг. по странам <http://emdat.be/>

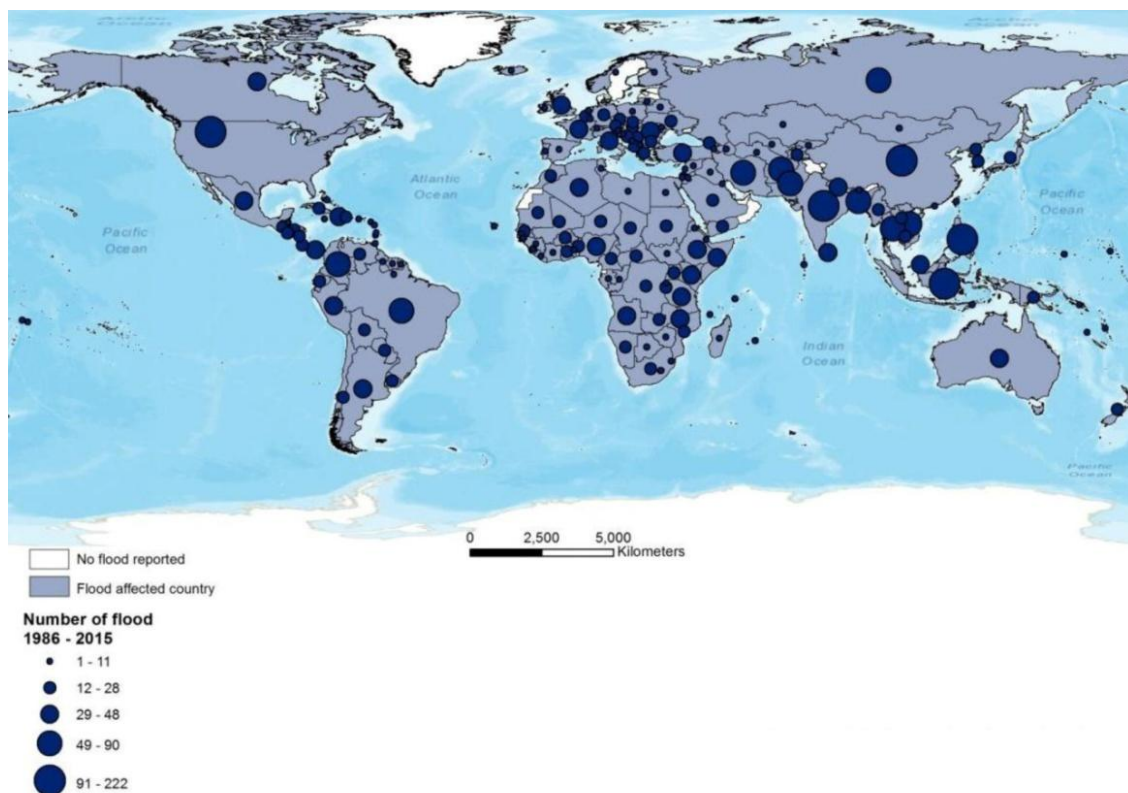


Рисунок 1.2 б – Количество наводнений 1986–2015 гг. по странам <http://emdat.be/>

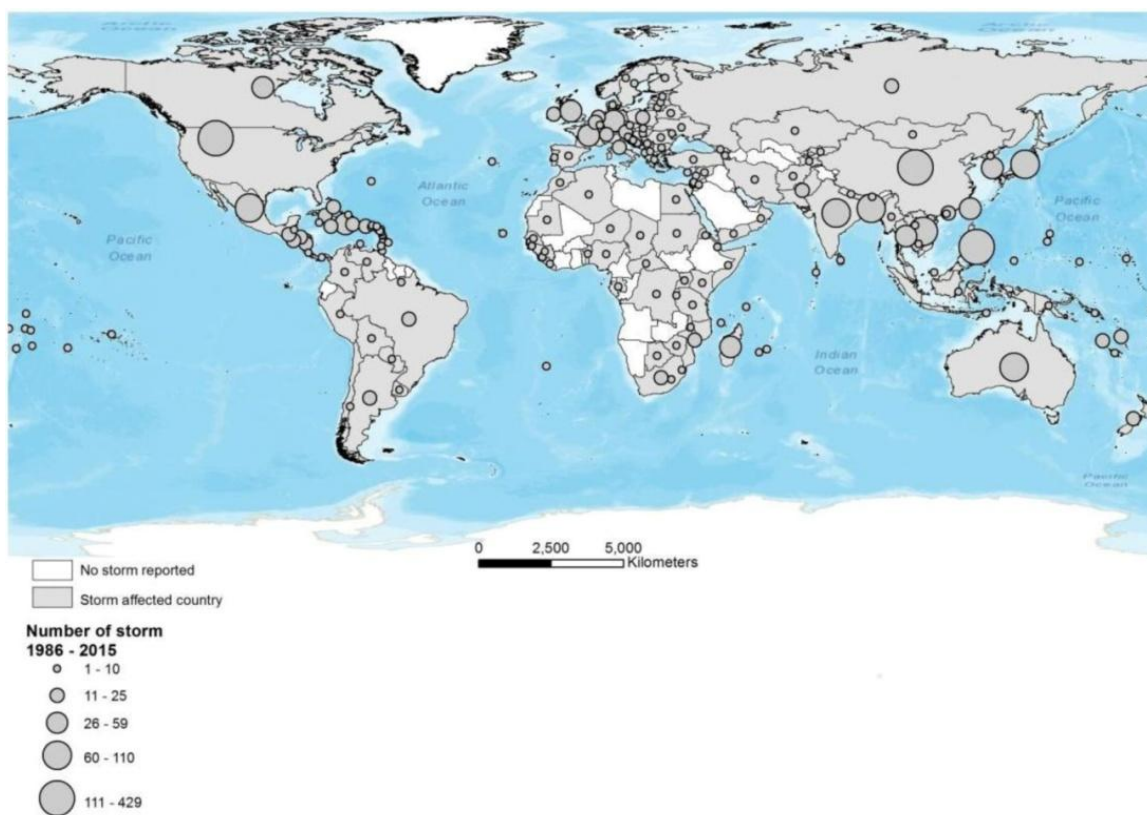


Рисунок 1.2 в – Количество штормов 1986–2015 гг. по странам <http://emdat.be/>

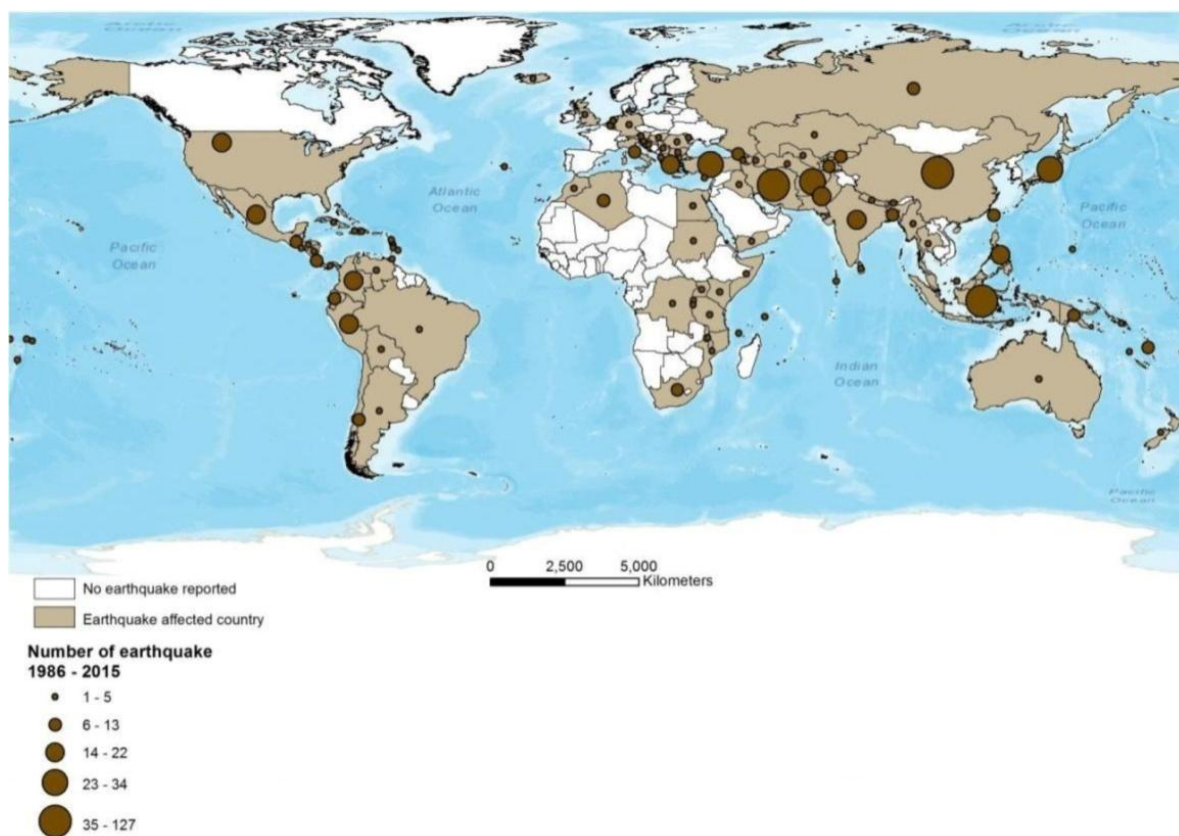


Рисунок 1.2 г – Количество землетрясений 1986–2015 гг. по странам <http://emdat.be/>

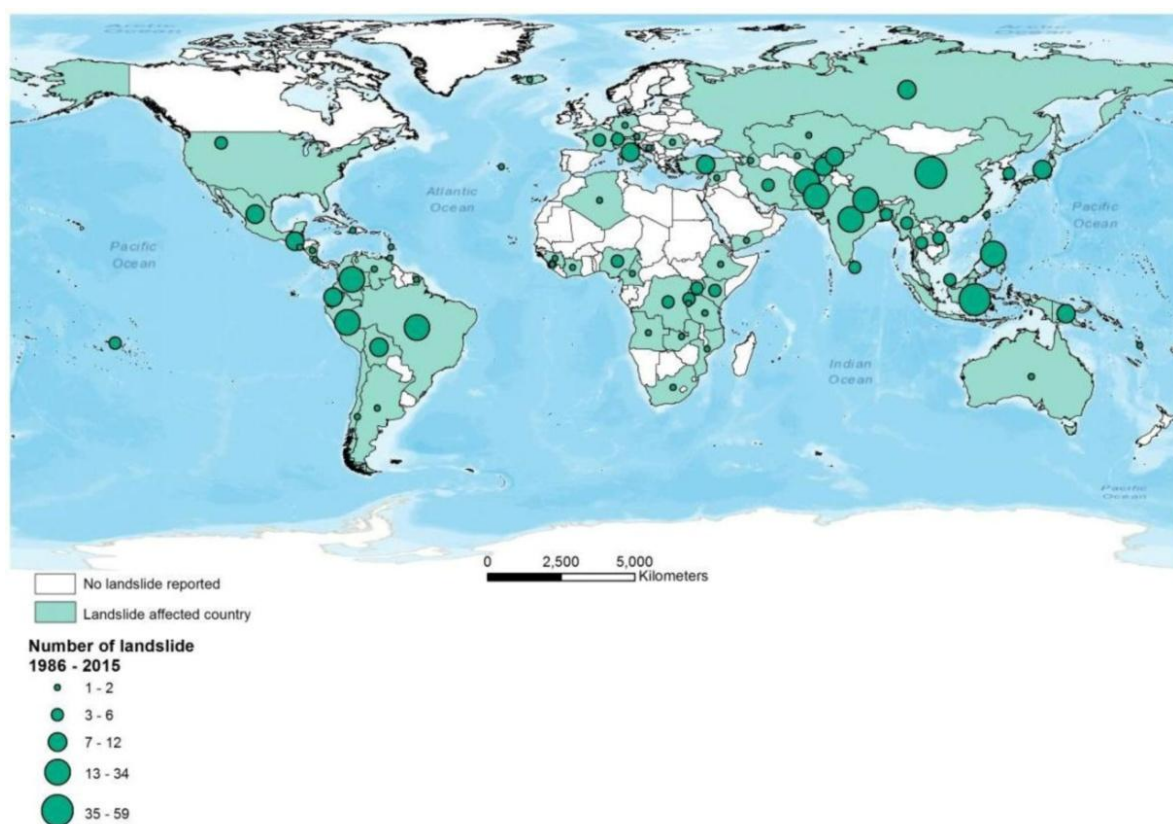


Рисунок 1.2 д – Количество оползней 1986–2015 гг. по странам <http://emdat.be/>

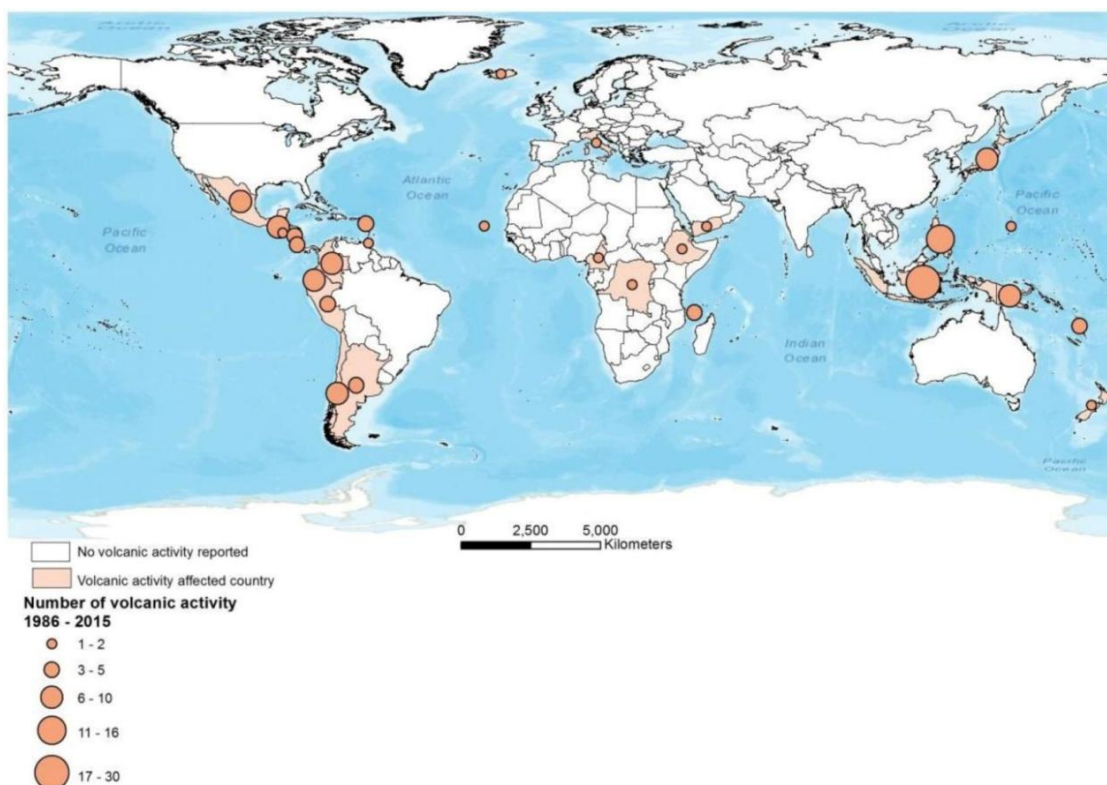


Рисунок 1.2 е – Количество проявлений вулканической активности 1986–2015 гг. по странам
<http://emdat.be/>

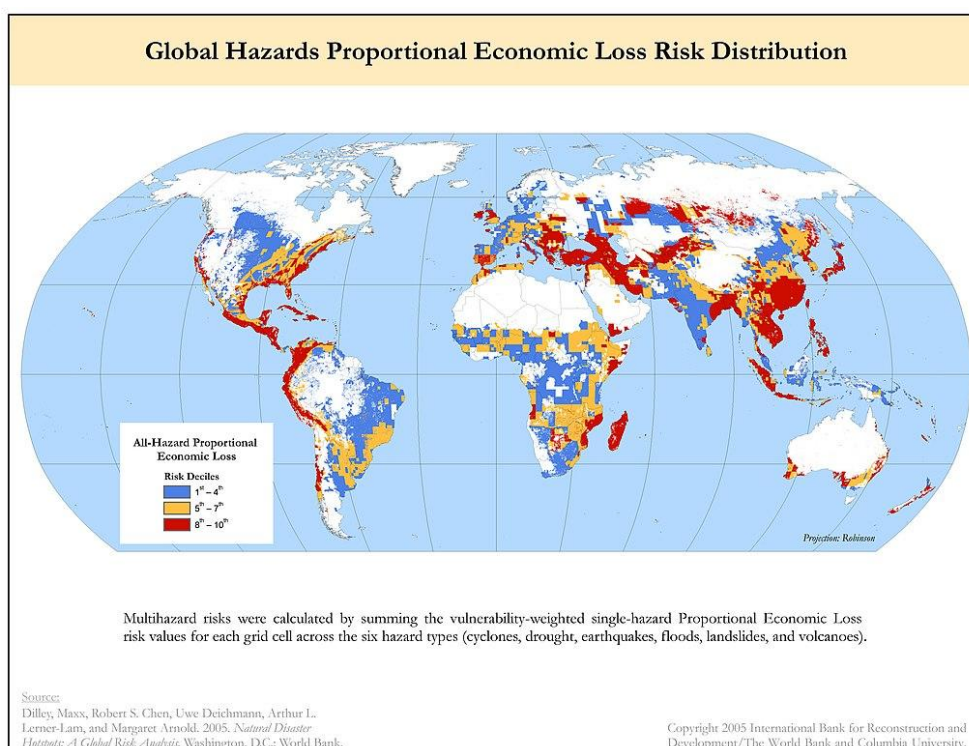


Рисунок 1.2 ж – Глобальный экономический ущерб от природных бедствий, таких как циклоны, засухи, землетрясения, наводнения, оползни и извержения вулканов.

[https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.511b2d82-6357e922-23607853-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Meteorological_disasters#/media/File:Global_Multihazard_Proportional_Economic_Loss_Risk_Deciles_\(5457317101\).jpg](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.511b2d82-6357e922-23607853-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Meteorological_disasters#/media/File:Global_Multihazard_Proportional_Economic_Loss_Risk_Deciles_(5457317101).jpg)

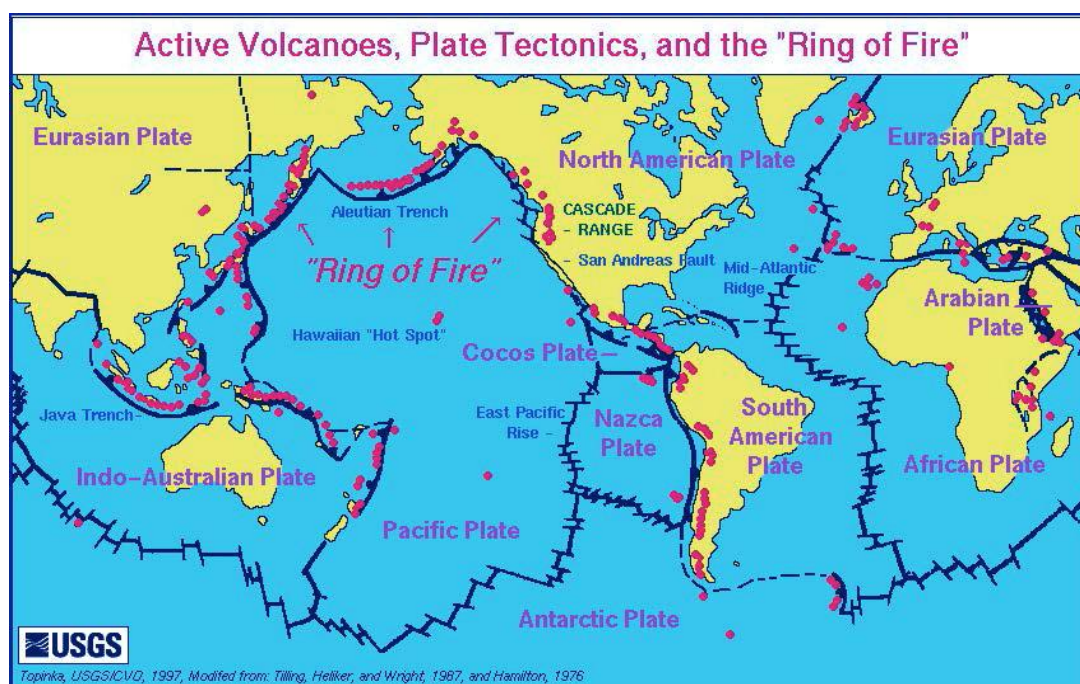


Рисунок 1.3 – Карта действующих вулканов, тектоники плит и Тихоокеанского огненного кольца). 328 действующих вулканов из 540 известных на Земле.
(Topinka, USGS/CVO, 1997)

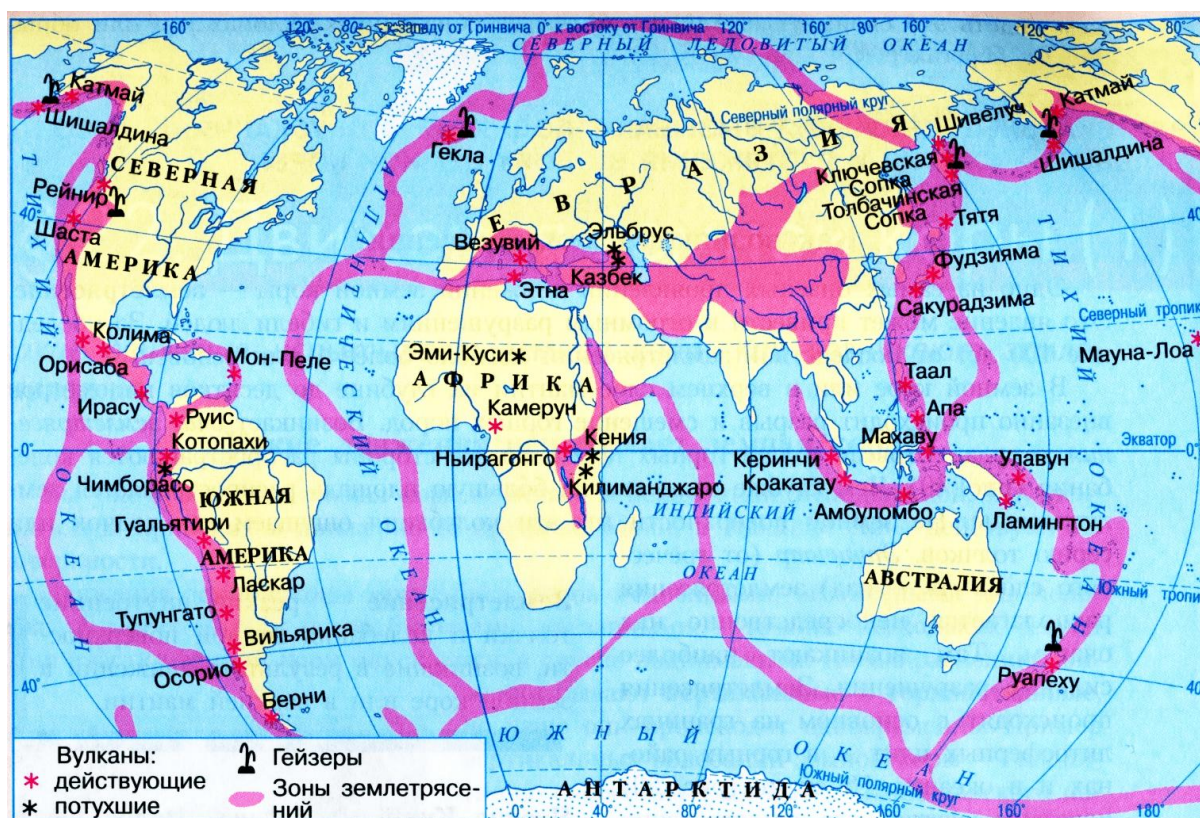


Рисунок 1.4 – Карта землетрясений, вулканов и геотермальной активности [World seismicity map of ESSA, 1969]

Preliminary Determination of Epicenters
358,214 Events, 1963 - 1998

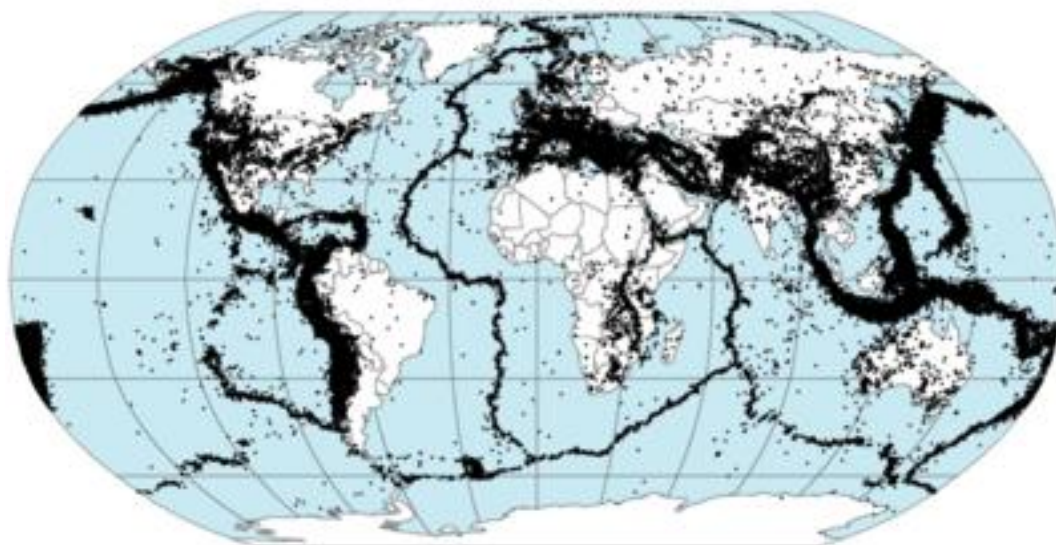


Рисунок 1.5 – Расположение эпицентров 358 214 землетрясений, произошедших в период с 1963 по 1998 годы. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение>

1.2. Геодинамическая опасность

Комбинируя карты природных опасностей/рисков и карты, отражающие геодинамику литосферы, можно установить их прямую связь и взаимозависимость. Карта активных разломов земной коры хорошо отражает напряженное состояние литосферы, связанное с различными видами движения и природной опасности (Рисунки 1.6 а, б; 1.7).

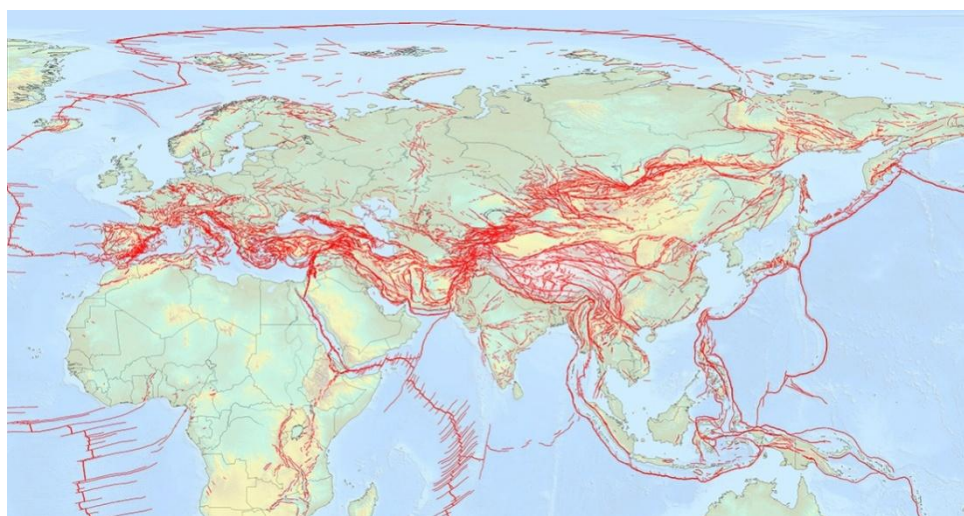


Рисунок 1.6 а – Карта активных и сейсмогенных разломов Евразии. 2018 (neotec.ginras.ru)

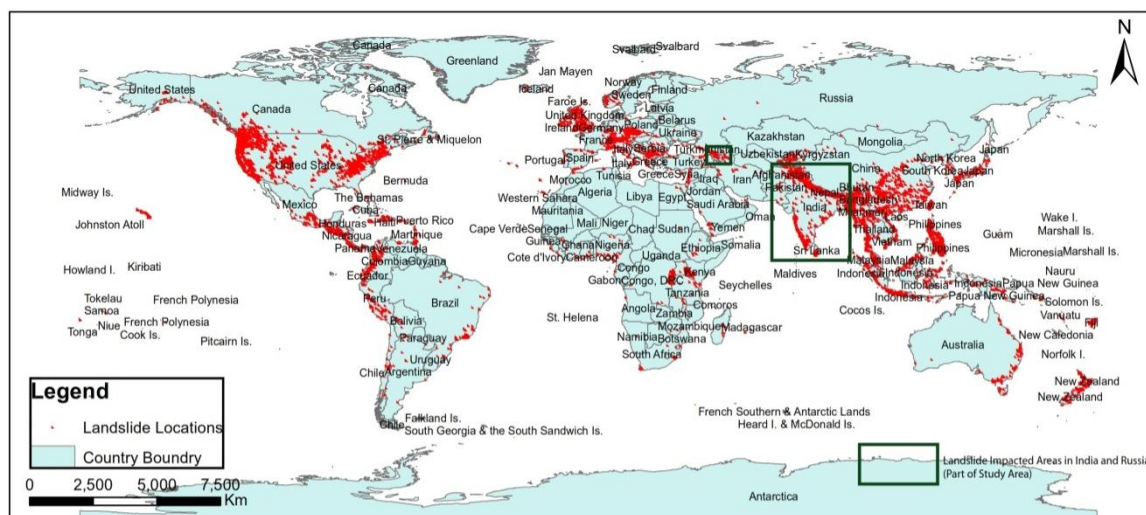


Рисунок 1.6 б – Местоположение оползней на карте мира. Индия и Кавказ – области исследований по гранту РФФИ. GLC 2019, The Global Landslide Catalog: <https://catalog.data.gov/dataset/global-landslide-catalog-exportGSI> (2020), Landslide Hazard, <https://www.gsi.gov.in/4>



Рисунок 1.7 – Суммарная степень природной опасности по субъектам Российской Федерации [Атлас..., 2010]

По частоте проявления и степени ущерба природные опасности и катастрофы имеют разную оценку в мире и России [Осипов, 2001, 2009, 2015; Бондур и др., 2012]. (Рисунки 1.8; 1.9). На территории России встречается более 30 опасных природных явлений и процессов, среди которых наиболее разрушительными являются наводнения, штормовые ветры, ураганы, смерчи, землетрясения, лесные пожары, оползни, сели, снежные лавины. (Рисунок 1.9).

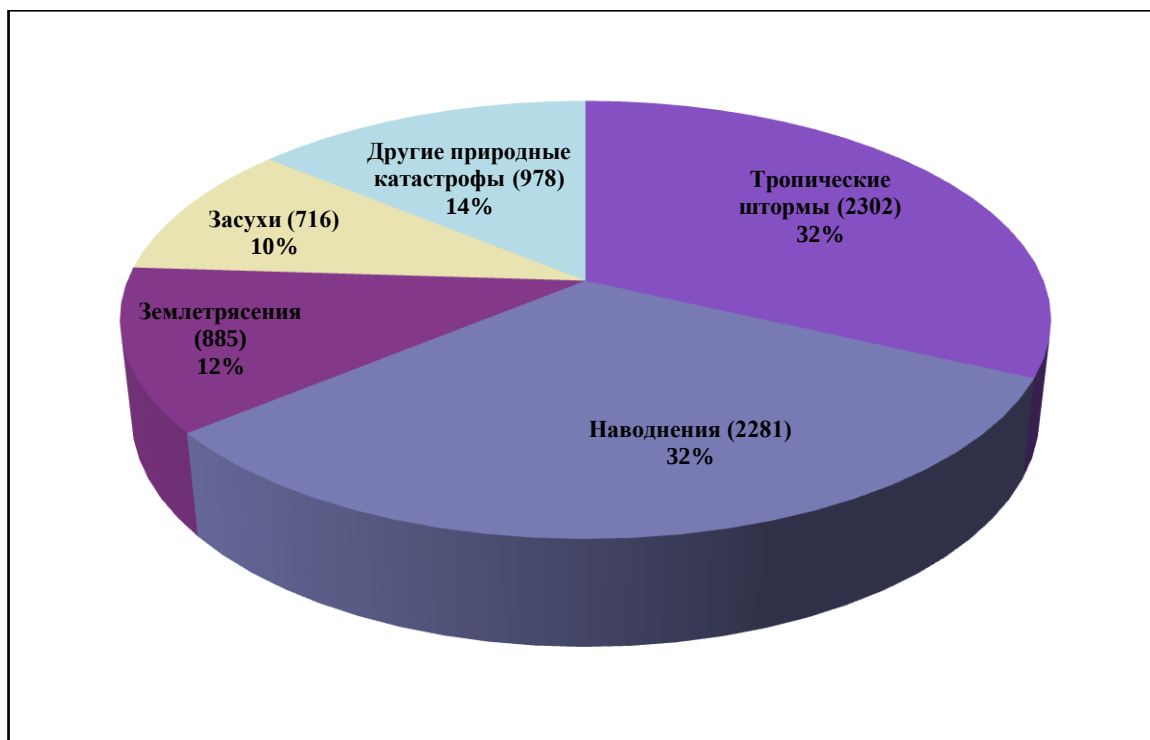


Рисунок 1.8 – Наиболее распространенные природные катастрофы в мире (1965-2001).
<http://emdat.be/>



Рисунок 1.9 – Статистика природных опасностей России [Безопасность России, 2015]

Статистика бедствий и катастроф для Западной Европы также подтверждает общую тенденцию (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Природные катастрофы в Западной Европе в 1975-2000 гг.
[Roed-Larson, 2003]

Тип катастрофы	Число катастроф	Число погибших, человек	Число пострадавших, тыс. человек	Ущерб, млрд. дол. США
Землетрясения	135	8303	2696	34
Наводнения	220	2527	5930	100.1
Оползни	44	1083		1.8
Шторм	225	1805	8100	26.8
Засуха	24	-	5900	12.5
Экстремальная температура	81	3610	808	1.8
Лесной пожар	66	180		1.8

1.3. Природные опасности в городах России

В России расположено 1117 городов. По итогам Всероссийской переписи населения 2010 года, статус города имели 1100 населённых пунктов. По итогам переписи 2002 года их было 1098.

Анализ природных опасностей в городах России представлен в Таблице 1.2 [Безопасность России, 1999].

Таблица 1.2 – Природные опасности в городах Российской Федерации

Процессы	Количество городов, подверженных воздействию
1. Подтопление территорий	960
2. Суффозия	958
3. Пучение	841
4. Наводнения	746
5. Эрозия плоскостная и овражная	734
6. Оползни и обвалы	725
7. Просадка лессовых пород	563
8. Ураганные ветры и смерчи	500
9. Эрозия речная	442
10. Карст	301
11. Наледееобразование	174
12. Землетрясения	103
13. Термоэрозия	72
14. Термокарст	62
15. Солифлюкция	60
16. Переработка берегов водохранилищ и морей	53
17. Сели	9
18. Цунами	9
19. Лавины	5

Таким образом, наиболее опасными природными процессами в городах России могут считаться: землетрясения (в сейсмоопасных регионах); наводнения; оползни и обвалы; суффозия и карст; подтопление территорий; ураганные ветры и смерчи.

Для анализа опасных природных процессов существуют различные классификации с разной степенью детальности. (Рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Чрезвычайные ситуации природного характера
<https://2cad.ru/blog/geology/chrezvychajnye-situatsii-geologicheskogo-haraktera/>

Для риск-анализа и риск-менеджмента необходима максимально структурированная унифицированная схема классификации природных опасностей с выделением наиболее характерных представителей опасностей, бедствий и катастроф в зависимости от среды проявления и источника опасности. Предлагается следующая классификация основных опасных геоэкологических процессов, где вводятся **геодинамические и тектонические процессы** (Таблица

1.3) Таким образом, вводится понятие **геодинамической опасности**, как опасного природного процесса и явления.

Таблица 1.3 – Классификация основных опасных геоэкологических процессов с включением геодинамических и тектонических процессов [Свалова, 2022]

Среда	Источник процесса	Эндогенный	Экзогенный	Метеорологический
Литосфера		землетрясения вулканы глубинные разломы геодинамические процессы тектонические процессы	оползни карст суффозия геодинамические процессы тектонические процессы	Наводнение засуха выветривание
Гидросфера		цунами	сель лавина переработка берегов	Наводнение паводок, половодье шторм
Атмосфера		выбросы вулкана геопатогенная зона	газовые эманации гейзер	Шторм ветер торнадо лесные пожары

И хотя не существует какого либо одного опасного процесса, напрямую выражающего геодинамическую опасность, подобно тому, как сейсмичность проявляется в землетрясениях, тем не менее, геодинамическая опасность опосредованно реализуется в самых разных опасных природных процессах, таких как землетрясения, оползни, извержения вулканов, цунами и др., связанных с движениями в литосфере.

1.4. Геодинамическая опасность, ее формирование и геоэкологический риск

Геодинамическая опасность по аналогии с определением природной опасности как процесса или состояния природной среды, несущего угрозу жизни и ущерба [Рагозин, 2003], может рассматриваться именно как процесс движения или связанного с ним напряженно-деформированного состояния геологической среды, несущий угрозу жизни и здоровья людей и ущерба техногенной и природной среды. Геодинамика геологической среды рассматривается в разных масштабах, как движение литосферных плит, подъем мантийных диапиров и плюмов, движение слоев тектонически расслоенной литосферы, гравитационное

движение масс по оползневому склону и др. Геодинамическая опасность характеризуется повышенными скоростями движения вещества тектонически расслоенной литосферы на разных глубинах, контрастностью скоростей поверхностных движений, повышенным напряженно-деформированным состоянием литосферы, трещиноватостью пород, наличием глубинных и поверхностных разломов, повышенным тепловым потоком, геотермальными проявлениями, повышенной сейсмичностью, вулканизмом и магматизмом, активизацией опасных природных процессов, таких как землетрясения, извержения вулканов, оползневые процессы, карст, цунами и др. Рассматривается концепция определяющей взаимосвязи геодинамической опасности и геоэкологического риска.

Понятие геодинамической опасности широко используется в горном деле для анализа напряженно-деформированного состояния горных пород при освоении недр [Батугин, 1997; Кузьмин, 1999], что может использоваться при анализе опасных природных, геоэкологических процессов (Рисунок 1.11).

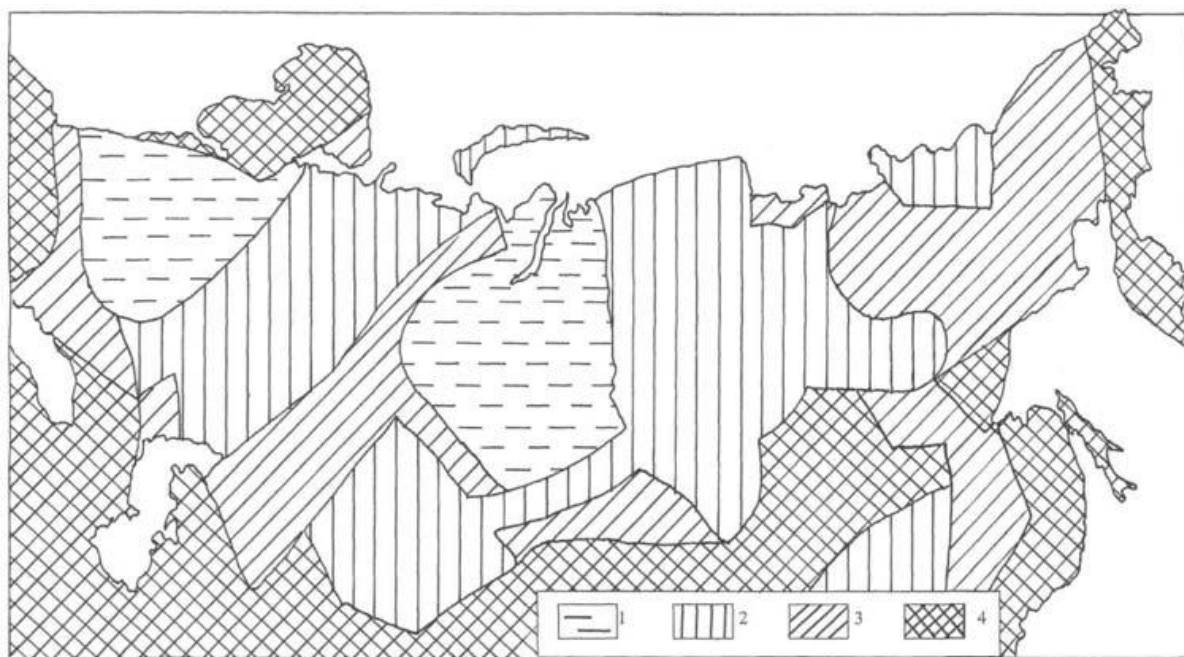


Рисунок 1.11 – Карта-схема участков земной коры различной степени геодинамической опасности: 1, 2, 3, 4 – соответственно участки 1-4 степени геодинамической опасности [Батугин, 1997]

Следует отметить, что в таблице 1.3. приведены геодинамические процессы в литосфере, исследуемые в работе. Геодинамические процессы связаны с

движением вещества в среде (литосфере, гидросфере, атмосфере). Тектонические процессы рассматриваются только в литосфере. Геодинамические процессы – более широкое понятие, включающее другие опасные природные процессы. Не существует, какого либо одного опасного природного процесса, соответствующего геодинамической опасности, как землетрясение соответствует сейсмичности. Геодинамическая опасность есть опасность геодинамических процессов и, обусловленных ими, опасных геоэкологических процессов. Геоэкологический риск есть вероятностная мера геодинамической опасности.

Геодинамическая опасность характеризуется как горизонтальными, так и вертикальными движениями земной коры и литосферы (Рисунок 1.12.)

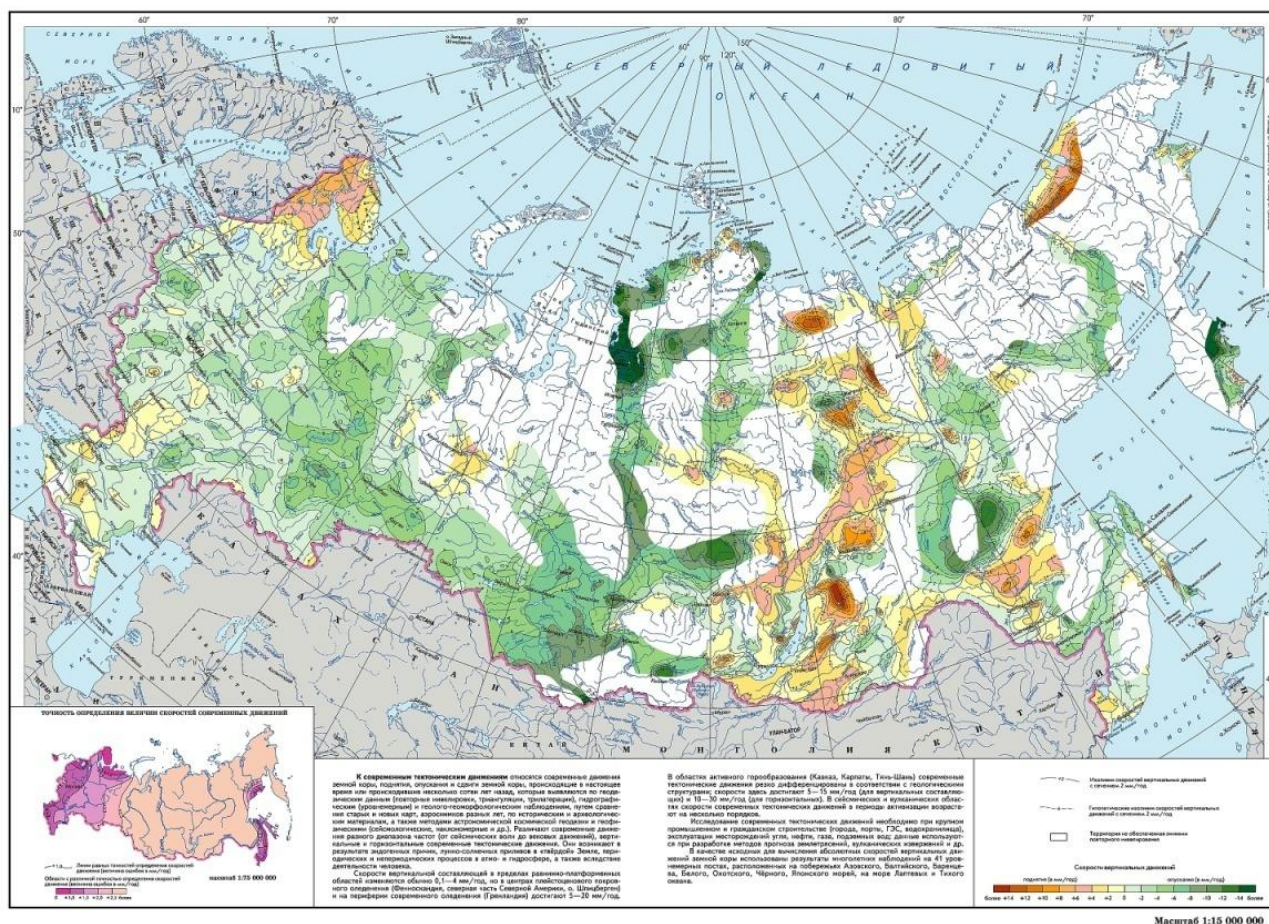


Рисунок 1.12 – Современные вертикальные движения земной коры [Национальный атлас России, 2007]

Различные карты опасности и риска характеризуют геодинамическую опасность и соответствующий геоэкологический риск (Рисунок 1.13 – 18).



Рисунок 1.13 – Карта индивидуального сейсмического риска (Ларионов и др, 2005.
www.geoenv.ru)

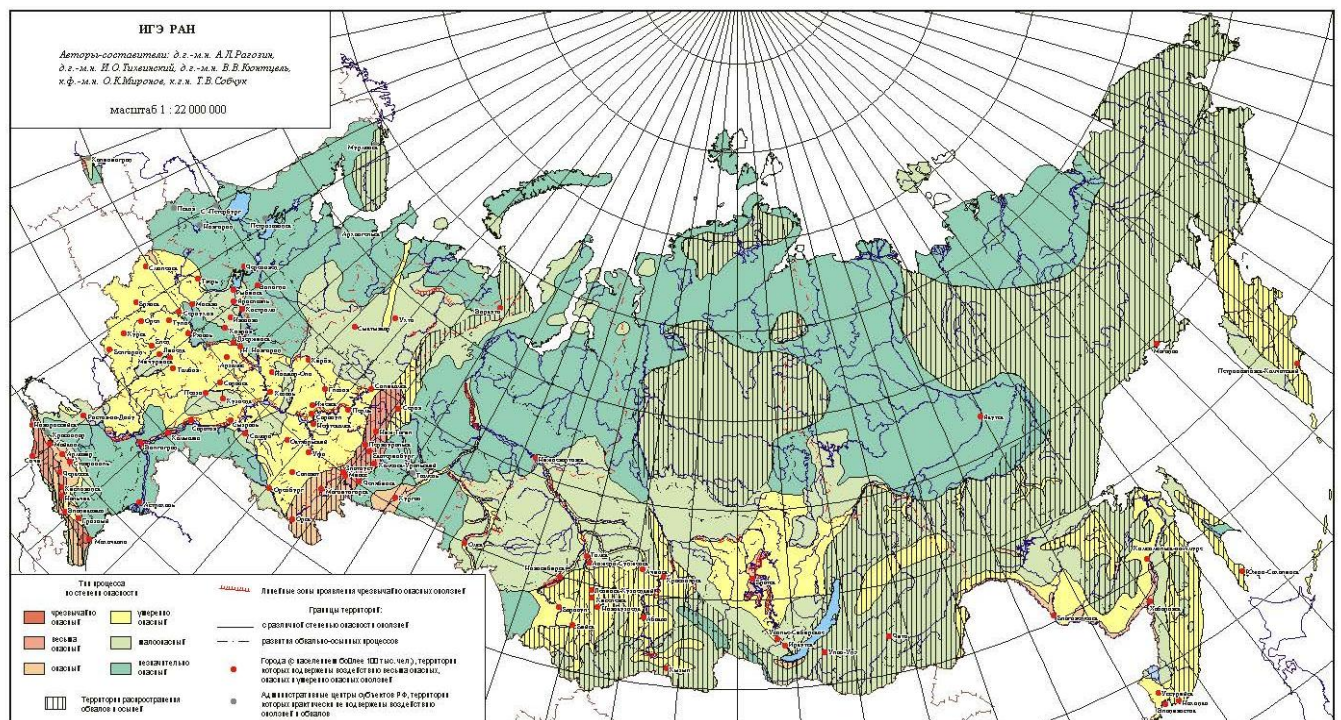


Рисунок 1.14 – Карта оползневой опасности России (Рагозин и др., 2005)

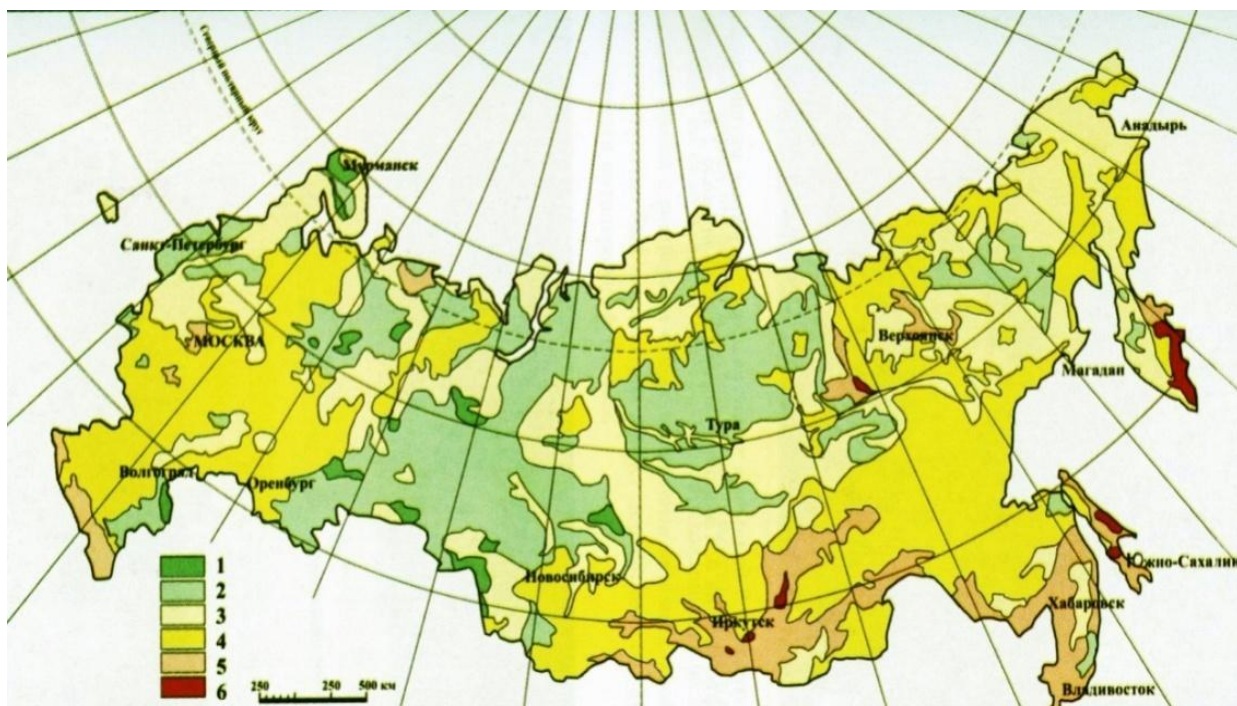


Рисунок 1.15 – Карта природного экономического риска Российской Федерации [Рагозин и др., 1990]. 1 единица соответствует среднему годовому ущербу 1 млн. руб. в год (в ценах 1990 г.) на площади 20 тыс. км²: 1 – очень малый (<2). 2 - малый (10-2). 3 - средний (20-10). 4 - значительный (80-20). 5 - большой (200-80). 6 – очень большой (> 200).

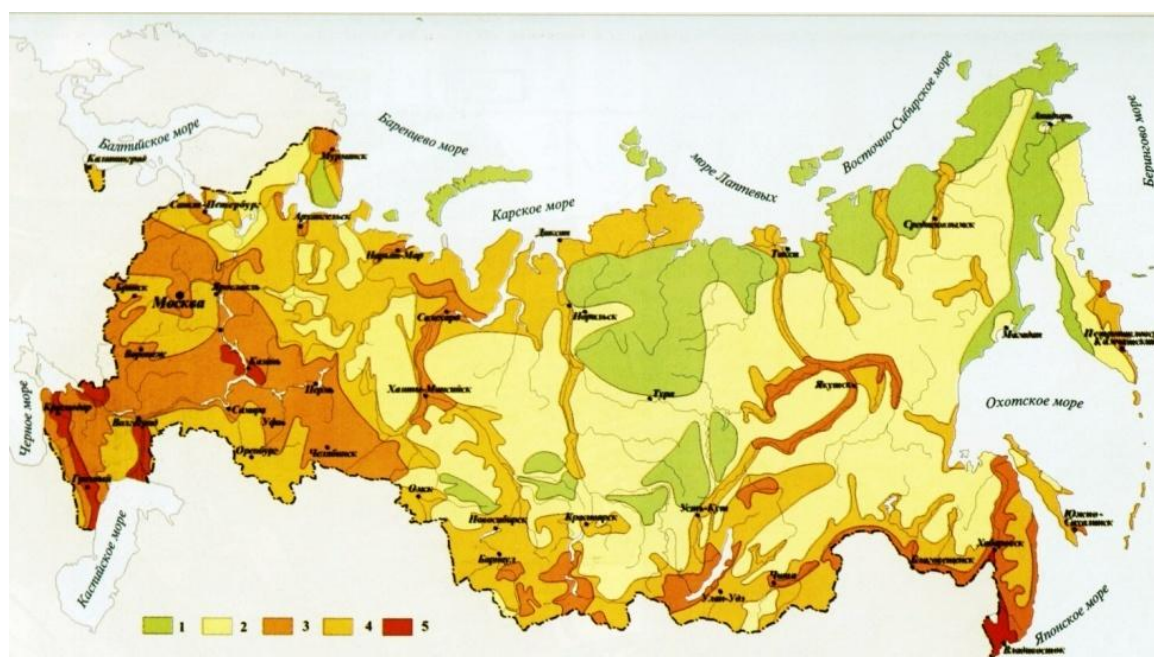


Рисунок 1.16 – Карта стихийных бедствий на территории России, вызванных землетрясениями, наводнениями, циклонами, шквалами, смерчами, проливными дождями, снегопадами, метелями, градом, снежными лавинами и оползнями. Частота (случай в год): 1 - $<10^{-5}$; 2 - 10^{-5} - 10^{-4} ; 3 - 10^{-4} - 10^{-3} ; 4 - 10^{-3} - 10^{-2} , 5 - $>10^{-2}$. [Природные опасности России, 2002].

Наиболее опасные оползневые процессы приурочены к горным территориям и к руслам рек, трассирующим тектонические разломы, т.е. к наиболее геодинамически активным регионам и территориям (Рисунок 1.17).

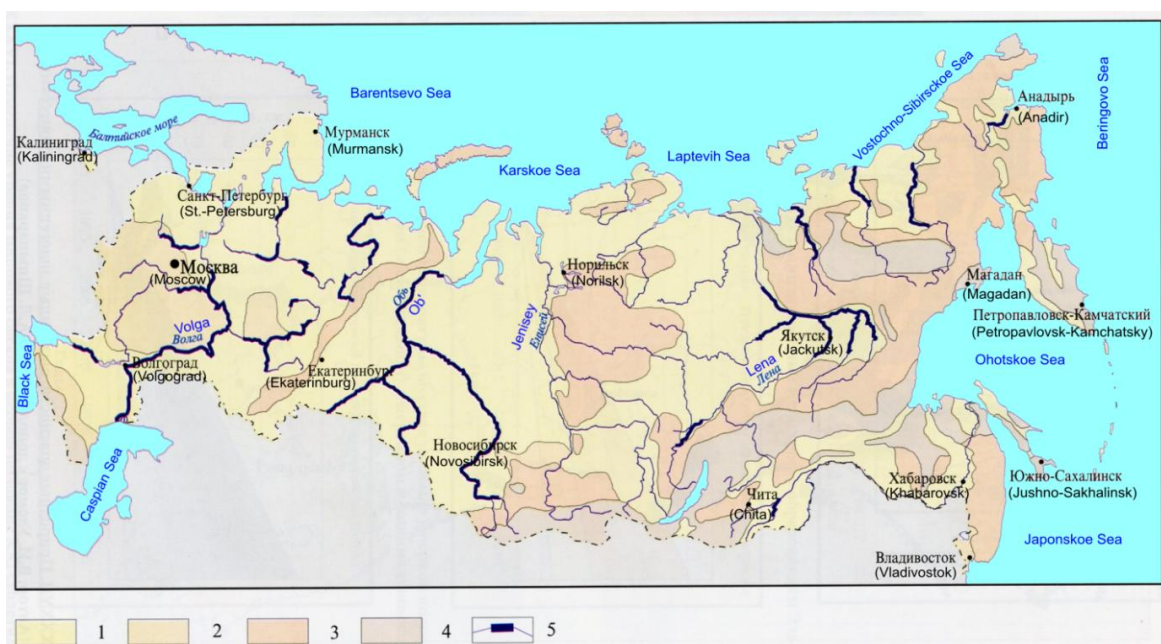


Рисунок 1.17 – Оползни в России [Природные опасности России, 2002]. Равнинные участки: 1 – малочисленные и редкие оползни; 2 – многочисленные оползни. Горные районы: 3 – частые оползни; 4 – возможные очень большие сейсмические оползни. 5 - оползни речных долин.

Карта активных разломов Кавказа отражает геодинамику и сейсмичность региона (Рисунок 1.18). Проблема более подробно анализируется в Главе 6.

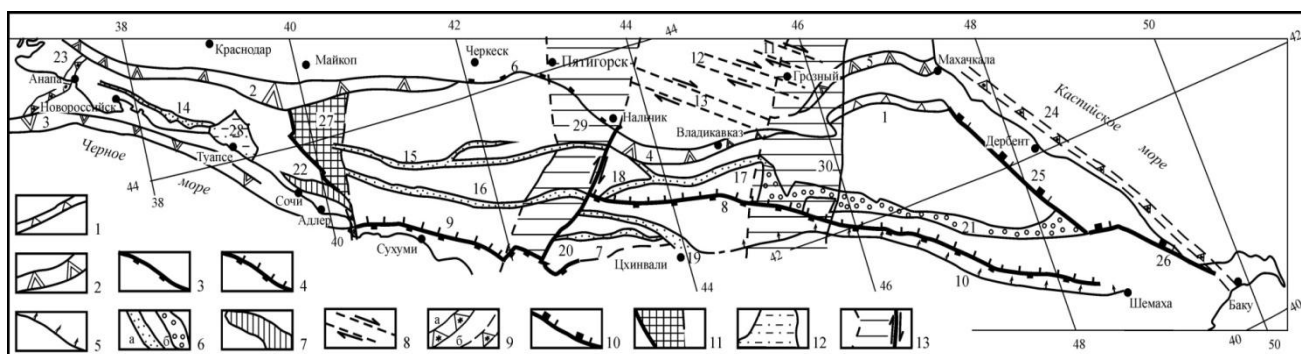


Рисунок 1.18 – Шовные зоны Большого Кавказа (Несмеянов, 2021)

1-8 — продольные (а — достоверные, б — предполагаемые): 1 — флексурные, 2 — флексурно-разрывные, 3 — шовно-сбросовые, 4 — взбросо-надвиговые, 5 — шовно-надвиговые, 6 — шовно-депресссионные, 7 — шовно-блоковые; 8 — шовно-сдвиговые в фундаменте краевого прогиба, 9-13 — поперечные: 9 — флексурные, 10 — шовно-сбросовые, 11-13 — зоны поперечного дробления: 11 — с активными сбросовыми воздыманиями, 12 — с активными грабеновыми прогибаниями, 13 — со сдвиговой составляющей (краевые сдвиги). Цифры - номера зон.

В общем случае геодинамические процессы связаны с движением вещества в среде (литосфере, гидросфере, атмосфере). Геодинамические процессы – более широкое понятие, включающее другие опасные природные процессы. Не существует, какого либо одного опасного природного процесса, соответствующего геодинамической опасности, как, например, землетрясение соответствует сейсмичности. Геодинамическая опасность есть опасность геодинамических процессов и, обусловленных ими, различного вида опасных геоэкологических процессов. Таким образом, геоэкологический риск опосредованно есть вероятностная мера геодинамической опасности.

Вышеизложенное позволяет сформировать геодинамическую концепцию геоэкологии. Геодинамика определяет уровень и особенности протекания геоэкологических процессов. Построение геодинамических моделей регионов опасных природных процессов с целью прогноза и предупреждения стихийных бедствий и катастроф значительно повышает надежность конечных результатов и физически более обоснована с позиций причинно-следственных связей. Это предполагает анализ напряженно-деформированного состояния литосферы на базе изучения систем глубинных и поверхностных разломов как маркеров областей максимальных напряжений и нарушения пределов прочности вещества в литосфере. Результаты анализа являются непосредственной основой разработки подходов и последовательности геолого-геофизических исследований с целью снижения геоэкологического риска и создания систем мониторинга. Это создает условия для разработки алгоритма создания систем мониторинга.

1.5. Выводы

Разработана концепция определяющей взаимосвязи геодинамической опасности и геоэкологического риска. Геодинамическая опасность – это опасность процесса движения или напряженно-деформированного состояния геологической среды, несущая угрозу жизни и здоровья людей и ущерба техногенной и природной среды. Геодинамика геологической среды рассматривается на разных масштабах как движение литосферных плит, подъем мантийных диапиров и плюмов, движение слоев тектонически расслоенной литосферы, гравитационное движение масс по оползневому склону и др. Геодинамическая опасность характеризуется повышенными скоростями движения вещества тектонически расслоенной литосферы на разных глубинах, контрастностью скоростей поверхностных движений, повышенным напряженно-деформированным состоянием литосферы, трещиноватостью пород, наличием глубинных и поверхностных разломов, повышенным тепловым потоком, геотермальными проявлениями, повышенной сейсмичностью, вулканизмом и магматизмом, активизацией опасных природных процессов, таких как землетрясения, извержения вулканов, оползневые процессы, карст, суффозия, цунами и др. геоэкологических процессов. Таким образом, геоэкологический риск опосредованно есть вероятностная мера геодинамической опасности.

Первое защищаемое положение.

Разработана концепция определяющей взаимосвязи геодинамической опасности и геоэкологического риска. Обосновано, что геодинамическая опасность – это опасность процессов движения или напряженно-деформированного состояния геологической среды для различных видов и масштабов движения вещества в литосфере. Геоэкологический риск опосредованно есть вероятностная мера геодинамической опасности.

ГЛАВА 2. ГЕОДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ АЛЬПИЙСКОГО И ТИХООКЕАНСКОГО ПОЯСОВ И МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР НАД ПОДНИМАЮЩИМСЯ МАНТИЙНЫМ ДИАПИРОМ

2.1. Сравнительная геодинамика и геотермия Альпийского и Тихоокеанского поясов

Геодинамика литосферы наиболее опасных областей на поверхности Земли, связанных с границами литосферных плит и формированием многих опасных природных процессов, вызванных активными движениями и повышенным напряженно-деформированным состоянием геологической среды, анализируется на базе сравнительной геодинамики и геотермии Альпийского и Тихоокеанского поясов и механико-математического моделирования формирования и эволюции геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром.

Альпийский пояс связан со столкновением континентальных плит (Аравийско-Африканская и Евразийская плиты), а Тихоокеанский пояс связан со столкновением океанической и континентальной плит (Тихоокеанской и Евразийской плит), но у них много общих черт [Богданов, 1988; Богданов, Филатова, 2001; Маловицки, Сенин, 1988; Родников и др., 2003; Свалова и др., 1991]. Структуры Альпийского и Тихоокеанского поясов включают задуговые бассейны, морские котловины, осадочные бассейны, орогены (Рисунки 2.1; 2.2).

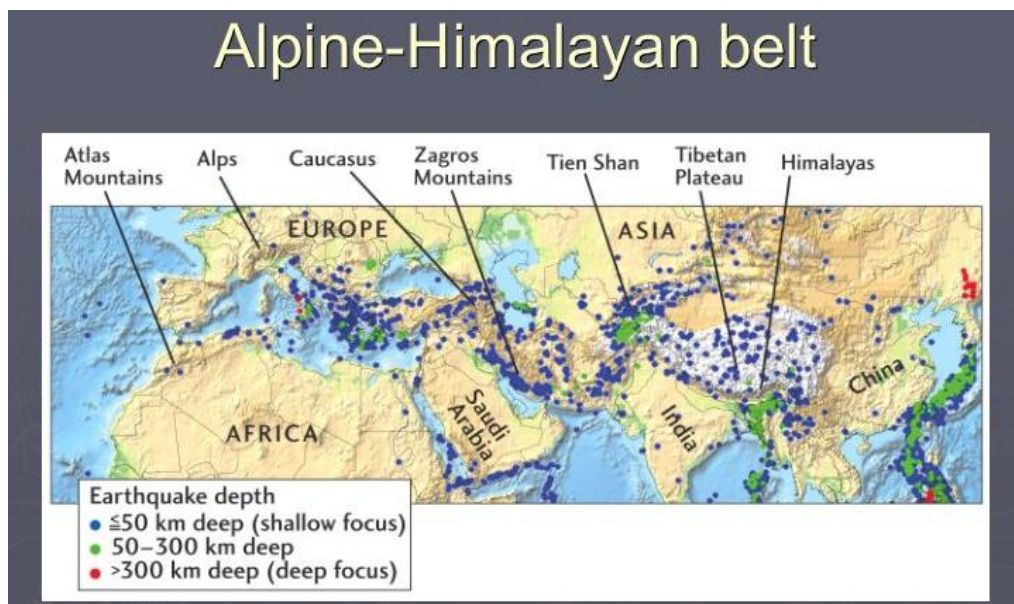


Рисунок 2.1 – Альпийско-Гималайский пояс. (NASA)

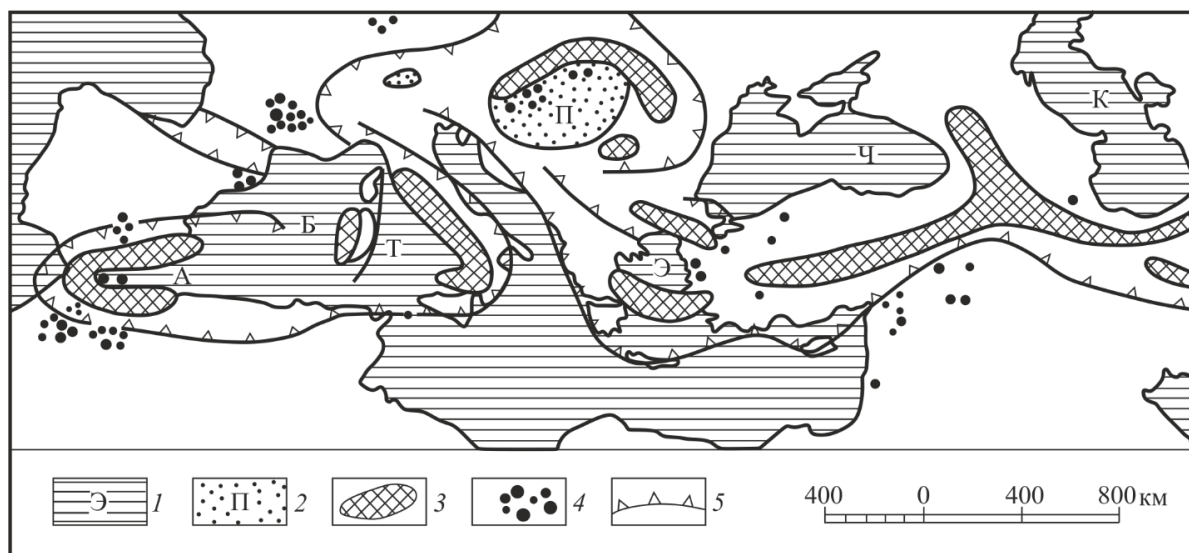


Рисунок 2.2 – Структура западной части Альпийско-Гималайского пояса. 1 – моря (А – Альборанское, Б – Балеарское, К – Каспийское, Т – Тирренское, Ч – Черное, Э – Эгейское). 2- Паннонская впадина. 3 – вулканические дуги. 4 – ареалы базальтового вулканизма. 5 – фронтальные зоны крупнейших надвиговых структур [Шарков, Свалова, 1989]

Моря и впадины характеризуются тонкой корой и в основном высокими тепловыми потоками (Таблица 2.1) (Рисунок 2.3).

Таблица 2.1 – Геолого-геофизические данные для Альпийского и Тихоокеанского поясов [Svalova, 1993; Свалова, 2020]

Структуры	Толщина осадочного чехла (км)	Толщина кристаллической коры (км) в депрессии (числитель) в окружении (знаменатель)	Тепловой поток (мВт / м ²)
1. Тирренское море	6	16/45	30-160
2. Эгейское море	3	15/23	100
3. Черное море	16	15/45	30-35
4. Прикаспийская впадина	24	12/40	50
5. Южно-Каспийская впадина	20	12/45	40-50
6. Ионическое море (юг)	12	10/35	30-40
7. Ионическое море (север)	8	10/30	50-70
8. Балеарское море	8	10/40	50
9. Левантийская впадина	6	8/30	30
10. Паннонская впадина	9	18/27	90
11. Алеутская впадина	5	10/26	60-80
12. Охотское море	4	8/20	100
13. Японское море	2	12/29	100-120
14. Филиппинское море	2	6/13	60

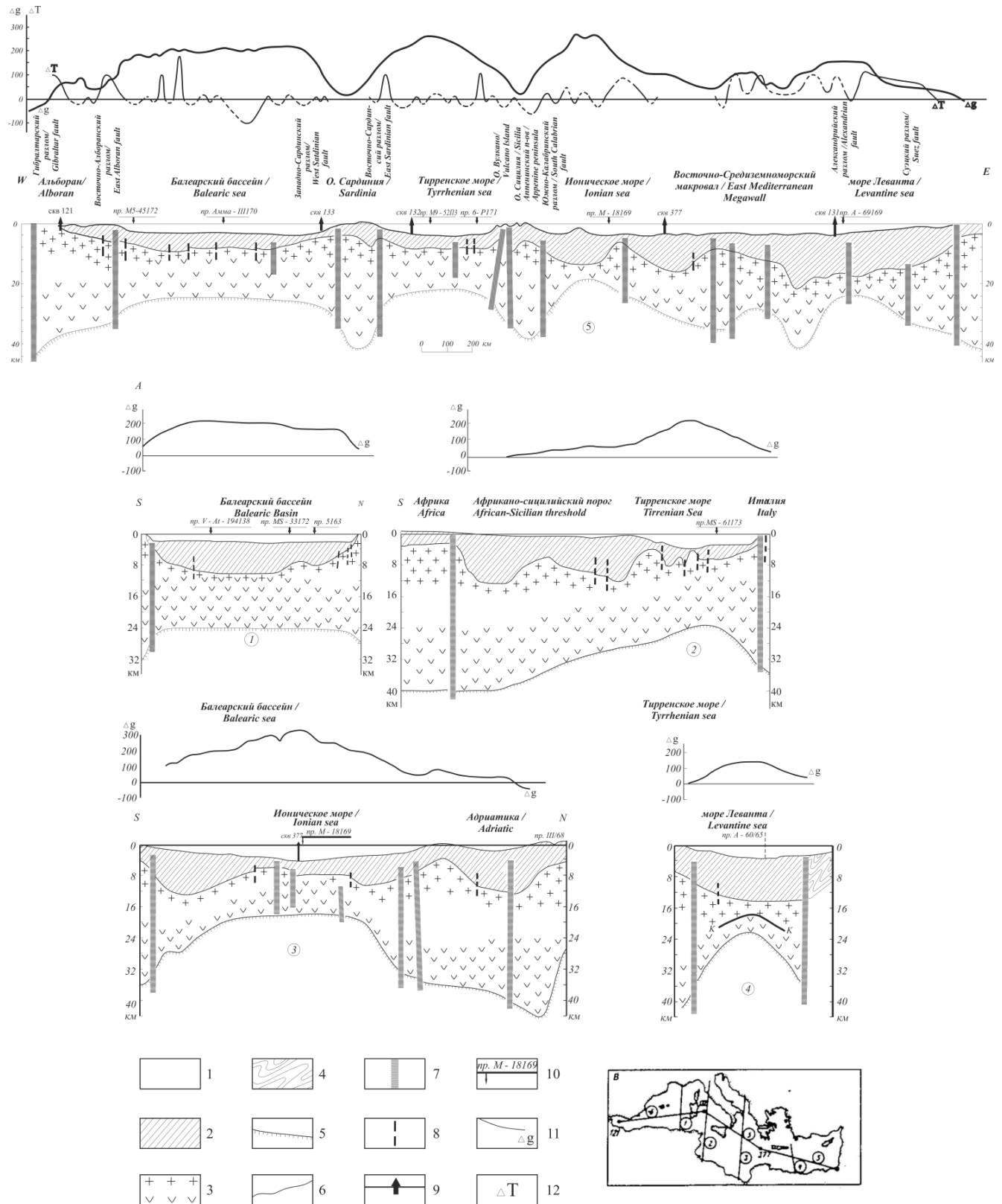


Рисунок 2.3 – Результаты геолого-геофизических исследований тектонических структур Средиземноморья (первичный материал) [Сулиди-Кондратьев, Козлов, 1980]

Над поднимающимися мантийными диапирами на дневной поверхности могут возникать структуры сводовых поднятий, глубинных бассейнов или излияний базальтов в зависимости от энергии и стадии подъема диапиров. Между диапирами возникают структуры орогенов и утолщение коры (Рисунок 2.4; 2.5; 2.6; 2.7).

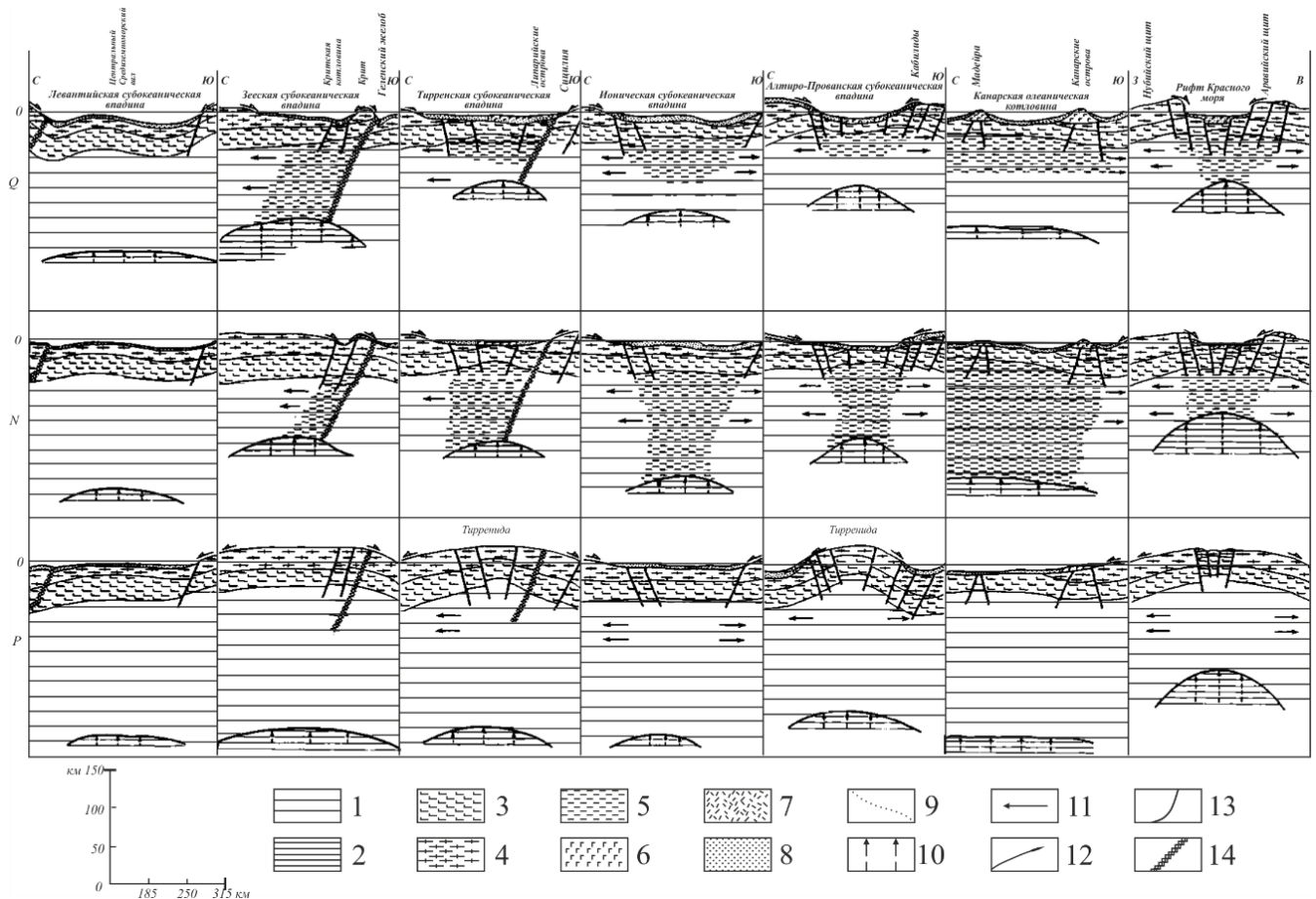


Рисунок 2.4 – Карта основных структур зоны сочленения Аравийско-Гималайского складчатого пояса с Африкано-Аравийским континентом (первичный материал) [Сулиди-Кондратьев, Козлов, 1980]

1 - выходы гранитного слоя на поверхность в пределах континентов; 2 - области платформенных плит на докембрийском фундаменте в пределах континентов; 3 - орогенные активные окраины континентов (а), соответствующие им тектонические зоны погруженных частей континентов с корой субокеанического и субконтинентального типов (б); 4 - зоны покровов и крупных надвигов; 5-9 - субокеанические и субконтинентальные глубоководные впадины, находящиеся на разных стадиях преобразования земной коры: 5 - стадия утонения континентальной коры, 6 - стадия дифференцированной деструкции континентальной коры, 7 - стадия общей деструкции континентальной коры, 8 — стадия завершения деструкции континентальной коры, 9 - стадия стабилизации субокеанической коры; 10 - щелевые рифты; 11 - альпийские эвгеосин-клиналис корой континентального типа; 12 - контуры глубоководных впадин; 13 - глубинные разломы; 14 - Гибралтаро-Оманский офиолитовый шов. Глубоководные впадины: I - Альборанская, II - Северо-Балеарская, III - Тунисско-Сицилийская, IV - Левантийская, V - Эгейская, VI - Тирренская, VII - Ионическая, VIII - Алжиро-Прованская, IX - Канарская, X - Оманская, XI - рифт Красного моря.

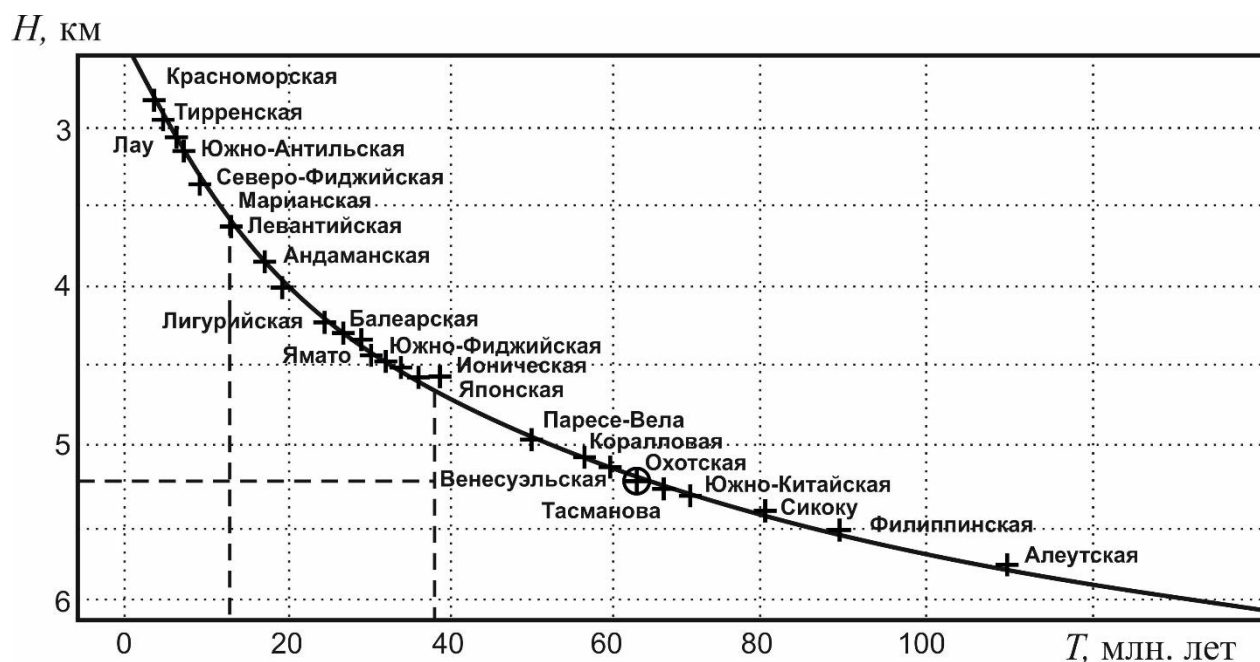


Рисунок 2.5 – График зависимости глубин и возраста глубоководных впадин [Parsons, Sclater, 1977]

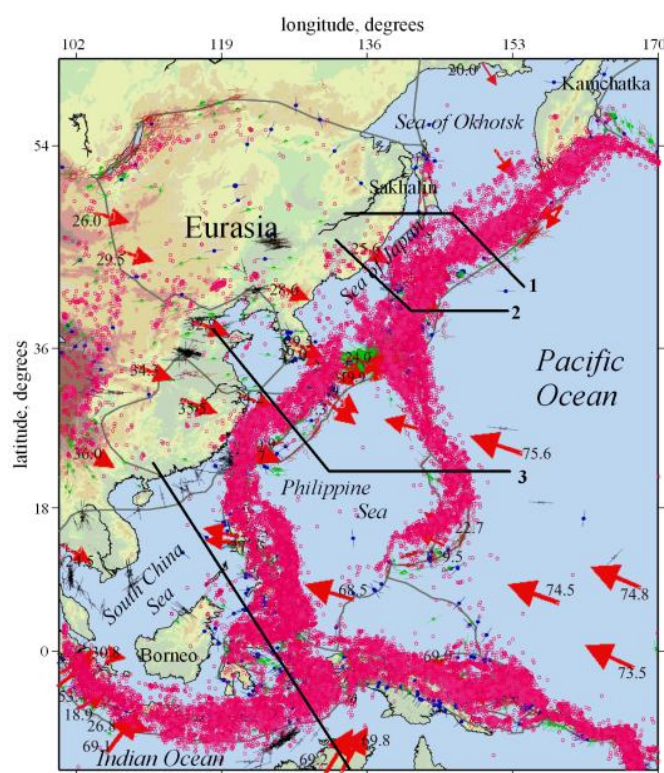


Рисунок 2.6 – Область переходной зоны от Евразийского континента к Тихому океану с пространственным распределением землетрясений с $M \geq 3,5$ за период 1973–2011 гг. (Розовые кружки) и профилями геотраверсов (1 - геотраверс Охотского моря; 2 - Геотраверс Японского моря; 3 - Геотраверс Северо-Китайской равнины - Филиппинское море; 4 - Геотраверс Южно-Китайского моря). Красные стрелки и соседние числа указывают направление и скорость (мм / год) движения плит. Черные линии - границы плит [Zabarinskaya et al., 2021]

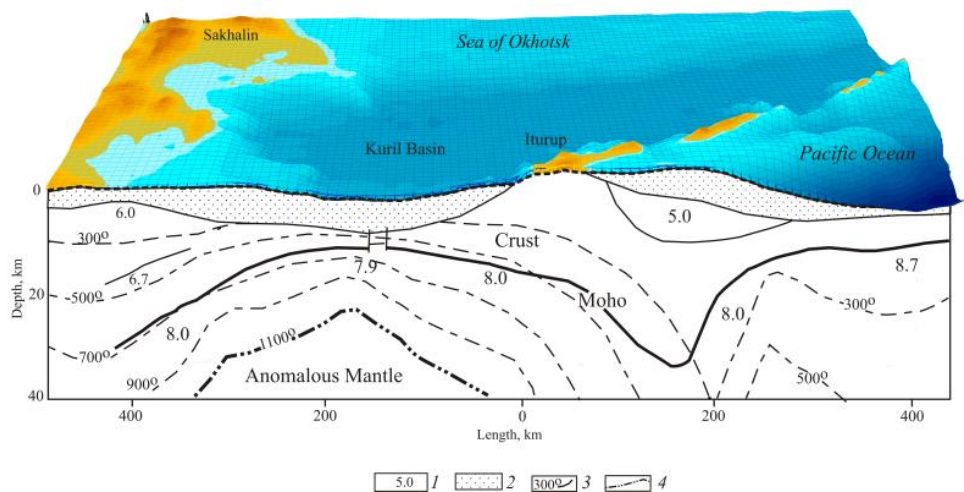


Рисунок 2.7 – Температура Земли в коре и верхней мантии для Сахалина, Курильской котловины, Курильской островной дуги, Курильского жёлоба и западной части Тихого океана. 1 - сейсмические скорости, км / с; 2 - осадочный слой; 3 - изотермы, °C; 4 - изотерма 1100°C [Zabarinskaya et al., 2021]

Структуры характеризуются активным магматизмом и базальтовым вулканизмом с ксенолитами астеносферного вещества.

Спрединовые зоны окраинных морей Тихоокеанского пояса проявляются отодвиганием от континентов островных дуг, приобретающих изгиб в сторону океана, что также объясняется подъемом мантийных диапиров. Скорость отодвигания составляет около 2 см/год [Картер, Робертсон., 1987] на фоне коллизии плит со скоростью около 7 см/год. Таким образом, геолого-геофизические данные позволяют связать эти структуры с апвеллингом мантийных диапиров [Тектоника..., 1980; Земная кора..., 1982; Андерсон, Дзевонский, 1984; Свалова, 2014; Svalova, 1993; Karig, 1974; Ringwood et al., 1988; Rodnikov et al., 2001; Tamaki, 1988; Berry et al., 1969].

Мантийный диапиризм вносит существенный вклад в процесс формирования новообразованных впадин Альпийского и Тихоокеанского поясов и окружающих их складчато – покровных структур и является следствием инверсии плотности в системе астеносфера - литосфера. Такая инверсия становится движущей силой на фоне сближения Африки с Евразией в Средиземноморье и Тихоокеанской и Евразийской плит в Тихоокеанском поясе. Мантийный диапиризм порождается гравитационной неустойчивостью в периоды тектоно-магматической активизации [Шарков, Свалова, 1991, 1993; Мясников,

Свалова, 2007; Хуторской, 2021; Поляк, Хуторской, 2018; Булаева, 2009; Фролова, 1997; Добрецов, 2020; Добрецов, Кирдяшкин, 1994; Белоусов, 1989; Condie, 2001, 2004; Courtillot et al., 2003; Hess, 1960; Dietz, 1961; Douwe et al., 2018; Gornov, 2021; Heat-Mass..., 2021]. Таким образом, депрессии западного сектора Альпийско-Гималайского пояса и Тихоокеанского пояса можно объяснить апвеллингом мантийных диапиров, а структура Кавказа связана не только с зоной столкновения литосферных плит, но и со столкновением потоков астеносферы под Черным и Каспийским морями. Интересно и важно проанализировать и объяснить происхождение и эволюцию этих структур на основе механико-математического моделирования.

Подтверждением подъема мантийных диапиров служат следующие данные:

1. Округлая форма морей, осадочных и задуговых бассейнов Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского поясов.
2. Огибающая округлая форма островных дуг.
3. Форма геофизических границ в разрезах геологических структур. Выпуклая форма границы Мохо над поднимающимися мантийными диапирами, подобная границе литосфера-астеносфера. Вогнутая граница фундамента осадочных бассейнов вследствие растяжения вещества коры и мантийной литосферы над диапиром [Сулиди-Кондратьев, Козлов, 1980].
4. Формирование безграничных впадин, когда гранитный слой коры перерабатывается и растягивается при подъеме горячего диапира.
5. Повышенный тепловой поток в центре депрессий вследствие утоньшения слоев коры и верхней мантии и близости горячего астеносферного диапира [Хуторской и др., 2005; Хуторской, 2021].
6. Гравитационные аномалии – отрицательные вследствие подъема расплавленных астеносферных масс на стадии тектоно-магматической активизации и положительные в процессе охлаждения, кристаллизации и утяжеления астеносферы диапира [Артемьев, 1975].
7. Гравитационная неустойчивость расплавленной астеносферы на фоне коллизии литосферных плит проявляется в виде подъема отдельных

астеносферных куполов. Неустойчивая граница вдоль всего Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского поясов распадается на отдельные купола по аналогии с формированием соляных куполов и валов в солеродных осадочных бассейнах. Механизм гравитационной неустойчивости проявляется на разных масштабах. В центре солеродных осадочных бассейнов формируются соляные купола, на периферии – соляные валы (в зависимости от толщины и вязкости слоев соли и осадочного чехла) [Теркот, Шуберт, 1985].

8. Изменение направления течения русел палеорек от центра впадины к периферии в период активного подъема диапира и всех слоев над ним на движение к центру депрессии на стадии формирования прогиба в центре структуры осадочного бассейна [Тектоника, 1980].

9. Смена режимов осадконакопления позволяет фиксировать глубину осадочного бассейна на разных этапах эволюции структуры и связать процесс с глубинной геодинамикой [Царегородцева, Курина, 2020; Неволин, 1993].

10. Геологическая палеорекострукция геодинамики геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром [Сулиди-Кондратьев, Козлов, 1980].

11. Отодвигание Корсики и Сардинии от Апеннинского полуострова вследствие подъема мантийного диапира под Тирренским морем [Тектоника, 1980].

12. Отодвигание островной дуги от центра задугового бассейна в Охотском море, несмотря на коллизию Тихоокеанской и Евразийской плит [Картер и др., 1987].

13. Последовательность процессов вулканизма и магматизма в островной дуге после процесса рассеянного спрединга в задуговом бассейне, вызванного подъемом мантийного диапира. Максимальная сейсмичность связана с зоной субдукции холодной литосферной плиты. В центре задугового бассейна сейсмичность минимальна вследствие пониженной вязкости вещества литосферы над горячей расплавленной астеносферой мантийного диапира

14. Прямым подтверждением существования и подъема астеносферных диапиров служит наличие и повышенное содержание мантийного гелия в среде над диапирами [Поляк, Хуторской, 2018].

Представляется возможным описать некоторые характерные черты развития геологических структур Альпийского и Тихоокеанского поясов, в частности, областей задугового спрединга над региональными подъемами астеносферы. Именно они здесь являются центрами глубинной активности, в значительной мере определяющими все другие процессы. Для такого анализа используется модель многослойной высоковязкой несжимаемой жидкости, параметры которой меняются от слоя к слою [Занемонец (Свалова) и др., 1974; Свалова, 2012, 2013, 2014, 2019 а, 2019 б, 2020; Svalova, 1992, 1993, 1997; Свалова, Шарков 1992].

2.2. Механико-математическое моделирование формирования и эволюции геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром

Важным методом, применяемым при изучении геологических структур на разных этапах эволюции и анализе полей скоростей, напряжений и температур в осадочном чехле, коре и верхней мантии в различных тектонических условиях, является построение адекватной механико-математической модели геологической эволюции региона [Гончаров, Свалова, 2013; Гончаров и др., 2015; Занемонец (Свалова) и др., 1974; Свалова, 2012, 2013, 2014, 2019 а, 2019 б, 2020; Соловьев и др., 1991; Condie, 2001, 2004; Davies, 1999; Svalova, 1992, 1993, 1997, 2021 а, 2021 б, 2021 в].

Существует два разных подхода к математическому моделированию геологических структур и процессов. Первый – применить полную систему механических уравнений, адекватно описывающих формирование и эволюцию той или иной тектонической структуры, и последующий расчет полученных уравнений при требуемых граничных и начальных условиях на мощных компьютерах. Второй – максимально возможное упрощение полученной системы уравнений, позволяющее аналитически решить проблему с последующими

полуколичественными выводами, сопоставимыми с имеющейся геолого-геофизической информацией. Оптимальное решение геотектонических задач на основе механико-математического моделирования сочетает в себе преимущества каждого из вышеперечисленных методов, что связано со значительными трудностями.

На основе моделирования удастся описать некоторые характерные особенности эволюции геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром. Для такого анализа можно использовать механико-математические модели многослойной высоковязкой жидкости. Модели исследуются на основе геологического строения Альпийского и Тихоокеанского поясов.

Эволюция геологических структур над астеносферными диапирами объясняется и подтверждается механико-математическим моделированием движения вещества в литосфере.

Глубина поверхности астеносферы под Альпийском поясом колеблется от 30 км в центре Тирренского моря до 70-100 км во впадинах Восточного Средиземноморья, сильно изменяясь по латерали. Характерный размер впадин достигает 500-1000 км и более, расстояние между ними 1000-1500 км.

Чтобы получить аппроксимацию системы механических уравнений путем анализа порядка соответствующих значений величин в этих уравнениях, необходимо выделить малые параметры задачи, которые можно использовать для разложения.

Многочисленные геологические структуры характеризуются довольно пологим залеганием слоев и значительным превышением горизонтального регионального масштаба L над вертикальным масштабом h типичной мощности геологических слоев. Это позволяет ввести в анализ задачи малый параметр h / L . Второй малый параметр задачи F / R , F – число Фруда, R – число Рейнольдса, возникает при анализе реологического поведения вещества в слоях [Занемонец (Свалова) и др., 1974; Свалова, 2012, 2013, 2014,; Svalova, 1992, 1993, 1997].

Рассмотрим двухслойную модель вязкой несжимаемой жидкости, описывающей геодинамику литосферы, состоящей из двух слоев – коры и

мантийной литосферы. Отсюда выбор характерных параметров задачи: $h_3 \sim 10$ км – толщина коры, $h_2 \sim 100$ км – толщина мантийной литосферы, $L \sim 1000$ км – горизонтальный масштаб, $\varepsilon = h_3/L = 10^{-2}$ – малый параметр.

Медленные деформации литосферы моделируются с помощью модели вязкого течения в многослойной несжимаемой высоковязкой ньютоновской жидкости с использованием уравнения Навье-Стокса (1) и уравнения неразрывности (2):

$$dv/dt = F - (1/\rho) \text{grad } p + (\mu/\rho) \Delta v \quad (1)$$

$$\text{div } v = 0 \quad (2)$$

где v – вектор скорости,

F – сила тяжести,

p – давление,

ρ – плотность,

μ – вязкость,

t – время.

Введем безразмерные значения координат, скоростей и давления X, Y, Z, U, V, W, P :

$$x = LX, y = LY, z = hZ, u = u_0 U, v = u_0 V, w = u_0 (h/L) W, p = \rho_0 g h P \quad (3)$$

где ρ_0, u_0 – характерные значения плотности и скорости.

Тогда можно получить в безразмерной форме уравнение Навье-Стокса и уравнение неразрывности для медленных движений в тонком слое для двумерного случая:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial X} = \alpha \mu \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2} \\ \frac{\partial P}{\partial Z} = -\rho \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0 \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{F}{R \left(\frac{h}{L}\right)^3}, F = \frac{u_0^2}{gL}, R = \frac{u_0 L \rho_0}{\mu_0} \quad (6)$$

где F – число Фруда,

R – число Рейнольдса,

ρ_0, μ_0, u_0 – характерные масштабы плотности, вязкости и скорости. Силы на верхней границе равны 0 (свободная поверхность). Скорости и давления непрерывны на границах слоев. Тогда из уравнений (4-5) можно найти давления и скорости в слоях в зависимости от скорости вещества на нижней границе [Свалова, 2014]

Также на верхней границе ζ^* выполняется кинематическое условие свободной поверхности, состоящее в том, что частицы не покидают поверхность в процессе движения (7):

$$S \frac{\partial \zeta^*}{\partial t} + U^* \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} - W^* = 0 \quad (7)$$

$$S = \frac{L}{u_0 t_0} \quad (8)$$

где S – число Струхала,

t_0 – масштаб времени.

Аналогично можно рассмотреть границу Мохо как вещественную и непроницаемую, где частицы вещества не покидают поверхность в процессе эволюции. Тогда, подставляя скорости в уравнение свободной поверхности (7), можно получить уравнение движения для любой непроницаемой границы.

Таким образом, разлагая скорости и давления в ряд по $\sqrt{\varepsilon}$ и считая границы между слоями вещественными, можно получить в нулевом приближении уравнения дневной поверхности ζ_3 и поверхности фундамента ζ_2 в зависимости от скорости подъема мантийного диапира $\zeta_1 U_0, W_0|_{\zeta_1}$:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \zeta_3}{\partial X^2} = \beta \left[h_2 \frac{\partial U_0}{\partial X} - W_0 \right] \\ S \frac{\partial \zeta_2}{\partial t} + U_0 \frac{\partial \zeta_2}{\partial X} + \alpha \left[h_2 \frac{\partial U_0}{\partial X} - W_0 \right] = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{(h_3)^3}{(h_3)^3 + \frac{\mu_3}{\mu_2} (h_2)^3}, \beta = \frac{1}{\frac{\rho_3}{3} \left[\frac{(h_3)^3}{\mu_3} + \frac{(h_2)^3}{\mu_2} \right]}$$

где $S = \frac{L}{u_0 t_0}$ - число Струхала,

u_0 - характерный масштаб скорости вещества литосферы,

t_0 - характерное время процессов, μ_i - вязкости слоев,

ρ_i - плотности слоев.

Зададим поле скоростей и морфологию границы ζ_1 в виде:

$$U_0 = a \operatorname{th} kX, \zeta_1(X, t) = -\gamma sh^2 kX - (h_2 + h_3) + \frac{D}{S} t \quad (10)$$

где k, a - характеризуют интенсивность раздвига: k - в центре структуры, a - вдали от центра;

γ - позволяет варьировать форму поднимающегося плюма;

D - скорость подъема плюма $D = S \frac{\partial \zeta_1}{\partial t}$.

Данное поле скоростей качественно достаточно хорошо отражает основные особенности рассматриваемого класса движений: подъем астеносферного плюма, раздвиг над ним и опускание вещества на достаточном удалении от центра. Из решения системы (9-10) получим для достаточно больших t :

$$\begin{aligned} \zeta_2 &= -h_3 - \alpha \gamma sh^2 kX + \alpha h_2 \ln(ch kX) + \alpha(D - h_2 ak) \frac{t}{S} \\ \zeta_3 &= \beta \left[\frac{h_2 a}{k} \ln(ch kX) + \frac{\gamma a}{(2k)^2} ch 2kX - \left(\frac{\gamma a + D}{2} \right) X^2 \right] + C_1(t) \end{aligned} \quad (11)$$

Анализ полученных выражений показывает, что существует критическая глубина подъема мантийного плюма $h_2 = 2\gamma$, когда изменяется характерная форма слоев литосферы. Если $h_2 > 2\gamma$, то существует прогиб поверхности фундамента в центре раздвига, что действительно имеет место в рассмотренных задуговых морях. Если же $h_2 < 2\gamma$ (глубина плюма невелика) или же скорость его подъема

существенна ($D > h_2 ak$), то выпуклости поверхности плюма соответствует подъем поверхности фундамента (Рисунок 2.8).

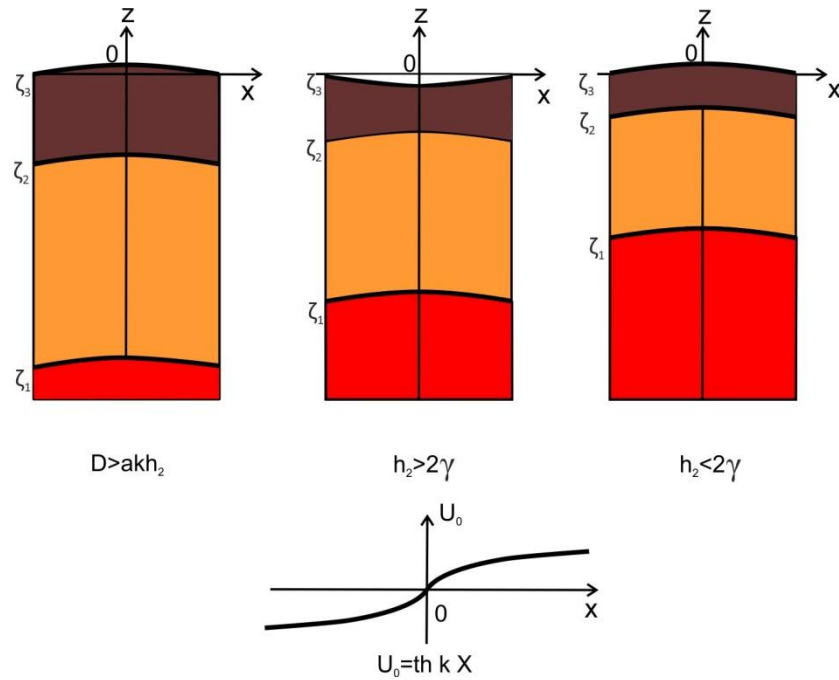


Рисунок 2.8 – Характерный разрез слоев земной коры и мантийной литосферы над поднимающимся астеносферным диапиром без латерального ограничения движения

$$U_0 = a \, th \, kX.$$

В тех случаях, когда на периферии бассейна существуют условия, препятствующие свободному раздвигу литосферы региона, например, вызванные коллизией Аравийско-Африканской и Евразийской плит, поле скоростей на нижней границе слоев можно моделировать в виде:

$$U_0 = \frac{th \, X}{ch^2 X}, \quad \zeta_1 = -sh^2 X - (h_2 + h_3) \quad (12)$$

Для большей наглядности результата коэффициенты в модельной задаче опущены. Тогда:

$$\begin{cases} \zeta_3 = -\frac{\beta h_2}{2} \frac{1}{ch^2 X} + \frac{\beta}{2} X^2 - \beta \ln(ch \, X) + C(t) \\ \zeta_2 \cong -h_3 - \frac{\alpha h_2}{S} t - \alpha(1 - 2h_2)sh^2 X + \alpha(1 - 2h_2)(sh \, X)^{\frac{2(h_2-1)}{1-2h_2}} \exp \left[\frac{2-3h_2}{1-2h_2} \left(\frac{t}{S} - sh^2 X \right) \right] \end{cases} \quad (13)$$

Теперь уже существуют две критические глубины кровли астеносферного поднятия, при которых разрез слоев качественно меняет свою структуру. При h_2

$>2/3$ в центре структуры образуется прогиб. При $1/2 < h_2 < 2/3$ поверхность фундамента выполаживается, а при $h_2 < 1/2$ отражает морфологию плюма в центре раздвига и образует вогнутость фундамента на периферии бассейна. При этом происходит скупивание и надвигообразование на периферии структур (Рисунок 2.9).

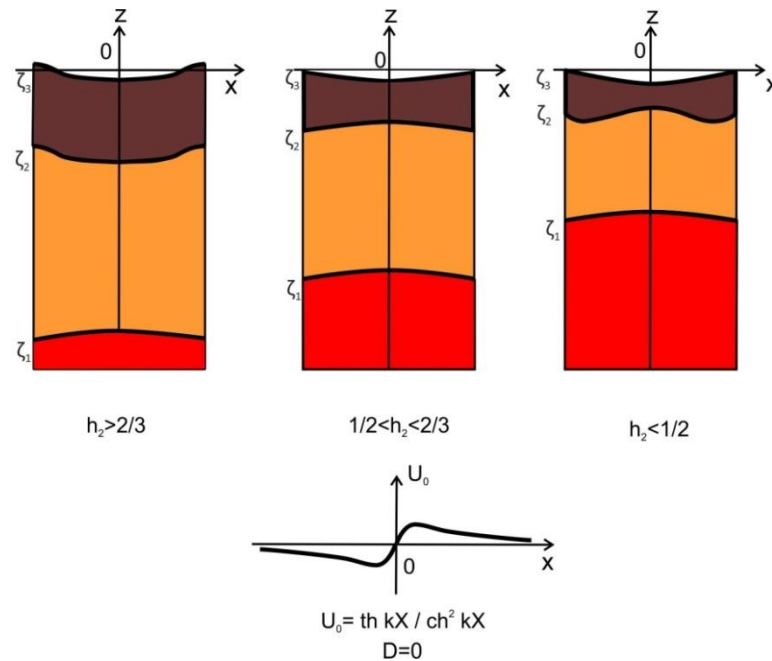


Рисунок 2.9 – Характерный разрез слоев земной коры и мантийной литосферы над поднимающимся астеносферным диапиром с латеральными ограничениями для раздвига

Первым типом скоростей (10) можно моделировать ранние стадии развития структур, вторым типом (12) – Альборанское, Тирренское и Эгейское моря, а также Паннонскую впадину. Смена режима сводового поднятия структурой глубоководной впадины подтверждается целым рядом геологических факторов: особенностями режима осадконакопления, сменой направления палеорек, эволюцией палеоглубин бассейнов и т.д [Богданов, 1988; Тектоника..., 1980; Земная кора..., 1982; Сулиди-Кондратьев и др., 1980].

2.3. Формирование и эволюция геологических структур

Для объяснения формирования и эволюции геологических структур необходимо использовать все имеющиеся геолого-геофизические данные, а также результаты механико-математического моделирования [Артюшков, 1979, 1993;

Вегенер, 1984; Кокс, Харт, 1989; Короновский и др., 2006; Лобковский, 1988; Лобковский и др., 2004; Мясников, Фадеев, 1980; Сорохтин, Ушаков, 2002; Теркот, Шуберт, 1985; Ушаков, Галушкин, 1979; Хаин, 1984, 2005]. Анализ построенных моделей и полученных решений значительно расширяет представление о механизмах формирования и эволюции геологических структур и позволяет делать новые выводы, которые не всегда легко объясняются геологами. Это расширяет возможности метода механико-математического моделирования литосферных процессов и дает дополнительные надежные средства подтверждения гипотез и выводов геологов и геофизиков. Объяснение формирования геологических структур на поверхности Земли зависит от масштаба рассматриваемых процессов, а механико-математическое моделирование имеет свои ограничения вследствие детальности и масштаба объекта моделирования. Если рассматривать Земной шар в целом и моделировать процессы в ядре, мантии, консолидированной коре и осадочном чехле, то очень трудно одновременно уловить детали формирования структур и их движущие процессы. Поэтому часто моделирование литосферных процессов выделяется в отдельную задачу, а процессы в астеносфере и нижней мантии служат граничными условиями для решения поверхностных задач. Также важно, что литосферные процессы развиваются на сферической поверхности Земли, и тектоника литосферных плит во многом определяется не только глубинными процессами в мантии, раздвигающими плиты, но и латеральными ограничениями, когда плиты сталкиваются и формируют сложную систему геологических структур, определяющих зону коллизии литосферных плит. Так Средиземное море открывалось и закрывалось неоднократно вследствие тектоно-магматической активизации, подъема крупномасштабного мантийного плюма и раздвига плит над ним, а затем после исчерпания энергии плюма, закрытия океана Тетис и сближения литосферных плит в Альпийско-Гималайском поясе. Явление гравитационной неустойчивости на поверхности глобального мантийного плюма проявляется в виде подъема отдельных мантийных диапиров более мелкого масштаба, ответственных за формирование морских впадин западного сектора

Альпийско-Гималайского пояса. Эти впадины характеризуются последовательностью и стадийностью развития, и можно проследить, как энергия поднимающегося плюма концентрируется в отдельных впадинах и мигрирует от периферии к центру, где максимум активизации реализуется в Эгейском море. А Корсика и Сардиния отодвигаются от Апеннин вследствие подъема диапира под Тирренским морем.

В Эгейском море в районе вулкана Санторин расположена самая крупная в Средиземном море положительная гравитационная аномалия, что говорит о близости к поверхности расплавленной более легкой астеносферы. Также важным показателем активности процессов на дне Эгейского моря являются постоянно происходящие там землетрясения. Анализ эпицентров землетрясений свидетельствует об особенно высокой сейсмической активности зоны, проходящей через Пелопоннесский полуостров и острова Крит и Родос, где неоднократно отмечались землетрясения силой в 9 баллов. Это хорошо объясняется наличием здесь зоны субдукции [Шарков, Свалова, 1989]

В Эгейском море, самая крупная по площади и интенсивная положительная гравитационная аномалия, граничит со столь же крупной отрицательной. Ее значения, достигающие +100 мгл и —120 мгл, примерно в 2—3 раза больше, чем в остальных районах Средиземного моря (Рисунок 2.10).

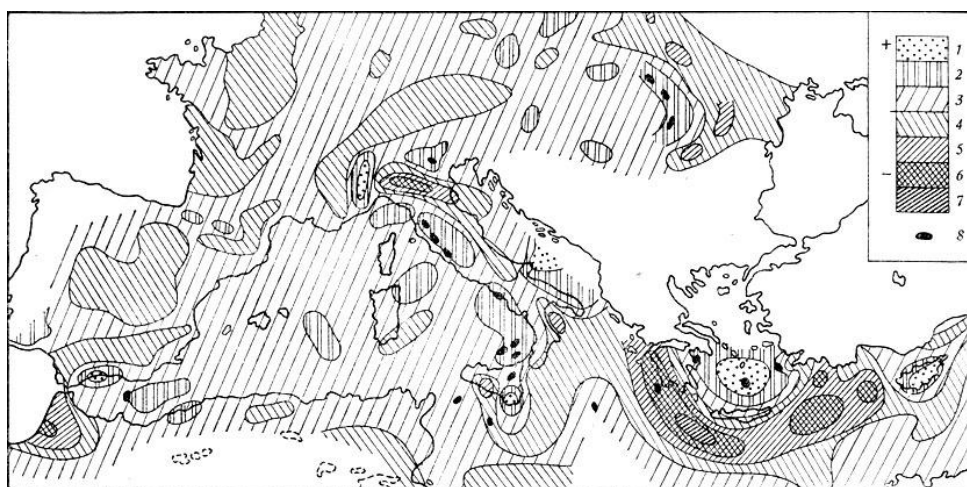


Рисунок 2.10 – Карта аномалий силы тяжести Средиземноморья в изостатической редукции.

Положительные аномалии (в миллигалах): 1 — больше 100, 2 — 50—100, 3 — 0—50; отрицательные: 4 — 0—50, 5 — 50—100, 6 — 100—150, 7 — меньше 150; 8 — вулканы и следы современного вулканизма [Артемьев, 1975]

Опускание дна в Эгейском море протекает очень бурно, сопровождаясь его обрушением. Это неоднократно фиксировалось разрывами телеграфного кабеля, проложенного по дну Эгейского моря. Опускание дна Средиземного моря подтверждается бурением с научно-исследовательского судна «Гломар Челлепджер». Под слоем глубоководных осадков в нескольких местах обнаружены соленосные породы, образование которых происходило в мелководных условиях, т. е. когда глубоководных впадин в Средиземном море еще не было.

Другой показатель активности процессов на дне Эгейского моря — постоянно происходящие там землетрясения. Практически все самые сильные землетрясения произошли по периферии Эгейского бассейна — вдоль побережья Малой Азии, Балканского полуострова и Крита. Центральная часть Эгейского моря, характеризующаяся гравитационным максимумом, в центре которого расположен вулкан Санторин, лишена эпицентров сильных землетрясений. Наблюдается явление, известное и в других местах: землетрясения и вулканы как бы избегают друг друга.

Наличие глубокофокусных землетрясений свидетельствует о высокой тектонической подвижности земных недр. Значительные количества глубоких землетрясений известны лишь в некоторых наиболее активных зонах земного шара — по обрамлению Тихого океана и на Памире. Эпицентры глубоких землетрясений образуют четко выраженную зону, протягивающуюся из Южной Греции на Крит и затем поворачивающую к Малоазиатскому полуострову. В северной части Эгейского моря глубокофокусных землетрясений почти нет.

Анализ эпицентров землетрясений свидетельствует о высокой сейсмической активности бассейна Эгейского моря и в особенности сейсмической зоны, проходящей через Пелопоннесский полуостров и острова Крит и Родос. Здесь неоднократно отмечались землетрясения силой в 9 баллов. (Рисунок 2.11).

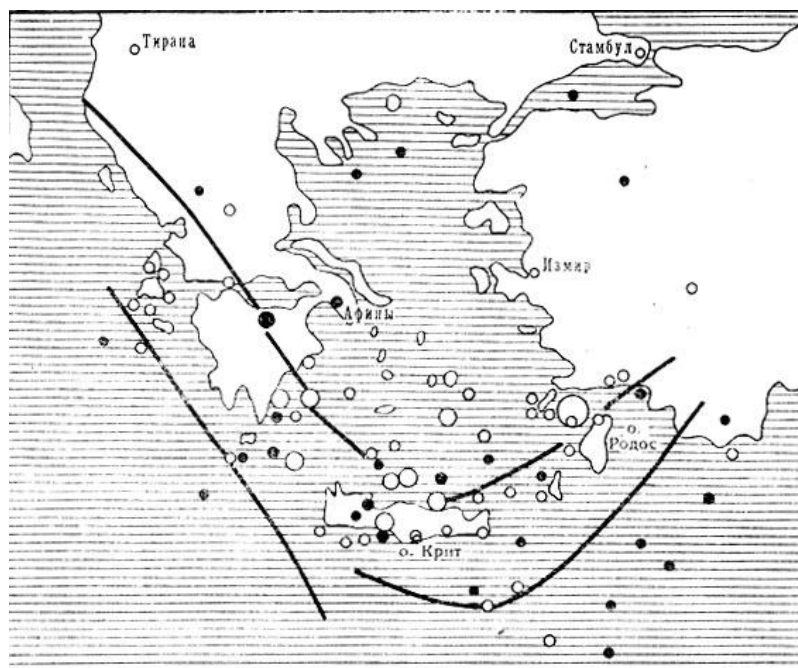


Рисунок 2.11 – Карта эпицентров глубоких (подкорковых) землетрясений в 1901—1955 гг (светлые кружки), в 1960—1964 гг. (темные кружки) (Парник, 1965)

На большей части Эгейского бассейна землетрясения такой силы происходят не чаще, чем один раз в 1000 лет. Однако в районе острова Крит они случаются много чаще — примерно раз в 200 лет. (Рисунок 2.13). Это хорошо объясняется наличием здесь зоны субдукции.

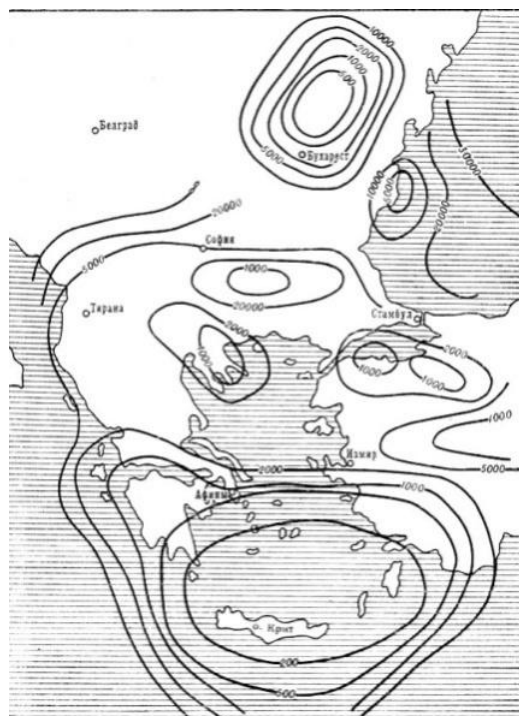


Рисунок 2.12 – Вероятная частота землетрясений силой в 9 баллов (Ризниченко и др., 1972). Цифры — интервал времени между землетрясениями

Таким образом, все Средиземноморье и в особенности восточная его часть, включающая бассейн Эгейского моря, принадлежит к числу геологических зон земного шара, где активность глубинных процессов максимальная.

В Средиземноморье активно протекают геологические процессы, приводящие к преобразованию земной коры. Геодинамика проявляется в возникновении высокогорных хребтов, таких, как Альпы и Кавказ, и одновременно в формировании глубоководных впадин. Средиземноморье характеризуется необычайно высокой сейсмической активностью и разнообразной вулканической деятельностью. Многим районам Средиземноморья и обрамляющим его горным сооружениям свойствен повышенный тепловой поток из недр Земли, что свидетельствует о высокой степени разогрева земной коры. Скорость вертикальных движений земной коры здесь также максимальная (до 10 мм в год).

Также важно отметить, что в Тихоокеанском поясе на фоне коллизии литосферных плит происходит отодвигание островных дуг от центра депрессий окраинных морей, а общая тенденция развития региона такова, что границы Тихого океана сближаются на фоне раздвига срединно-океанического хребта в Тихом океане [Хаин, 1985]. При этом Атлантический океан раздвигается в центре, и границы океана также удаляются друг от друга. Здесь важно, какой из океанов – Атлантический или Тихий – интенсивнее раскрывается и как воздействует на окружающие континентальные плиты на данном этапе эволюции Земли [Trubitsyn et al, 2021].

Все эти процессы тесно связаны и достаточно сложны, тем больший интерес и важность приобретают отдельные достижения и возможности по объяснению различных черт и эффектов при формировании и эволюции геологических структур.

Выводы механико-математического моделирования о смене режима подъема литосферы режимом формирования депрессии над поднимающимся мантийным диапиром при однонаправленности такого подъема хорошо объясняют некоторые геологические факты, которые фиксируются геологами и

вызывают построение различных гипотез. Когда и по какой причине формируется осадочный бассейн, а когда сводовое поднятие или ороген во многом объясняется механическим поведением вещества литосферы и астеносферы в сложных условиях напряженно-деформированного состояния среды зон коллизии литосферных плит. Механико-математическое моделирование является мощным фактором анализа, изучения и решения многих геологических проблем. Именно механические движения являются базисом для тепловых и петрологических процессов. Механические процессы служат основой для конвективного переноса тепла в слоях Земли, на которые накладываются геохимические и петрологические процессы преобразования вещества. Основные черты формирования и эволюции геологических структур в нулевом приближении часто объясняются именно механическим поведением вещества литосферы и астеносферы.

Найдены критические параметры задачи, позволяющие определить эти процессы на количественном уровне. Полученные решения достаточно естественны и хорошо объясняют поведение литосферы при тектономагматической активизации. Действительно, сводовое поднятие на поверхности Земли образуется, если астеносферный диапир поднялся близко к поверхности. Или же если глубокий диапир обладает высокой энергией и скоростью подъема, что дает сильный импульс подъему литосферы, и она не успевает растечься в стороны от центра активизации. При этом на следующих этапах развития процесса возможен прорыв литосферы и излияние базальтовых магм на поверхность с образованием базальтовых плато. Если же на поверхности образуется депрессия, то это может объясняться тем, что подъем диапира происходил медленно и долго с больших глубин, и литосфера успевает растечься над ним посредством механизма рассеянного спрединга. Процесс зависит от реологии слоев и соотношения между физическими параметрами вещества - плотностями, вязкостью, тепловыми характеристиками, толщинами слоев, а также от граничных условий задачи. Выбор модели определяется детальностью

исследований и тектонической расслоенностью литосферы – какие именно слои рассматривать и моделировать.

Полученные из решения задач механико-математического моделирования выводы хорошо согласуются с имеющимися геолого-геофизическими данными о формировании и эволюции геологических структур и дают возможность достоверного объяснения многих наблюдаемых процессов и явлений.

2.4. Выводы

Разработана механико-математическая модель формирования и эволюции геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром на основе приближенного решения уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости и применения методов разложения по малому параметру, сращиваемых асимптотических разложений, последовательных приближений и приближения тонкого слоя. Получены критические параметры задачи, связывающие глубинную геодинамику с эволюцией рельефа поверхности. Механико-математическое моделирование эволюции литосферы над поднимающимся астеносферным диапиром показывает, что по мере его подъема при однонаправленном движении на дневной поверхности формируется сначала структура сводового поднятия, а затем – глубокая депрессия. Анализ полученных решений для движения поверхностных границ при подъеме мантийного диапира дает возможность найти критические параметры задачи и сделать следующие выводы:

- 1). Структура сводового поднятия формируется, если глубина диапира невелика или скорость его подъема существенна.
- 2). Структура осадочного бассейна формируется, если диапир находится достаточно глубоко или если он поднимается медленно.
- 3). Если на периферии бассейна существуют условия, значительно препятствующие раздвигу, то границы слоев имеют более сложную структуру, определяемую соотношением параметров задачи.

Модель может также применяться для структур разного масштаба, когда размер структуры по латерали значительно превышает толщины слоев.

Второе защищаемое положение.

Предложена механико-математическая модель формирования и эволюции геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром на основе приближенного решения уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости и применения методов разложения по малому параметру сращиваемых асимптотических разложений, последовательных приближений и приближения

тонкого слоя. Установлено, что по мере подъема диапира на дневной поверхности формируется сначала структура сводового поднятия, а затем – глубокая депрессия. Найдены критические параметры задачи, определяющие динамику геологических структур на разных этапах развития.

ГЛАВА 3. ГЕОДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА И РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГЕОДИНАМИКИ.

Проблема формирования и эволюции геологических структур является одной из важнейших в тектонике и геодинамике. Связь поверхностных структур с глубинными движениями в литосфере и астеносфере всегда остается в центре исследований геологов и геофизиков.

Движение астеносферы отражается в поверхностных геофизических полях - геотермическом, гравитационном, электромагнитном. Наличие расплавленных астеносферных масс подтверждается сейсмическими данными, в том числе сейсмотомографией.

Движение дневной поверхности над поднимающимся мантийным диапиром фиксируется сменой режимов осадконакопления и строением осадочного чехла. Подъем диапира отражается в рельефе дневной поверхности, строении фундамента и форме границ Мохо и Конрада.

Разработано решение обратной задачи геодинамики прямым методом. Решена первая обратная задача геодинамики – восстановление полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы по имеющимся данным о скоростях на дневной поверхности. Поставлена и решена вторая обратная задача геодинамики – определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности. Полученные решения могут использоваться для анализа глубинных геодинамических проблем, а совместно с геотермическим моделированием, геолого-геофизическими методами и сейсмотомографией могут служить надежным аппаратом изучения глубинной геодинамики в связи с формированием и эволюцией геологических структур.

Задача рассматривается на примере Кавказского региона.

3.1. Сейсмичность Кавказского региона

Кавказский регион является сложной высоконапряженной геодинамической структурой, характеризующейся повышенным тепловым потоком, высокой

сейсмичностью, магматизмом и вулканизмом. Геодинамика Кавказского региона определяется коллизией Евразийской и Аравийской литосферных плит, а также сложной историей развития Альпийско-Гималайского пояса [Гончаров и др., 2015; Милуков и др., 2015; Svalova et.al., 2019; Уломов и др., 2007], (Рисунки 3.1, 3.2).



Рисунок 3.1 – Карта сейсмичности России и сопредельных территорий [Национальный атлас России (Уломов), 2004]

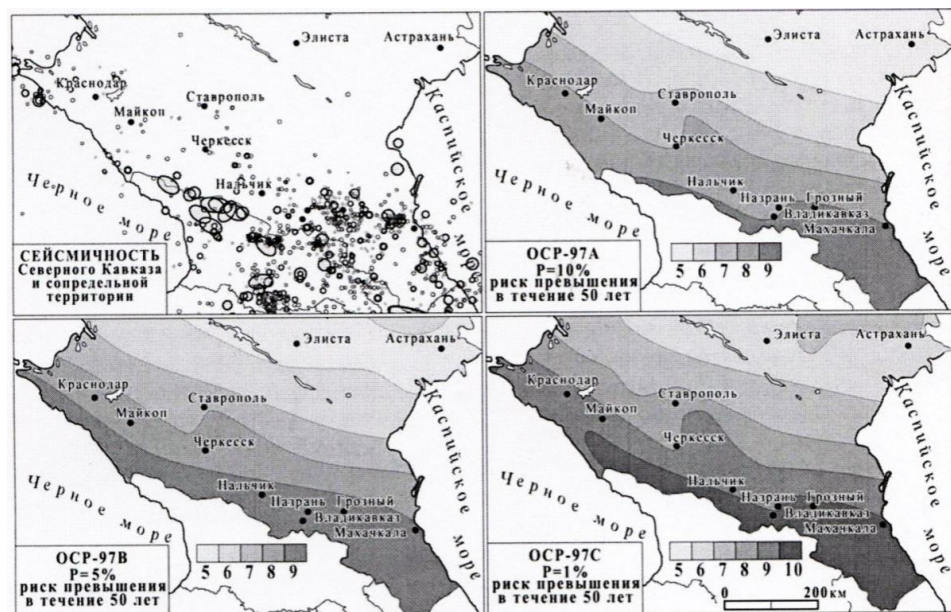


Рисунок 3.2 – Сейсмичность Кавказа и фрагменты карт ОСР-97 – общего сейсмического районирования Российской Федерации.

На рисунке 3.2 карта сейсмичности, эллипсами изображены очаги землетрясений с $M=6.8$ и более, кружками – от $M=6.7$ до $M=3.5$. На картах ОСР-97(А, В, С) показаны зоны разной сейсмической интенсивности (в баллах), в пределах которых допускается превышение сейсмического эффекта в течение 50-летних интервалов времени с различной вероятностью – 10%, 5% и 1%, соответственно [Уломов и др., 2007]

3.2. Геодинамика Кавказского региона

С точки зрения глубинной геодинамики Кавказ входит в одну из наиболее активных зон коллизии литосферных плит, характеризующихся значительными скоростями горизонтальных и вертикальных движений (Рисунок 3.3).

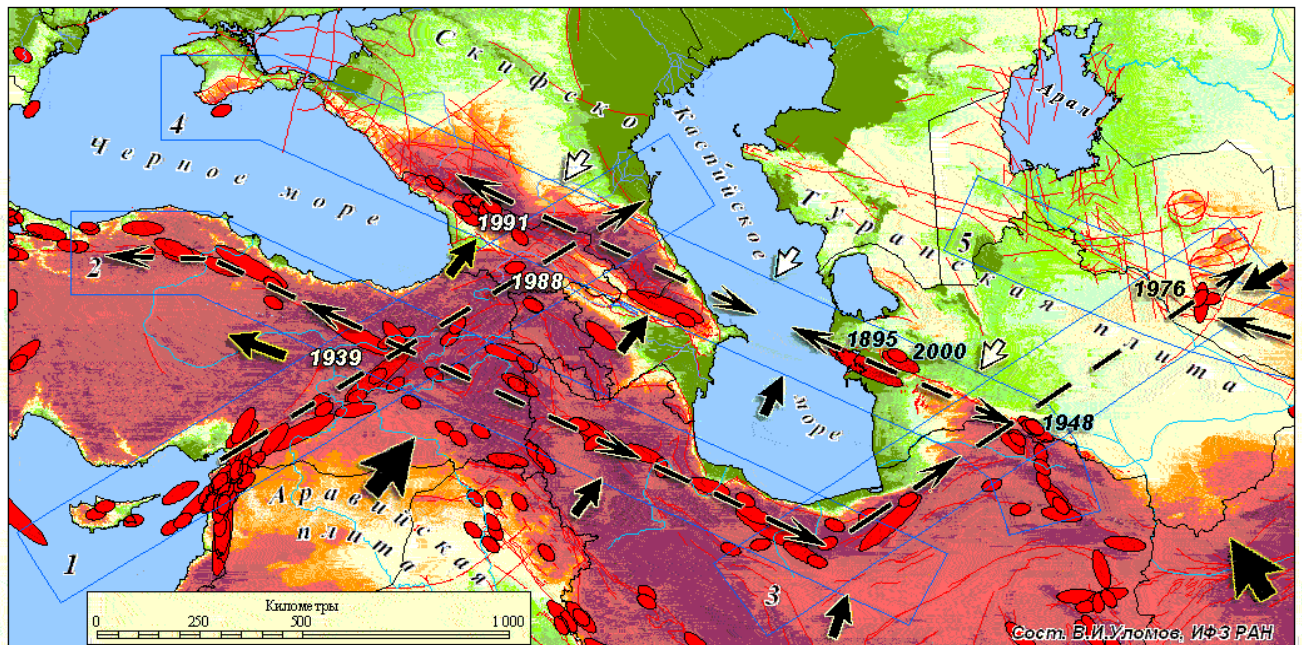


Рисунок 3.3 – Геодинамика Кавказского региона. Черными стрелками указано направление перемещения различных структур, белыми – реакция Скифско-Туранской платформы на сжимающие усилия со стороны Аравийской литосферной плиты (крупная стрелка) и альпийских структур Иран-Кавказ-Анатолийского региона. Профили (полосы): 1 – Кипр-Кавказ, протяженность 1870 км; 2 – Анатолия-Эльбурс, 2270 км; 3 – Эльбурс-Туран, 1520 км; 4 – Крым-Копетдаг, 2500 км; 5 – Южный Тянь-Шань, 2520 км. Около некоторых из очагов проставлены даты их проявления. Черным цветом закрашены очаги землетрясений, произошедших позже 1900 г. [Уломов и др., 2007]

Поле скоростей Северного Кавказа характеризуется горизонтальным смещением в северо-восточном направлении со скоростью 26–28 мм/год.

Относительно неподвижной Евразии выявлено общее сжатие региона со скоростью 1–2 мм/год, которое является источником современной геологической и сейсмической активности в пограничной области Кавказа и Восточно-Европейской платформы.

Современные вертикальные движения Северо-Кавказского региона характеризуются небольшими вертикальными движениями 2.5 мм/год в равнинной части Осетии, наибольшими для региона скоростями подъема порядка 3.5–4.5 мм/год в горной части Северного Кавказа и умеренным устойчивым подъемом 2.9 мм/год в северной части северного склона Большого Кавказа [Милюков и др., 2015].

Согласно геодинамическим представлениям, на месте Большого Кавказа 35 млн лет назад существовал глубоководный бассейн шириной около 200 км. При постепенном закрытии его борта сближались до полного столкновения около 11 млн лет назад, после чего регион стал испытывать постоянное воздымание. При сжатии вещество литосферы образовало горный пояс с толщиной коры 45–50 км и толщиной литосферы до 250 км. В дальнейшем 5–10 млн лет назад Большой Кавказ стал быстро подниматься, а на его оси возникли вулканы Эльбрус, Казбек и др. [Хаин, Ломизе, 2005].

Видимо, это связано с подъемом астеносферы вследствие сжатия и гравитационной неустойчивости. Ситуацию можно сравнить с развитием задугового спрединга, когда горячий мантийный диапир прорывается сквозь литосферу к земной поверхности и формирует задуговый бассейн [Шарков, Свалова, 1989].

В структуру Альпийского пояса входят отдельные морские впадины, осадочные бассейны и горные образования. Над поднимающимися мантийными диапирами на земной поверхности могут формироваться структуры сводового поднятия, осадочного бассейна или излияния базальтов в зависимости от стадии подъема диапира и его энергетики. При этом между отдельными диапирами формируются зоны сжатия, ведущие к горообразованию и утолщению коры. Так впадины западного сектора Альпийско-Гималайского пояса (Альборанская,

Балеарская, Тирренская, Лигурийская, Паннонская, Ионическая, Черное море, Прикаспийская, Средне- и Южно- Каспийская) можно связать с поднимающимися мантийными диапирами, а Кавказ не только с зоной коллизии литосферных плит, но и с зоной столкновения потоков литосферы от двух мантийных диапиров под впадинами Черного и Каспийского морей.

Сложное напряженно-деформированное состояние литосферы Кавказа выражается в наличии разломов, трещиноватости пород, проявлении магматизма и вулканизма, высокой сейсмичности, повышенного теплового потока, гидротермальной активности, а также подтверждается данными сейсморазведки и сейсмотомографии (Рисунок 3.4; 3.5).

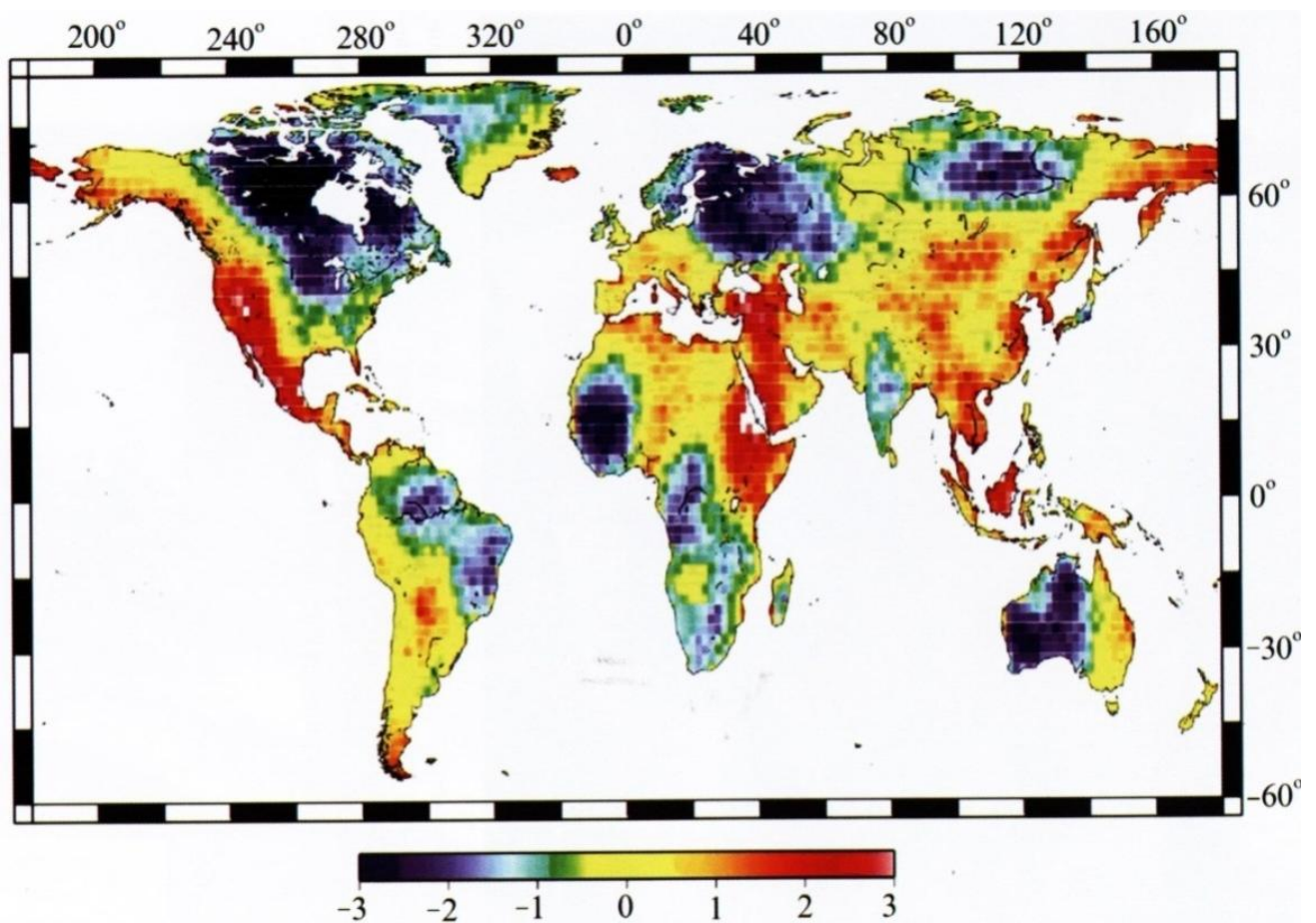


Рисунок 3.4 – Сейсмотомография латеральных неоднородностей литосферной мантии под континентами. Показаны положительные и отрицательные отклонения скорости поперечных волн. (Ж.Поупине). Максимальные скорости приурочены к древним ядрам кратонов.

Кавказскому региону соответствуют минимальные скорости [Хаин, Ломизе, 2005]

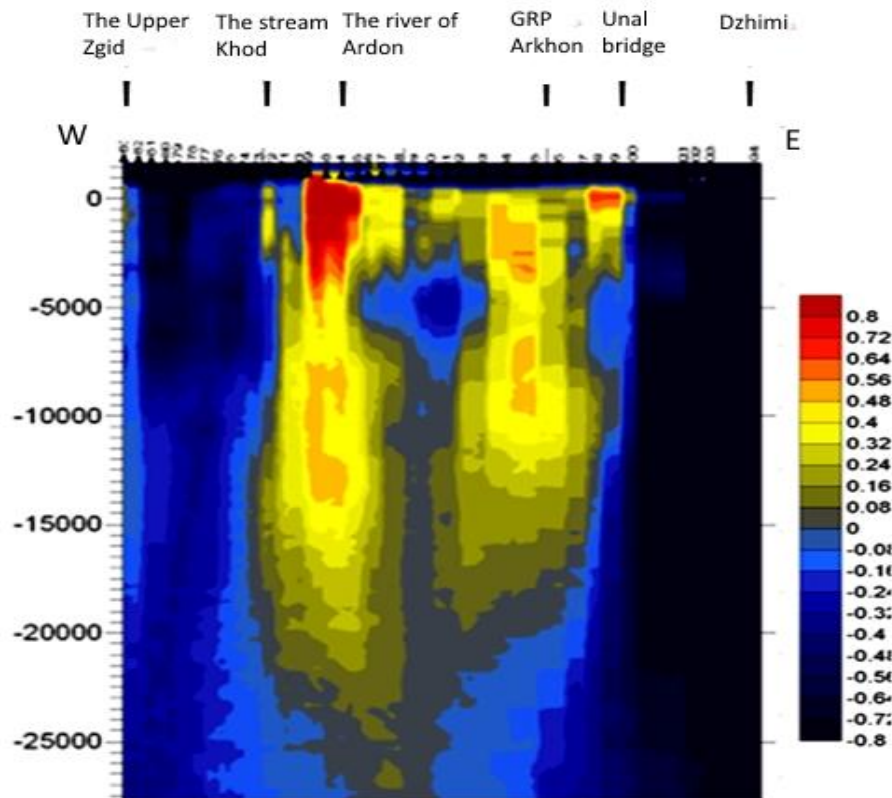


Рисунок 3.5 – Профиль микросейсмического зондирования Кавказа до глубины 60 км. Фиксируется разуплотненное тело до глубины Мохо и глубже. Показаны положительные (темные) и отрицательные (светлые) отклонения скорости поперечных волн [Рогожин и др., 2013, 2015]

3.3. Геотермия Кавказского региона

Значение плотности теплового потока является показателем геодинамической активности структур литосферы. Сравнение плотности теплового потока с мощностью земной коры дает неоднозначные результаты. Для отдельных блоков коры существует прямая связь этих параметров, для других же – обратная. Под прямой связью здесь подразумевается тонкая кора над высоким тепловым потоком и утолщенная кора над низким глубинным тепловым потоком, что встречается чаще и представляется достаточно естественным и обоснованным. Примером обратной связи может быть котловина Черного моря с тонкой земной корой. В этой структуре отмечаются низкие значения теплового потока (30–40 мВт/м²) при малой мощности земной коры [The Global Heat Flow Database...]. Ситуация с высоким тепловым потоком наблюдается в некоторых

орогенных областях с мощной земной корой, например, в Гималаях, мегантиклинории Большого Кавказа и др. (Рисунки 3.6;3.7).

Кавказский регион характеризуется сложным и сильно дифференцированным тепловым полем. Пониженные потоки соответствуют предгорным и межгорным прогибам, повышенные складчатым зонам. Среднее значение теплового потока для складчатой области Кавказа составляет 78 мВт/м^2 . Характер теплового поля Кавказского региона хорошо коррелируется с особенностями его геологического строения и истории развития. Зоны складкообразования и проявления молодого вулканизма выделяются высокими тепловыми потоками. Предгорным и межгорным прогибам соответствуют в основном низкие тепловые потоки [Хуторской и др., 2022]. В прогибах значительное влияние на характер теплового поля оказывает строение осадочного чехла и структура фундамента (Рисунки 3.6; 3.7; 3.8).

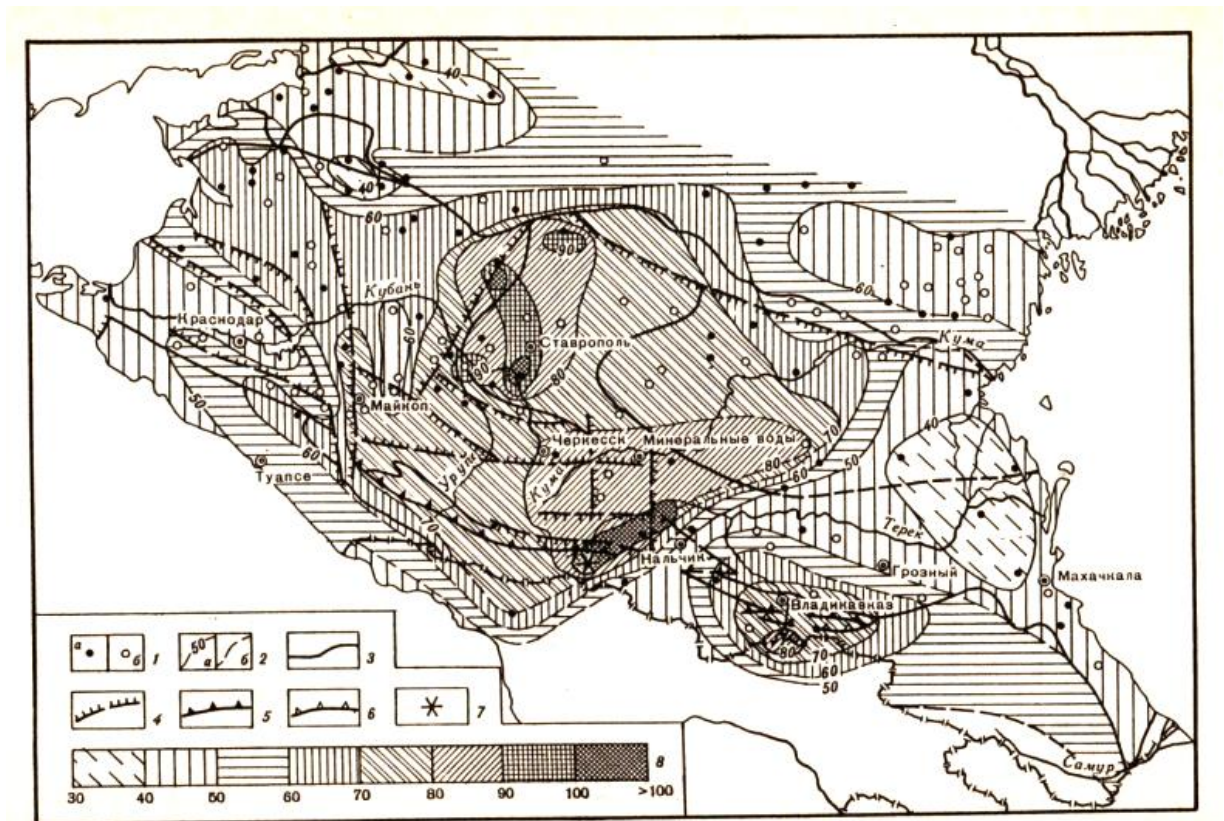


Рисунок 3.6 – Карта теплового потока Северного Кавказа. М 1: 5 000 000 [Моисеенко. Негров. 1993]. 1 – станции определения теплового потока: а – единичные, б – групповые; 2 – изолинии теплового потока, мВт/м^2 : а – достоверные, б – предполагаемые; 3 – границы структур; 4 – региональные разломы; 5 – Тырныаузская шовная зона; 6 – надвиги; 7 – вулкан Эльбрус; 8 – значения теплового потока, мВт/м^2 .

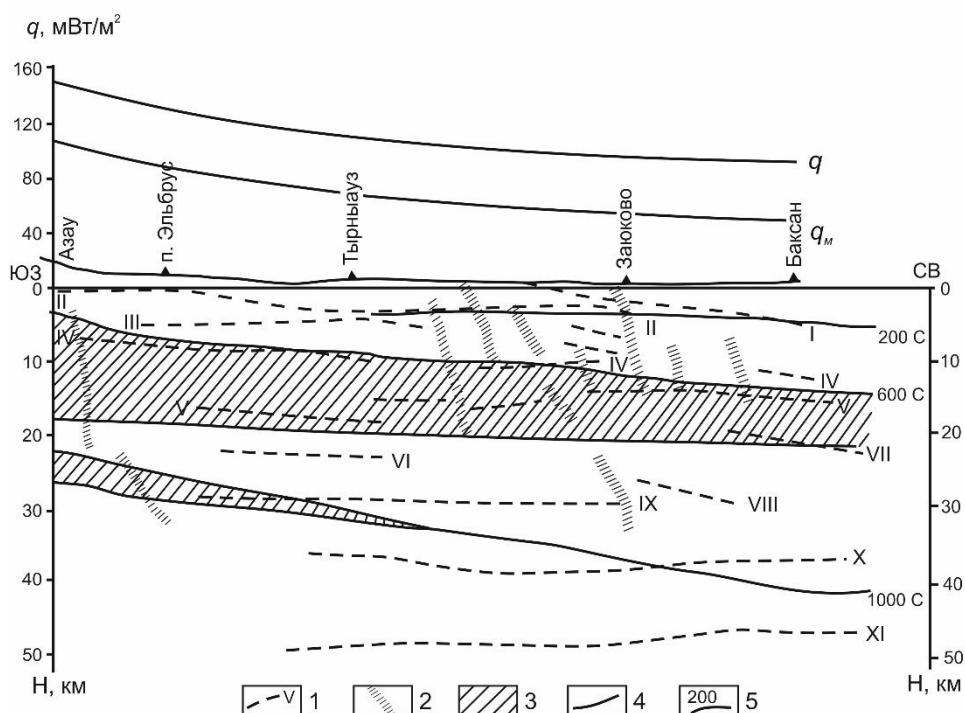


Рисунок 3.7 – Сейсмический разрез земной коры Приэльбрусья [Моисеенко, Негров, 1993]
1 – границы раздела в земной коре; 2 – зоны нарушений по сейсмическим данным; 3 – слой частичного плавления; 4 – тепловой поток; 5 – изотермы.

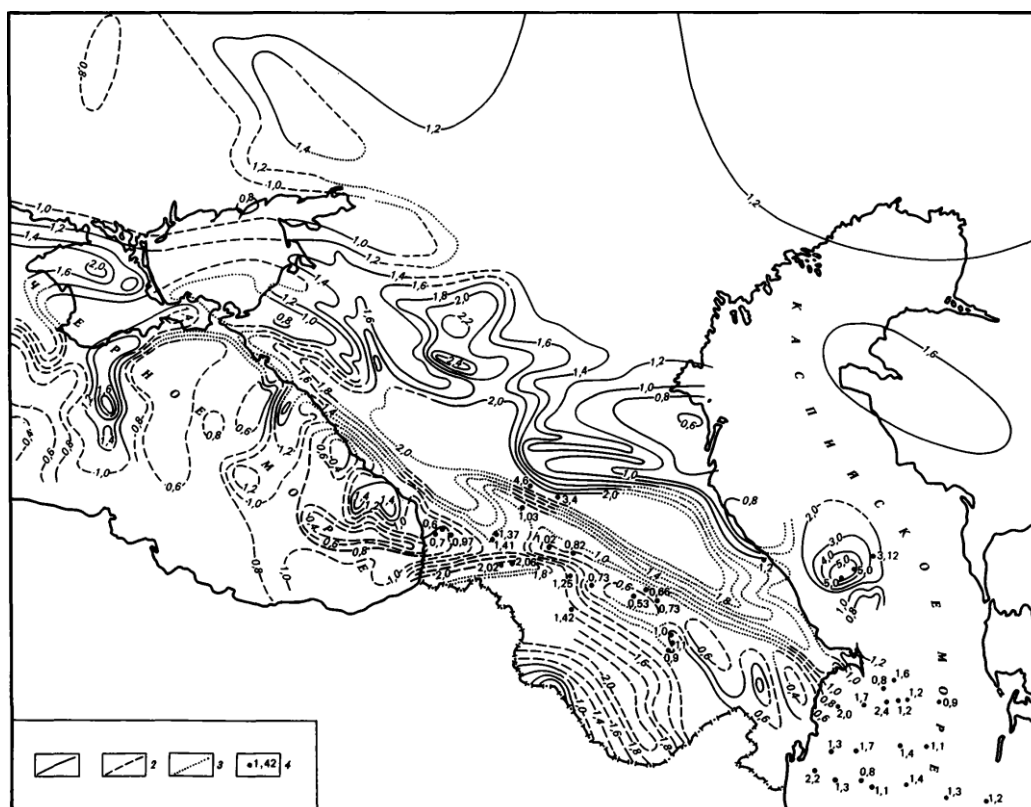


Рисунок 3.8 – Карта теплового потока Кавказского региона [Шевченко, Резанов, 1982]. 1—2 — изолинии теплового потока, мккал/см³ • с: 1 — установленные, 2 — приблизительные, 3 — предполагаемые; 4 — отдельные пункты определения величины теплового потока.

3.4. Решение обратной задачи геодинамики

Особый интерес представляет решение обратной задачи геодинамики, когда по геолого-геофизическим данным на поверхности удастся прогнозировать движение вещества на глубине.

Существует два стандартных метода решения обратных задач – метод регуляризации, когда на параметры решения накладываются дополнительные ограничения, и метод подбора, когда обратная задача решается методом решения многих прямых задач.

На основе использования асимптотических методов предлагается прямой метод решения обратной задачи геодинамики, когда использование надежных геолого-геофизических данных и скоростей на поверхности дает возможность однозначно прогнозировать движение вещества и распределение напряжений на глубине литосферы.

Используя уравнение неразрывности и приближенное уравнение Навье-Стокса для достаточно медленных движений в тонком слое и задавая поле скоростей U^*, W^* на верхней границе моделирования ζ^* можно найти распределение скоростей и давлений в слое:

$$P = \rho(\zeta^* - Z) \quad (14)$$

$$U = U^* + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^* - Z)^2 \quad (15)$$

$$W = W^* + \frac{\partial U^*}{\partial X} (\zeta^* - Z) + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \left[\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} \frac{1}{3} (\zeta^* - Z)^3 + \left(\frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \right)^2 (\zeta^* - Z)^2 \right] \quad (16)$$

По известным скоростям на поверхности получены скорости и давления на глубине, что определяет поля напряжений в слое. Полученное решение является решением первой обратной задачи геодинамики – нахождение скоростей, давлений и напряжений вещества на глубине по известным скоростям движения дневной поверхности.

На верхней границе должно также выполняться кинематическое условие свободной поверхности, означающее, что точки поверхности не покидают ее в процессе движения:

$$S \frac{\partial \zeta^*}{\partial t} + U^* \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} - W^* = 0 \quad (17)$$

$$S = \frac{L}{u_0 t_0} \quad (18)$$

где S – число Струхала.

t_0 - характерный масштаб времени.

Аналогично можно рассмотреть нижнюю границу моделирования как поверхность, точки которой остаются на ней в процессе эволюции (условие непротекания). Тогда, подставляя скорости, получаем уравнение движения нижней границы ζ_* :

$$\begin{aligned} S \frac{\partial \zeta^*}{\partial t} - W^* + U^* \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^* - \zeta_*) \\ + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \left[\frac{\partial \zeta_*}{\partial X} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^* - \zeta_*)^2 - \frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} \frac{1}{3} (\zeta^* - \zeta_*)^3 - \left(\frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \right)^2 (\zeta^* - \zeta_*)^2 \right] \\ = 0 \quad (19) \end{aligned}$$

Данное уравнение представляет собой прямое решение обратной задачи, когда рельеф дневной поверхности и скорости на ней определяют движение глубинных границ. Аналогичное уравнение может быть написано для любой вещественной границы на глубине, через которую отсутствует поток вещества. Данное решение является решением второй обратной задачи геодинамики – определение движения границы на глубине по известным скоростям поверхностных движений.

Таким образом, задавая движение дневной поверхности, получаем скорости, давления, напряжения вещества на глубине и уравнение движения глубинных границ.

Некоторые выводы о структуре глубинных движений по известным скоростям и рельефу поверхности можно сделать, анализируя различные геологические структуры и обстановки и возможные поверхностные скорости.

Задача 1. Осадочный бассейн в условиях растяжения.

Дневная поверхность является вогнутой, т.е.

$$\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} > 0. \quad (20)$$

$$\text{Sgn } U^* = \text{Sgn } X \quad (21)$$

Анализ решения показывает, что U растет с глубиной и с $\text{grad } \zeta^*$.

W соответствует восходящему потоку на глубине.

Задача 2. Осадочный бассейн в условиях сжатия.

Дневная поверхность является вогнутой, т.е.

$$\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} > 0. \quad (22)$$

$$\text{Sgn } U^* = -\text{Sgn } X \quad (23)$$

Анализ решения показывает, что существует критическая глубина, где горизонтальное сжатие сменяется растяжением:

$$\zeta_* = \zeta^* - \sqrt{-\frac{U^*}{\frac{\rho}{2\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X}}} \quad (24)$$

Вертикальная скорость W может быть положительной или отрицательной в зависимости от соотношения между параметрами задачи.

Задача 3. Ороген в условиях растяжения.

Верхняя граница выпукла, т.е.

$$\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} < 0. \quad (25)$$

$$\text{Sgn } U^* = \text{Sgn } X \quad (26)$$

Следовательно, существует критическая глубина, где растяжение сменяется сжатием:

$$\zeta_* = \zeta^* - \sqrt{-\frac{U^*}{\frac{\rho}{2\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X}}} \quad (27)$$

Анализ величины W показывает возможный нисходящий поток в центре структуры на глубине. Если же растяжение на поверхности достаточно интенсивное, то на глубине возможен восходящий поток вещества.

Задача 4. Ороген в условиях сжатия.

Верхняя граница выпукла, т.е.

$$\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} < 0. \quad (28)$$

$$\text{Sgn } U^* = -\text{Sgn } X \quad (29)$$

В этом случае сжатие наблюдается во всем слое. Нисходящий поток вещества с большой вероятностью существует на глубине.

Анализ решений показывает, что осадочный бассейн в условиях растяжения и ороген в условиях сжатия являются более стабильными и вероятными структурами, чем бассейн при сжатии и ороген при растяжении. Вывод представляется достаточно естественным, что говорит о корректности модели и возможности ее дальнейшего развития и применения.

На основе анализа полученных соотношений можно говорить о наличии нисходящих движений в литосфере и погружении подошвы литосферы под горными структурами, что может иметь место в случае Кавказа. (Рисунок 3.9).

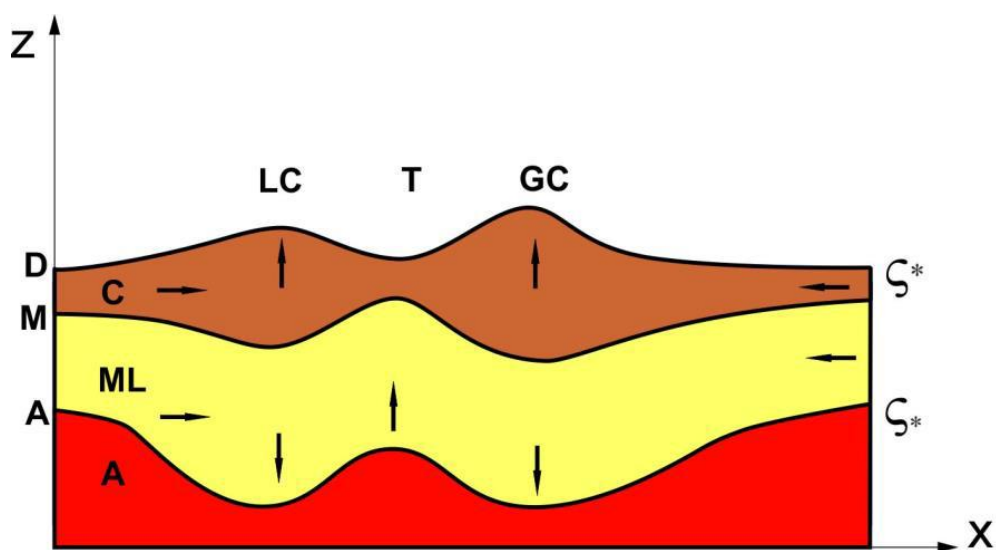


Рисунок 3.9 – Схематический разрез Кавказского региона на основе механико-математического моделирования. D – дневная поверхность, M – граница Мохо, A – поверхность астеносферы, C – кора, ML – мантийная литосфера, LC – малый Кавказ, GC – Большой Кавказ, T – Закавказский прогиб. Стрелки – возможные направления движения вещества.

Таким образом, предложено и разработано решение обратной задачи геодинамики прямым методом. Решена первая обратная задача геодинамики – восстановление полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы по имеющимся данным о скоростях на дневной поверхности. Поставлена и решена вторая обратная задача геодинамики – определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности. Полученные решения могут использоваться для анализа глубинных геодинамических проблем, а совместно с геотермическим моделированием, геолого-геофизическими методами и сейсмотомографией могут служить надежным аппаратом изучения глубинной геодинамики геологических структур и прогноза нефтегазоносности.

Интересно сопоставить результаты механико-математического моделирования с данными геолого-геодинамической реконструкции и сейсмотомографии. (Рисунки 3.10; 3.11; 3.12; 3.13).

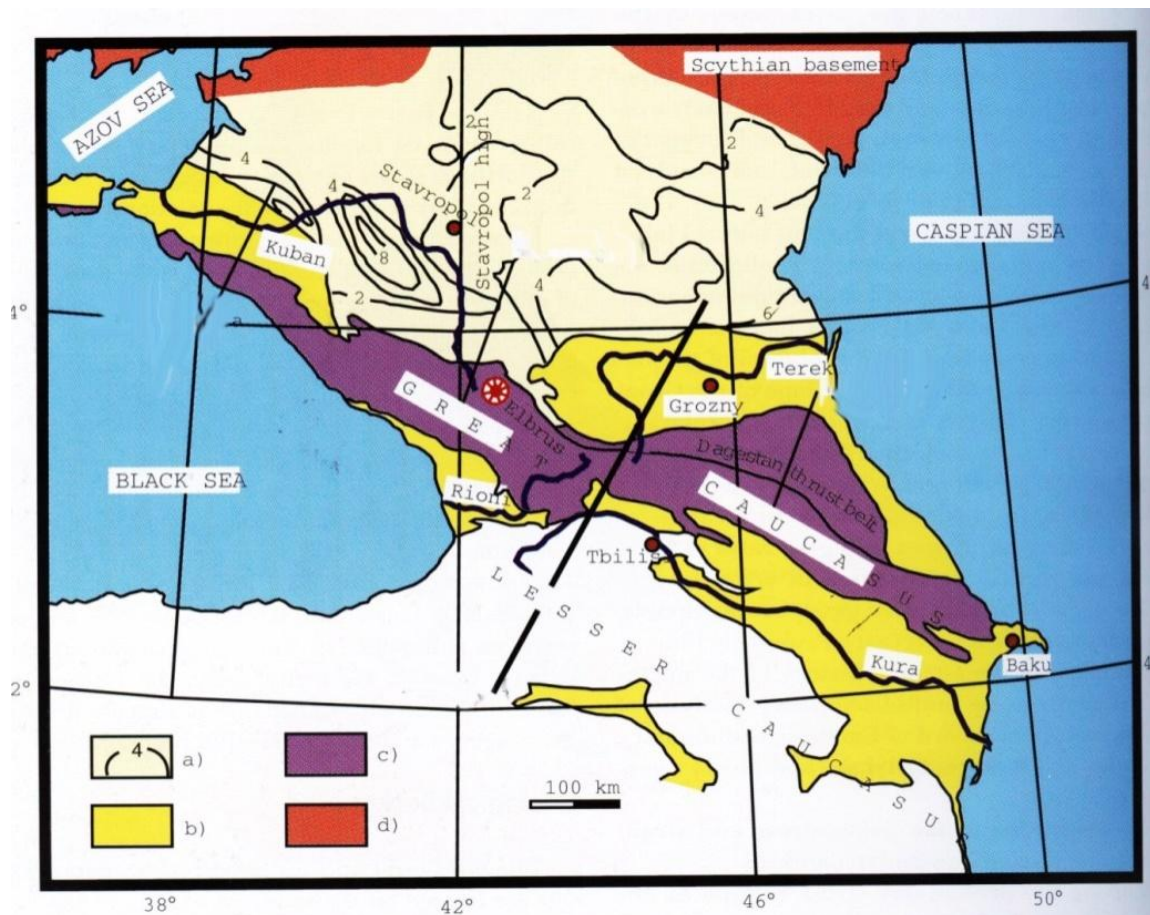


Рисунок 3.10 – Схематическая карта Кавказского региона. а) – Предкавказский прогиб, б) – осадочные бассейны, с) – ороген, д) – Скифская плита. Указано положение разреза на Рис. 11 [Gee, Zeyen, 1996]

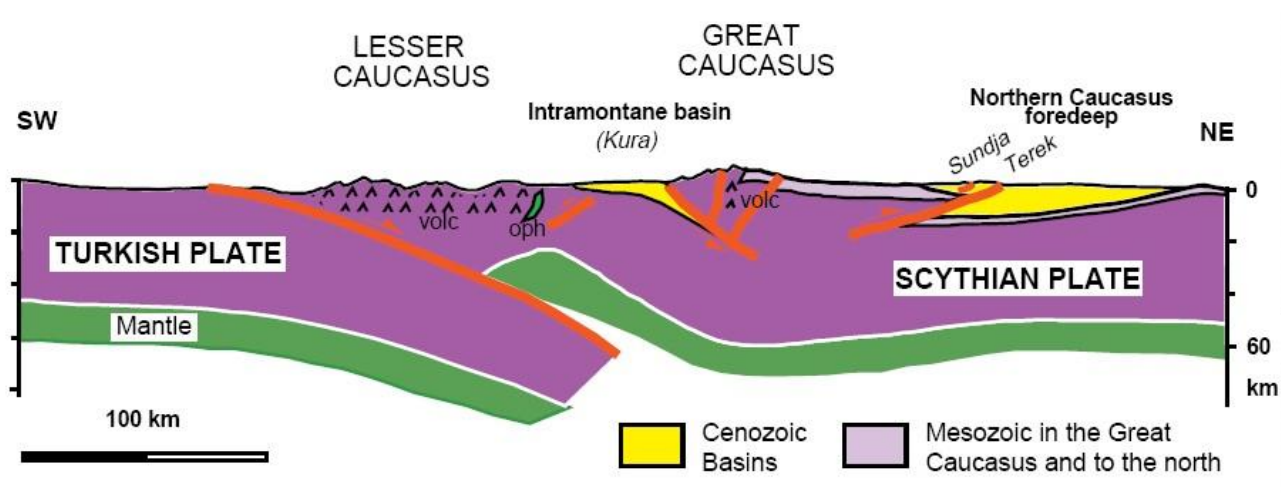


Рисунок 3.11 – Схематический разрез Кавказского региона. Положение разреза указано на Рисунок 3.10 [Gee, Zeyen, 1996]



Рисунок 3.12 – Распределение кайнозойского вулканизма на территории Кавказского региона и сечение сейсмотомографического профилирования на рисунке 3.13 [Koulakov et al., 2012]

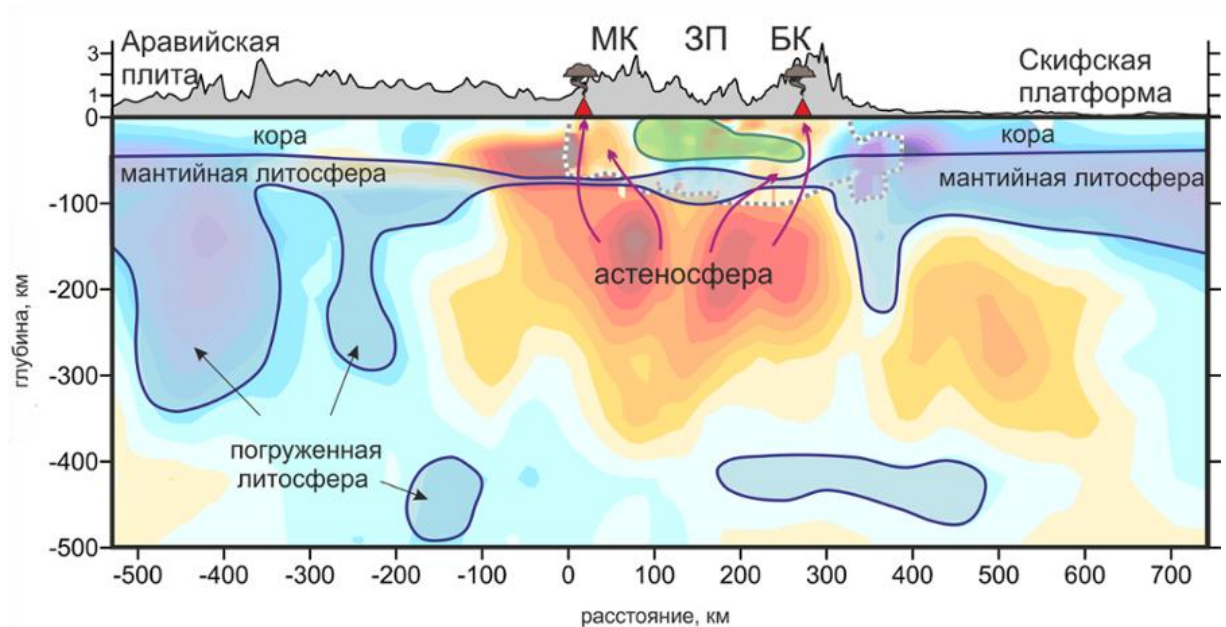


Рисунок 3.13 – Вертикальное сейсмотомографическое сечение Кавказского региона по разрезу на рисунке 3.12.

МК, БК – Малый и Большой Кавказ соответственно. ЗП – область Закавказского межгорного прогиба. Наверху рельеф над профилем [Koulakov et al., 2012]

3.5. Выводы

Получено решение обратной задачи геодинамики прямым методом. Решена первая обратная задача геодинамики, а именно – восстановление полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы по имеющимся данным о скоростях на дневной поверхности. Поставлена и решена вторая обратная задача геодинамики – определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности. Полученные решения могут использоваться для анализа глубинных геодинамических проблем, а совместно с геотермическим моделированием, геолого-геофизическими методами и сейсмотомографией могут служить надежным аппаратом изучения глубинной геодинамики геологических структур и прогноза нефтегазоносности.

Вместе с тем, коллизия литосферных плит определяется и коллизией глубинных астеносферных потоков. Плиты перемещаются за счет движений в астеносфере. Геодинамика зоны коллизии астеносферных потоков определяется соотношением плотности, вязкости и температуры слоев литосферы и астеносферы. Этими же соотношениями определяется, насколько интенсивно литосферная плита перекрывает подъем астеносферы, и с какой скоростью астеносферный диапир поднимается в зоне коллизии, формируя структуру задугового спрединга или утолщения астеносферы и подъема литосферы. Сложная геодинамическая картина определяется соотношением геолого-геофизических параметров и внешними ограничивающими факторами для скоростей и движений на сферической поверхности Земли и в ее глубинах.

Следует понимать, что геофизика и сейсмотомография дают глубинный разрез в настоящий момент времени, в то время как механико-математическое моделирование позволяет изучать эволюцию структуры в динамике. Сравнительный анализ различных подходов и решений дает возможность с большей надежностью делать выводы о глубинных механизмах движений и их проявлении на поверхности Земли и обосновать наиболее вероятные причины формирования и эволюции различных геологических структур и процессов.

Третье защищаемое положение.

Разработана механико-математическая модель решения обратной задачи геодинамики прямым методом. Решена первая обратная задача геодинамики – определение полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы по имеющимся данным о скоростях на дневной поверхности. Поставлена и решена вторая обратная задача геодинамики – определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности. Полученные решения используются для анализа глубинных геодинамических процессов.

ГЛАВА 4. ГЕОДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА И ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА

4.1. Строение и геодинамика литосферы восточного сегмента Кавказского региона

Прикаспийская впадина и восточный сегмент Кавказского региона, включая Каспийское море, могут рассматриваться как регионы окрестности восточной части Альпийского пояса, который в свою очередь является западной частью Альпийско-Гималайского пояса, простирающегося от западной оконечности Средиземного моря до Тихоокеанского побережья. Каспийское море пересекает с севера на юг серию широтных структурных зон юго-восточной окраины древней докембрийской Восточно-Европейской платформы, молодой эпигерцинской Скифско-Туранской платформы и современного Альпийско-Гималайского орогенного пояса (Рисунок 4.1) [Международная тектоническая карта..., 2003].

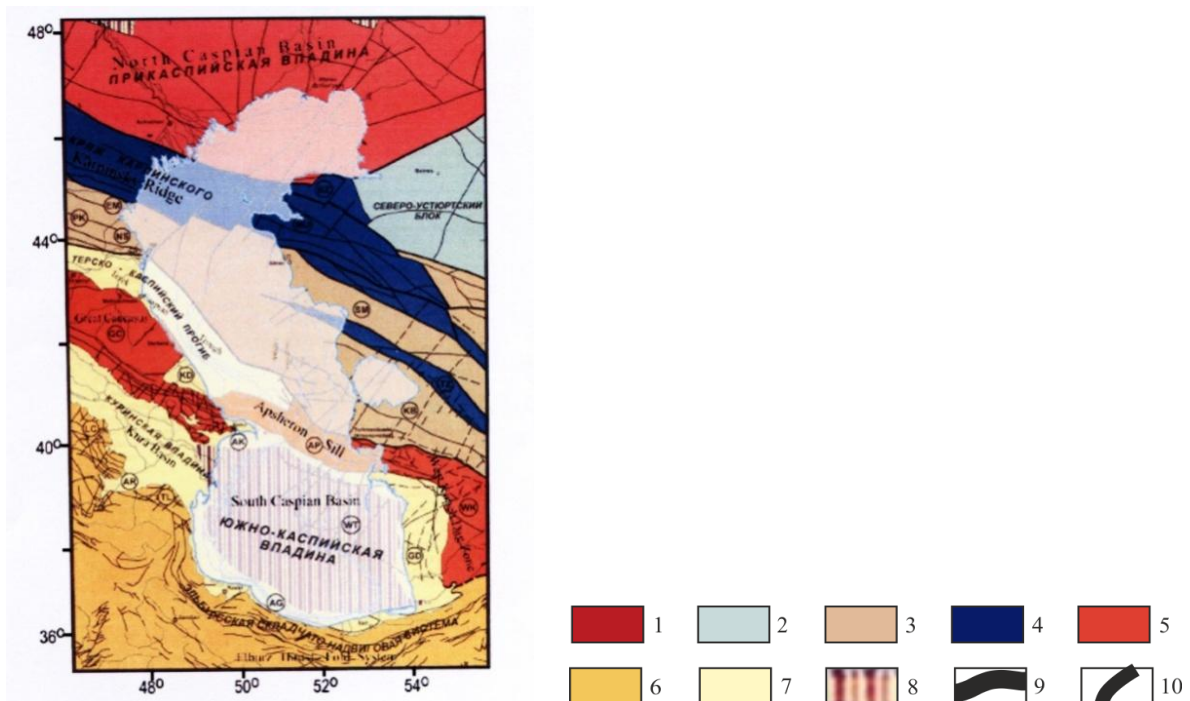


Рисунок 4.1 – Тектоническая карта Каспийского моря. Фундамент платформенных областей (1-4): 1 – раннедокембрийский, 2 – байкальский, 3 – герцинский, 4 – раннекиммерийский. Альпийские складчато-покровные системы (5, 6): 5 – Большой Кавказ и Копетдаг, 6 – Малый Кавказ, Талыш, Эльбурс, 7 – передовые прогибы и впадины, 8 – впадины с корой океанического типа, 9 – разрывные нарушения на границах крупных структур, 10 – важные разрывы.

Прикаспийская и Южно-Каспийская впадины являются глубокими осадочными бассейнами с толщиной осадочного чехла более 20 км, обладающими высоким нефтегазовым потенциалом и большим народно-хозяйственным значением [Allen et al., 2002]. (Рисунки 4.2; 4.3; 4.4).

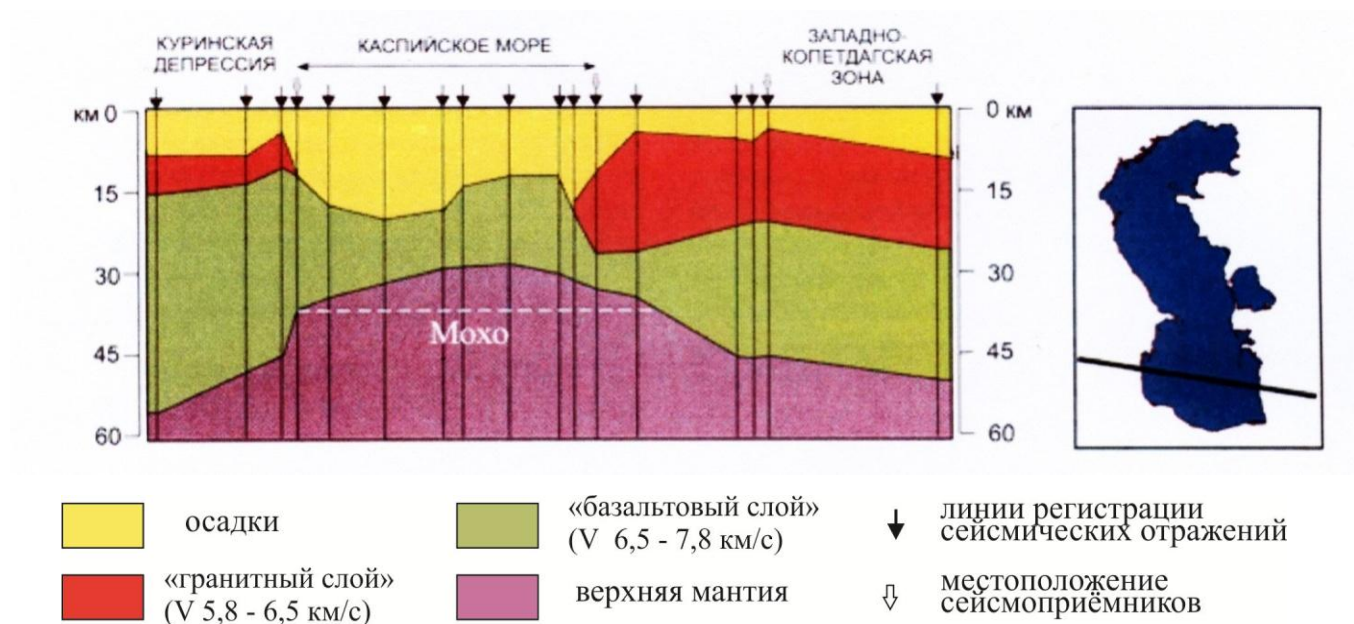


Рисунок 4.2 – Геофизический разрез литосферы Южно-Каспийской впадины [Jackson et al., 2002]

В строении впадин наблюдаются общие черты, которые объясняются формированием осадочных бассейнов над поднимающимися мантийными диапирами [Свалова, 2014]. Различия в строении впадин обусловлены различиями в исторических и геолого-геофизических условиях формирования структур, различным временем образования и различным структурным обрамлением [Международная тектоническая карта..., 2003; Хаин, Ломизе, 2005; Хаин, 2005; Тектоника..., 1980; Земная кора..., 1982; Рогожин, 2015; Грачев, 2000; Царегородцева, Курина, 2020; Антипов и др., 2009]. И если для Южно-Каспийской впадины ключевым является ее нахождение на восточной оконечности Альпийского пояса, то для Прикаспийской впадины важным определяющим фактором строения и нефтегазоносности является принадлежность к древней платформе (Рисунок 4.4).

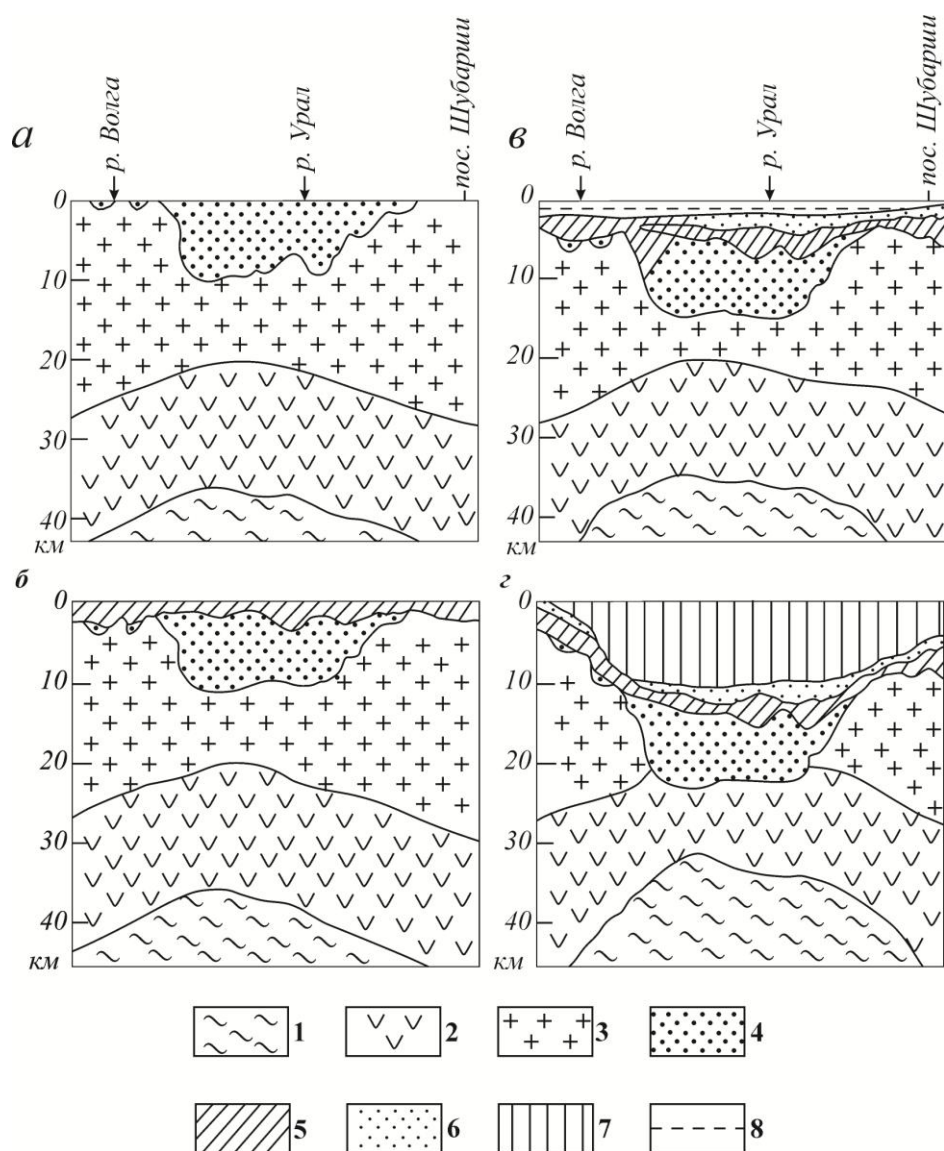


Рисунок 4.3 – Палеотектонические разрезы земной коры Прикаспийской впадины [Геолого-геофизическое моделирование нефтегазоносных территорий, 1993.]

а – к началу девона; б – к началу перми; в – к началу кунгура; г – современный разрез. 1 – верхняя мантия; 2 – базальтовый геофизический слой; 3 – гранитно-метаморфический геофизический слой; комплексы: 4 - рифейско-нижнепалеозойский, 5 – девонско-каменноугольный, 6 - нижнепермский (докунгурский), 7 – кунгурско-четвертичный; 8 – уровень раннепермского моря.

Так, пониженный тепловой поток Южно-Каспийской впадины находится в ряду понижающегося теплового поля отдельных морских впадин Средиземного моря с запада на восток, что отражает снижение геодинамической активности от центра активизации в районе Тирренского и Эгейского морей к периферии (Левантийская впадина, Черное и Каспийское моря). В то же время повышенный тепловой поток Прикаспийской впадины находится в ряду глубоких впадин на

окраинах Русской платформы, включая Тимано-Печорскую и Североморскую впадины [The Global Heat Flow Database..., Моисеенко, Негров. 1993].

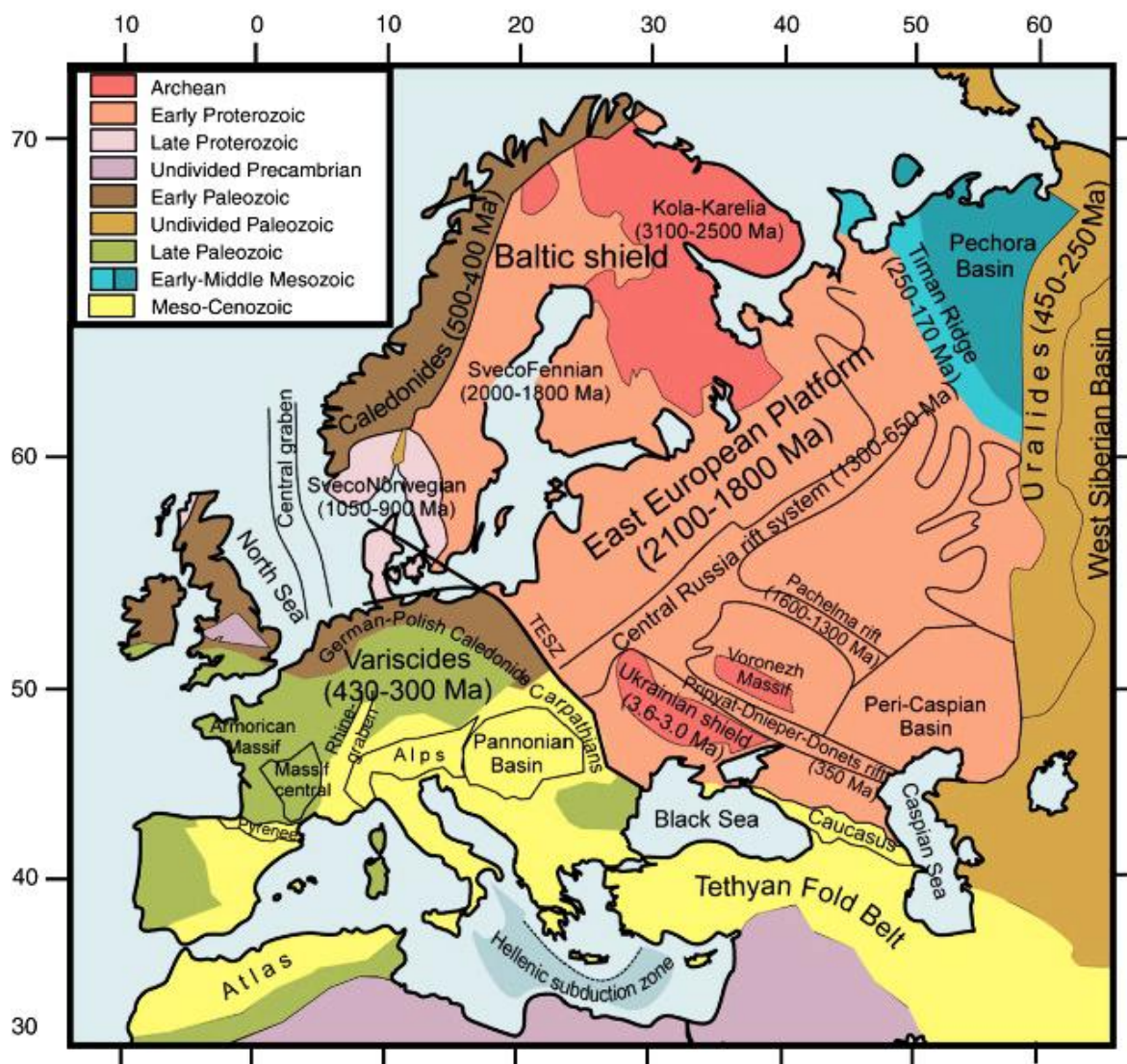


Рисунок 4.4 – Тектоническая карта Европы [Artemieva et al., 2006].

Глубинная гравитационная неустойчивость астеносферы проявляется в виде подъема крупномасштабного мантийного плюма, формирующего структуру Альпийского пояса в целом. На фоне общего подъема плюма поднимаются отдельные диапиры, формирующие глубоководные впадины осадочных бассейнов. Проявление гравитационной неустойчивости имеет характерный масштаб расстояний между впадинами, определяемый толщинами слоев осадочного чехла, консолидированной коры, мантийной литосферы и астеносферы, а также механическими свойствами формирующих пород, в

частности, плотностью и эффективной вязкостью. Стадии подъема диапиров определяют тепловой поток структуры, а также магматизм, вулканизм и сейсмичность, т.е. геодинамическую активность или тектоно-магматическую активизацию.

Последовательная активизация и подъем диапиров в условиях коллизии литосферных плит и закрытия Альпийского палеоокеана могла формировать сначала Прикаспийскую впадину, затем Средне-Каспийскую, а затем Южно-Каспийскую впадину. Тепло от поднимающегося мантийного диапира могло достичь земной поверхности в Прикаспийской впадине, но еще не достичь в Южно-Каспийской. И это определяет различный тепловой фон в бассейнах, делая его более высоким в Прикаспии, чем в Южном Каспии.

Данные сейсмотомографии подтверждают наличие субдукции плиты Южно-Каспийской впадины под Эльбурс, что также подчеркивает схожесть формирования задуговых морей Альпийского пояса и Южного Каспия [Jackson et al., 2002; Priestley, Cipar, 1993; Шарков, Свалова, 1989]

Анализ геофизических полей геологических структур позволяет оценить подъем астеносферы, а разработанная самосопряженная термогравиметрическая модель литосферы делает эти оценки надежными и достоверными. Геодинамика и история развития геологических структур определяют магматизм, вулканизм, сейсмичность, геотермические характеристики, геотермальную активность, нефтегазоносность, опасные природные процессы региона, что в свою очередь является обоснованием создания системы комплексного экологического мониторинга на фундаментальной научной базе, прогноза и предупреждения природных стихийных бедствий и катастроф, а также поиска полезных ископаемых, включая углеводороды.

4.2. Геотермия Прикаспийской впадины

Общий региональный температурный фон Прикаспийской впадины увеличивается с севера на юг и с востока на запад. Геотермические исследования Прикаспийской впадины отражены в целом ряде работ [Аксенов и др., 1985;

Бочкарева и др., 1973; Геофизические поля ..., 1985; Гордиенко, Завгородняя, 1984; Соловьев и др., 1991; Мухтаров, 2008; Максимов и др, 1990; Родкин, 2003].

Литолого-физические особенности разреза надсолевых отложений и тектонические неоднородности осадочного чехла, обусловленные мощной толщей соляных пород, определили обширный диапазон изменений величин геотермического градиента в верхних частях разреза (Рисунки 4.5; 4.6; 4.7, Таблицы 4.1; 4.2) [Аксенов и др., 1985; Бочкарева и др., 1973; Гордиенко, Завгородняя, 1984; Мухтаров, 2008; Максимов и др., 1990].

В надсолевых отложениях геотермические градиенты изменяются от 1,5 до 3,5 °C/100 м, причем повышенные значения ассоциированы с глинистыми отложениями палеогенового и верхнепермского возраста. В эвапоритах кунгурского яруса геотермические градиенты варьируются от 0,32 до 3 °C/100 м. Десятикратный разброс в величинах градиентов обусловлен, по-видимому, положением пункта измерения по отношению к рельефу соляных масс. Все повышенные значения теплового потока получены в сводовых частях соляных куполов, где тепловой поток искажен явлениями, связанными с контрастной теплопроводностью. Помимо этого, сама точность оценок невелика. Так, для Аралсорской сверхглубокой скважины известны оценки теплового потока в 38, 49 и 59 мВт/м². Реальные значения для центральной части впадины лежат в интервале от 40 до 51 мВт/ м². В восточной части, в районе Актюбинского Приуралья, неискаженное значение теплового потока составляет 40 мВт/м². В тектонически активных зонах Прикаспийской впадины, в пределах ее северо-западного обрамления, тепловой поток повышен и близок к 50 мВт/м². Вдоль южного борта протягивается широкая полоса высоких значений теплового потока - в среднем 55 мВт/м². Средние значения теплового потока в Прикаспийской впадине равны примерно 52 мВт/м².

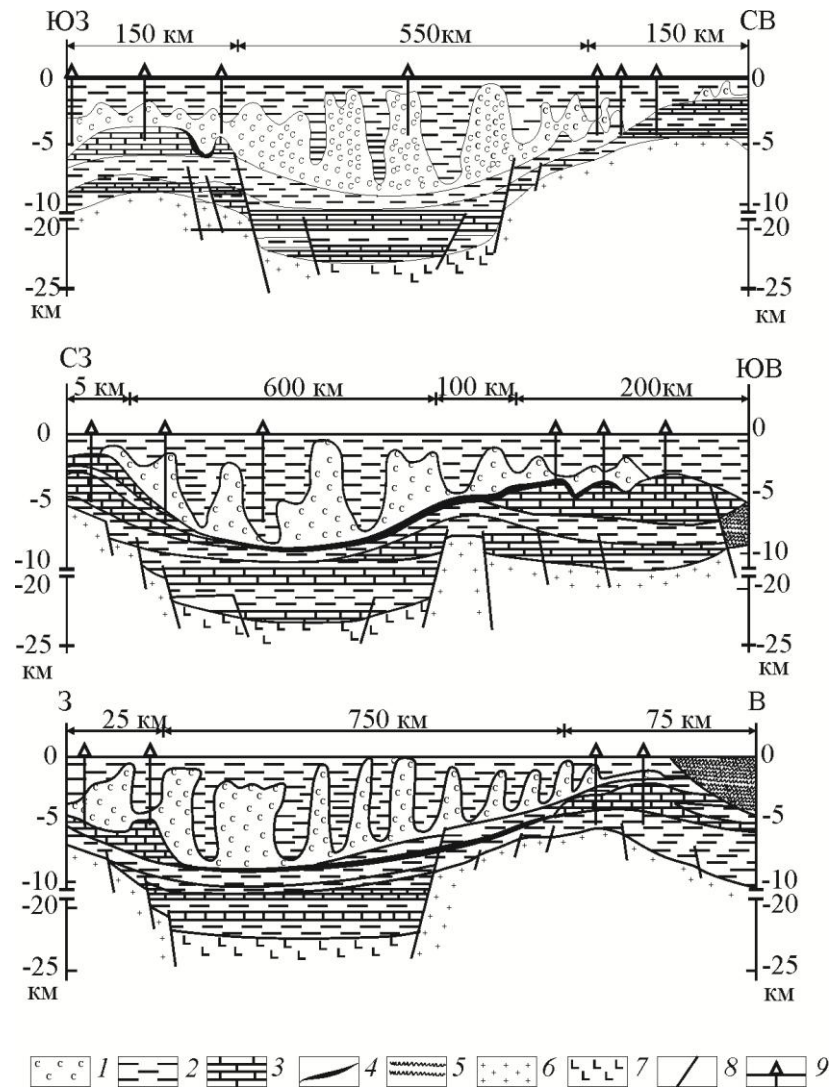


Рисунок 4.5 – Геологический разрез Прикаспийской впадины (первичный материал)
[Максимов и др., 1990].

Породы: 1 – соль, 2 – терригенные, 3 – карбонаты, 4 – глины, 5 – конденсаты.

Комплексы: 6 – граниты, 7 – базальты, 8 – складки, 9 – глубокие скважины

Таблица 4.1 – Основные геотермические зоны Прикаспийской впадины

ЗОНА	Т оС на глубине 5 км	∇T °С /100м
КЕНКИЯК	76-90	1,7-2,0
КАСПИЙСКАЯ	162-186	2,8-3,1
ТЕНГИЗ	160-167	2,8-3,2
АСТРАХАНСКАЯ	124-156	3,0-3,6

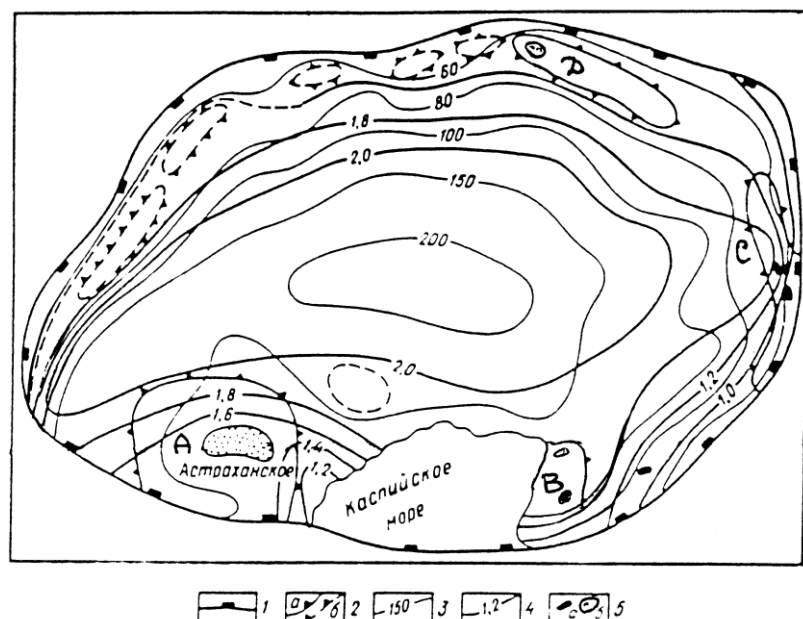


Рисунок 4.6 – Схема термобарических условий подсолевых месторождений Прикаспийской впадины [Аксенов и др., 1985].

Границы: 1 – потенциальных нефтегазовых провинций, 2 - потенциальных нефтегазовых зон (а – известных, б - предполагаемых), 3 – геоизотермы на поверхности подсолевых месторождений, 4 – изолинии аномальных коэффициентов давления, 5 – нефтяные (а) и газовые (б) месторождения. Основные нефтегазовые месторождения: А- Астраханское, В - Тенгиз, С - Кенкияк, Д – Карачаганак.

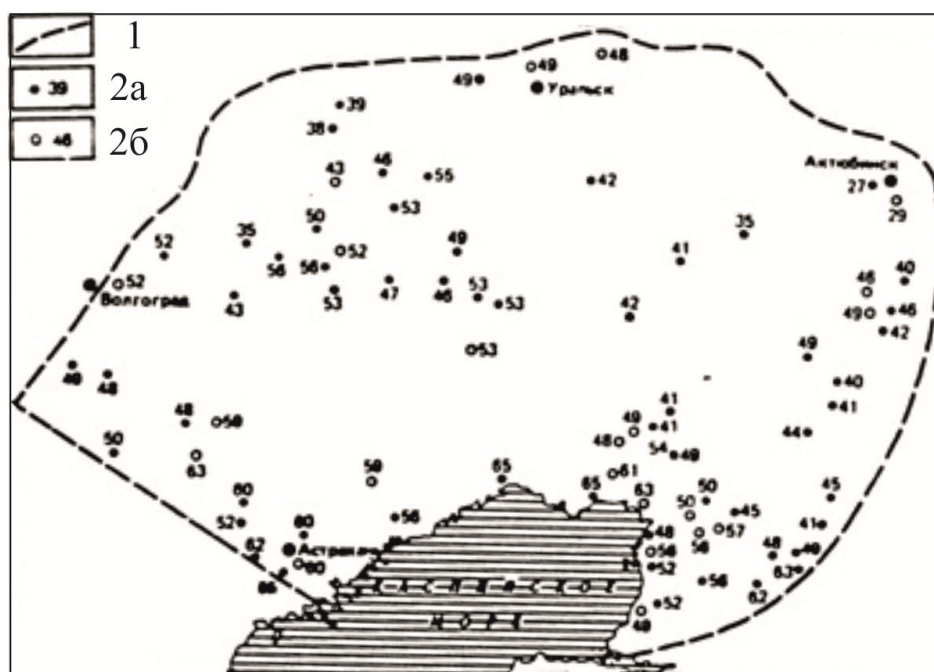


Рисунок 4.7 – Тепловой поток Прикаспийской впадины, мВт/м² [Аксенов и др., 1985]
1 – границы Прикаспийской впадины, 2 – точки определения теплового потока: а – отдельные, б – групповые

Таблица 4.2 – Распределение температур на глубине 500-1000 м в структурах солевых куполов в восточной и западной частях Прикаспийской впадины

Глубина, м	Восток Т °С	Запад Т °С
500	21.2-31.9	23.4-28.4
750	27.0-42.1	37.3-43.0
1000	31.5-52.4	51.4-56.0

Эти значения близки к средним значениям теплового потока для Печорской и Североморской впадин, т.е. крупнейшие синеклизы углов платформы на рифейском основании характеризуются специфическими величинами глубинного теплового потока, отличающими их от более древних структур Восточно-Европейской платформы [The Global Heat Flow Database...].

4.3. Гравитационное поле Прикаспийской впадины и ее обрамления

Гравитационное поле Прикаспийской впадины и ее обрамления существенно различно. В сопредельных районах Восточно-Европейской платформы оно характеризуется в целом относительно повышенными, а в Предуральском прогибе - пониженными значениями Δg .

На Восточно-Европейской платформе гравитационные аномалии обусловлены главным образом вещественным составом дорифейского фундамента.

Относительно пониженное гравитационное поле Предуральского краевого прогиба обусловлено большой мощностью (до 12 км и более) отложений осадочного чехла.

Поле силы тяжести Прикаспийской впадины в целом пониженное. В пределах Центральноприкаспийского прогиба в поле Δg фиксируются Аралсорский и Хобдинский региональные максимумы, обусловленные в основном мантийными выступами. Эти максимумы поля силы тяжести разделены аномалией поля Δg , которая характеризуется чередованием относительно повышенных и относительно пониженных значений гравитационного поля и

прослеживается в южном направлении в пределы Актюбинско-Астраханской зоны поднятий вплоть до Каспийского моря. Вычисленная кривая гравитационного влияния рельефа поверхности подсолевых отложений по региональным сейсмическим профилям, пересекающим впадину в широтном и меридиональном направлениях, имеет минимальные значения в центральной, наиболее погруженной, части впадины и максимальные - в бортовых ее зонах. Однако в наблюдаемом гравитационном поле наиболее погруженной центральной части впадины отвечают региональные гравитационные максимумы, а ее бортовым зонам - региональные минимумы или пониженные значения гравитационного поля. Это значит, что региональные аномалии силы тяжести обусловлены более глубокими слоями земной коры и мантии.

4.4. Термогравиметрическая модель осадочного бассейна

Анализ всего комплекса геологических и геофизических данных дает основания связать формирование и эволюцию Прикаспийской впадины с подъемом мантийного диапира [Svalova, 1992, 1993, 1997, 2002; Свалова и др., 1993]. Разуплотненная мантия поднимается, формируя на дневной поверхности глубокую депрессию, постепенно заполняющуюся осадками. Термомеханическое моделирование показывает, что в зависимости от динамики подъема диапира на дневной поверхности возможно формирование сводового поднятия, сменяемого формированием глубокой депрессии [Занемонец (Свалова) и др., 1974; Svalova, 1992, 1993, 1997, 2002; Свалова, Шарков, 1991, 1992, 2005; Шарков, Свалова, 1989, 1991; Sharkov, Svalova, 2011; Свалова, 2012, 2013, 2014; Гончаров и др., 2015]. При достаточной мантийной активности возможна дальнейшая смена режима прогибания на режим формирования сводового поднятия и даже излияния базальтов. Общая картина движений может осложняться наличием фоновых горизонтальных движений. При аналитическом решении задачи удастся найти критические параметры, связывающие динамику мантийных движений с эволюцией рельефа поверхности [Svalova, 1992, 1993, 1997, 2002].

При исчерпании энергии мантийный диапир кристаллизуется, начиная с верхней части, наиболее высоко поднявшейся в сравнительно холодные слои литосферы. Уплотненная верхняя часть диапира может дать региональный гравитационный максимум, наблюдаемый в центре депрессии.

Для определения толщины литосферы Прикаспийской впадины и окружающих регионов предлагается использовать комплексную самосогласованную термогравиметрическую модель многослойной сплошной среды, описывающей в упрощенном виде строение осадочного чехла, консолидированной коры и верхней мантии геологической структуры.

Пусть геотермическое поле для установившегося процесса описывается стационарным уравнением теплопроводности с учетом только кондуктивного теплопереноса. На границах слоев выполняются условия непрерывности температур и тепловых потоков. Дневная поверхность характеризуется температурой 0°C . Граница литосфера-астеносфера отождествляется с температурой плавления базальтов 1200°C . Тогда:

$$\begin{aligned}\partial^2 T_i / \partial z^2 &= -Q_i / k_i, \\ T^* &= 0^{\circ}\text{C}, \\ T_* &= 1200^{\circ}\text{C}, \\ [T_i] &= 0, [k_i \partial T_i / \partial z] = 0,\end{aligned}\tag{30}$$

где k_i – средняя теплопроводность i -того слоя;

Q_i – теплогенерация;

$T(x, z)$ – температура, x – горизонтальная координата, z – вертикальная координата.

Тогда для поверхностного теплового потока можно получить следующее выражение:

$$q^*(x) = - \frac{T_* + \sum_2^n h_i^2 Q_i / 2k_i + \sum_{i=2}^{n-1} h_i / k_i \sum_{j=i+1}^n h_j Q_j}{\sum_2^n h_i / k_i},\tag{31}$$

где $h_i(x) = z_i - z_{i-1}$ – толщина i -того слоя,

n – число слоев,

$z_1(x)$ - граница литосфера-астеносфера,

$z_2(x)$ - граница Мохо,

$z_3(x)$ - поверхность фундамента,

$z_4(x)$ - дневная поверхность (для нерасчлененного осадочного чехла в упрощенной модели) (Рисунок 4.8).

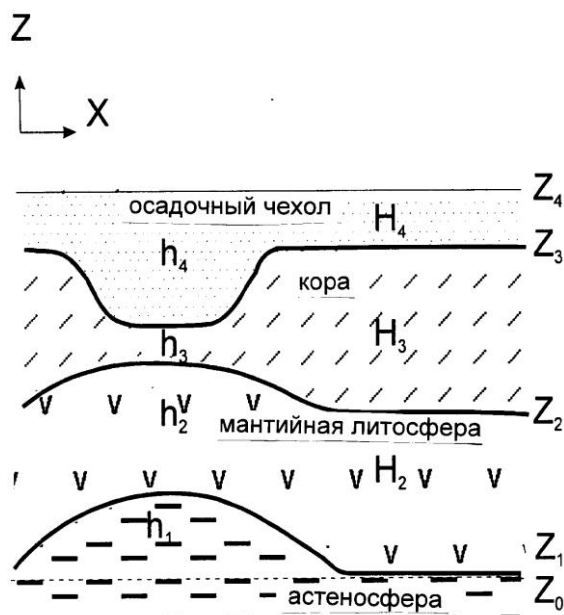


Рисунок 4.8 – Схематический разрез литосферы Прикаспийской впадины и прилегающей части Восточно-Европейской платформы.

Z_0 – уровень изостатической компенсации в астеносфере, Z_1 - граница литосфера-астеносфера, Z_2 - граница Мохо, Z_3 - поверхность фундамента, Z_4 - дневная поверхность.

Т.к. радиоактивные элементы сосредоточены в основном в коре, то теплогенерацию в мантийной литосфере можно считать равной нулю $Q_2 = 0$. Тогда для толщины мантийной литосферы получим выражение:

$$h_2(x) = - \frac{T_* + q^* \sum_3^n \frac{h_i}{k_i} + \sum_3^n \frac{h_i^2 Q_i}{2k_i} + \sum_{i=3}^{n-1} \frac{h_i}{k_i} \sum_{j=i+1}^n h_j Q_j}{1/k_2 (q^* + \sum_3^n h_i Q_i)} \quad (32)$$

Таким образом, зная распределение поверхностного теплового потока $q^*(x)$, значения теплофизических характеристик слоев (теплопроводность и теплогенерация), а также глубину залегания поверхности фундамента и границы Мохо, можно определить глубину залегания астеносферного слоя как в центре депрессии, так и в сопряженных областях Восточно-Европейской платформы.

Производя расчеты для характерных значений теплофизических характеристик и известных из геофизики границ, можно получить толщину литосферы в центре впадины порядка 110 км и для платформы около 180 км, т.е. подъем астеносферы под впадиной составляет около 70 км по сравнению с окружающими регионами. При расчетах использовались следующие характерные значения параметров: толщина осадочного чехла в центре впадины 24 км, на платформе 3 км. Толщина консолидированной коры 12 и 40 км, соответственно. Теплогенерация базальтов $0,5 \text{ мВт/м}^3$, гранитов 2 мВт/м^3 , осадков 1 мВт/м^3 . Коэффициент теплопроводности гранитов и базальтов $2,5 \text{ Вт/(м К)}$, терригенных осадочных пород $1,7-2,1 \text{ Вт/(м К)}$, соли - $5,4-6,6 \text{ Вт/(м К)}$, т.е. среднее для осадочного чехла 3 Вт/(м К) .

$T_* = 1200 \text{ }^\circ\text{C} = 1473^\circ\text{K}$, $q^* = 50 \text{ мВт/м}^2$ для впадины и $q^* = 40 \text{ мВт/м}^2$ для платформы.

Рассмотрим теперь гравиметрическую модель литосферы. Будем считать Прикаспийскую впадину и Восточно-Европейскую платформу изостатически скомпенсированными структурами с уровнем компенсации в астеносфере. Тогда будем иметь следующую систему уравнений для впадины и платформы:

$$\begin{cases} \sum h_i \rho_i = \sum H_i \rho_i, \\ \sum h_i = \sum H_i. \end{cases} \quad (33)$$

Где ρ_i - плотности слоев.

Первое уравнение характеризует равенство давлений на уровне изостатической компенсации для многослойной литосферы впадины (h_i) и платформы (H_i). Второе уравнение содержит предположение, что уровень изостатической компенсации для впадины и платформы совпадает. В частности, для упрощенной модели, состоящей из слоя астеносферы (h_1), мантийной литосферы (h_2 , H_2), консолидированной коры (h_3 , H_3) и осадочного чехла (h_4 , H_4) можно получить величину выступа астеносферы под впадиной по отношению к уровню астеносферы под платформой h_1 и разницу толщин мантийной литосферы для впадины и платформы $H_2 - h_2$:

$$h_1 = \frac{(\rho_4 - \rho_2)(h_4 - H_4) + (\rho_3 - \rho_2)(h_3 - H_3)}{\rho_2 - \rho_1},$$

$$H_2 - h_2 = \frac{(\rho_4 - \rho_1)(h_4 - H_4) + (\rho_3 - \rho_1)(h_3 - H_3)}{\rho_2 - \rho_1}. \quad (34)$$

Для характерных значений плотности $\rho_4 = 2,3 \text{ г/см}^3$ (осадочный чехол), $\rho_3 = 2,7$ (гранит) - $2,9 \text{ г/см}^3$ (базальт), $\rho_2 = 3,3 \text{ г/см}^3$ (литосфера), $\rho_1 = 3,4 \text{ г/см}^3$ (астеносфера) и толщин слоев из предыдущей геотермической модели получаем $h_1 \cong 70 \text{ км}$, $H_2 - h_2 \cong 60 \text{ км}$. Т.е. величина астеносферного выступа под впадиной из гравиметрической модели близка к значению, полученному из геотермической модели, что говорит о корректности моделей. То же самое можно сказать об утолщении мантийной литосферы под платформой. Одни и те же величины определяются двумя независимыми методами, что повышает надежность результата. В то же время, только геотермическая модель дает абсолютные значения толщины литосферы, а гравиметрическая только относительные изменения. Обе модели допускают дальнейшее уточнение и детализацию, увеличение числа слоев, усложнение теплофизических и геофизических характеристик слоев, учет региональных гравитационных и геотермических аномалий.

Таким образом, разработана самосогласованная термогравиметрическая модель литосферы и астеносферы осадочного бассейна, позволяющая количественно оценить подъем астеносферного диапира под геологической структурой. Модель исследуется на примере геофизических полей и геологических характеристик Прикаспийской впадины. Установлено, что для характерных значений теплофизических характеристик и геофизических границ для Прикаспийской впадины толщина литосферы в центре структуры составляет порядка 110 км и для платформы - около 180 км, т.е. подъем астеносферы под впадиной составляет около 70 км по сравнению с окружающими регионами. Позже эти результаты были подтверждены геофизическими исследованиями [Гордиенко, Завгородняя, 1984].

4.5. Выводы

Разработана самосогласованная термогравиметрическая модель литосферы и астеносферы осадочного бассейна, позволяющая количественно оценить подъем астеносферного диапира под геологической структурой. Модель исследуется на примере геофизических полей и геологических характеристик Прикаспийской впадины. Установлено, что для характерных значений теплофизических характеристик и геофизических границ для Прикаспийской впадины толщина литосферы в центре структуры составляет порядка 110 км и для платформы - около 180 км, т.е. подъем астеносферы под впадиной составляет около 70 км по сравнению с окружающими регионами. Позже эти результаты были подтверждены геофизическими исследованиями.

Четвертое защищаемое положение.

Разработана самосогласованная термогравиметрическая модель литосферы и астеносферы осадочного бассейна. Установлены количественные оценки подъема астеносферного диапира под геологической структурой.

ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА. МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ МАСС ПО ОПОЛЗНЕВОМУ СКЛОНУ

5.1. Геоэкологическая опасность оползневого процесса

Термин «оползень» представляет собой тип движения, которым является сползание, скольжение пород вследствие гравитационной неустойчивости. Однако обычно этот термин используется для обозначения всех типов гравитационного движения пород, включая осыпи, обвалы, камнепады, ползучесть, крип, течение, скольжение и другие сложные движения. Правильным термином для обозначения всех этих движений может быть «движение масс». Однако термин «оползень» был принят и широко используется во всем мире как синоним «движения масс». Оползень может находиться в стабильном состоянии практически без движения, а может двигаться с различными скоростями.

Сползание огромных обломков, камней, горных пород, почвы и другого материала вниз по склону считается «оползнем». Сели, лахары и лавины рассматриваются как оползневые процессы. Оползни являются опасными природными процессами наряду с землетрясениями, наводнениями и извержениями вулканов. Оползни особенно распространены в горных районах и на крутых склонах.

Оползни происходят в разных частях мира. Наиболее крупные и активные из них связаны с землетрясениями и извержениями вулканов вблизи границ тектонических плит в зонах коллизии и субдукции, Тихоокеанского огненного кольца и Альпийско-Гималайского тектонического пояса.

Даже если оползням уделяется не так много внимания, как другим опасным природным явлениям, таким как землетрясения, извержения вулканов и ураганы, социальные последствия оползневых бедствий значительны, и в будущем они могут продолжать увеличиваться из-за расширения человеческой деятельности, особенно в зонах геоэкологического риска. Их воздействие иногда

недооценивается, так как оползни могут долго находиться в стабильном состоянии. В значительной степени оползни вызываются дождями и землетрясениями, которые являются триггерами оползневых процессов [Склоновые геологические процессы, 2022].

Особо опасные оползни из-за обильных и затяжных дождей, как правило, происходят в горных районах. Так, выпадение 296,5 см осадков из-за тайфуна Моракот в августе 2009 года, самого смертоносного тайфуна, обрушившегося на Тайвань за всю историю наблюдений, привело к глубоким оползням в тайваньском городе Шаолинь (Рисунок 5.1).



Рисунок 5.1a – Падающий отель на Тайване после тайфуна Моракот в 2009 году.



Рисунок 5.1б – Оползни в тайваньском Шаолине после тайфуна Моракот в 2009 г. (USGS).

5. 2. Опасные природные процессы на Тайване

Территория Тайваня подвержена многим геологическим и метеорологическим природным опасностям. Наиболее разрушительными являются землетрясения, оползни, сели, наводнения и тайфуны [Свалова, 2016]. В стране разработана система мониторинга и раннего предупреждения стихийных бедствий, а также разработаны вопросы инженерной защиты территорий. ИГЭ РАН плодотворно сотрудничал с тайваньскими учеными в рамках совместного проекта по оползневой и сейсмической опасности и созданию систем раннего предупреждения стихийных бедствий.

5.2.1. Оползни и сели на Тайване. Системы мониторинга

Сезон дождей на Тайване приходится на границу между весной и летом. Тайфуны происходят на Тайване в основном летом и осенью. Среднегодовое количество осадков составляет более 2500 мм. Переменные по продолжительности и интенсивности осадки приводят к наводнениям, оползням и селевым катастрофам. Так в 2010 г. на Тайване сошедший с горы вследствие дождей оползень рухнул на Национальное шоссе. В результате около 300 метров эстакады оказались под завалами земли и грязи. (Рисунок 5.2; 5.3).



Рисунок 5.2 – Оползень на Тайване вследствие дождей в 2010 г. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB).



Рисунок 5.3 – Разрушительный оползень на Тайване. Участок Национального шоссе длиной в 300 метров погребен под тоннами земли и грязи. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB).

Сильные землетрясения и повышенные осадки сопровождаются оползнями и селями, которые носят разрушительный характер. Так, землетрясение 921 вызвало гигантский оползень площадью 195 га, который называется оползень Чиу-Фен-Эр-Шань (Chiu-Fen-Erh-Shan), недалеко от деревни Нанканг (Nankang) из района Кусин (Kouhsing) округа Нанту (Nantou). Оползневой материал блокировал движение водных потоков, что привело к образованию двух оползневых дамб (Рисунок 5.4).



Рисунок 5.4 – Оползень Чиу-Фен-Эр-Шань (Chiu-Fen-Erh-Shan) после землетрясения 921. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB).

Идея системы оповещения начала разрабатываться после серьезной селевой опасности, вызванной тайфуном Herb в 1996. Кроме того, влияние изменения климата на опасные природные процессы становится все более и более значимым на Тайване. Осадки становятся более концентрированными, а среднегодовая температура значительно повысилась. Концентрированные дожди могут в большой степени влиять на оползневые и селевые процессы в ближайшем будущем.

Для предотвращения жертв и экономических потерь из-за оползней, селей и эрозии почв с 2000 года было начато строительство станций мониторинга и систем раннего предупреждения (Рисунок 5.5). Работы проводились Бюро по Сбережению Почв и Вод (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB). Спутниковые изображения, географические и геологические данные, современные технологии мониторинга были реализованы и интегрированы в систему, получившую имя Формоза, что означает древнее название Тайваня. Этапами работ являются обеспечение готовности, реагирование, смягчение последствий и восстановление.

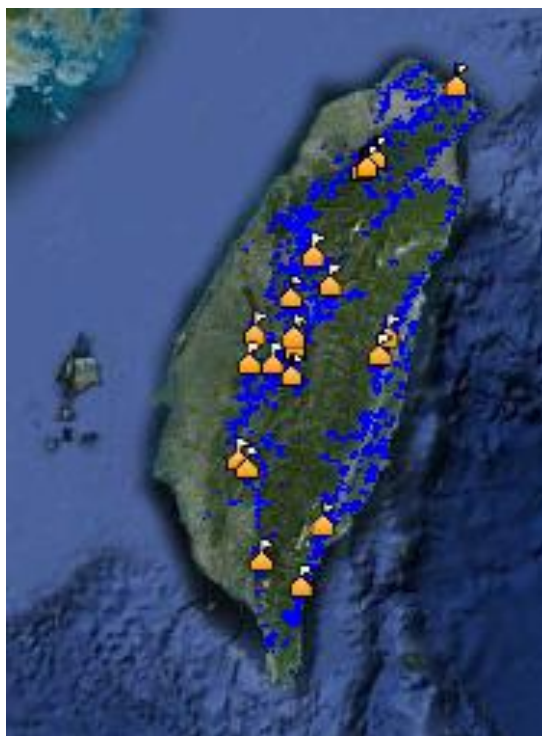


Рисунок 5.5 – Расположение станций мониторинга на Тайване. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB).

Бюро SWCB создало веб-сайт для взрослых и детей для повышения образования населения в области стихийных бедствий и мерах реагирования на них. Жертвы и экономические потери могут быть уменьшены путем создания осведомленности общественности о важности предупреждения стихийных бедствий и правильности и своевременности действий в период опасности.

Многие страны, как и Тайвань, страдают от оползневых и селевых катастроф. Это - Китай, Япония, Филиппины, Перу, Колумбия, Мексика, Гватемала и многие другие. Бюро SWCB работает по ликвидации последствий стихийных бедствий, по стимулированию образования и по операциям раннего предупреждения. Веб-сайты были устроены как платформы для предотвращения стихийных бедствий, а также с целью обмена информацией между территориями, пострадавшими от катастроф, учеными, специалистами и теми, кто хочет больше узнать о селевой, оползневой и сейсмической опасности.

Дальнейшие исследования по мониторингу и гидрология на площади оползня Чиу-Фен-Эр-Шань начались в 2003 году. Они включали:

1. Мониторинг уровня воды (Рисунки 5.6; 5.7).

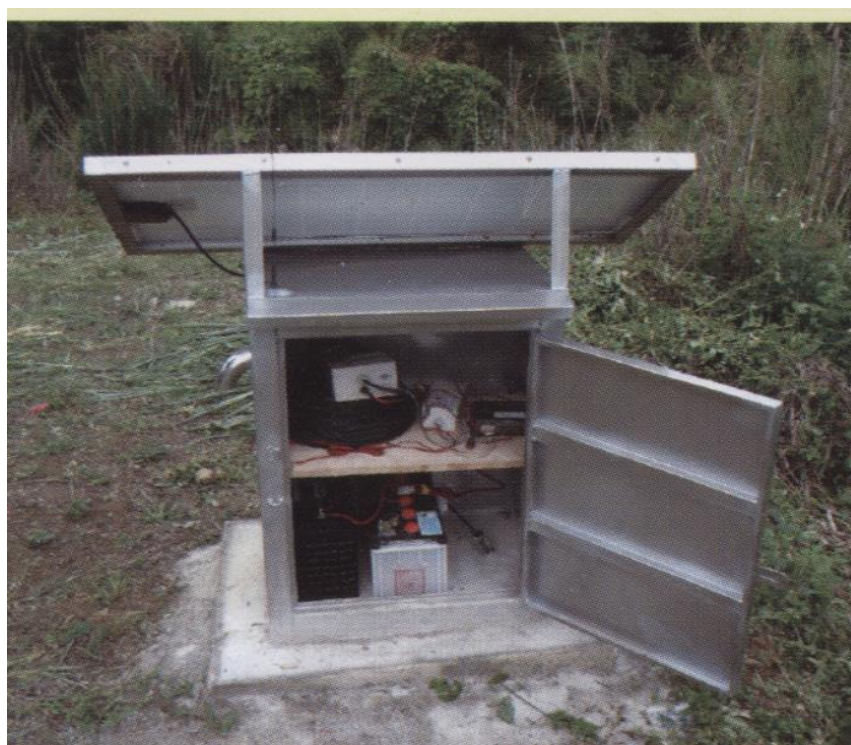


Рисунок 5.6 – Станция автоматического мониторинга уровня воды. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB).

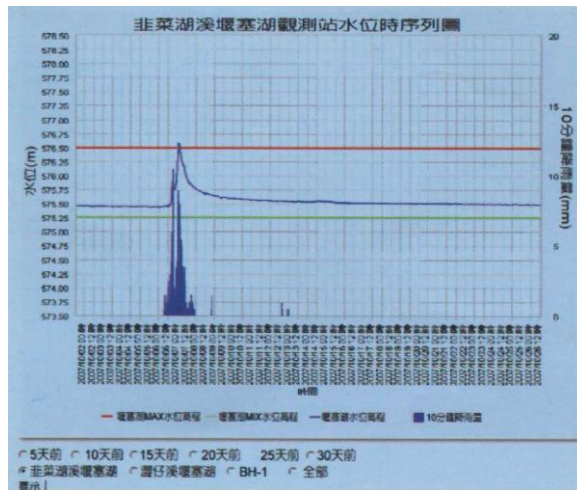


Рисунок 5.7 – Экран системы мониторинга в реальном времени уровня воды на дамбе оползня и величины выпадения атмосферных осадков. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB).

2. Моделирование поведения оползня (Рисунок 5.8).



Рисунок 5.8 – Исследование поведения оползневого тела после оползня с помощью моделирования на основе метода Разрывного Деформационного Анализа (Discontinuous Deformation Analysis DDA). (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

3. Контроль за морфологическими изменениями области оползня с использованием ЛИДАРа (LiDAR – Light Detection And Ranging) (Рисунок 5.9).

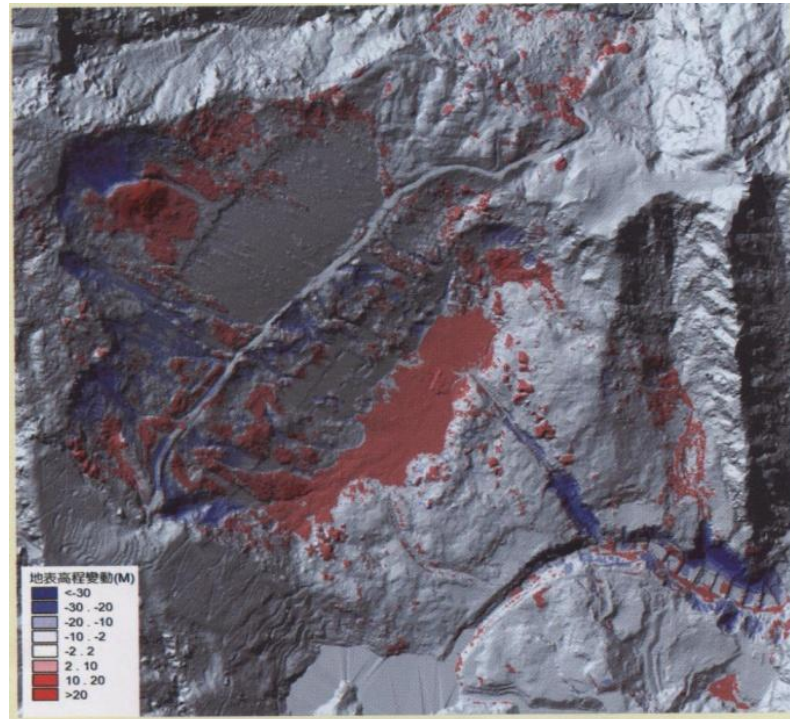


Рисунок 5.9 – Морфологические изменения области оползня с сентября 2002 г. до июля 2007 г. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB). (Синий цвет – области эрозии и трещин, красный – области накопления материала)

4. Долговременный мониторинг с использованием фото изображений (Рисунок 5.10).

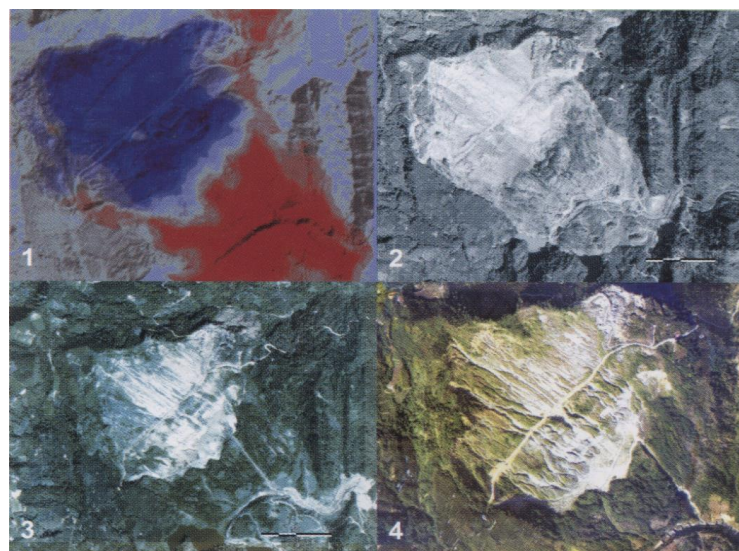


Рисунок 5.10 – Фотомониторинг области оползня после землетрясения 921. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

1. Морфологические изменения области оползня после землетрясения 921.

Синее – разрушение материала, красное – накопление материала.

2. Аэрофото области оползня 10.12.1999.

3. Аэрофото области оползня 15.04.2003.

4. Аэрофото области оползня 01.2006.

На рисунках 5.11, 5.12, 5.13 показаны примеры дальнейшего развития и организации систем мониторинга в различных областях Тайваня.



Рисунок 5.11 – Станция селевого мониторинга в г. Фенгкю (Fengqiū) округа Нанту.
(Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)



Рисунок 5.12 – Станция селевого мониторинга в г. Шанган (Shang'an) округа Нанту.
(Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)



Рисунок 5.13 – Станция селевого мониторинга в г. Боай (Boai) округа Тайчунг. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

5.2.2. Вопросы инженерной защиты и управления селевым потоком

Для уменьшения количества осадочного материала селевого потока используются различные инженерные методы в зависимости от рельефа местности и истории ее развития.

Большое количества воды является одним из основных факторов, которые вызывают селевые потоки, так что избыток воды должен быть устранен в максимально возможной степени. Это может быть сделано с помощью встроенных дренажных труб в руслах или на склонах, чтобы отвести грунтовые воды (Рисунок 5.14).



Рисунок 5.14 – Снижение инфильтрации грунтовых вод (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

Стоки с толстым слоем осадков могут легко вызвать селевой поток. Часто камни перегораживают русла и способствуют накоплению материала, что также может вызвать селевой поток. Следует избегать накопления осадков и способствовать поверхностному стоку (Рисунок 5.15).



Рисунок 5.15 – Снижение накопления осадочного материала и формирование поверхностного стока. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

Необходимо удалять камни и нависающие неустойчивые отложения вокруг ручьев, предотвращать накопление мусора, что может привести к наращиванию и резкому смыву пород, создавая более опасную ситуацию.

Восстановление растительности может привести к снижению скорости материала на стадии транспортировки селевого потока и таким образом уменьшить ущерб, причиненный селевым потоком.

Скорость селевого потока тесно связана со степенью наклона. Для снижения скорости потока строятся плотины или дамбы для увеличения шероховатости русла и накопления материала, что делает наклон слабее и уменьшает скорость потока (Рисунок 5.16).



Рисунок 5.16 – Снижение скорости селевого потока. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

Сели содержат много воды, что позволяет им двигаться в текучей среде. Если вода и осадки разделены, поток будет замедляться. Плотины могут уменьшить скорость селевого потока, в то время как горизонтальные решетки позволяют разделить потоки осадочных пород и воды и остановить поток селевого материала. (Рисунки 5.17; 5.18).



Рисунок 5.17 – Дегидратация селевого потока. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)



Рисунок 5.18 – Блокировка селевого потока. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

Когда поток доходит до плоских участков, накопление отложений часто вызывает заиливание и подъем русла реки. Необходимо эффективно избавляться от этого осадка.

Скорость селевого потока будет замедляться, когда он достигает более пологих участков. Необходимо строить плотины в широкой, плоской местности с образованием зоны осаждения, регулирования наклона и стабилизации русла (Рисунок 5.19).



Рисунок 5.19 – Организация зоны осаждения селевого потока. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

Если область разлива недостаточно широка для накопления селей, используются водозаборные плотины или искусственные каналы, чтобы перевести поток материала в более безопасное место (Рисунок 5.20).



Рисунок 5.20 – Организация зоны стока. (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB)

5.2.3. Российско-Тайваньское сотрудничество

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН плодотворно сотрудничал с Национальным Чунг-Синг (Chung-Hsing) Университетом города Тайчунг (Taichung) на Тайване.

Работы проводились в рамках нескольких совместных проектов, в частности, проекта РФФИ «Теория и методы разработки систем раннего предупреждения о землетрясениях для подземных трубопроводов и оползнеопасных склонов» в 2008-2011 годах.

Были исследованы оползневые зоны в России и на Тайване [Свалова, 2016] (Рисунки 5.22; 5.22). Было разработано и установлено геофизическое оборудование (Рисунки 5.23; 5.24; 5.25).

Основными задачами сейсмического мониторинга были:

1. Измерение вариаций сейсмической активности региона.
2. Использование сейсмических данных для аварийного выключения системы при превышении порогового значения сейсмических колебаний.
3. Использование информации о приходе Р - волны от мощного землетрясения до прихода разрушительной S – волны для создания системы

охранной сигнализации. В зависимости от глубины очага землетрясения и расстояния до эпицентра время между приходом волн может достигать 15-30 минут, что дает возможность для спасения.

4. Прогнозирование движения оползней по изменению акустической эмиссии.



Рисунок 5.21 – Регион исследования около оползня Чиу-Фен-Эр-Шань в районе разлома Челунгпу (Chelungpu), Тайвань. (Фото Сваловой В.Б.)



Рисунок 5.22а – Российско-Тайваньская научная группа на Тайване



Рисунок 5.22б – Российско-Тайваньская научная группа на Тайване в районе оползня



Рисунок 5.22в – Российско-Тайваньская научная группа на Тайване рядом с геофизической станцией. (Фото Сваловой В.Б.)



Рисунок 5.23 – Геофизическая станция вблизи оползня Чиу-Фен-Эр-Шань. (Фото Сваловой В.Б.)



Рисунок 5.24 – Сейсмометр CV-373 (Тайвань-Япония). (Фото Сваловой В.Б.)

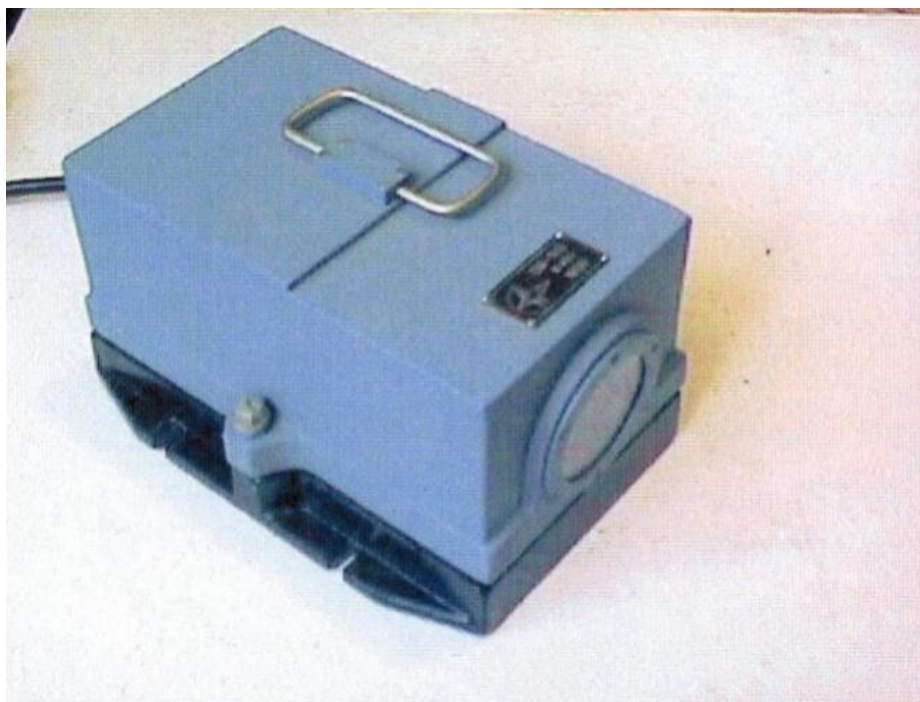


Рисунок 5.25 – Сейсмометр SM-3KV.1. (Фото Сваловой В.Б.)

Изменения ландшафта, изменение геометрии склонов из-за строительства инфраструктуры, террасирование, выемка склонов, в дополнение к нарушениям равновесия склонов, вызванным вибрациями, водонасыщением, инженерными мероприятиями, уничтожением лесов и растительного покрова также являются существенными факторами, определяющими неустойчивость склонов.

Помимо человеческих и экономических потерь, оползни также оказывают значительное воздействие на окружающую среду как основной фактор динамики, эволюции и возможной деградации ландшафта, т.к. растительный покров и естественные среды обитания могут быть серьезно изменены. Развитие населенных пунктов в горных районах, процессы урбанизации и особенно отсутствие надлежащего территориального планирования и управления в сочетании с землетрясениями и/или значительными ливневыми дождями создают оптимальные сценарии возникновения оползневых процессов.

Исторические случаи оползневых катастроф показали их потенциальное воздействие в будущем, учитывая, что рост населения продолжается, в том числе в крайне нестабильных районах, уязвимость населения возрастает, а управление рисками оползней зачастую отсутствует.

5.3. Классификация оползней

Считается, что у каждого оползня есть свое лицо. Но для изучения оползней необходимо разработать научный подход к проблеме. И первым шагом такого подхода является классификация оползней [Hungry et al., 2014; Cruden, Varnes, 1996; Cruden, 1984, 1989, 1992].

Известно множество различных классификаций оползней, но классической является классификация Варнеса [Varnes, 1978] на основе 5 типов движения (падение, опрокидывание, скольжение, распространение и течение) и 3 типов материала (горные породы, обломки породы, земля) (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Классификация оползней [Varnes, 1978]

Type of Movement Тип движения	Type of Material Тип материала		
	Bedrock Коренная порода	Debris Обломки	Earth Земля
Fall Падение	Rock fall Обвал скальных пород	Debris fall Обвал обломочного материала	Earth fall Обвал земли
Topples Опрокидывание	Rock topple Опрокидывание скальных пород	Debris topple Опрокидывание обломочного материала	Earth topple Опрокидывание земли
Slide Скольжение	Rock slide Скольжение скальных пород	Debris slide Скольжение обломочного материала	Earth slide Скольжение земли
Spread Сползание	Rock spread Сползание скальных пород	Debris spread Сползание обломочного материала	Earth spread Сползание земли
Flow Течение	Rock flow Течение скальных пород	Debris flow Течение обломочного материала	Earth flow Течение земли

Оползни нередко характеризуются сложными движениями, меняющих свой вид в процессе сдвига, и включающих несколько стадий. Необходимо подчеркнуть принципиальную разницу между падением и опрокидыванием с одной стороны и скольжением, распространением и течением с другой стороны, так как первые два происходят с разрушением сплошной среды, а последние три

происходят, как правило, без отрыва от поверхности скольжения. Это различие важно для моделирования оползней.

Материалом оползня могут быть: снег, лед, грязь, грунт, песок, ил, лесс, глина, лава, пепел, вода и др. При этом названия гравитационных процессов и явлений могут быть лавина, ползучесть, оползень, солифлюкция, лахар, ледник, айсберг и другие. Но все они могут быть описаны на основе исходной таблицы. Лавина – это снежный оползень или обвал. Лахары (индонезийское слово) представляют собой опасные грязевые потоки вулканического пепла, смешанные с водой, образовавшейся в результате извержений вулканов, которые выходят далеко за пределы вулкана. Солифлюкция — это постепенное движение влажной почвы или другого материала вниз по склону, особенно там, где промерзшие грунты препятствуют просачиванию воды. В отличие от ползучести почв умеренных районов солифлюкция в перигляциальных районах протекает относительно быстро и может приводить к активному развитию склонов.

В России приняты 3 основных типа оползней по механизму их формирования: 1) Блоковые относительно глубокие оползни сжатия-выдавливания; 2) Оползни сдвига-скольжения; 3) Оползни разжижения-течения [Шеко и др., 1984; Петров, 1987; Гулакян, Кюнтцель, 1980].

5.4. Моделирование оползневого процесса - механико-математическое моделирование гравитационного движения масс по оползневому склону.

Оползневые процессы представляют большую опасность на территориях городов и на горных территориях, особенно в связи с организацией строительных и хозяйственных работ, проводимых зачастую без должной геологической проработки. Активизация оползневых процессов на территории г. Москвы за последние годы требует интенсификации проверенных методов и развития новых подходов к изучению оползневых процессов и снижению их рисков.

Одним из методов изучения оползневых процессов является механико-математическое моделирование гравитационного движения масс по оползневому склону. Для разного вида оползней и на разных стадиях своего развития

оползневой процесс может описываться различными механическими и реологическими моделями [Гинзбург, 1986; Хван, 2006; Богомолов, 1996; Кропоткин, 2016; Постоев, 2003; Тихвинский, 1984, 1988; Флейшман, 1978; Шеко, 1980, 1995, 1997]. Если на стадии образования трещин откола, потери устойчивости, отрыва блоков применяются модели упругой среды и модели разрушения, то в процессе медленного движения пород по склону может применяться модель высоковязкой несжимаемой жидкости. Граничные условия задачи при этом также зависят от конкретной ситуации. Так, в случае медленного движения на нижней границе слоя используется условие прилипания. Если же рассматривается процесс селеобразования, подводного оползня или снежной лавины, то на нижней границе возможно условие проскальзывания или более сложное граничное условие. Выбор адекватной модели процесса и постановка начальных и граничных условий является самостоятельной механической задачей [Склоновые геологические процессы, 2022].

Для моделирования движения материала по оползневому склону используется модель высоковязкой несжимаемой жидкости, описываемой уравнением Навье-Стокса. Такая модель дает возможность вычисления скоростей движения среды и сравнения их с результатами мониторинга. Результаты моделирования позволяют определить положение точек максимальных скоростей на склоне, которые должны быть тестируемы в первую очередь. Модель дает возможность изучить фундаментальные аспекты движения материала по оползневому склону и исследовать проблемы снижения риска оползневых процессов, в частности, анализировать и оценить дальность и площадь распространения оползневого тела при наступлении опасного события.

Будем рассматривать медленное движение оползневых масс по склону как движение высоковязкой несжимаемой ньютоновской жидкости, описываемой приближенным уравнением Навье-Стокса [Свалова, 2011, 2016; Svalova, 2009, 2017]. Пусть характерный горизонтальный масштаб тела оползня L значительно превосходит его толщину h . Будем также считать оползень достаточно

протяженным в плане, что позволяет трехмерную модель рассматривать как двумерную для сечений оползневого тела.

Тогда можно получить распределение полей скоростей и давлений в слое:

$$\begin{aligned}
 P &= \rho(\zeta^* - Z) \\
 U &= U_0 + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} [(\zeta^* - Z)^2 - (\zeta^* - \zeta_0)^2] \\
 W &= W_0 + \frac{\partial U_0}{\partial X} (\zeta_0 - Z) \\
 &+ \frac{\rho}{\alpha\mu} \frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} \left[\frac{1}{6} (\zeta^* - Z)^3 + \frac{1}{3} (\zeta^* - \zeta_0)^3 - \frac{1}{2} (\zeta^* - Z)(\zeta^* - \zeta_0)^2 \right] \\
 &+ \frac{\rho}{2\alpha\mu} \left(\frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \right)^2 (Z - \zeta_0)^2 + \frac{\rho}{\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \frac{\partial \zeta_0}{\partial X} \zeta_0 (\zeta^* - \zeta_0)
 \end{aligned} \tag{35}$$

где ζ_0 - нижняя граница слоя,

ζ^* - верхняя граница.

Пусть на нижней границе выполняется условие прилипания:

$$U_0 = W_0 = 0$$

Расход масс вдоль слоя имеет вид:

$$Q = \int_{\zeta_0}^{\zeta^*} U dZ = -\frac{\rho}{3\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^* - \zeta_0)^3 \tag{36}$$

Т.к. $Q = const$ вдоль X , то:

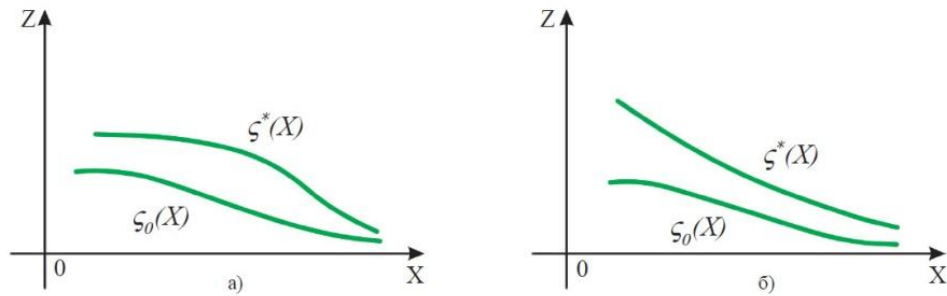
$$\begin{aligned}
 \frac{\partial Q}{\partial X} &= 0 \\
 \frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} (\zeta^* - \zeta_0)^7 + \frac{9\alpha\mu Q}{\rho} \left[\frac{3\alpha\mu Q}{\rho} + (\zeta^* - \zeta_0)^3 \frac{\partial \zeta_0}{\partial X} \right] &= 0
 \end{aligned} \tag{37}$$

Условие выпуклости верхней границы имеет вид:

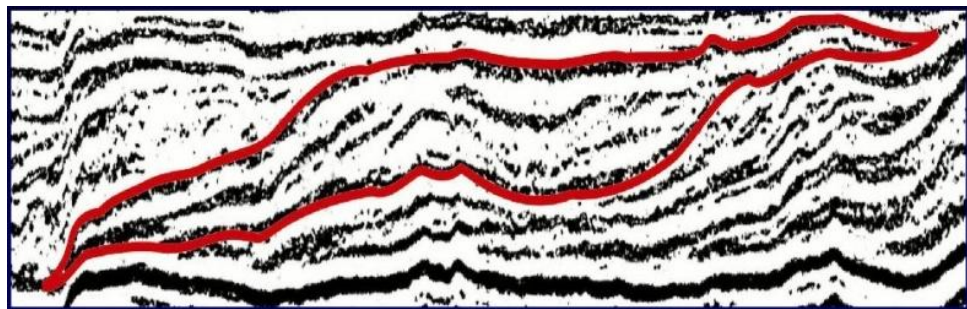
$$\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} < 0 \Rightarrow$$

$$\frac{3\alpha\mu Q}{\rho} > -(\zeta^* - \zeta_0)^3 \frac{\partial \zeta^0}{\partial X} \quad (38)$$

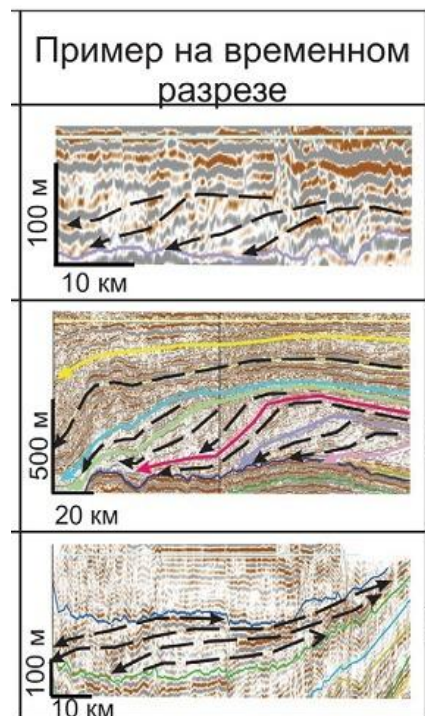
Это выражение дает возможность проанализировать форму поверхности движущейся массы (Риунок 5.26).



Риунок 5.26 а – Различная возможная форма оползневой поверхности: а) – выпуклая, б) – вогнутая



Риунок 5.26 б – Клиноформы осадочного чехла [Гуарри, 2003]



Риунок 5.26в. Клиноформы осадочного чехла – [Бабина и др., 2022]

Выпуклая поверхность возникает, если:

1. Q велико, т.е. расход вещества велик, поток интенсивный;
2. μ велико. Это означает, что вязкость велика, вещество плохо растекается и может поддерживать большой угол;
3. ρ мало, т.е. вещество рыхлое;
4. $grad \zeta_0$ мал, т.е. нижняя поверхность пологая;
5. $(\zeta^* - \zeta_0)$ мало, т.е. толщина слоя мала.

При анализе полученных условий следует отметить, что все они представляются достаточно естественными для объяснения формирования на склоне структур типа наплывов и клиноформ осадочного чехла, что говорит о корректности и представительности модели.

Важным является вопрос определения места максимальных скоростей на склоне. При решении вопроса о расположении поста мониторинга на оползневом склоне наиболее оптимальным местом для размещения датчиков скоростей движения масс является точка максимальных скоростей движения в массиве пород.

Рассмотрим массив осадочных пород с верхней границей ζ^* , представляющей оползневый склон. Нижнюю границу ζ_0 совместим с осью X . Максимум горизонтальной скорости U достигается на верхней границе ζ^* массива вследствие условия:

$$\frac{\partial U}{\partial Z} = -\frac{\rho}{\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^* - Z) = 0 \Rightarrow Z = \zeta^* \quad (39)$$

Точку максимальной горизонтальной скорости на поверхности ζ^* находим из условия равенства нулю первой производной:

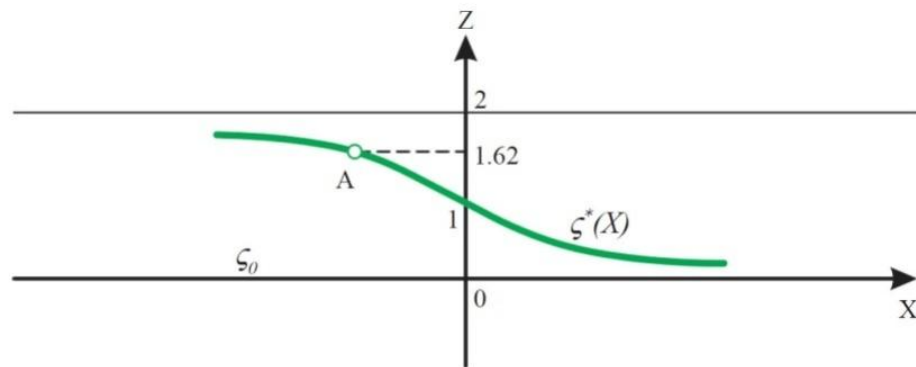
$$\frac{\partial U^*}{\partial X} = 0, где U^* = -\frac{\rho}{2\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^*)^2 \quad (40)$$

Отсюда легко получить условие:

$$\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} \zeta^* + 2 \left(\frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \right)^2 = 0 \quad (41)$$

Следует иметь в виду, что $\zeta^*(X)$ является известной наблюдаемой функцией - поверхностью оползневого склона. И полученное условие позволяет найти точку на склоне, где скорость движения максимальна.

Рассмотрим для наглядности и иллюстрации полученного решения поверхность оползня в виде (Риунок 5.27):



Риунок 5.27 – А - точка максимальной горизонтальной скорости движения масс на поверхности склона.

$$\zeta^*(X) = -thX + 1 \quad (42)$$

Тогда условие (1) дает:

$$th^2X - thX - 1 = 0, \quad (43)$$

Откуда получаем

$$thx = \frac{1 - \sqrt{5}}{2} \text{ и } \zeta^* = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,62.$$

Такое расположение точки А максимальной горизонтальной скорости представляется реальным, а более точные данные о строении массива и его поверхности дадут возможность определить такую точку на конкретном склоне. Именно точка максимума скорости на склоне определяет место возможного срыва оползня в случае достижения предельных напряжений в массиве пород.

Точек локального максимума скорости на склоне может быть несколько, что характеризует возможность срыва оползня на каждой террасе склона.

Аналогичная модель вязкой несжимаемой жидкости может использоваться для расчета поражения площади оползневым процессом при схождении оползня или для моделирования селевого и лавинного процесса.

5.6. Выводы

Разработана механико-математическая модель гравитационного движения масс по оползневому склону на основе уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Найдены критические параметры задачи смены режимов движения с выделением потенциальных областей мониторинга.

Установлено, что выпуклая поверхность типа клиноформы или наплывов осадочного чехла возникает, если:

- 1) расход вещества велик, поток интенсивный;
- 2) вязкость велика, вещество плохо растекается и может поддерживать большой угол;
- 3) плотность мала, т.е. вещество рыхлое;
- 4) нижняя поверхность пологая;
- 5) толщина слоя мала.

Пятое защищаемое положение.

Предложена механико-математическая модель гравитационного движения масс по оползневому склону на основе уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Найдены критические параметры задачи смены режимов движения с выделением потенциальных областей мониторинга.

ГЛАВА 6. РИСК ОПАСНЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

6.1. Управление геоэкологическим риском

Концепция геоэкологического риска является основой системного подхода к изучению и предупреждению опасных природных и техногенных процессов. Управление геоэкологическим риском включает ряд понятий, ключевыми из которых являются моделирование геологической среды, анализ и оценка риска и комплексный экологический мониторинг. Разработка системы мониторинга опасных геологических процессов (сейсмических, оползневых, гидрогеологических и др.) и опасных объектов на основе систем автоматического контроля и раннего предупреждения является одной из основных составляющих концепции управления риском.

Задача создания безопасной экологической среды состоит в разработке пространственной модели для решения проблем геоэкологии с учетом опасных природных и техногенных процессов и факторов, влияющих на экологическую обстановку на локальном, территориальном и региональном уровнях. Задача тесно связана с созданием концепции безопасных городов и обеспечением безопасности объектов повышенной экологической уязвимости. Создание экологической модели среды предполагает анализ возможных сценариев развития опасных природных и техногенных процессов и систему мер их прогноза и предупреждения. Теоретической основой для пространственного экологического моделирования служит концепция управления экологическим риском, которая включает следующие понятия:

1. Идентификация опасности;
2. Оценка уязвимости;
3. Анализ рисков;
4. Понятие приемлемого риска;
5. Оценка рисков;
6. Картографирование рисков;
7. Меры по снижению риска:

- а) законодательные;
- б) организационные и административные;
- в) экономические, включая страхование;
- г) инженерно-технические;
- д) моделирование;
- е) мониторинг;
- ж) информация.

Под информацией понимается оповещение населения и принимающих решения органов о возможном катастрофическом событии или опасном природном явлении, а также просвещение, обучение действиям, тренинги.

В узком смысле управление риском рассматривается как система мер, ведущих к снижению риска.

Риск оценивается как суперпозиция вероятности опасного природного или техногенного процесса и возможного ущерба в случае наступления события. Для оценки вероятности необходимо физическое моделирование процесса и статистический анализ стихийных бедствий и катастроф. Результатом анализа может служить пространственная модель среды с указанием степени риска, а также выделением «горячих пятен» по степени риска для региона. Как правило, такими «горячими пятнами» являются особо опасные или ценные объекты в наиболее сложных геоэкологических условиях.

На рисунке 6.1. показаны отношения между основными элементами концепции риска в строгой форме для системных подходов к исследованиям природных опасностей и бедствий, включая оползневые процессы [Corominas et al., 2014], что может рассматриваться как управление риском.



Рисунок 6.1 Схема управления риском [Свалова, 2016]

6.1.1. Различные подходы к оценке риска

Существует много определений геоэкологического риска [Knight, 1921; Рагозин, 1999, 2002, 2003; Brikmann, 2007; Dirk Proske, 2007; Corominas et al., 2014; Vranken et al., 2015; Risk Assessment..., 2010; Cascini, Ferlisi, 2014; Kalsnes et al., 2010; Аникеев, 2017; Бурова, 2019; Казеев, 2009; Методика..., 2000; Осипов и др., 2017; Шеко, 1995, 1997].

Риск рассматривается как вероятностная мера опасности. Одним из наиболее распространенных определений геологического риска является: риск есть математическое ожидание ущерба. Или риск равен произведению вероятности возможного опасного события на произведенный ущерб:

$$R = P \times D, \quad (44)$$

где R – риск,

P – вероятность,

D – ущерб.

Причем ущерб подразумевается как чисто экономический – зданиям и сооружениям, так и выраженный в деньгах ущерб от потери человеческих жизней.

Также ущерб можно оценить как:

$$D = P_T V E, \quad (45)$$

где E – элемент риска, выраженный в денежном эквиваленте. Он может отражать стоимость ремонта или реконструкции поврежденного объекта, а также восстановления полностью утраченного объекта.

P_T – временная вероятность повреждения,

V – уязвимость объекта [Vranken et al., 2015].

Уязвимость – это степень потери (разрушения) объекта, подверженного естественной или искусственной опасности. Она изменяется от 0 (без потерь) до 1 (полная потеря).

При оценке сейсмического риска R_s используется следующее определение [Ларионов и др., 2017]:

$$R_s = P \times V, \quad (46)$$

V – уязвимость населения.

$$V = \frac{M(N_s)}{N}. \quad (47)$$

N_s – число погибших на территории в результате землетрясения;;

$M(N_s)$ – математическое ожидание числа погибших;

N – численность населения на территории.

Т.к. $0 \leq P \leq 1$ и $0 \leq V \leq 1$, то $0 \leq R_s \leq 1$.

Концепция уязвимости связана с объектами, находящимися под угрозой. Более высокая уязвимость объекта и стоимость (ценность) объекта означает более высокий риск. Для снижения риска необходимо избегать воздействия, уменьшать уязвимость и ценность, что не всегда возможно. Наивысший риск существует для самых ценных объектов при высоком потенциальном воздействии и не очень высоких прочностных свойствах. Снижение уязвимости может быть достигнуто за счет укрепления конструкции, хороших систем планирования, мониторинга и охранной сигнализации. Но системы мониторинга, планирования и сигнализации являются косвенными мерами, тогда как прямая мера снижения уязвимости, ущерба и риска состоит в необходимости хорошо и надежно строить.

Для оценки риска строится матрица риска (Таблица 6.1.). Так, если вероятность и ущерб оцениваются по трехбалльной системе, можно получить значения риска по 5-и балльной системе $R_2 - R_6$:

Таблица 6.1 – Матрица риска [Свалова, 2022]

D	D ₁	D ₂	D ₃
P			
P ₁	R ₂	R ₃	R ₄
P ₂	R ₃	R ₄	R ₅
P ₃	R ₄	R ₅	R ₆

На картах риска отражается пространственная распространенность различных природных опасностей с выделением территорий с различной степенью ущерба по отношению к действию опасных процессов.

Расчетными параметрами являются данные о вероятности развития опасных процессов, а также показатель ущерба для территорий. При наложении данных параметров на топографическую основу можно получить величину риска для любого участка карты (Рисунок 6.2).

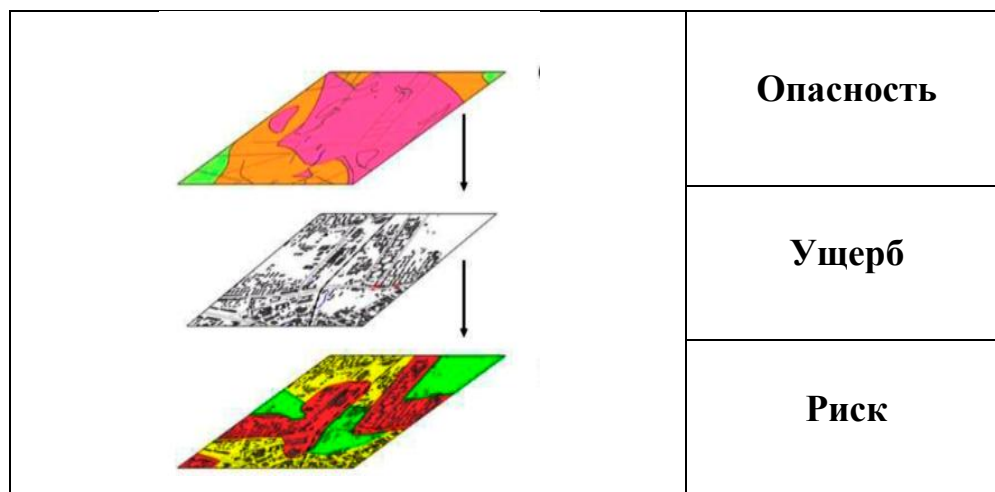


Рисунок 6.2 – Информационные слои карты риска (Осипов, 2020, с изменениями)

Составляют карты двух типов: дифференцированного (от какой-либо одной природной опасности - сейсмической, оползневой, паводковой и т.д.) и интегрального риска (суммарный эффект от нескольких опасностей на заданной территории за единицу времени, обычно равной 1 году).

Риски по отношению к реципиенту могут быть социального (включая гибель людей), экономического, экологического и др. характера. Карты могут иметь различный масштабный уровень: глобальный, федеральный, региональный, локальный и объектовый.

6.1.2. Общий подход к оценке геоэкологического риска

Для автоматизированного анализа фактического материала и построения карт интегрального **геоэкологического** риска необходимо найти суперпозицию карты интегральной природной опасности и интегральной карты (объединения карт) возможного ущерба, т.е. для каждого i – того фрагмента карты риска R_i найти произведение вероятности интегрального опасного события P_i на суммарных различных k – тых возможных ущербов от опасных процессов:

$$R = P \times D,$$

где R – риск,

P – вероятность,

D – ущерб.

$$R_i = P_i \times D_i$$

$$R_i = \sum_j \alpha_j P_{ij} \sum_k \beta_k D_{ik} \quad (48)$$

где α_j - вес отдельной природной опасности,

β_k - вес ущерба для отдельного параметра ущерба.

Параметрами ущерба могут рассматриваться плотность населения, плотность застройки, плотность дорог и коммуникаций, стоимость земли, стоимость жилья. Для оценки риска предлагается использовать следующую схему (Таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Схема расчета оценки риска [Свалова, 2022]

Оценка риска R			
Оценка опасности P		Оценка ущерба D	
Экспертная, статистическая	Параметрическая	Экспертная, статистическая	Параметрическая
{0; 0,25; 0,5; 0,75; 1}	1) определяющие параметры опасности P_{ij} , 2) оценка параметров P_{ij} , 3) веса параметров α_i	{0; 0,25; 0,5; 0,75; 1}	1) определяющие параметры ущерба D_{ik} , 2) оценка параметров D_{ik} , 3) веса параметров β_k
$R_i = \sum_j \alpha_j P_{ij} \sum_k \beta_k D_{ik}$			

Схема в различных модификациях может использоваться как для оценки отдельного риска от определенной опасности, так и для интегрального риска.

Чтобы учесть все эти параметры, необходима весовая оценка вклада каждого параметра в процесс. Аналогично, весовая оценка вклада потребуется при оценке интегрального риска как суммы рисков от различных опасных процессов. Что в свою очередь требует экспертной оценки специалистов, статистических данных и разработки математических методов и подходов [Аникеев, 2002].

Одним из наиболее продуктивных методов оценки весовых характеристик вклада природных опасностей от каждого из опасных природных процессов в оценку интегрального риска может служить метод анализа иерархий (Analytic hierarchy process – АНР, русская аббревиатура – МАИ), разработанный Томасом Саати (США) в 1970 г. [Саати, 1993; Saaty, 2001, 2008].

Основа метода Саати – попарные сравнения альтернатив по каждому из критериев и попарное сравнение критериев с точки зрения важности для поставленной цели. Таким образом, все сравнения в данном методе производятся попарно, – то есть самым простым и очевидным методом. Таким образом, метод позволяет получить объективные математические соотношения между альтернативами на основе субъективного взгляда на ситуацию лица, принимающего решение. Метод Саати апробировался и проверялся, в частности, на основе решений с известным результатом.

Пример использования метода Саати представлен в разделе 6.2.

6.2. Оценка геоэкологического риска и проблемы устойчивого развития горных территорий

6.2.1. Устойчивое развитие горных территорий.

Концепция устойчивого развития горных территорий является составной частью концепции устойчивого развития территорий, которая в свою очередь является частью общей концепции Устойчивого развития [Безопасность России, 2015].

Устойчивое развитие — это развитие, при котором удовлетворение потребностей нынешних поколений осуществляется без ущерба для возможностей будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.

Эта базовая формулировка впервые появилась в 1987 году в докладе «Наше общее будущее». Его подготовила Комиссия ООН по окружающей среде и развитию.

Концепция устойчивого развития появилась в результате объединения трех основных точек зрения: экономической, социальной и геоэкологической.

С геоэкологической точки зрения, устойчивое развитие должно обеспечивать целостность биологических и физических природных систем. Понятие природных систем можно понимать широко, включая в них созданную человеком среду, такую как, например, города. Основное внимание следует уделять сохранению способностей к самовосстановлению и динамической адаптации таких систем к изменениям, а не сохранение их в статическом состоянии. Деградация природных ресурсов, загрязнение окружающей среды и утрата биологического разнообразия сокращают способность экологических систем к самовосстановлению.

Беспрецедентный рост городов выявил также потребность человечества в разработке и внедрении принципов устойчивого развития в области градостроительства и территориального планирования [Lollino, 2015; Cutter, Finch, 2008; Cutter, 2014; Осипов, 2001, 2009, 2011, 2015, 2017; Осипов и др., 2011, 2012, 2015; Мавлянова и др., 2015; Заиканов и др., 2017, 2019; Несмеянов, 2004, 2017; Сергеев, 1982; Трофимов, 2009; Трофимов, Зилинг, 2002; Экзарьян, 2009]. Соответствующая концепция получила название «устойчивое развитие территорий», подразумевающее под собой «обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений» [Градостроительный кодекс России, 2004 г.].

Комплексный системный подход к решению проблем устойчивого развития территорий может осуществляться на основе концепции управления риском [Природные опасности..., 2003], когда количественно оценивается риск от каждого последующего шага развития территорий и внедрения в экологическую среду и даются рекомендации по снижению такого риска. Также следует учитывать все многообразие опасных природных процессов на данной территории и возможное усиление их воздействия на геологическую среду и

увеличение возможных ущербов при возрастающей экологической нагрузке на систему.

Природный риск горных и равнинных территорий имеет свою специфику и особенности. Многие геоэкологические проблемы стоят особенно остро на горных территориях.

Если наибольшей природной опасностью для равнинных территорий являются наводнения, то для горных местностей наибольшую опасность представляют землетрясения [Природные опасности..., 2001, 2002]. И проливные дожди, и землетрясения являются триггерами для оползневых процессов – селей, обвалов, осыпей, оползней разного типа, которые также наиболее опасны для горных территорий [Svalova, 2018, 2019; Svalova et al., 2019, 2020; Zaalishvili et al., 2021].

Для оценки геоэкологического риска необходимо проанализировать всю сложность геоэкологической и метеорологической обстановки в регионе, а также вычислить возможные потери и ущерб в результате природных бедствий и катастроф. Все параметры природного риска следует формализовать и оценить для перехода от качественного анализа к количественному.

Некоторые виды опасностей могут носить определяющий характер, а другие подчиненный. Также некоторые тектонические и геолого-геофизические характеристики территорий носят доминирующий характер в регионе, а другие второстепенный и подчиненный. Для каждой территории необходим комплексный геолого-геофизический и метеорологический анализ с точки зрения возможных природных опасностей. Затем необходимо выделить определяющих и доминирующих опасностей, их количественная оценка на основе сравнительных характеристик параметров опасных природных и техногенных процессов.

Процесс оценки геоэкологического риска носит вероятностно-детерминированный характер, связанный как с экспертными оценками специалистов, анализом физических процессов, так и со статистикой природных и техногенных опасностей и их последствий для регионов. Результатом таких

исследований для регионов может служить построение карт геоэкологического риска, как по отдельным видам опасностей, так и комплексных геоэкологических карт по ряду признаков с выделением «горячих пятен» по степени риска с дальнейшими рекомендациями по организации комплексного геоэкологического мониторинга для территории, в целом, и объектового мониторинга для наиболее опасных и ценных строений и объектов, подверженных опасным геоэкологическим процессам [Ginzburg et al., 2019; Хуторской и др., 1999; Хуторской, Буитрон, 2000]. Специальный интерес представляют особо ценные и охраняемые объекты культурного наследия, заповедные территории и заказники, а также особо опасные и ответственные промышленные объекты – атомные станции, плотины, дороги, мосты, трубопроводы, заводы опасного промышленного производства и др.

В этой связи большое значение приобретает геоэкологическая оценка территорий с точки зрения изучения геоэкологической нагрузки, решения проблем рационального природопользования и устойчивого развития для планирования градостроительства и размещения на территории новых объектов, представляющих экологическую опасность, таких, например, как места депонирования и глубокой переработки твердых бытовых и коммунальных отходов [Свалова, 2020; Свалова, Коробова, 2020; Несмеянов, Воейкова, 2018]), что является крайне актуальной и многоплановой задачей, особо важной в горных и густонаселенных регионах, каждый из которых имеет свою специфику и высокую геоэкологическую нагрузку.

Одним из важных вопросов рационального природопользования и территориального планирования Кавказского региона является развитие санаторно-курортного комплекса, строительство новых объектов для развития внутреннего туризма с выполнением всех критериев и норм устойчивого развития как территорий в целом, так и горных территорий в особенности. Таким образом, оценка, картирование и управление экологическим риском является важной народно-хозяйственной задачей, решение которой должно быть востребовано как

научными, так и административными организациями, органами, принимающими решения и ответственными за безопасность в регионе, включая систему МЧС.

Насущной задачей является разработка методики унифицированной оценки и картографирования дифференцированного и интегрального природного риска с акцентом на горные территории, выделение определяющих параметров природной опасности, ущерба и риска и расчет весовых вкладов параметров на основе метода анализа иерархий Саати.

Результатом исследований по данной тематике может быть создание комплексного Атласа природных опасностей и рисков Кавказского региона, состоящего из комплекта геоэкологических карт разного назначения, разработка и внедрение геоэкологического рейтинга городов Кавказского региона, а также комплексной системы рекомендаций по организации мониторинга, по системе рационального природопользования и постоянного устойчивого экономического роста.

6.2.2. Опасные природные процессы, стихийные бедствия и катастрофы горных территорий

Самыми разрушительными стихийными бедствиями в мире являются землетрясения, наводнения и ураганы. Цунами и извержения вулканов также крайне опасны, но они сравнительно редки.

Основными опасными природными процессами на горных территориях являются землетрясения, оползни и наводнения. На равнинных территориях – наводнения, оползни и карст. На городских равнинных территориях – оползневые процессы, карст и подтопление [Геологический риск..., 2020; Государственные доклады..., 2009-2015; Государственные доклады..., 2008-2014; Государственные доклады..., 2009-2015; Государственные доклады..., 2009-2015; Доклады..., 2009-2015; Материалы..., 2008-2014; Материалы..., 2009-2015; Защита..., 1995; Краевая..., 2011; Рекомендации..., 2002]. Землетрясения и ливни являются триггерами для оползневых процессов.

Не существует опасного природного процесса, напрямую выражающего геодинамическую и тектоническую опасность, параметрами которой являются глубинные разломы, скорости движения поверхности и литосферных плит региона, трещиноватость пород, повышенный тепловой поток, напряженно-деформированное состояние среды. Но многие опасные природные процессы (землетрясения, оползни, вулканы, цунами и т.д.) вызываются именно тектоническими и геодинамическими причинами [Свалова, 2022; Isacks et al., 1968; Fournier d'Albe, 1982; Мягков, 1995; Zaalishvili et al., 2021; Muller et al., 1992; United Nations..., 2009-2011, 2015, 2018; Чотчаев и др., 2020; Булаева, 2009; Булаева, Гридин, 2010, Булаева и др. 2005].

Оползни и карст на городских территориях более опасны, чем подтопление, вследствие большей неожиданности и непредсказуемости события. Опасность от подтопления более распределена по времени, но ущерб от разрушенного здания может быть одинаков от воздействия оползня, провала земной поверхности или перекоса фундамента и обрушения здания вследствие подтопления.

Комплексный системный подход к решению проблем устойчивого развития территорий может осуществляться на основе концепции управления риском, когда количественно оценивается риск от каждого последующего шага развития территорий и внедрения в экологическую среду и даются рекомендации по снижению такого риска. Также следует учитывать все многообразие опасных природных процессов на данной территории и возможное усиление их воздействия на геологическую среду и увеличение возможных ущербов при возрастающей геоэкологической нагрузке на систему.

Природный риск горных и равнинных территорий имеет свою специфику и особенности. Многие геоэкологические проблемы стоят особенно остро на горных территориях. Если наибольшей природной опасностью для равнинных территорий являются наводнения, то для горных местностей наибольшую опасность представляют землетрясения. И проливные дожди, и землетрясения являются триггерами для оползневых процессов – селей, обвалов, осыпей, оползней разного типа, которые также наиболее опасны для горных территорий.

Город в сейсмоопасной зоне является источником повышенного риска вследствие больших потенциальных жертв и разрушений. Там, где на фоне высокой сейсмической опасности существует еще оползневая опасность, риск существенно повышается. И если сейсмическая опасность на территории города одинакова, то оползневая опасность в сейсмоопасном городе дифференцирована и увеличивает опасность и риск.

Следует понимать, что параметры опасности, ущерб и риска тесно связаны между собой. Где больше население, там больше жилья, дорог и коммуникаций.

Как правило, цена земли и жилья выше там, где выше плотность населения. Там же выше плотность застройки и коммуникаций. Таким образом, плотность населения может рассматриваться как показатель и определяющий параметр для оценки потенциального ущерба в случае опасного события. Карты плотности населения очень показательны для оценки потенциального ущерба при стихийных бедствиях и катастрофах.

6.2.3. Опасные природные процессы Кавказского региона

6.2.3.1. Сейсмичность

Северный Кавказ является частью протяженной Крым-Кавказ-Копетдагской зоны Иран-Кавказ-Анатолийского сейсмоактивного региона. Северный Кавказ характеризуется самой высокой сейсмической активностью в европейской части России [Атлас..., 2007, 2010; Уломов, 2007; Осипов и др., 2015; Стогний и др., 2019; Стогний, Стогний, 2017; Комплект карт..., 1998; Ganapathy et al., 2018]. Ему свойственны очень крупные землетрясения. Наиболее активна в сейсмическом отношении восточная часть Северного Кавказа – территории Дагестана, Чечни, Ингушетии и Северной Осетии [Хулелидзе, 2010] (185 в списке литературы)

Наиболее опасной на юге России является территория в полосе шириной от 200 до 300 км вдоль всей государственной границы, где с различной степенью вероятности возможны землетрясения интенсивностью 8, 9 и 10 баллов (Рисунок 6.3).

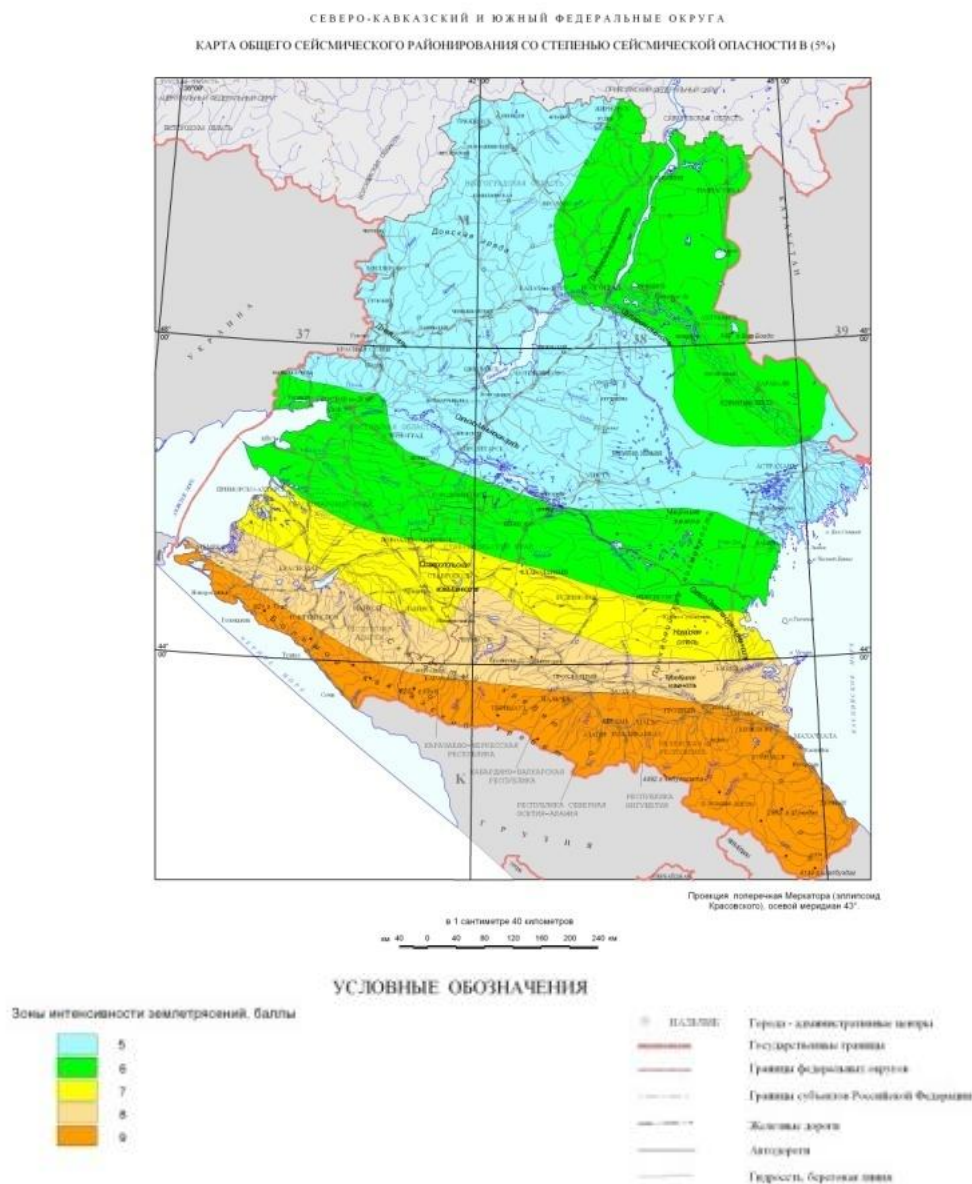


Рисунок 6.3 – Северо-Кавказский и Южный федеральный округа. Карта общего сейсмического районирования со степенью сейсмической опасности [Атлас...,2007]

6.2.3.2. Оползневой риск на Северном Кавказе

Оползневые процессы встречаются практически на всей территории Северного Кавказа.

Территории с чрезвычайно опасными районами распространены в двух субъектах Северного Кавказа – Краснодарском крае и Республике Дагестан [Бабурин и др., 2014, 2019; Добрев и др., 2019; Заалишвили и др., 2012, 2018; Шныпарков и др., 2013; Безуглова, 2014; Бондырев и др., 2014; Любимова и др., 2017; Мамаев, Ястребов, 2016; Маций и др., 2015; Николаев и др., 2019].

Практически во всех субъектах Северного Кавказа получили распространение районы с высокой и весьма высокой степенью оползневой опасности (Рисунок 6.4).

Воздействию оползней на Северном Кавказе подвержены такие крупные города как Новороссийск, Краснодар, Сочи, Майкоп, Армавир, Ставрополь, Черкесск, Кисловодск, Нальчик, Владикавказ, Грозный, Махачкала [Атлас., 2007; Республика Северная Осетия., 1998].

Важно, что в средне- и низкогорье в наибольшей степени проявляется оползневая опасность и сосредоточена значительная часть инфраструктуры, что определяет наибольший оползневой риск.

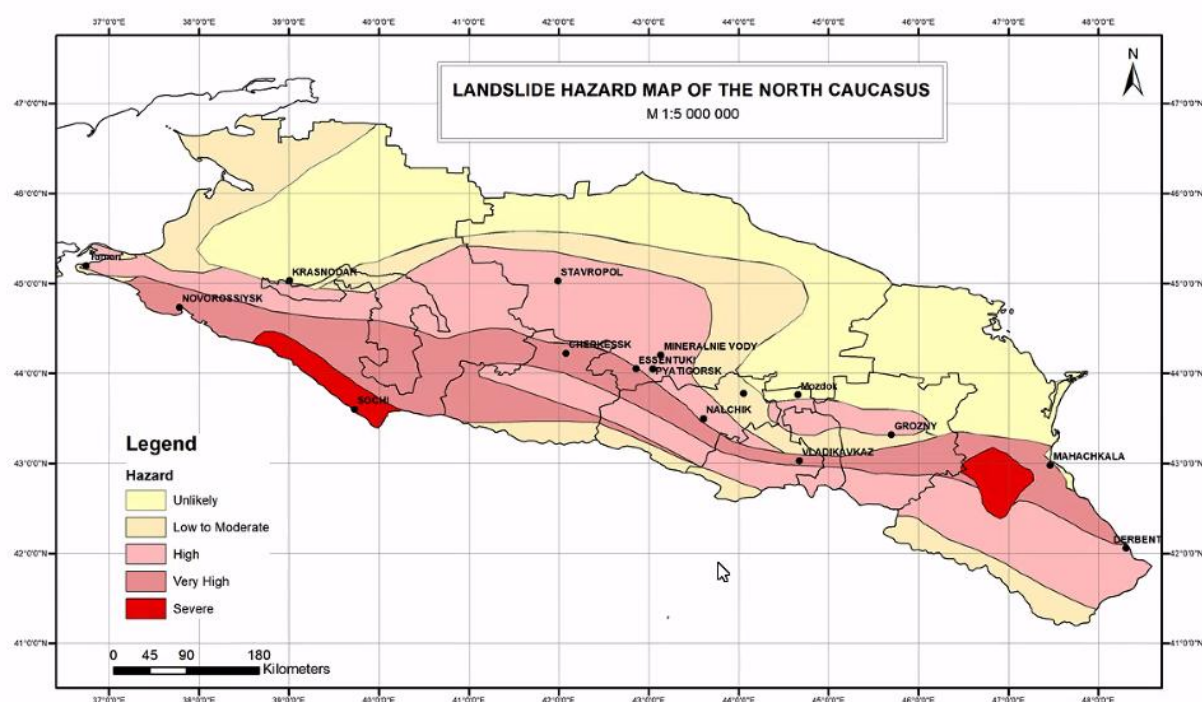


Рисунок 6.4 – Опасность оползней Северного Кавказа [Атлас..., 2007]

6.2.3.3. Наводнения на Северном Кавказе

Наиболее опасные и разрушительные наводнения и обусловленные ими ЧС на Северном Кавказе возникают в результате весенних половодий и летне-весенних паводков.

Реки Северного Кавказа отличаются различными условиями формирования стока воды. Реки региона подразделяются на два типа [Разумов и др., 2000, 2013]:

1) Реки с максимальным стоком от таяния снегов и ледников (часть рек Ставропольского края и реки республик Северного Кавказа).

2) Реки с максимальным стоком, обусловленным выпадением интенсивных осадков (равнинные реки Ставропольского края).

Степень опасности наводнений и масштаб возникающих ЧС определяется превышением максимального уровня воды в реках во время затопления над исходным уровнем. Максимальный уровень определяет площадь затопления в пойме реки. На территории Кавказского региона выделяются 4 зоны с разной степенью опасности наводнений (Рисунок 6.5) [Разумов и др., 2000, 2013]

1) Зона чрезвычайно опасных наводнений, когда максимальные уровни воды более чем на 3,2 метра превышают исходный уровень (район в бассейне р. Кубань.)

2) Зона весьма опасных (2,1–3,2 м) и опасных (1,5–2,0 м) наводнений (районы в среднем и нижнем течении р. Терек).

3) Зона умеренно опасных наводнений (0,8–1,4 м) (бассейны рек Сулак, Сунжа, Малка, Баксан, Чегем, Черек, Кума).

4) Зона мало опасных наводнений (менее 0,8 м) на большей части региона.

В пределах Северного Кавказа опасность наводнений существует для всей территории, но наибольшей угрозе наводнений подвержена самая густонаселенная часть региона – предгорная и равнинная.

Горные и предгорные районы относятся к зоне, где высока вероятность прохождения по руслам рек селевых потоков. Они являются результатом совместного действия талых вод и проливных дождей и сопровождаются стремительным подъемом уровня воды в узких речных долинах. Наибольший урон населению и экономике наносят паводки редкой повторяемости с максимальным расходом.



Рисунок 6.5 – Опасность наводнений [Разумов и др., 2000, 2013]

Тип процесса по уровню опасности: 1) Красный - чрезвычайно опасный. 2) Розовый - опасный / очень опасный. 3) Желтый - умеренно опасный. 4) Зеленый – малоопасный.

6.2.4. Потенциальный ущерб от природных опасностей и катастроф. Анализ фактического материала

При оценке потенциального ущерба в случае наступления катастрофического события в качестве определяющих параметров могут рассматриваться плотность населения, плотность застройки, плотность коммуникаций, стоимость жилья, стоимость земли. На основе экспертных оценок в качестве основных определяющих параметров оценки интегрального ущерба можно рассматривать плотность населения, плотность коммуникаций и плотность застройки (Рисунки 6.6; 6.7).

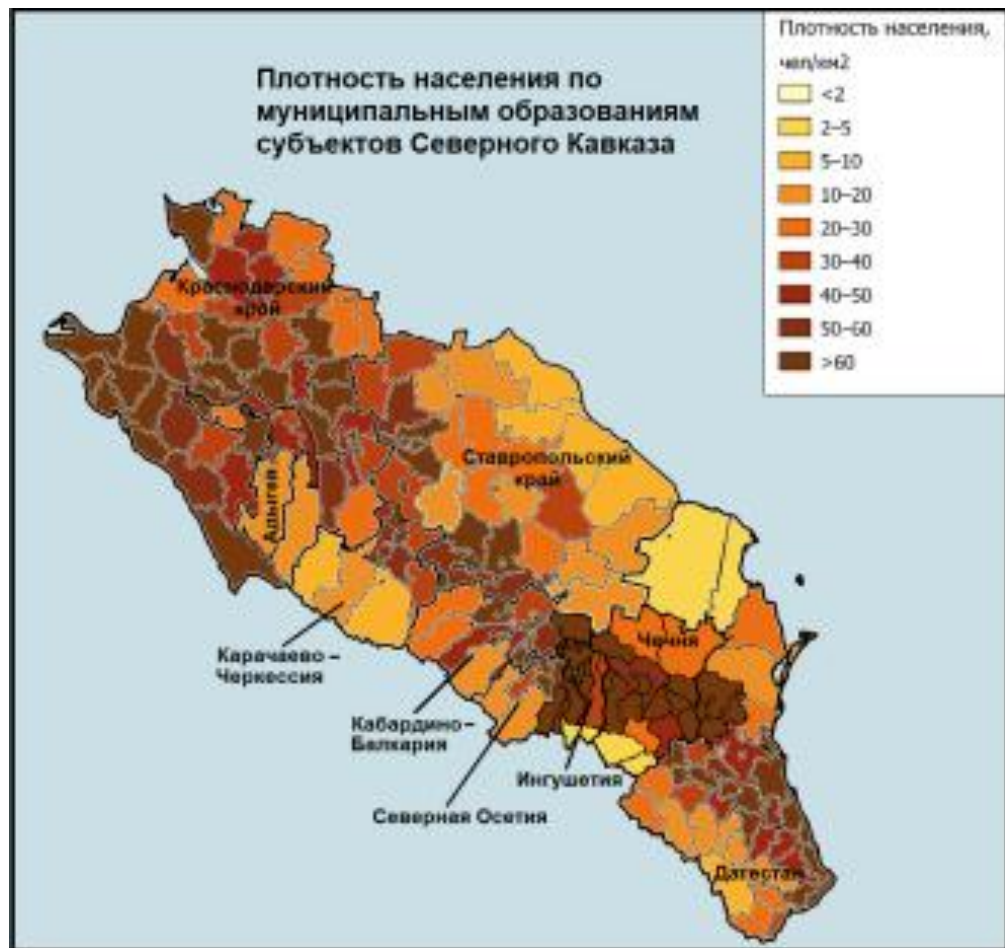


Рисунок 6.6а – Плотность население Северного Кавказа (Росстат).



Рисунок 6.6б – Численность население Северного Кавказа (Росстат).



Рисунок 6.6в – Крупнейшие города. Население Северного Кавказа (Росстат).



Рисунок 6.7а – Горнопромышленная карта

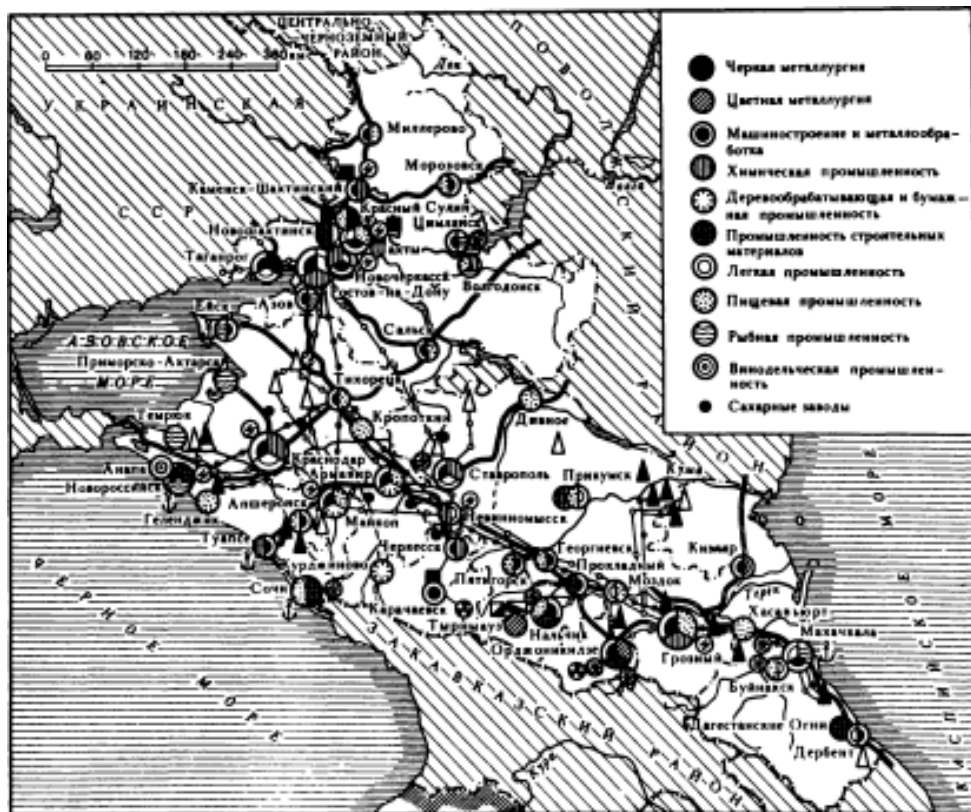


Рисунок 6.7б – Промышленность Северо-Кавказского экономического района



Рисунок 6.7в – Возникновение ЧС техногенного характера

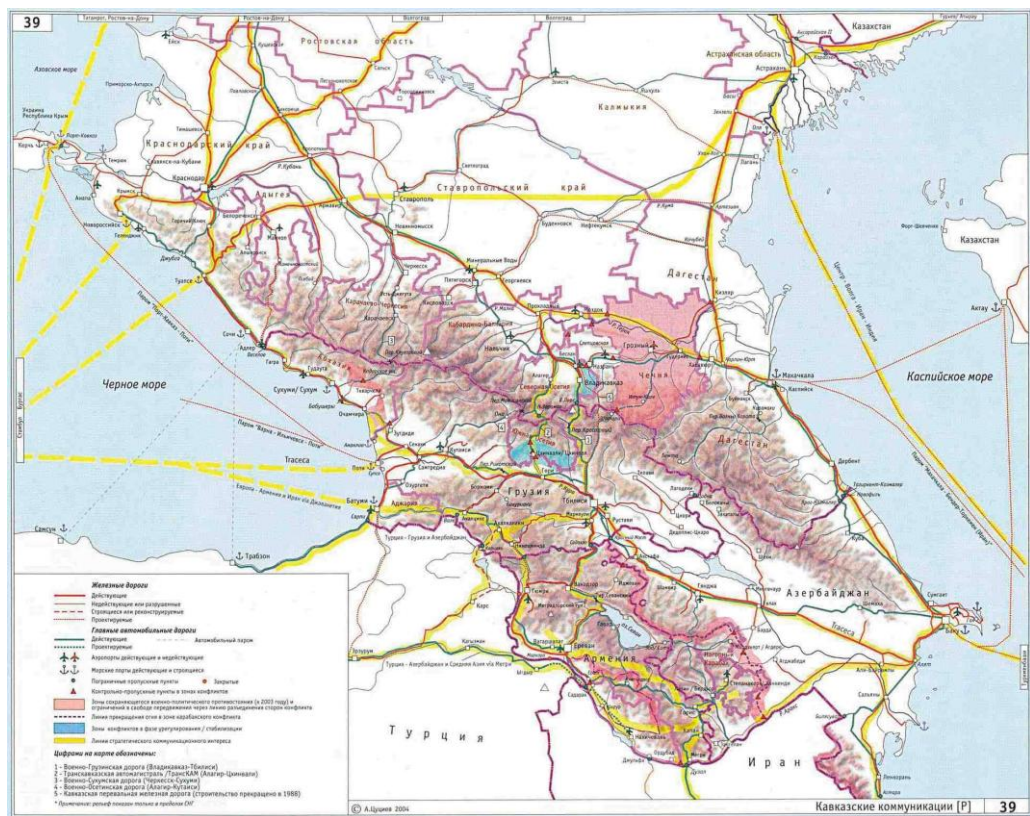


Рисунок 6.7Г – Железные дороги

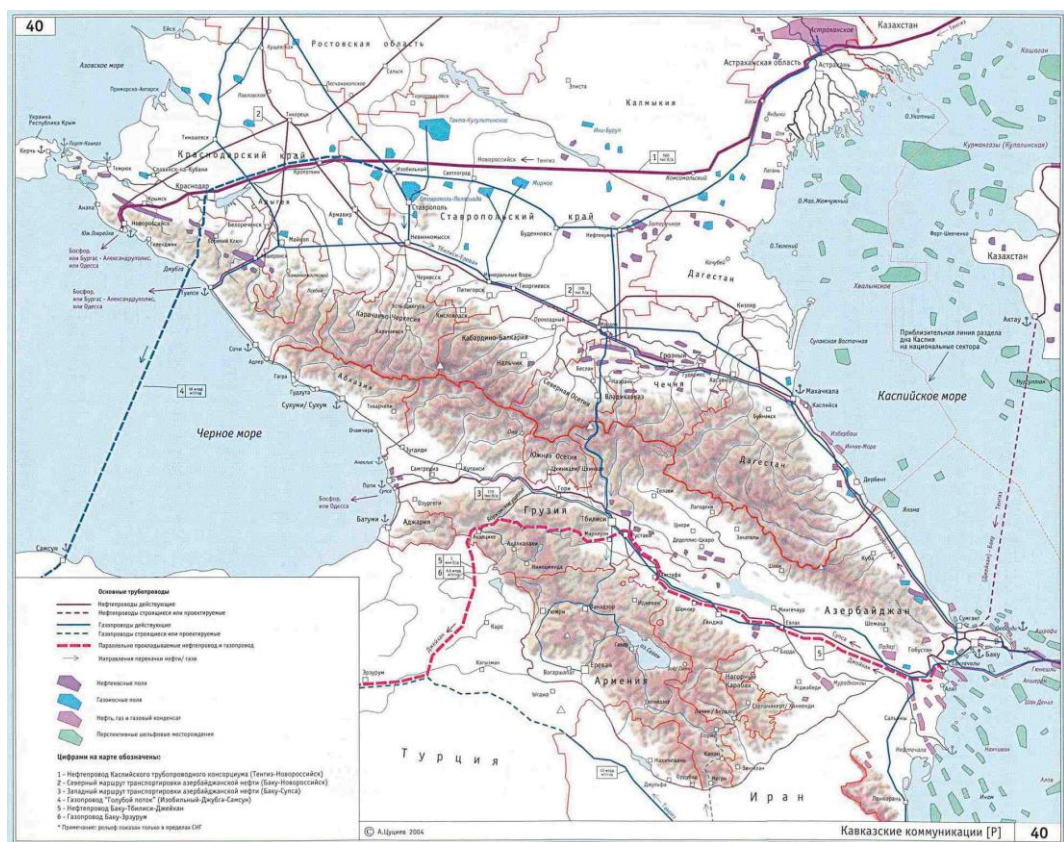


Рисунок 6.7д – Основные трубопроводы



Рисунок 6.7е – Инфраструктура и промышленность Северного Кавказа.
Атлас этнополитической истории Кавказа <https://www.iriston.com/nogbon/?f=11>. Северо-Кавказская железная дорога

6.2.5. Метод анализа иерархий Саати

Существуют две основные проблемы при оценке и картографировании геоэкологического риска:

- 1) Унификация количественной оценки природного риска от разного вида опасностей. Имея в виду наличие различных качественных и количественных параметров опасных природных процессов и различных параметров и значений оценки ущерба.
- 2) Унифицированный подход к построению суперпозиции карт интегральной опасности и интегрального ущерба. Что включает построение интегральных карт различных опасных природных процессов и интегральных карт различного вида потенциальных ущербов.

Количественными параметрами оценки опасности служат:

- Для землетрясений - сейсмичность в баллах,
- Для наводнений и подтоплений – высота подъема воды,
- Для ураганов – скорость ветра,

-Для ливней – количество выпавших осадков,

-Для засухи - температура и влажность воздуха и почвы.

-Для оползней таким количественным параметром может служить устойчивость оползневого склона, но это расчетный параметр. А измеряемыми параметрами оценки оползневой опасности могут служить угол склона, высота склона, прочностные свойства пород, обводненность (близость реки), а триггерами – сейсмичность и метеорология (ливни, таяние снега). Также результат оползневого процесса оценивается объемом и массой оползневого тела.

-Для снежных лавин и селей для характеристики опасного процесса используются скорости движения потока масс, длина склона, плотность и состав пород, объем движущихся масс. Оценивается и рассчитывается область поражения движущимся потоком.

По каждому из выбранных параметров устанавливается количественная шкала и делится на 5 градаций: очень малое значение, малое, среднее, умеренно большое, очень большое. Каждой градации присваивается численный параметр: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1. Этот параметр рассматривается как оценка вероятности опасного природного события. Оценка носит экспертный характер.

Ущерб также оценивается по 5 градациям: очень малое значение, малое, среднее, умеренно большое, очень большое. Каждой градации также присваивается численный параметр: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1.

Чтобы учесть все эти параметры, необходима также весовая оценка вклада каждого параметра в процесс.

Аналогично, весовая оценка вклада потребуется при оценке интегрального риска как суммы рисков от различных опасных процессов. Что в свою очередь требует экспертной оценки специалистов, статистических данных и разработки математических методов и подходов.

Так одним из наиболее продуктивных методов оценки весовых характеристик вклада от каждого из опасных природных процессов в формирование и оценку интегрального геоэкологического риска может служить метод анализа иерархий (Analytic hierarchy process – АНР, русская аббревиатура –

МАИ), разработанный Томасом Саати (США) в 1970 г. [Саати, 1993]. Основа метода Саати – попарные сравнения альтернатив по каждому из критериев и попарное сравнение критериев с точки зрения важности для поставленной цели. Таким образом, все сравнения в данном методе производятся попарно, – то есть самым простым и очевидным методом. Метод Саати приводит ЛПР (лицо, принимающее решение) не к «правильному» решению, а к варианту, наилучшим образом согласующемуся с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению. Таким образом, этот метод позволяет получить объективные математические соотношения между альтернативами на основе субъективного взгляда на ситуацию лица, принимающего решение.

Для сравнения Саати предложил использовать качественные признаки, переводимые затем в количественные, по 9-ти балльной шкале (Таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Качественные варианты сравнения и соответствующие им количественные баллы

Качественное сравнение	Количественный аналог	Качественное сравнение	Количественный аналог
равно, одинаково,	1	равно, одинаково,	1
Немного лучше	3	немного хуже	1/3
Лучше, важнее	5	Хуже, менее важно	1/5
значительно лучше	7	Значительно хуже	1/7
Принципиально лучше	9	Принципиально хуже	1/9

В случае, если ЛПР не может определиться между двумя качественными признаками, наличии промежуточного мнения, рекомендуется использовать промежуточные баллы 2, 4, 6, 8.

Построение матрицы попарных сравнений критериев по цели.

Основными опасными природными процессами на горных территориях являются землетрясения, оползни и наводнения. На равнинных территориях – наводнения, оползни и карст. На городских равнинных территориях – оползневые процессы, карст и подтопление.

Согласно экспертным оценкам, можно считать, что для горных территорий землетрясения являются самыми опасными процессами, опаснее, чем оползни, и значительно опаснее, чем наводнения. А оползни опаснее, чем наводнения.

Тогда можно получить матрицу попарных сравнений критериев для землетрясений (ЗТ), оползней (О) и наводнений (Н) (Таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Матрица попарных сравнений критериев

	ЗТ	О	Н
ЗТ	1	5	7
О	1/5	1	5
Н	1/7	1/5	1

Т.к. сравнения взаимны, то достаточно составить только ее часть, расположенную над главной диагональю. Под главной диагональю записываются числа, обратные к соответствующим числам над диагональю. На диагонали всегда ставятся единицы, так как одинаковые критерии равны между собой.

Далее, согласно методике Саати, проводим нормировку матрицы:

1. Находим сумму элементов каждого столбца. (Таблица 6.5).
2. Делим все элементы матрицы на сумму элементов соответствующего столбца. (Таблица 6.6).
3. Определяем веса строк. Для этого определяем среднее значение в каждой строке последней из полученных матриц (Таблица 6.7).

Полученный в итоге столбец задает веса строк матрицы, – в данном случае – веса критериев с точки зрения поставленной цели.

Этот столбец называют **весовым столбцом критериев по цели** (Таблица 6.7).

Таблица 6.5

	ЗТ	О	Н
ЗТ	1	5	7
О	1/5	1	5
Н	1/7	1/5	1
Σ	1,343	6,2	13

Таблица 6.6

	ЗТ	О	Н
ЗТ	0,745	0,8	0,56
О	0,15	0,16	0,38
Н	0,1	0,03	0,08
Σ	1,343	6,2	13

Таблица 6.7

	ЗТ	О	Н	$\Sigma \text{стр} / 3$
ЗТ	0,745	0,8	0,56	0,7
О	0,15	0,16	0,38	0,23
Н	0,1	0,03	0,08	0,07
Σ	1,343	6,2	13	

Полученный в итоге столбец $\{0,7; 0,23; 0,07\}$ задает веса строк матрицы, – в данном случае – веса критериев с точки зрения поставленной цели.

Тогда вес землетрясений при оценке интегральной опасности 0,7, оползневых процессов 0,23, а наводнений 0,07.

Что отражает наибольший вклад сейсмической опасности в интегральную природную опасность. Таким образом, получен весовой вектор природных опасностей α_j :

$$\alpha_j = \{0,7; 0,23; 0,07\}$$

Составив аналогичную матрицу попарных сравнений критериев по цели для оценки ущерба, считая плотность населения значительно важнее плотности коммуникаций, а плотность коммуникаций важнее плотности застройки, в качестве основного параметра с наибольшим весом можно выделить плотность населения, которая определяет все остальные параметры. Тогда можно получить весовой вектор потенциальных ущербов β_k :

$$\beta_k = \{0,7; 0,23; 0,07\}$$

И затем интегральный риск рассчитывается по формуле (48).

$$R_i = \sum_j \alpha_j P_{ij} \sum_k \beta_k D_{ik} \quad (48)$$

Исторически сложилось так, что именно на горячей полосе Кавказа по степени природной опасности сконцентрирована наибольшая плотность населения (Рисунок 6.6), плотность коммуникаций и застройки, техногенной

нагрузки (Рисунок 6.7) , что в свою очередь определяет горячую полосу Кавказа по экологическому риску, на которой выделяются горячие пятна риска 1-го и 2-го ранга (Рисунок 6.8 (В)).

В Кавказском регионе таким образом можно выделить горячую полосу Кавказа по степени экологического риска, характеризующую зону коллизии Африканской и Евразийской литосферных плит, которая проходит от Махачкалы через Грозный, Владикавказ и Краснодар, расширяясь к Черноморскому побережью Кавказа и Азовскому морю. На территории горячей полосы выделяются горячие пятна 1-го ранга риска, связанные с высокой плотностью населения и особо ценными объектами – Дербент, единственный на Кавказе объект культурного наследия ЮНЕСКО, и горный кластер Сочи с Олимпийскими объектами, а также горячие пятна 2-го ранга риска - крупные города и курорты Северного Кавказа (Рисунок 6.8в).



Рисунок 6.8а – Частота природных чрезвычайных ситуаций [Атлас..., 2010]

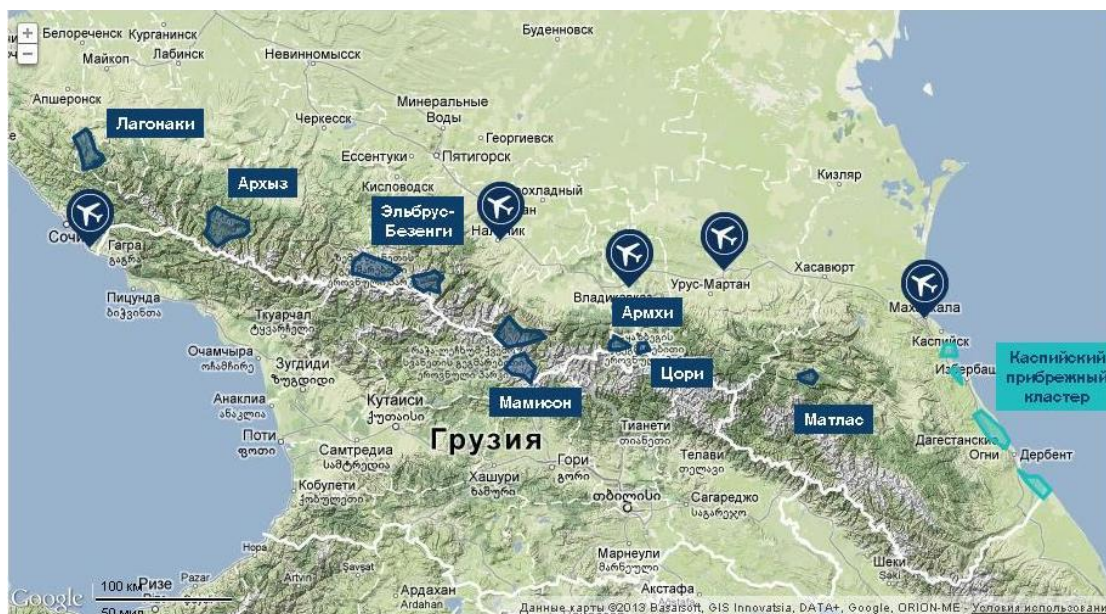


Рисунок 6.8б – Курорты Северного Кавказа.

<https://class-tour.com/goroda-kurorty-severnogo-kavkaza-na-karte-rossii/>

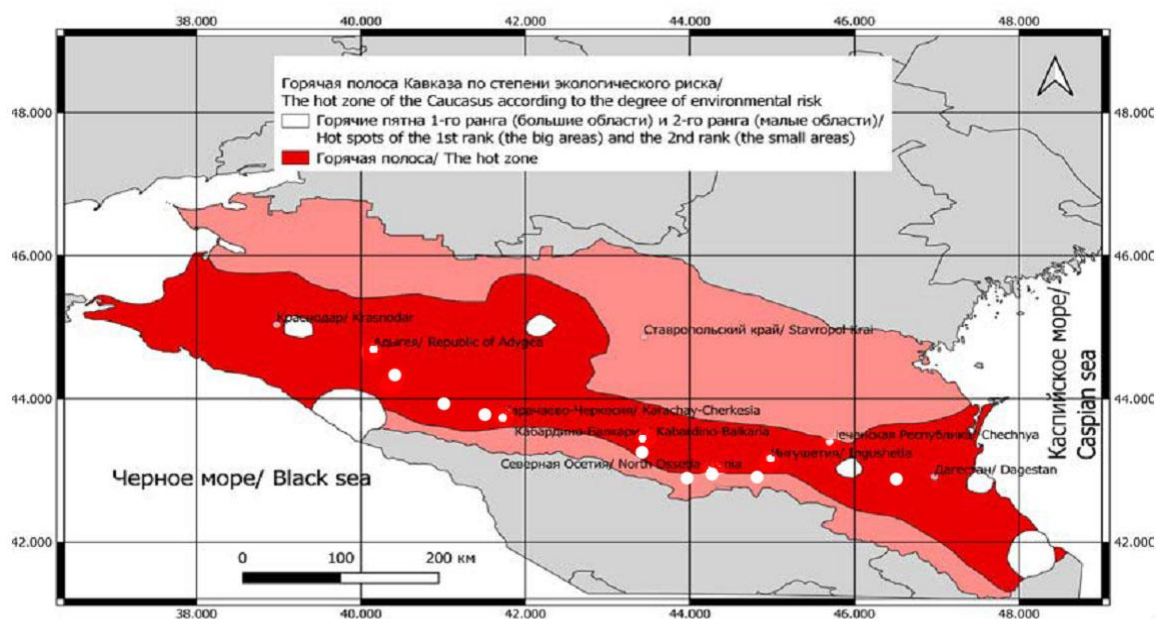


Рисунок 6.8в – Горячая полоса Кавказа по степени геоэкологического риска [Свалова, 2022].

Горячие пятна риска на горячей полосе Кавказа (темная полоса). Большие белые круги – горячие пятна 1-го ранга (класса), малые белые круги – 2-го ранга.

Горячие пятна геоэкологического риска Кавказа требуют повышенного внимания к организации экологического мониторинга, проведения инженерно-защитных мероприятий и информации населения и принимающих решения организаций о возможных стихийных бедствиях и катастрофах.

Таким образом, введено понятие горячей полосы Кавказа и горячих пятен Кавказа различного ранга по риску, а также методика риск-анализа унифицированной оценки и картографирования дифференцированного и интегрального геоэкологического риска. Разработана методика оценки весовых параметров и интегрального геоэкологического риска на основе метода сравнения иерархий Саати.

Методика дает возможность увеличивать детальность оценки риска, делать научно-технические выводы и давать рекомендации для населения и лиц и организаций, принимающих решения и обеспечивающих безопасность жизнедеятельности и устойчивое развитие регионов.

6.3. Оценка оползневого риска урбанизированных территорий

В России воздействию оползней подвержено 725 городов. Среди них такие большие города как Москва, Нижний Новгород, Казань, Ульяновск, Волгоград, Чебоксары, Саратов, Саранск, Пермь, Сочи, Ростов-на-Дону, Томск, Барнаул [Геологический риск..., 2020].

Вероятность оползневого процесса зависит от устойчивости оползневого склона, триггерных механизмов (осадки, землетрясения), техногенных факторов. В идеале сначала требуется физико-механическое изучение оползневого процесса в разных условиях. На основе такого знания возможна вероятностная оценка схождения оползней для разных территорий. Но с точки зрения механики оползневой процесс до сих пор до конца не изучен. Предсказать схождение оползня не всегда возможно. Оценить вероятность такого процесса с большой надежностью также пока проблематично, т.к. даже статистическая частота активизации оползней для определенной территории варьируется очень широко.

Выработка и развитие новых подходов и построение карт во многом определяется опытом авторов и носит отпечаток их индивидуальности. Результат проверяется на практике на базе критического анализа новых подходов и полученных результатов.

На территории города Москвы наибольшее распространение имеют такие опасные геологические процессы как современные геодинамические движения земной коры, оползни, карст, суффозия, подтопление, овражная и речная эрозия. (Рисунки 6.9; 6.10; 6.11; 6.12; 6.13; 6.14, Таблица 6.8).

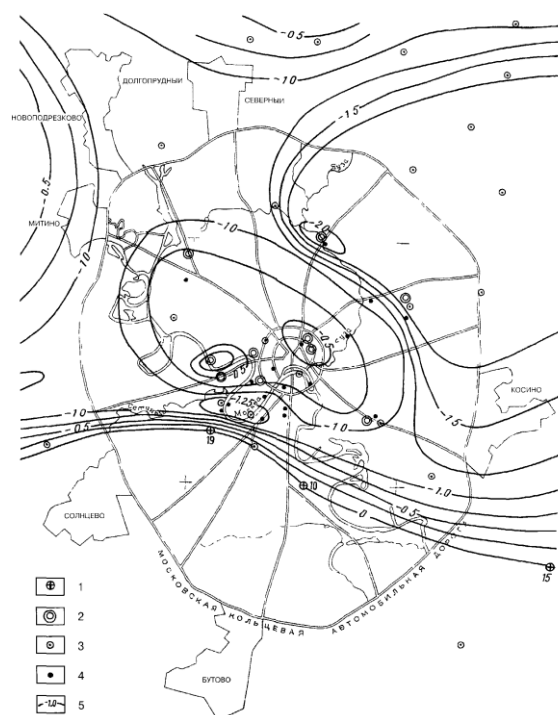


Рисунок 6.10 – Карта скоростей современных тектонических вертикальных движений земной коры Москвы и окрестностей [Москва. Геология и город, 1997].

График оседания (в мм): 1. 0 – 20; 2. 20 – 40; 3. 40 – 60; 4. более 60.

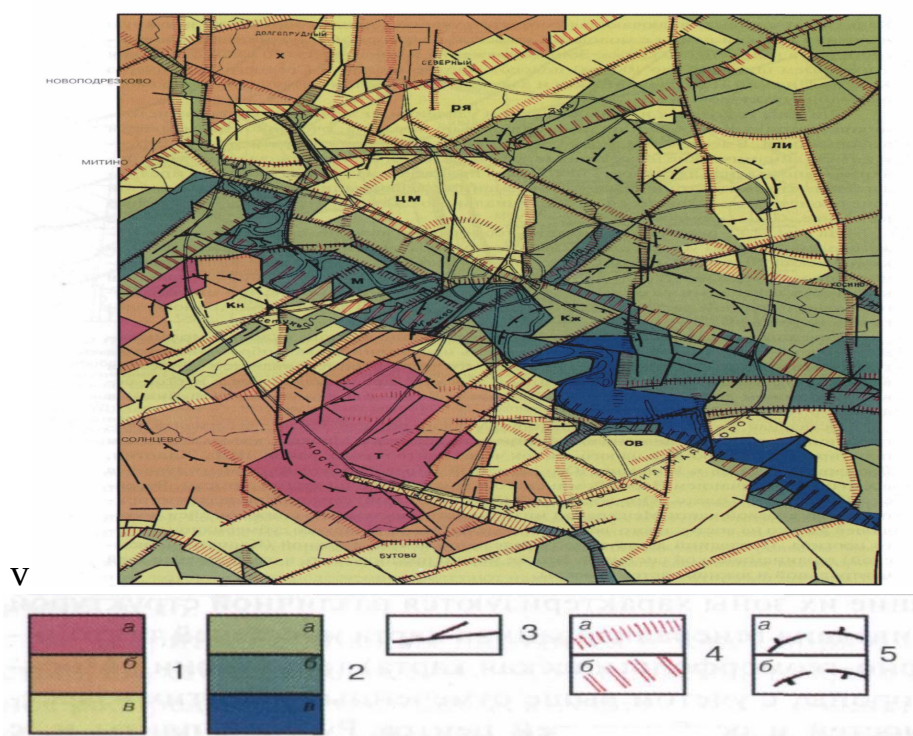


Рисунок 6.11 – Основные формы рельефа, отражающие суммарный результат и направленность новейших тектонических деформаций земной коры: 1- относительные поднятия с обобщенными абсолютными высотами междуречий более 200м (а), 180-200 м (б), 160-180 м (в); 2 – относительные опускания 140-160 м (а), 120-140 м (б), ниже 120 м (в); 3, 4, 5 – структурообразующие линеаменты и геодинамически активные зоны с повышенной деформированностью среды, трещиноватостью и проницаемостью горных пород, определяющие активность экзогенных процессов [Москва. Геология и город., 1997]

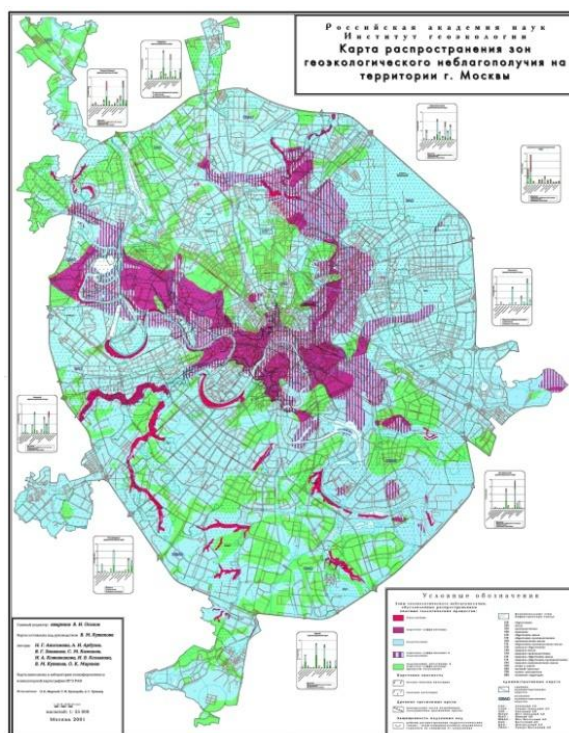


Рисунок 6.12 – Карта распространения зон геозкологического неблагополучия на территории г. Москвы (Осипов, 2001)

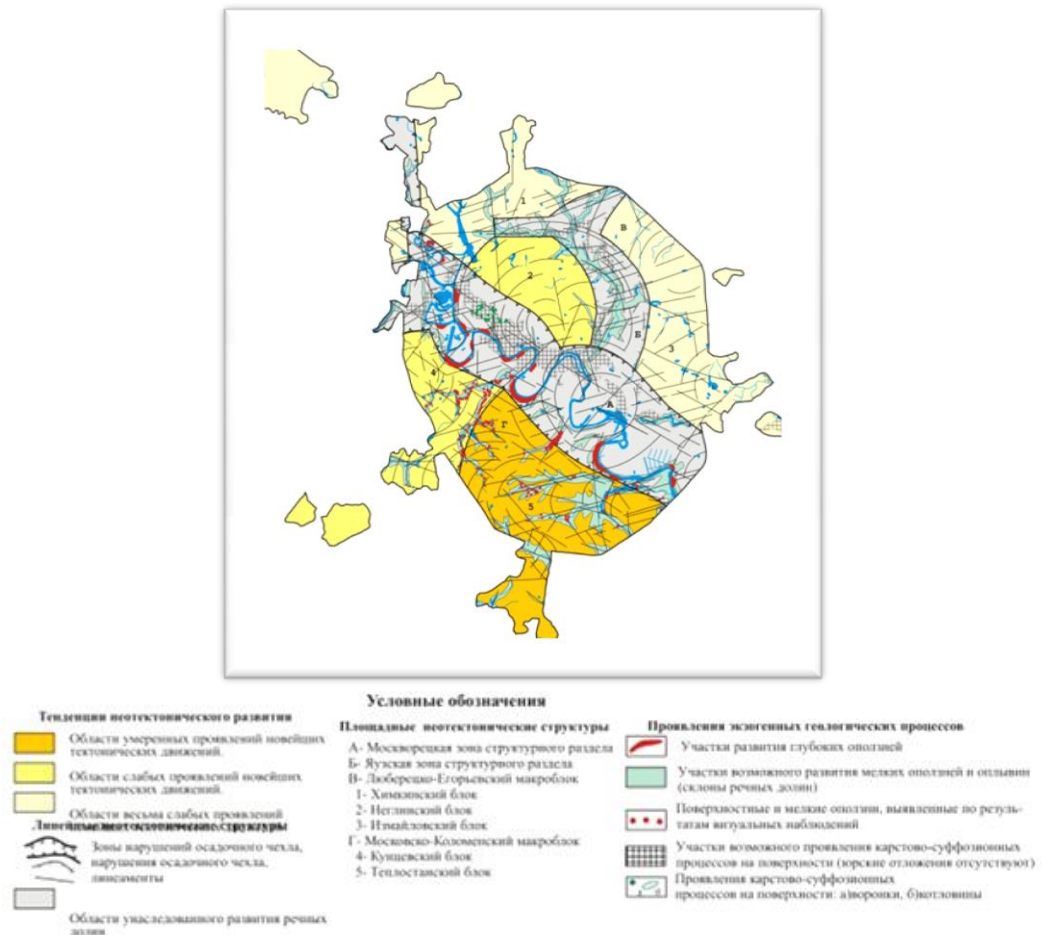


Рисунок 6.13 – Схема неотектонического районирования с участками проявлений ЭГП на территории г. Москвы (ФГУП «Геоцентр-Москва», 2005)

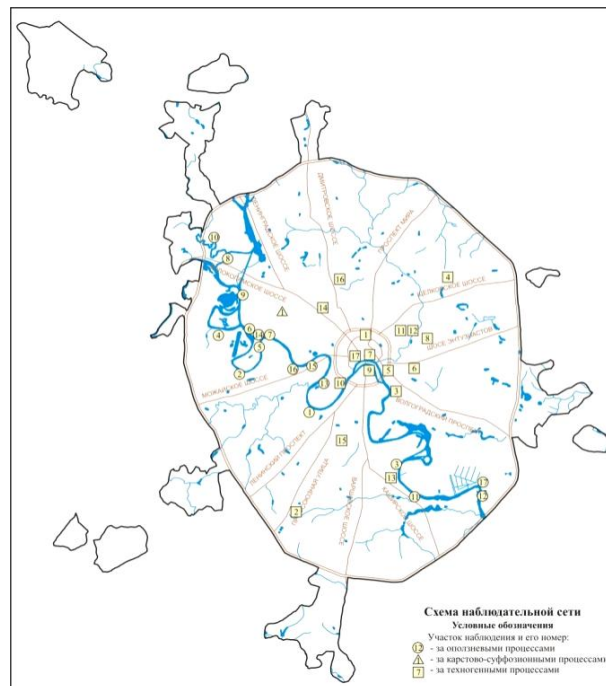


Рисунок 6.14а – Схема расположения наблюдательной сети за ЭГП

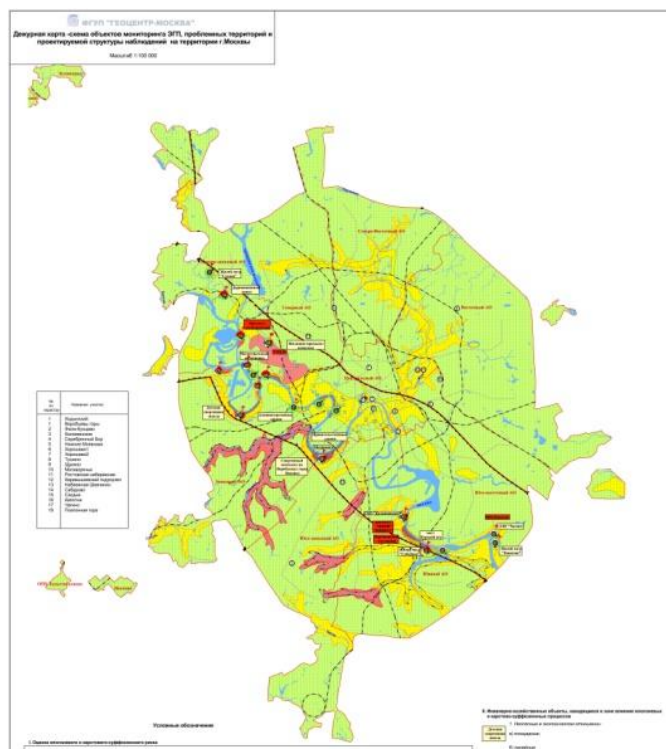


Рисунок 6.146 – Карта-схема объектов мониторинга ЭГП на территории г. Москвы (ФГУП «Геоцентр-Москва», 2005)

Таблица 6.8 – Список стационарных участков наблюдений за оползневыми карстово-суффозионными и техногенными процессами (ФГУП «Геоцентр-Москва», 2005)

№№ п.п.	Наименование участка	№№ п.п.	Наименование участка
	Оползневые участки	9	Щукино
1	Воробьевы горы	10	Сходня
2	Фили-Кунцево	11	Москворечье
3	Коломенское	12	Капотня
4	Серебряный бор	13	Поклонная гора
5	Нижние Мневники	14	Чагино
6	Хорошево 1		
7	Хорошево 2		Карстово-суффозионный участок
8	Тушино	1	Ходынский

В Москве оползневыми являются высокие берега реки Москвы и её притоков – Яузы и Сходни. Оползневые процессы на территории Москвы хорошо изучены [Москва. Геология и город., 1997; Емельянова, 1972; Зеркаль и др., 2022; Казеев, 2010; Козлякова и др., 2018; Кофф, 1990; Кофф и др., 1997, 2006; Кутепов

и др., 2001, 2009, 2011; Кропоткин, 2016; Осипов, Постоев, 2010; Постоев, 2001, 2003; Мамаев и др., 2019; Тихвинский, 1984, 1988; Svalova, 2017, 2019].

Оползни занимают около 3% территории города, где насчитывается 15 глубоких и множество мелких оползней. Составлены карты оползневой опасности территории (Рисунок 6.15). Опасность оползней больше там, где их устойчивость меньше, а также там, где больше объем соскальзывающих масс.

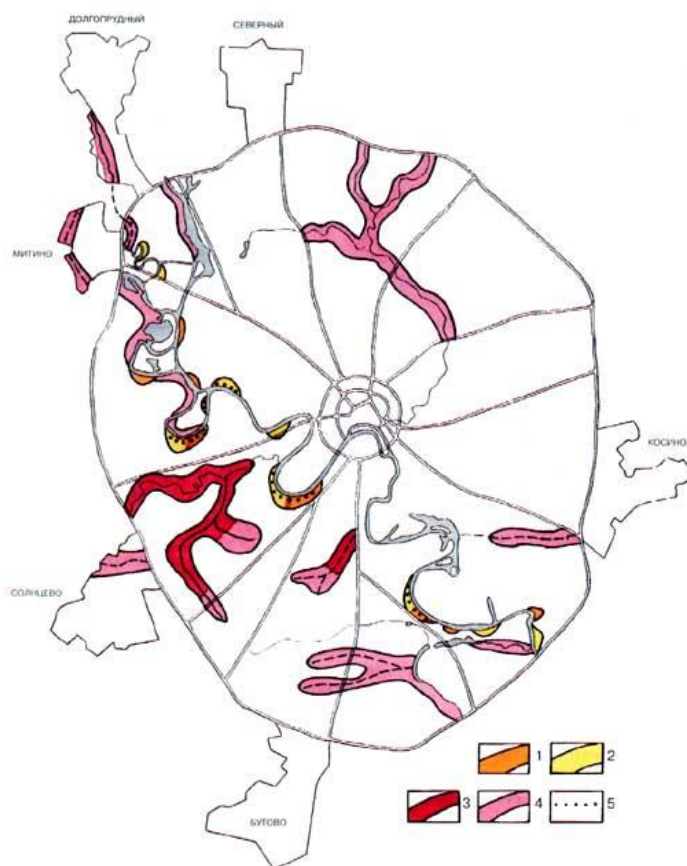


Рисунок 6.15а – Оползневая опасность на территории Москвы. [Москва. Геология и город (Парецкая), 1997]. Участки склонов: 1- с проявлением глубоких оползней, 2 – стабильного состояния глубоких оползней, 3 – сильно пораженные мелкими и поверхностными оползнями, 4 – слабопораженные мелкими и поверхностными оползнями, 5 – противооползневые сооружения.

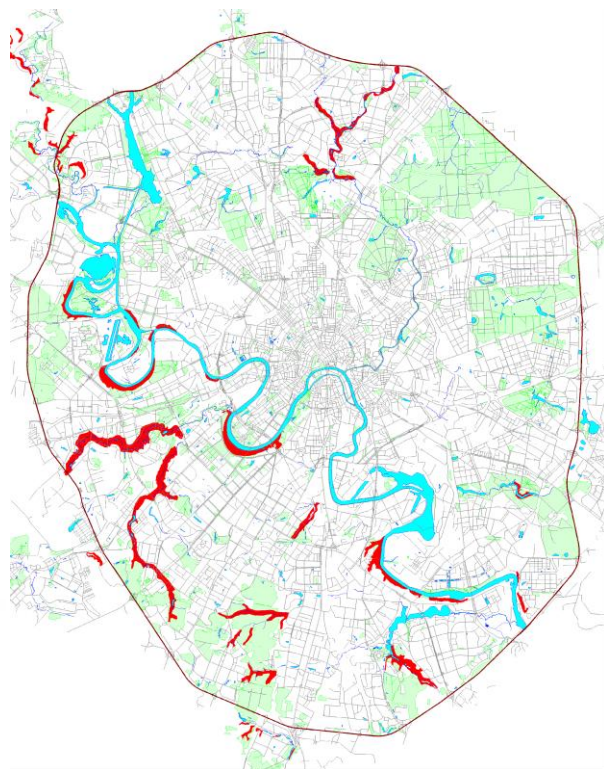


Рисунок 6.15б – Оползневая опасность на территории Москвы. Оползни – красный цвет [Москва. Геология и город, 1997]

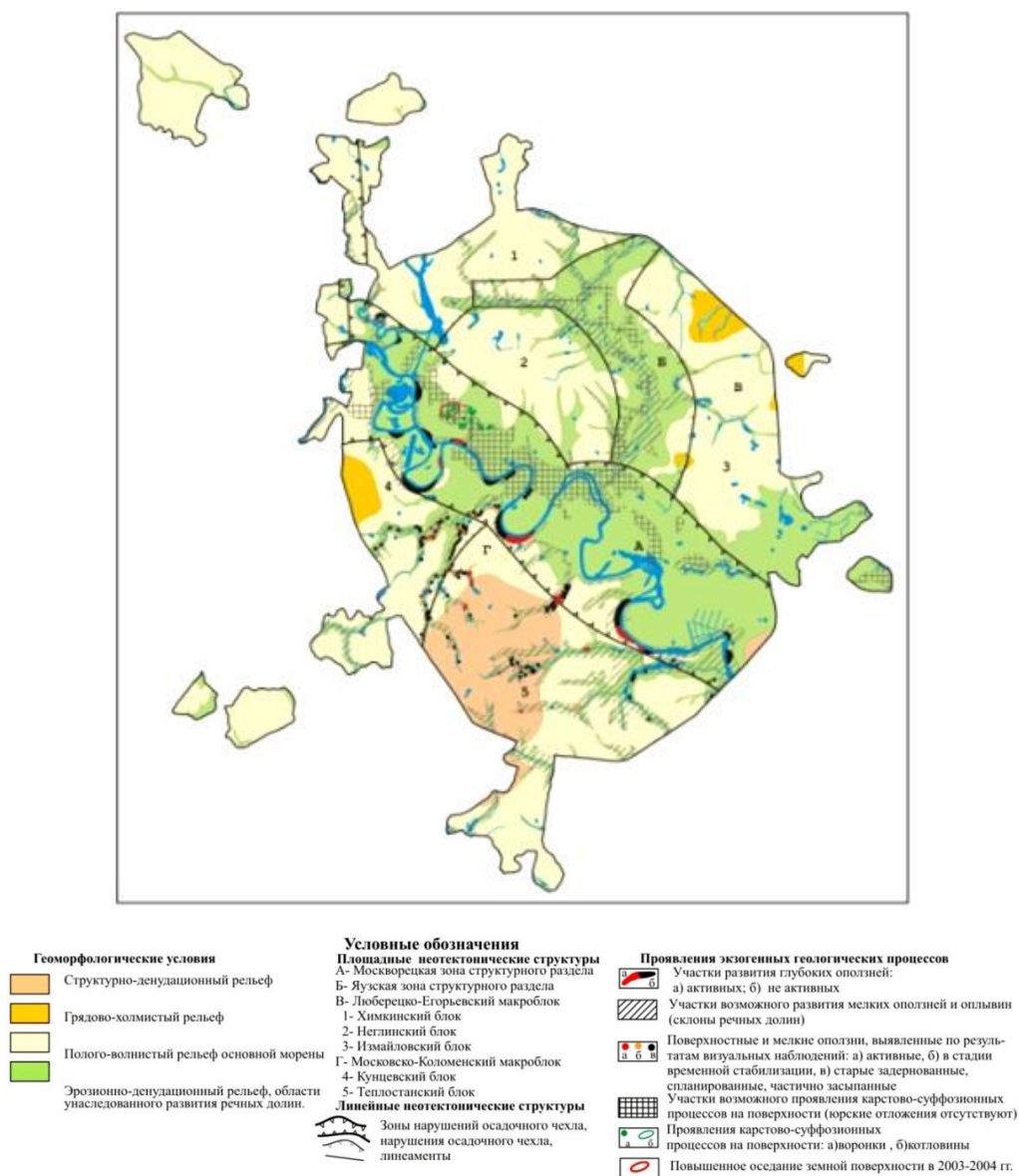


Рисунок 6.15в – Оползневая опасность на территории Москвы.
 Схема распространения и активности оползневых и карстовых процессов. (ФГУП
 «Геоцентр-Москва», 2005)

В советские годы на территории Москвы было выделено 13 участков глубоких оползней, в том числе, и участок Воробьевы горы. В 1970-х годах на склоне Воробьевых гор были проведены первые серьезные противооползневые мероприятия, заключавшиеся в основном в сооружении каменной набережной и создании искусственных террас.

Из известных 15 глубоких оползней на территории Москвы к наиболее опасным оползням можно отнести оползни, расположенные вдоль Москвы-реки

на Воробьевых горах, в Коломенском, на Карамышевской набережной и в Москворечье. Угол склона там меняется от 10 до 40°.

Глубокие оползни в бассейне реки Москвы имеют протяжённость оползневых участков от 0,5 до 3,0–3,5 км, длина по оси движения оползня достигает 350–380 м. Основным деформирующимся горизонтом являются глины оксфордского яруса юрской системы. Оксфордские глины склонны к ползучести и снижению прочности во времени, что и определяет их основную роль в оползневом процессе.

Участок Воробьевы горы – это уникальный природно-исторический парк на территории г. Москвы, здесь также расположены смотровая площадка, храм Живоначальной Троицы, горнолыжный трамплин, канатная дорога.

Склон Воробьевых гор представляет собой крупный оползневой массив. Размеры оползневого участка составляют 4,5 км в длину и 400 м в ширину. Глубина оползня достигает 80 м. Общая масса смещающихся грунтов ориентировочно составляет 60 млн. тонн. Таким образом, расположенные в зоне влияния оползня сооружения находятся в зоне риска.

В 2008 году на наиболее ответственных участках склона Воробьевых гор создана первая инструментальная наблюдательная сеть. Несмотря на то, что за десять лет эксплуатации часть наблюдательной сети в результате активизации оползневых процессов была утрачена, были получены уникальные данные о состоянии склона, которые позволили сделать однозначный вывод о необходимости выполнения широкомасштабных противооползневых мероприятий по укреплению склона. С 2018 года наблюдения за оползневыми процессами в Москве осуществляет Геологическая служба ГПБУ «Мосэкомониторинг»

В 2019 году в целях определения необходимого объема противооползневых мероприятий, а также создания системы оперативного контроля и предупреждения аварийных ситуаций, связанных с оползневыми процессами, спроектирована сеть высокоточного мониторинга оползневого процесса на

участке «Воробьевы горы» с применением новейших технологий, учетом отечественного и мирового опыта наблюдений за оползнями.

Создаваемая сеть будет состоять из 331 наблюдательного пункта (наблюдательные скважины, геодезические реперы, датчики и т.д.) и позволит в автоматическом режиме регистрировать смещения грунтов на поверхности склона и глубинах до 80 м, учитывать изменения уровня подземных вод и напряжения в грунтах.

Современные технологии сбора и передачи данных, использование математического моделирования позволят повысить точность и частоту передачи исходных данных, получать обобщающий вывод о текущей и прогнозируемой устойчивости склона в режиме реального времени, но, самое главное, получить необходимый объем данных для проектирования противооползневых мероприятий. По мере получения данных информация будет направляться в проектные организации для планирования и реализации мер инженерной защиты склона.

В настоящее время на территории Москвы осуществляется мониторинг оползневых процессов более чем на 180 участках (Рисунок 6.16).

2021

Название участка мониторинга:
Воробьевы горы-1

Административный округ:
Западный административный округ

Расположение участка мониторинга:
Правый берег реки Москвы от устья
реки Сетунь до Лужнецкого
метромоста

Геоданные:

Тип: Point

Координаты: 37.555289, 55.708994

global id:

171662899



а)

2021

Название участка мониторинга:
Коломенское

Административный округ:
Южный административный округ

Расположение участка мониторинга:
Правый берег реки Москвы в
пределах МГОМЗ «Коломенское»

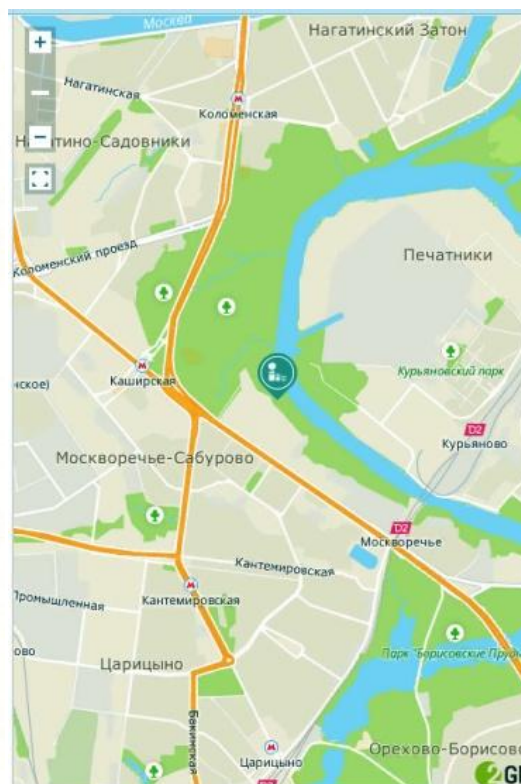
Геоданные:

Тип: Point

Координаты: 37.670154, 55.651899

global id:

17662907



б)

2021

Название участка мониторинга:
Воронинские пруды

Административный округ:
Юго-Западный административный округ

Расположение участка мониторинга:
Долина Воронинского оврага на
территории ландшафтного заказника
«Теплый Стан», в районе
ул. Академика Бакулева от д. 2
до д. 18

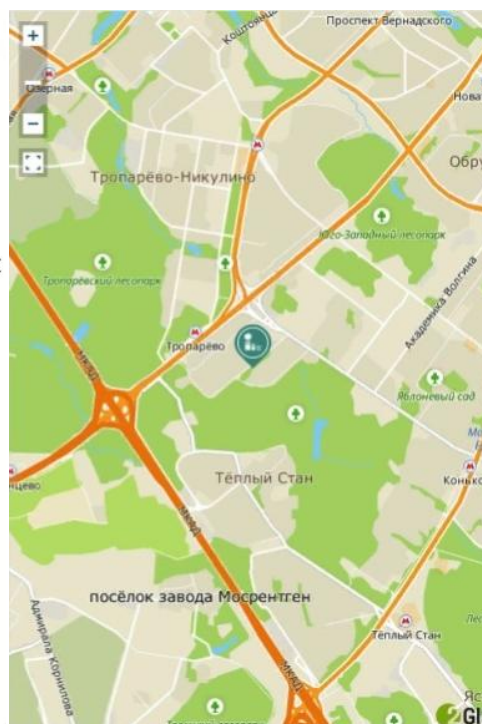
Геоданные:

Тип: Point

Координаты: 37.4827, 55.6426

global id:

911580320



в)

Рисунок 6.16 Расположение пунктов мониторинга на участках Воробьевы горы, Коломенское, Воронинские пруды. (Портал открытых данных г. Москвы.) <https://data.mos.ru/opendata/2455>

На участке Воронинские пруды (Рисунок 6.16 (в)) и прилегающих участках автор проводит натурные наблюдения в течение более 40 лет, проживая по адресу ул. Академика Бакулева.

6.3.2. Активизация оползневых процессов в Москве

За последние годы в Москве наблюдается значительная активизация оползневых процессов. Активизация наблюдается на многих участках. В частности, на Воробьевых горах [Barykina et al., 2019]. (Рисунок 6.17; 6.18).



Рисунок 6.17а – Участки активизация оползневых процессов около трамплина на Воробьевых горах. 2007 г. (Фото ФГУП «Геоцентр-Москва»)



Рисунок 6.17 б – Участки активизация оползневых процессов около трамплина на Воробьевых горах. 2007 г. (Фото Сваловой В.Б.)

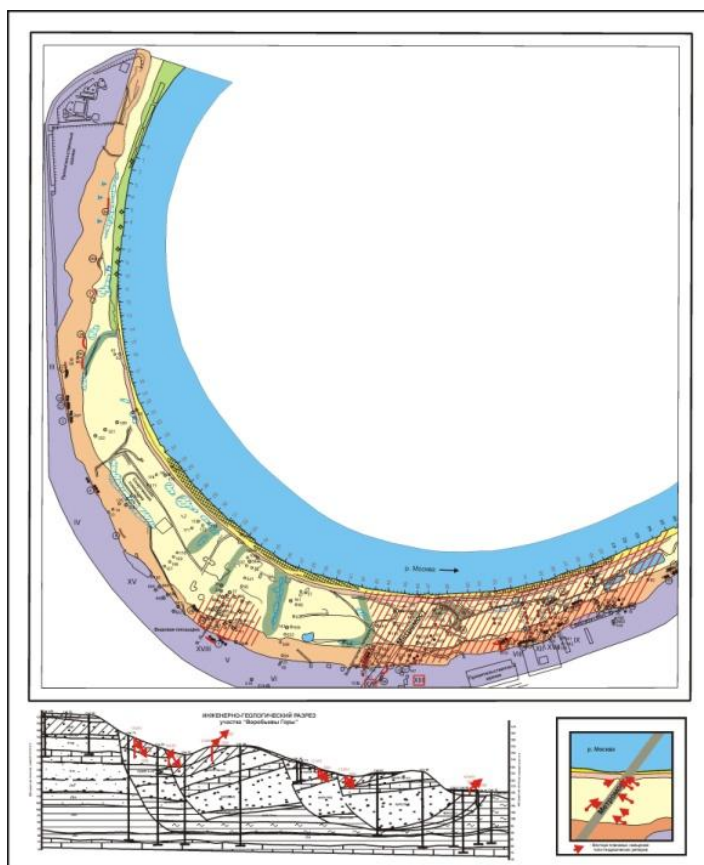


Рисунок 6.18а – Оползневая карта участка «Воробьевы горы» (ФГУП «Геоцентр-Москва»)

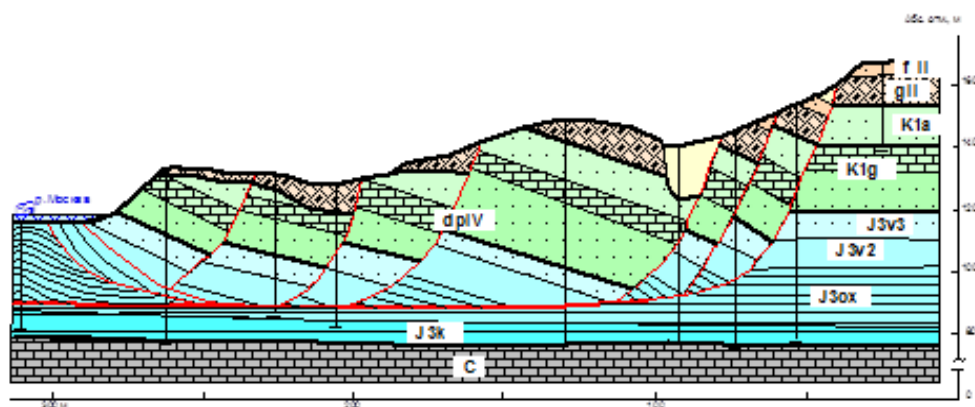


Рисунок 6.18б – Схематический разрез оползневого склона на Воробьевых горах (ФГУП «Геоцентр-Москва»)

На участке Коломенское значительная активизация оползневого процесса имела место в районе коллектора, у завода полиметаллов, где наблюдениями ИГЭ РАН и ИФЗ РАН установлено положение в массиве глубокой поверхности скольжения, перемещения по которой вызвали разрыв и выход из строя Чертановского канализационного коллектора. Оползневой склон в Коломенском

находится в активном состоянии. Серьезная активизация оползневого процесса имела место в 2002 г (Рисунок 6.19-6.24).



Рисунок 6.19а – Музей-заповедник Коломенское. Общий вид. Оползневой склон (фото Сваловой В.Б.)



Рисунок 6.19б – Музей-заповедник Коломенское. Общий вид. Оползневой склон и набережная (фото Сваловой В.Б.)



Рисунок 6.20а – Музей-заповедник Коломенское. Оползневой склон. Церковь Усекновения честной главы Иоанна Предтечи. <https://pastvu.com/p/>



Рисунок 6.20б – Музей-заповедник Коломенское. Оползневой склон. <https://pastvu.com/p/> Церковь Усекновения честной главы Иоанна Предтечи во время реконструкции. (Фото Сваловой В.Б.)



Рисунок 6.21 Музей-заповедник Коломенское. Оползневой склон.
(Фото Сваловой В.Б.)

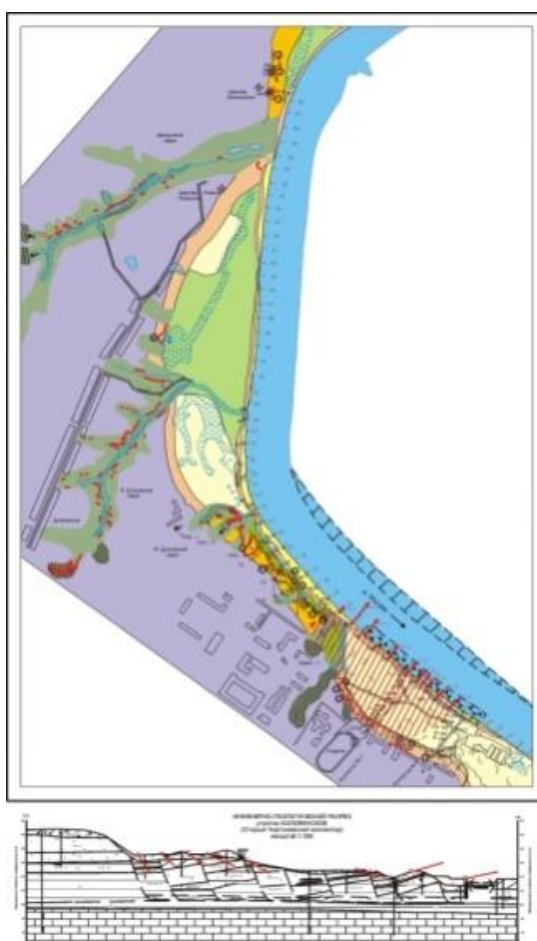


Рисунок 6.22а – Участок Коломенское (ФГУП «Геоцентр-Москва»)

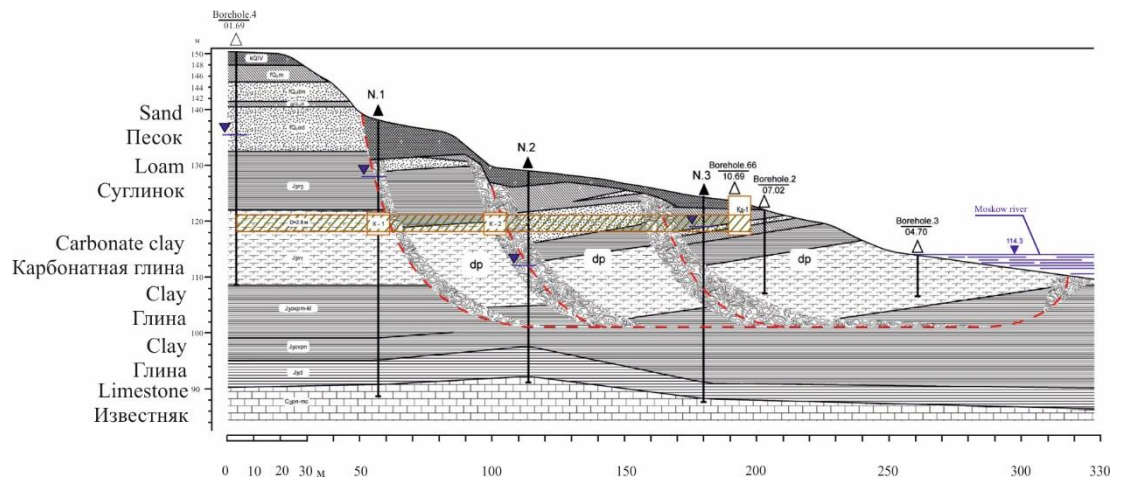


Рисунок 6.22б – Схематический разрез оползневого склона в Коломенском. Схема мониторинга (первичный материал) (Постоев, 2012)

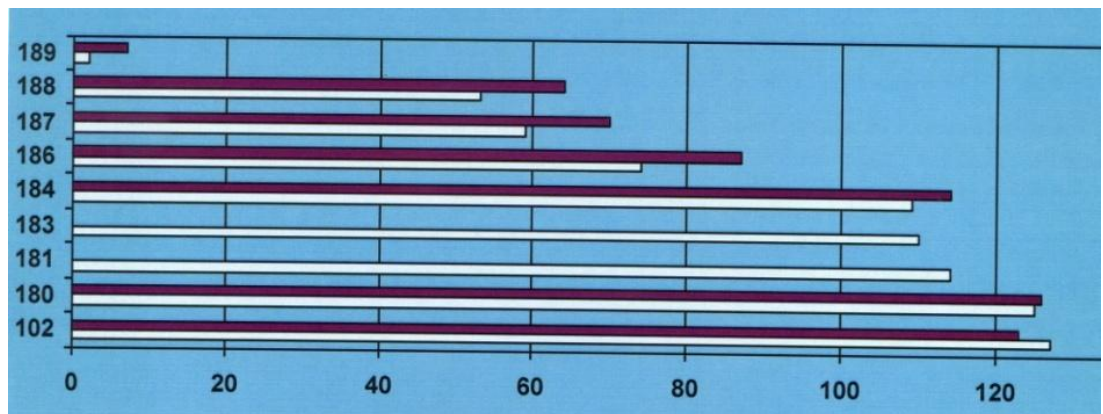


Рисунок 6.23 – Горизонтальные смещения (в мм) вдоль оползневых движений в 2004 г. (белый цвет), 2005 г. (черный цвет) по реперам (№№102, 180-189) в Коломенском. (Данные ФГУП «Геоцентр-Москва»)

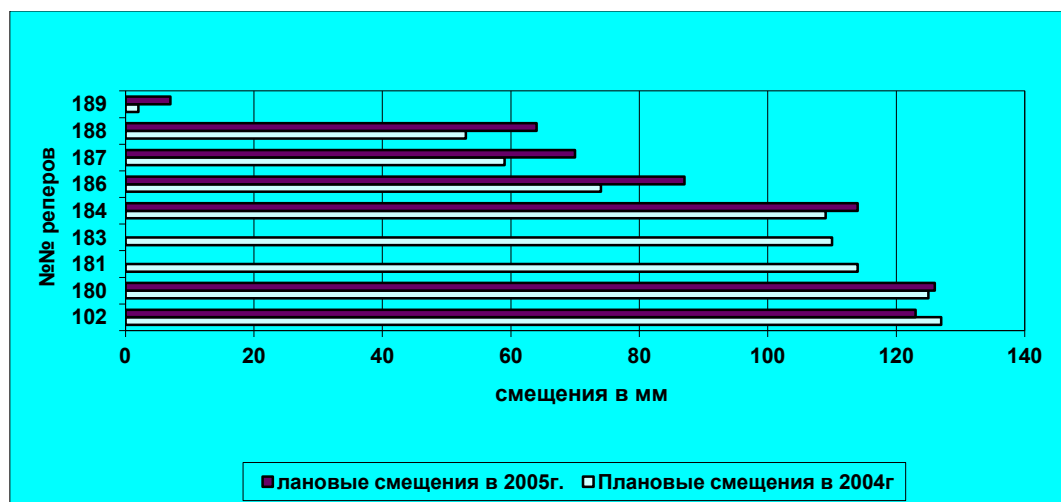


Рисунок 6.24 – Гистограмма распределения плановых смещений реперов, установленных по оси движения оползня в Коломенском в 2004, 2005 гг. (ФГУП «Геоцентр-Москва»)

Катастрофическая активизация глубокого оползня имела место на участке Хорошево на левом берегу Москвы реки в районе Карамышевской набережной в 2006-2007 гг. (Рисунок 6.25, 6.26).



Рисунок 6.25 – Активизация оползневого процесса в Хорошево (Фото Казеева А.И.)



Рисунок 6.26 – Активизация оползневого процесса в районе Москворечье в сентябре 2009 г. (Фото ФГУП «Геоцентр-Москва»)

Выполненные противооползневые мероприятия значительно искажают природную картину. Но оценить потенциальную оползневую опасность можно по крутизне и высоте склона, объему оползневого тела, скорости движения масс, свойству пород, рельефу окружающей местности, дальности возможного продвижения оползневых масс, гидрогеологии участка, триггерным механизмам.

Опытные оползневеды способны дать высокоточную сравнительную оценку оползневой опасности для разных склонов и территорий Москвы. Выделение таксонов разной степени оползневой опасности на территории города является вполне разрешимой задачей, не вызывающей больших противоречий в научной среде. Причем градация возможна как по трем степеням опасности (высокая, средняя, низкая), так и по пяти (очень высокая, высокая, средняя, низкая, не опасная) в зависимости от детальности поставленной задачи.

6.3.3. Анализ потенциального ущерба на территории Москвы

Самые дорогие земли и постройки в Москве находятся в центре города. Там же находятся и наиболее старые исторические постройки, наиболее уязвимые для опасных природных процессов. Там же находятся наиболее дорогие новые наземные и подземные сооружения, линии метрополитена, сложные дорожные и технические коммуникации повышенной плотности. Там же повышенная плотность населения и людей в дневное время. (Рисунок 6.27; 6.28; 6.29). Можно считать, что чем район ближе к центру Москвы, тем больше потенциальный ущерб от возможного оползневого процесса.

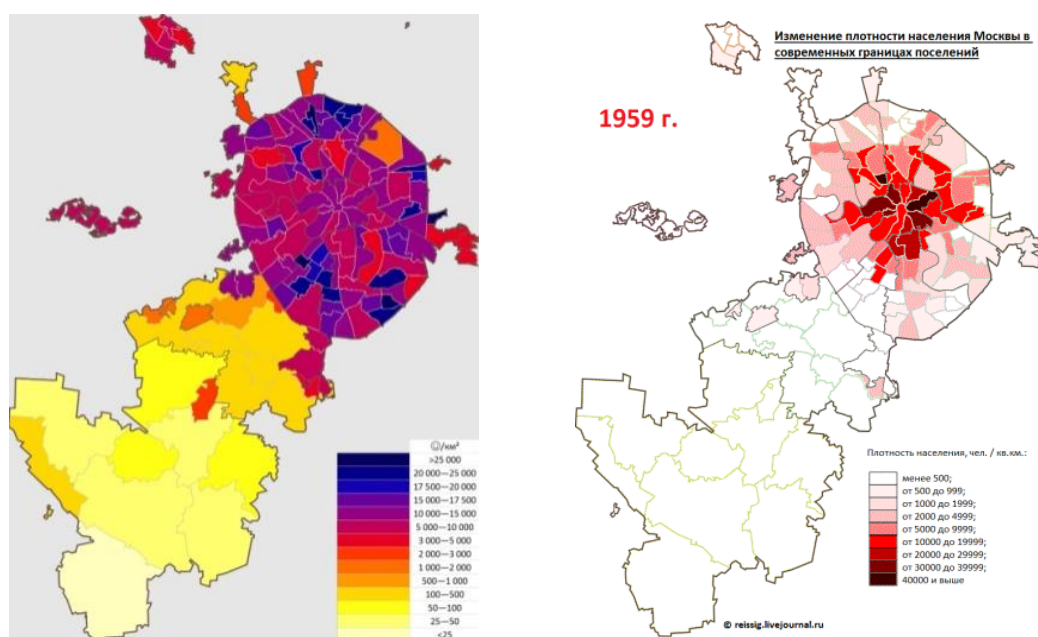


Рисунок 6.27 – Плотность населения в Москве.

https://ppt-online.org/630697_Ej2Anbr8-2pb6Dcr8Qy7UM3IYe8-1920



Рисунок 6.28 – Автодороги в г. Москве. Зоны планируемого развития и размещения объектов транспортной инфраструктуры. Перспективная схема магистралей. Источники: middle_05; перспективная схема магистралей; https://tushinec.ru/article/plany-razvitiya-moskvy-do-2025-goda?_escaped_fragment_=&page=2; https://tushinec.ru/image/10105/middle_05.jpg

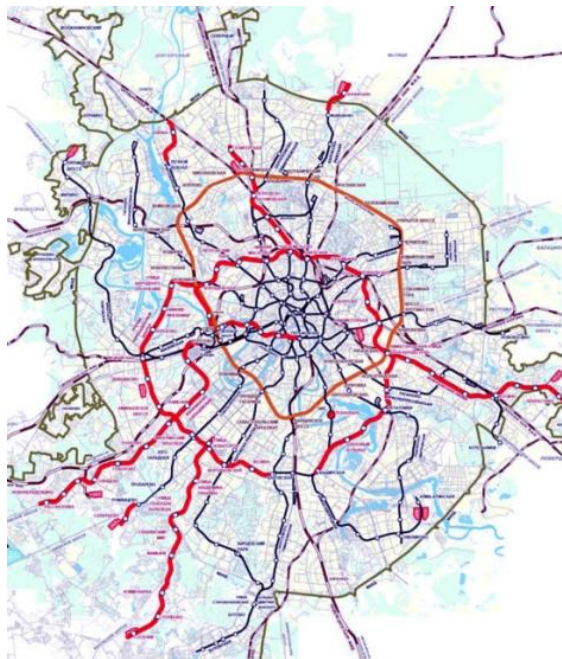


Рисунок 6.29 – Схема метро Москвы. <http://www.rosmetrostroy.ru/>.

КАРТА МОСКВЫ С УКАЗАНИЕМ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ
ПО СРЕДНЕЙ СТОИМОСТИ 1 КВ. М ЖИЛЬЯ (без учета элитных объектов)

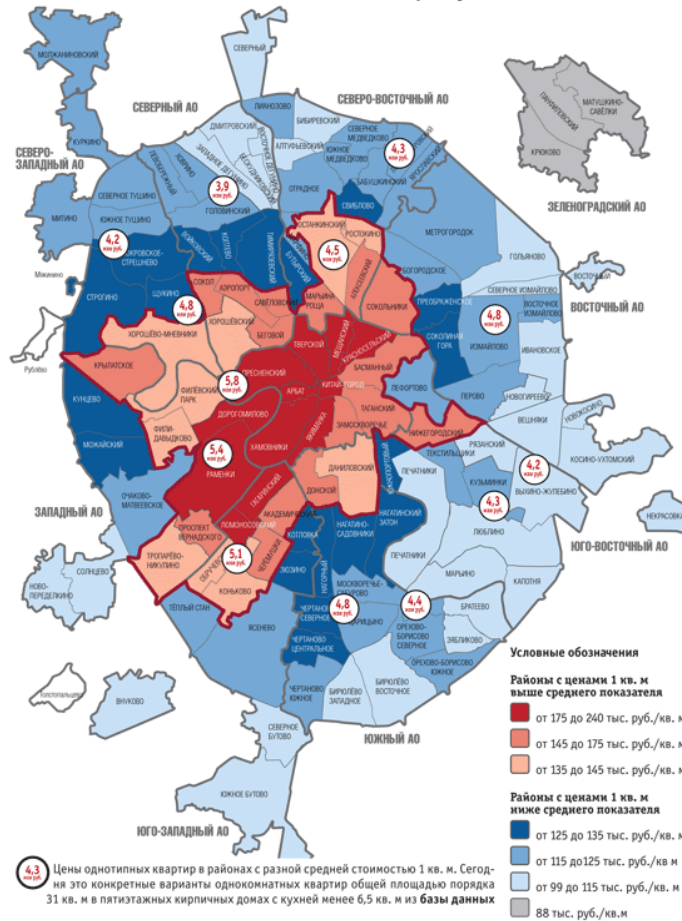


Рисунок 6.30 – Стоимость жилья в Москве.

<https://www.cian.ru/stati-vtorichnyj-rynok-zhilja-moskva-itogi-aprelja-2011-goda-216792/>



Кадастровая стоимость земли в Москве

Рисунок 6.31a – Кадастровая карта Москвы

Публичная кадастровая карта Москвы на 26.05.2022

Подсказка: Кликните на карте на любой участок или дом, чтобы узнать собственника и проверить обременения.

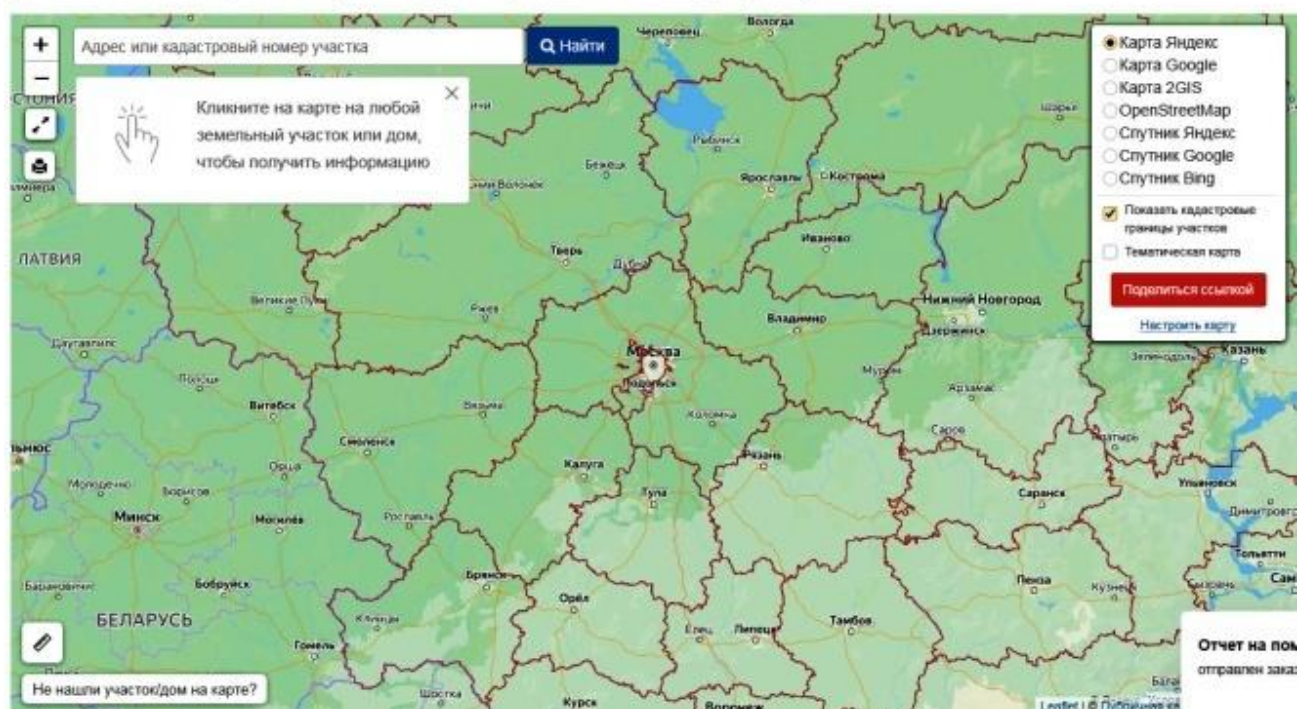


Рисунок 6.31б – Стоимость земли в Москве

Публичная кадастровая карта Москвы на 08.06.2022

Подсказка: Кликните на карте на любой участок или дом, чтобы узнать собственника и проверить обременения.

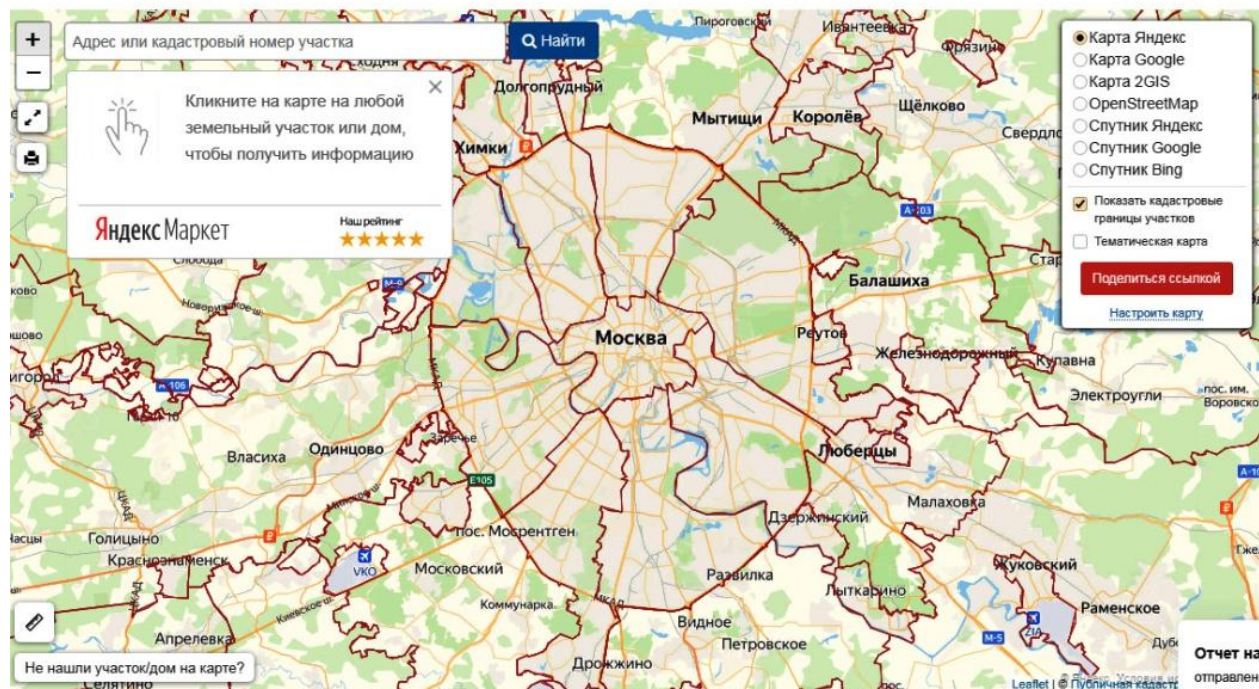


Рисунок 6.31в – Публичная кадастровая карта России 2022 г.

rosreestr-map-2022.ru, Кадастровая-Карта, kadastr.ru magazine/vopros-otvet...stoimost...2022/ rosreestr.gov.ru wps/portal/cc_ib_svedFDGKO

Геоэкологическая напряженность геологической среды в центре Москвы подтверждается также распространением зон геохимического риска, связанных с загрязнением подземных вод, и зон геотермических аномалий вследствие теплового загрязнения геологической среды. (Рисунок 6.32).

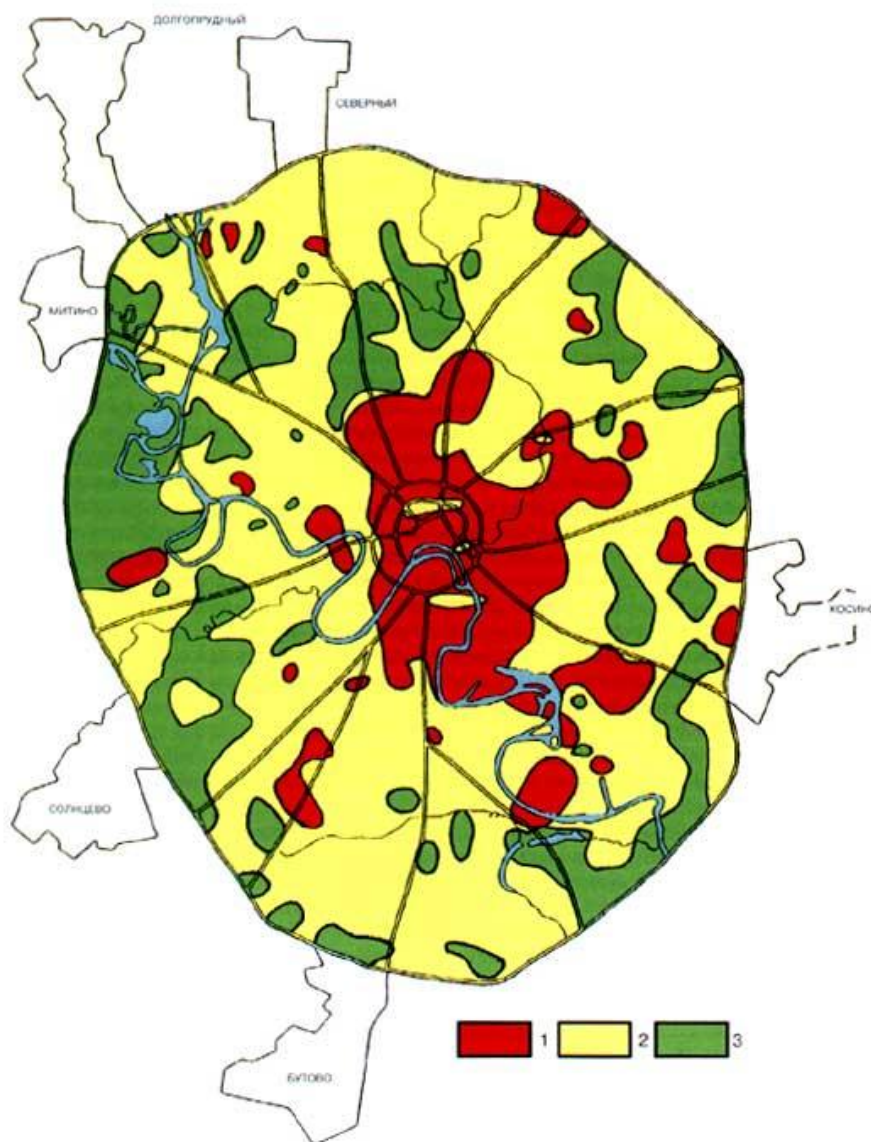
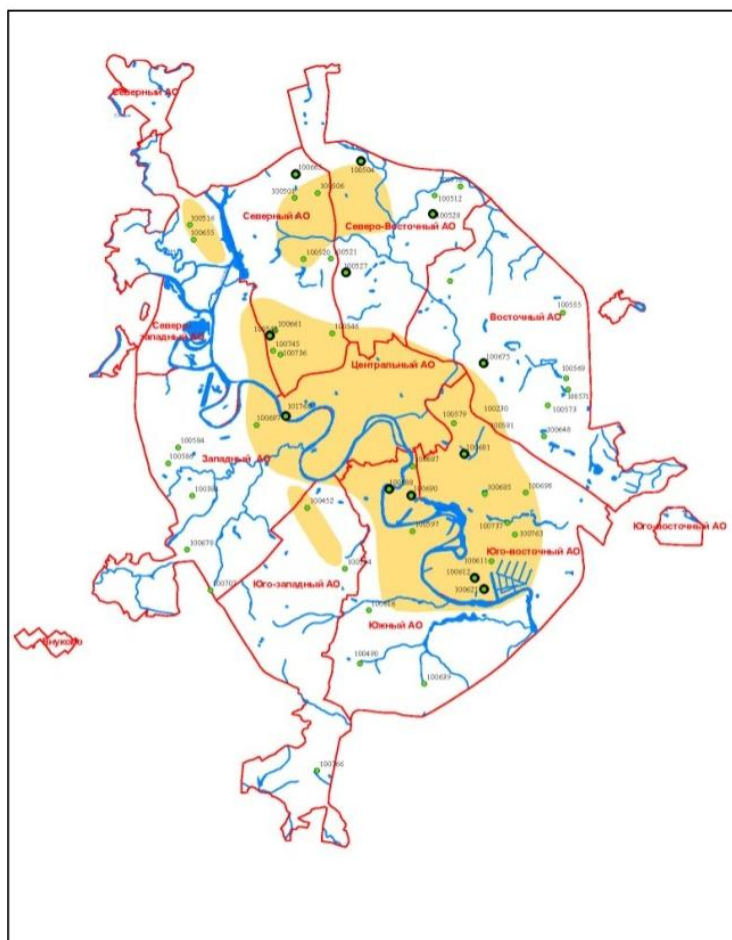


Рисунок 6.32 – Карта геохимического загрязнения территории г. Москвы.
1 – высокий; 2 – средний; 3 – низкий. [Москва. Геология и город, 1997]

Активное инженерное освоение подземного пространства существенно влияет на температурный режим грунтовых вод и привело к образованию обширной термальной аномалии в центральной части города (Рисунок 6.33).



Условные обозначения

- Область распространения грунтовых вод с температурой более 10 С
- Скважины территориальной наблюдательной сети
- Скважины с повышенным радиационным фоном

Рисунок 6.33. – Схема распространения термальной аномалии [Москва. Геология и город, 1997]

Опасные промышленные производства вынесены на периферию Москвы. Но заповедные зоны Москвы на Воробьевых горах и в Коломенском также имеют высокую кадастровую и культурную ценность, и возможный ущерб там оценивается высоко. Так что в первом приближении карта оползневого риска на территории Москвы может представлять собой суперпозицию карты оползневой опасности и карт плотности населения, плотности застройки, цены земли, плотности дорог и инфраструктуры. Далее эти карты можно уточнять и детализировать, выделяя различные таксоны по степени опасности и степени ущерба. Области с самой высокой степенью оползневой опасности и самым высоким потенциальным ущербом и составят области наивысшего оползневого риска на территории Москвы.

Не всегда есть необходимость строить детальную карту риска, более важно выделить наиболее высокие по степени риска области – «горячие пятна» по геоэкологическому риску.

На основании экспертных оценок можно заключить, что это области в окрестности Москвы-реки и Яузы, а также на участках контрастного рельефа вдоль русел палеорек в центре города. Это участок на Воробьевых горах, расположенный рядом с Лужнецким метромостом, Андреевским мостом, Андреевской набережной, где находятся Андреевский монастырь, церковь (Храм Живоначальной Троицы на Воробьевых горах), здание Президиума РАН, лыжный трамплин, фуникулер, канатная дорога, различные новые дома и постройки (Рисунок 6.34 (а-з)).



Рисунок 6.34а – Воробьевы горы



Рисунок 6.34б – Храм Живоначальной Троицы. Вид на трамплин и Воробьевых горах. Фото В.Б. Сваловой. Храм Живоначальной Троицы.



Рисунок 6.34в – Воробьевы горы. Вид на МГУ



Рисунок 6.34г – Воробьевы горы. Метромост, трамплин и метромост. Здание Президиума РАН, Андреевский монастырь. (Фото В.Б. Сваловой)



Рисунок 6.34д – Московская канатная дорога



Рисунок 6.34е – Здание Президиума РАН,
Андреевский монастырь и новые постройки (Фото В.Б. Сваловой)



Рисунок 6.34 ж – Новые постройки на Воробьевых горах (Фото В.Б. Сваловой)



Рисунок 6.34з – Андреевский монастырь на Воробьевых горах (Фото В.Б. Сваловой)

Это участки в районе Кремлевского холма (Рисунки 6.34 (и-н)), Котельнической набережной (Рисунки 6.34 (о,п)), Самотечной площади (Рисунки 6.34 (р,с)), Николоямской набережной (Рисунки 6.34 (т-ф)), Спасо-Андроникова монастыря (Рисунки 6.34 (х-ц)).



Рисунок 6.34и – Кремлевский холм



Рисунок 6.34к – Кремль. Оползневой склон. Кремлевская набережная.
<https://karela.tourister.ru/photoalbum/21068> <https://geography-a.ru/menu-12-18/1081-kreml-moskovskij.html>

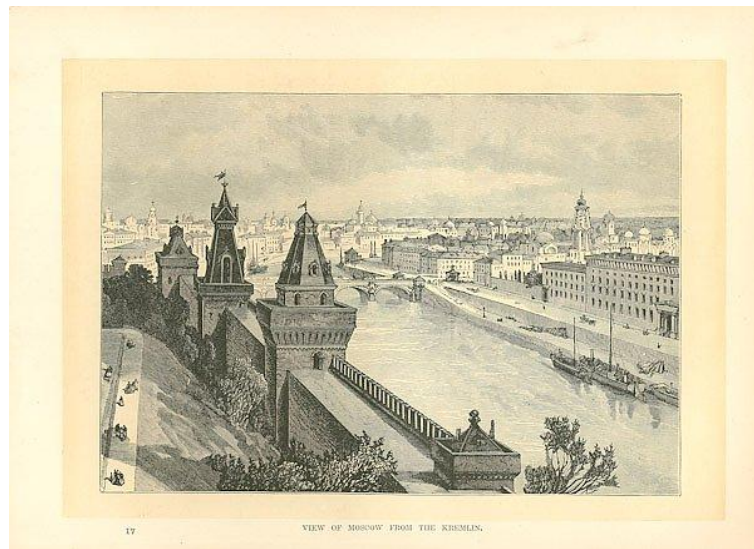


Рисунок 6.34л – Кремль. Оползневой склон



Рисунок 6.34м – Московский Кремль. Старинная гравюра. Яндекс. Карты.
https://www.artwall.ru/products/poster_41174?size=23



Рисунок 6.34н – Плотность застройки в центре Москвы в окрестности Кремлевского холма
<https://zabavniks.com/foto/13957-foto-moskvy-s-vysoty-ptichego-poleta>
<https://zabavniks.com/foto/16074552-foto-moskvy-s-vysoty-ptichego-poleta>



Рисунок 6.34о – Высотное здание на Котельнической набережной



Рисунок 6.34п – Котельническая набережная.

http://1633805762_6-p-dom-na-kotelnicheskoi-naberezhnoi-foto-6

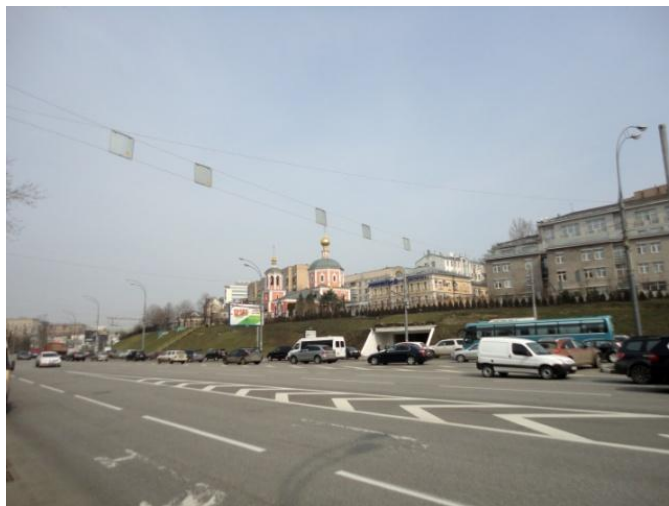


Рисунок 6.34р – Самотечная площадь

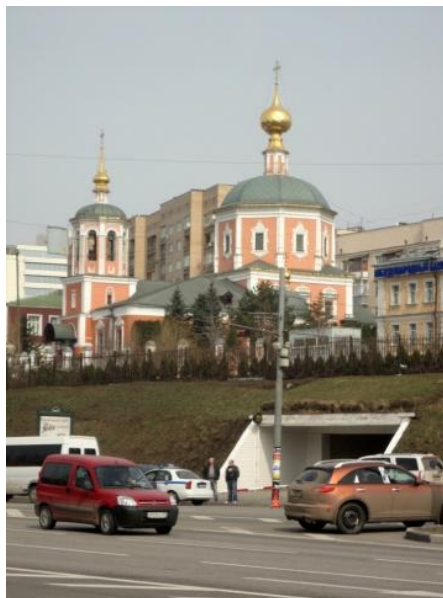


Рисунок 6.34с – Церковь Троицы на Самотечной площади. (Фото В.Б. Сваловой)



Рисунок 6.34т – Николо-Ямская набережная



Рисунок 6.34у – Николо-Ямская набережная. Оползневые массы уничтожили тротуар. Подпорная стенка склона (Фото В.Б. Сваловой)



Рисунок 6.34ф – Николоямская набережная. Вид на церковь Сергия Радонежского.
(Фото В.Б. Сваловой)

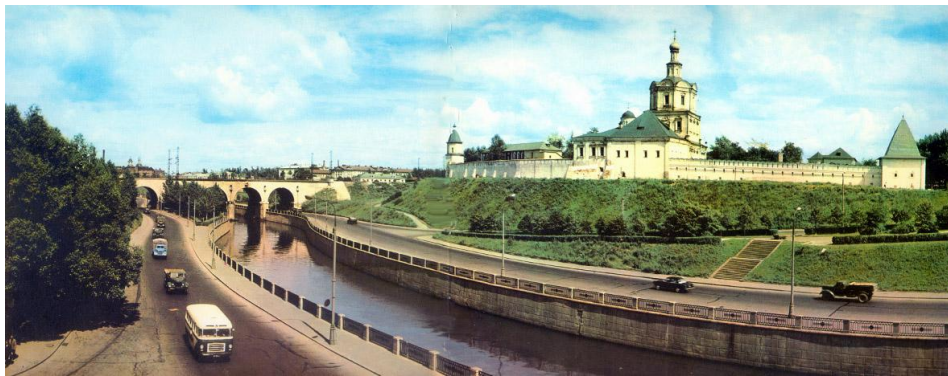


Рисунок 6.34х – Спасо-Андроников монастырь.

https://maple-butter.herokuapp.com/course/oe_/https://zen.yandex.ru/media/altay_bilik/liubimyi-uchenik-sergiia-radonejskogo-5fc1fd0263d574041580426e

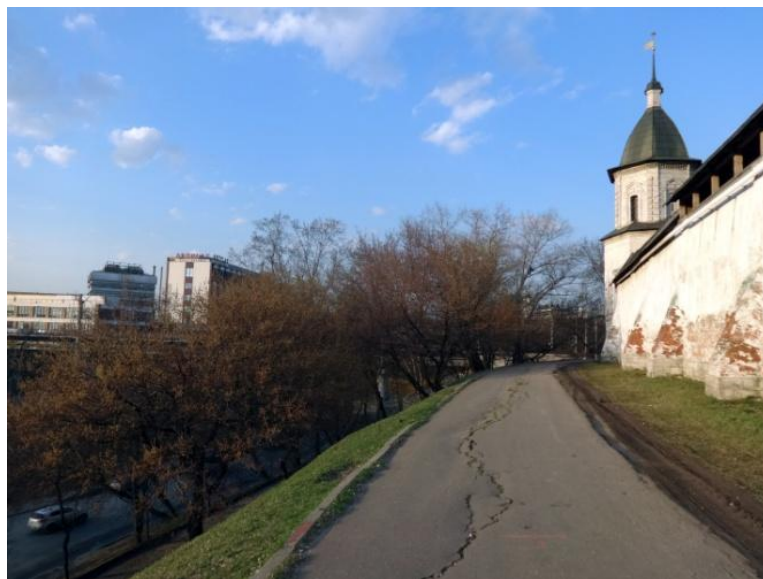


Рисунок 6.34ц – Трещины на склоне у Спасо-Андроникова монастыря (Фото В.Б. Сваловой)

Указанные выше территории могут считаться «горячими пятнами» на карте геоэкологического риска. И, если в некоторых из этих точек плотность населения не так высока, то другие компоненты (стоимость земли, историческая важность объекта, плотность подземных коммуникаций и др.) дают большой вклад в формирование высокого геоэкологического риска. Такой подход построения «горячих пятен» («hotspots») весьма распространен для больших территорий и мелкомасштабных карт, когда учесть ущерб от разрушения каждого отдельного объекта представляется проблематичным. Так, подобный подход осуществлен для оценки оползневой риска Европы, где учитывались карты оползневой опасности, а также карты плотности населения и дорог. Причем строились карты оползневой риска для сейсмоопасных горных территорий и равнинных территорий, подверженных повышенным осадкам и наводнениям. (Рисунки 6.35 а-д) [Jaedicke et al., 2014].

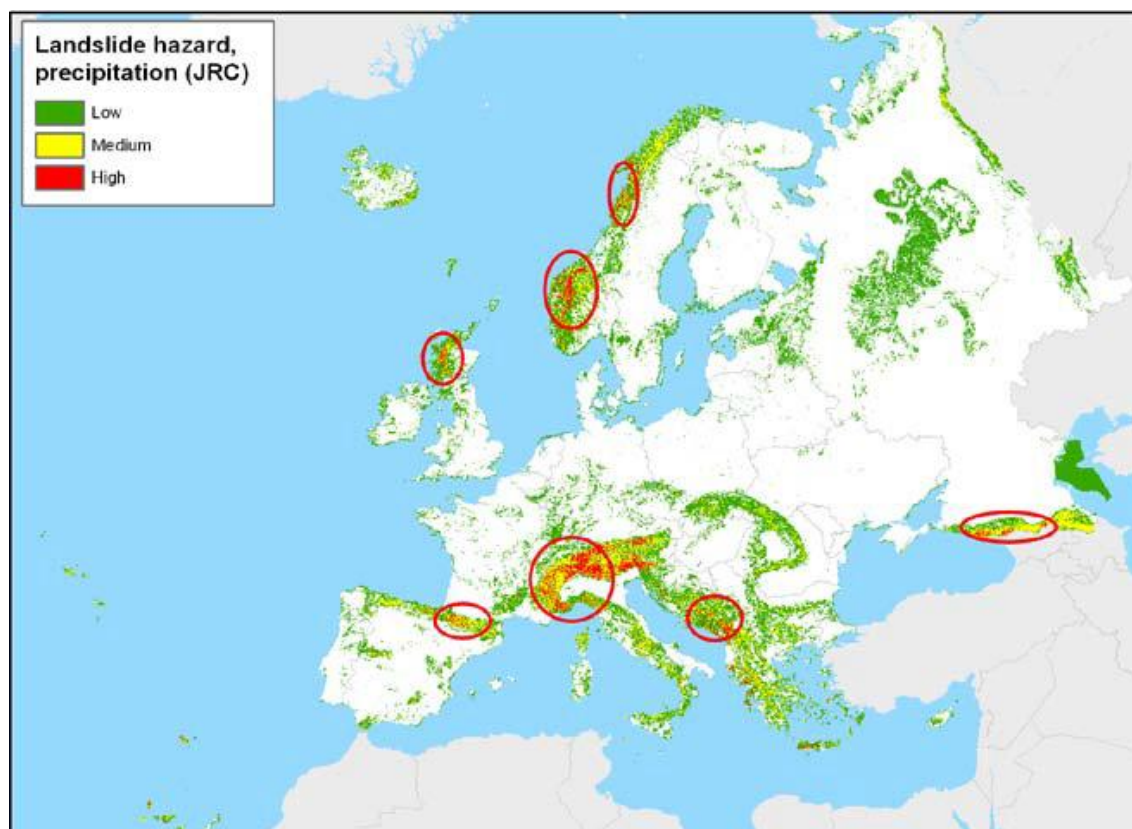


Рисунок 6.35а – Оползневая опасность, вызванная осадками. Красные круги – горячие пятна оползневой опасности по осадкам в Европе [Jaedicke et al., 2014]

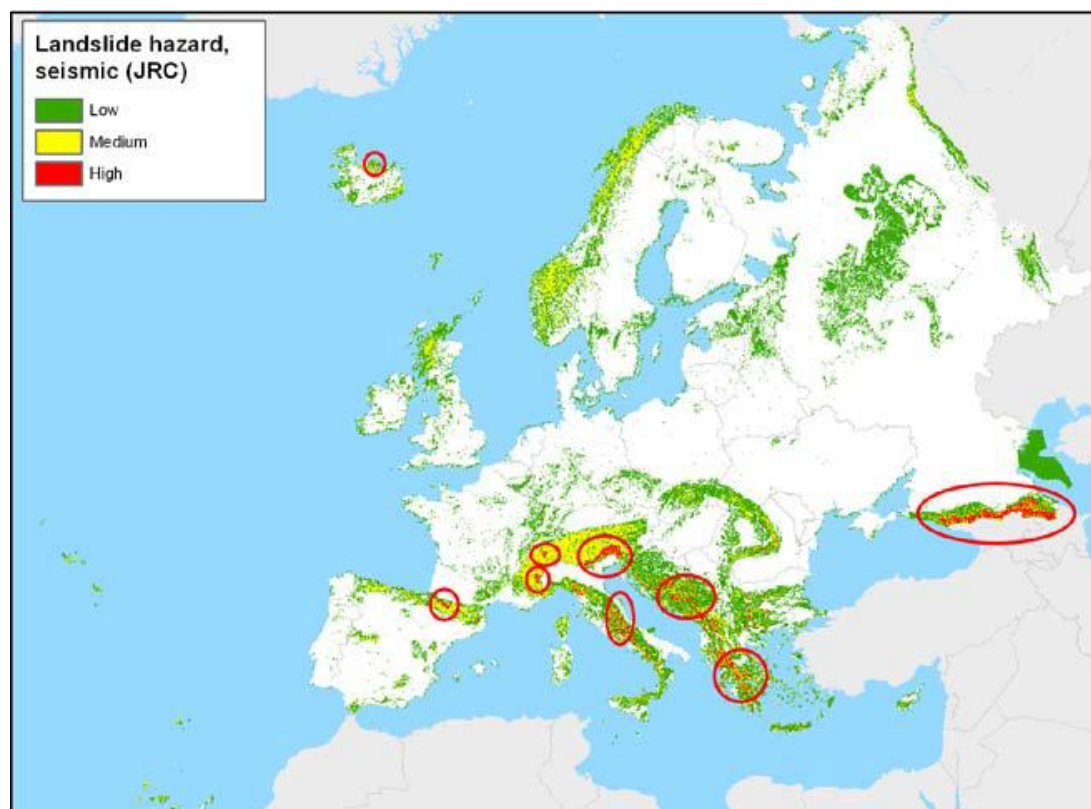


Рисунок 6.35б – Оползневая опасность, вызванная сейсмичностью. Красные круги – горячие пятна оползневой опасности по сейсмичности в Европе [Jaedicke et al., 2014]

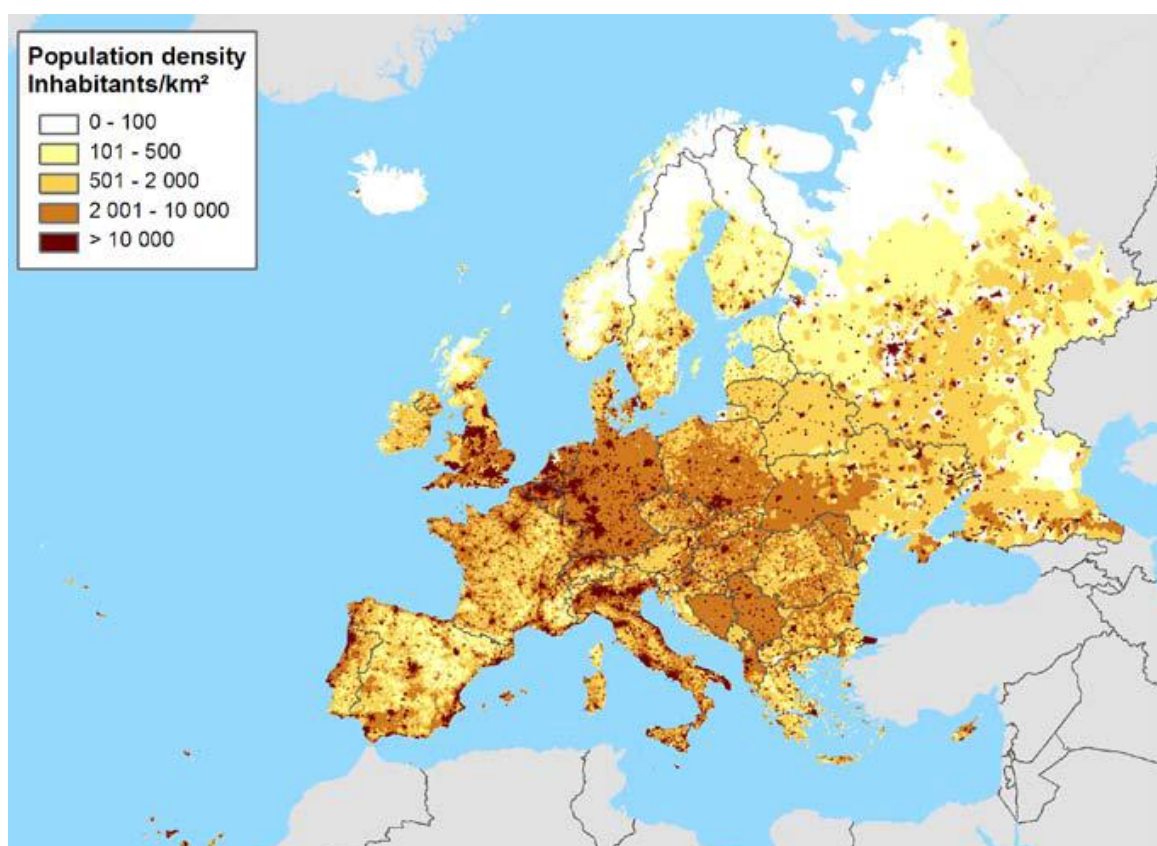


Рисунок 6.35в – Плотность населения в Европе [Jaedicke et al., 2014]

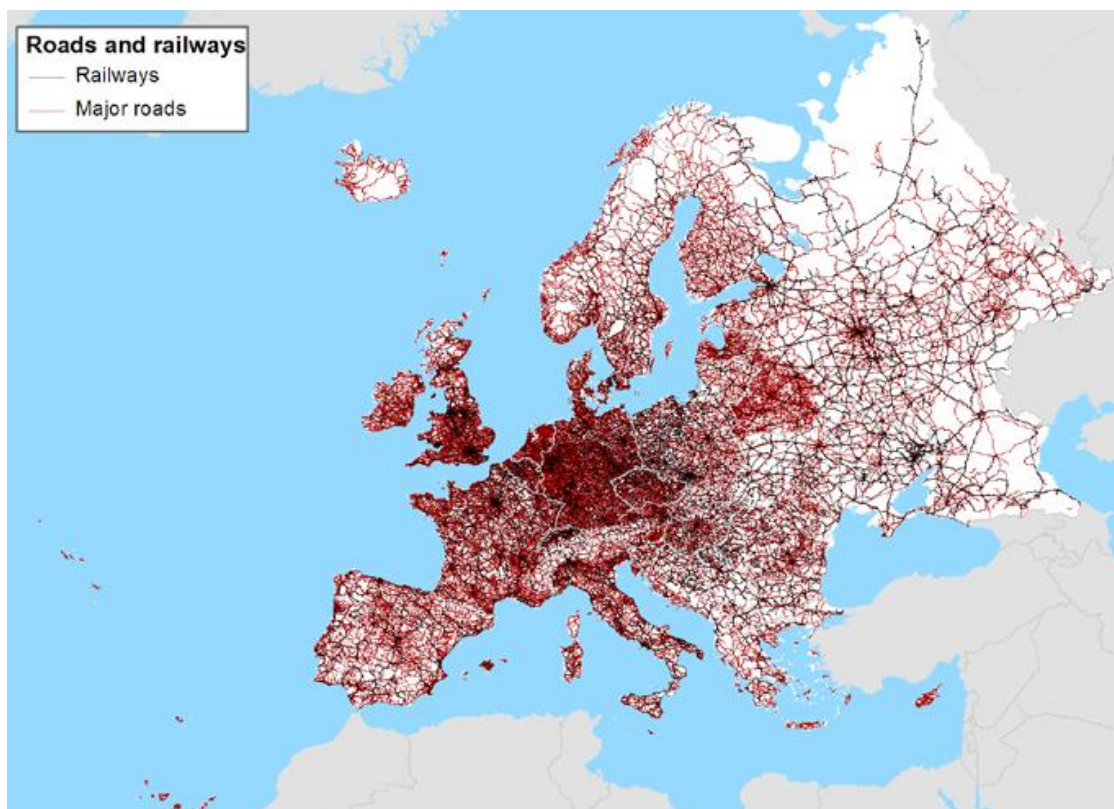


Рисунок 6.35г – Сеть автодорог и железных дорог в Европе [Jaedicke et al., 2014]

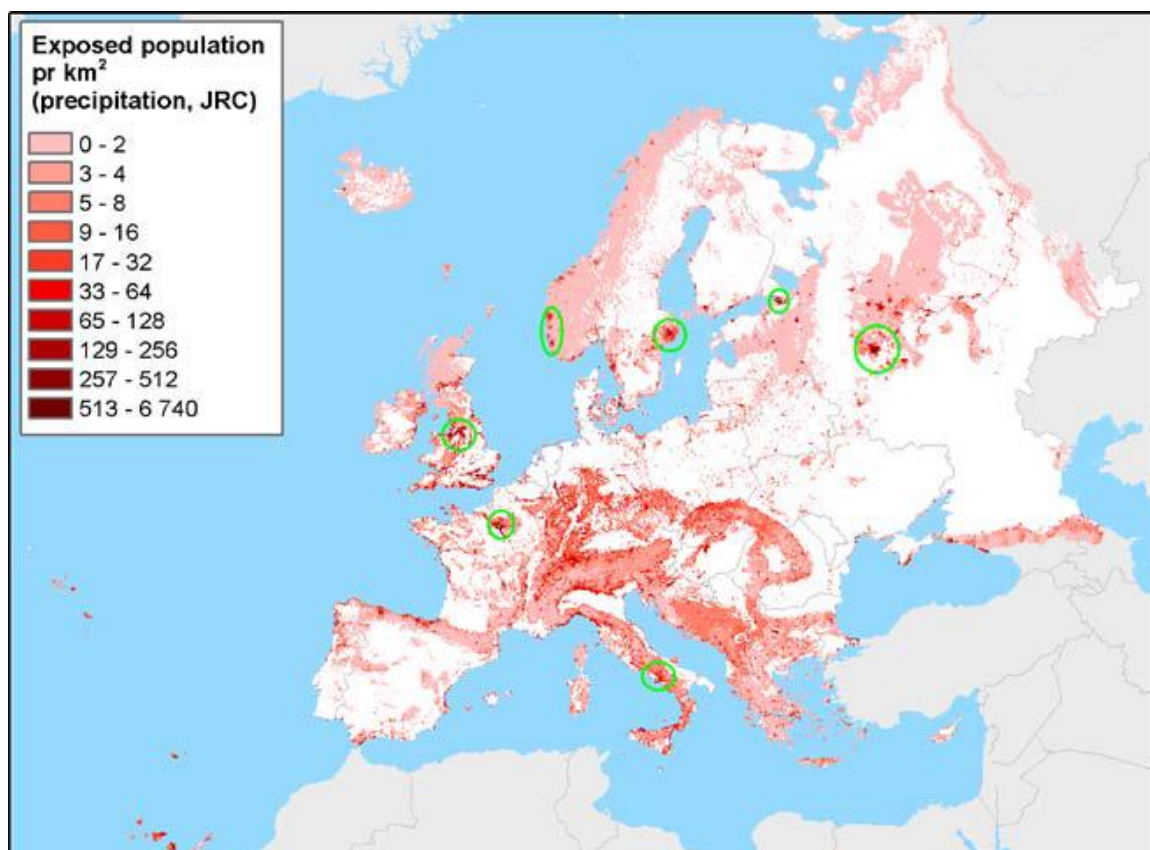


Рисунок 6.35д – Карта оползневоего риска, вызванного осадками, для населения Европы (пострадавшее население на км²). Зеленые круги – горячие пятна по риску [Jaedicke et al., 2014]

6.3.4. Методика построения карты оползневого риска.

Для автоматизированного анализа фактического материала и построения карт риска необходимо найти суперпозицию карты оползневой опасности и интегральной карты (объединения карт) возможного ущерба, т.е. для каждого i – того фрагмента карты риска R_i найти произведение вероятности оползневого события P_i на сумму различных j – тых возможных ущербов от оползней:

$$R_i = P_i \cdot \sum_j D_{ij} \quad (49)$$

Карты оползневой опасности при этом необходимо проградировать от 0 до 1, чтобы отразить вероятность оползневого события. Так, градация, например, возможна по пятибалльной шкале (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1), где 0 соответствует отсутствию оползневой опасности, 0,25 – низкой, 0,5 – средней, 0,75 – высокой и 1 – очень высокой вероятности оползневого процесса. Такая оценка носит экспертный характер. Также возможно формализовать и построение карты оползневой опасности и рассматривать ее как суперпозицию карт фактического материала, например, карт контрастности рельефа, прочности пород, устойчивости склонов, скорости движения поверхности, плотности осадков, сейсмичности и т.д. Понятно, это потребует дополнительных исследований и оценок.

Для комплексной оценки ущерба на каждом участке предлагается проградировать возможный ущерб от каждого параметра по трехбалльной системе (0, 1, 2), где 0 означает отсутствие ущерба, 1 – умеренный, 2 – высокий ущерб. Параметрами здесь могут рассматриваться 1) плотность населения, 2) плотность застройки, 3) плотность дорог и коммуникаций, 4) стоимость земли, 5) стоимость жилья. Чем выше значение параметра (стоимость земли, жилья и т.д.), тем выше ущерб в случае опасного события. Тогда возможный ущерб по 5 параметрам в каждом элементе изменяется от 0 до 10.

Риск в каждом элементе также варьируется от 0 до 10. Это риск в относительных единицах (больше-меньше) по 10-и балльной шкале.

Разбив карту области на квадраты и вычислив риск для каждого квадрата, можно получить карту риска области по 10-и балльной шкале.

При радиально-кольцевой планировке величины параметров потенциального ущерба тем выше, чем ближе к центру города (Публичная кадастровая карта России 2022 г. rosreestr-map-2022.ru, Кадастровая Карта, kadastr.ru magazine/voprosotvet...stoimost...2022/rosreestr.gov.ru wps/p ortal/cc_ib_svedFDGKO).

Оползнеопасные участки расположены преимущественно вдоль русел Москвы реки и Яузы. Тогда участками наибольшего оползневого риска – горячими пятнами 1-го класса – будут области наибольшей оползневой опасности и наибольшего ущерба в случае оползневого события. По предложенной формуле расчета риска эти области могут оцениваться в 7-8 баллов. Это области в районе Кремлевского холма и Воробьевых гор (белые круги на карте Рисунок 6.36). «Горячие пятна» 2-го класса, которые можно оценить в 5-6 баллов, показаны на Рисунок 6.37.

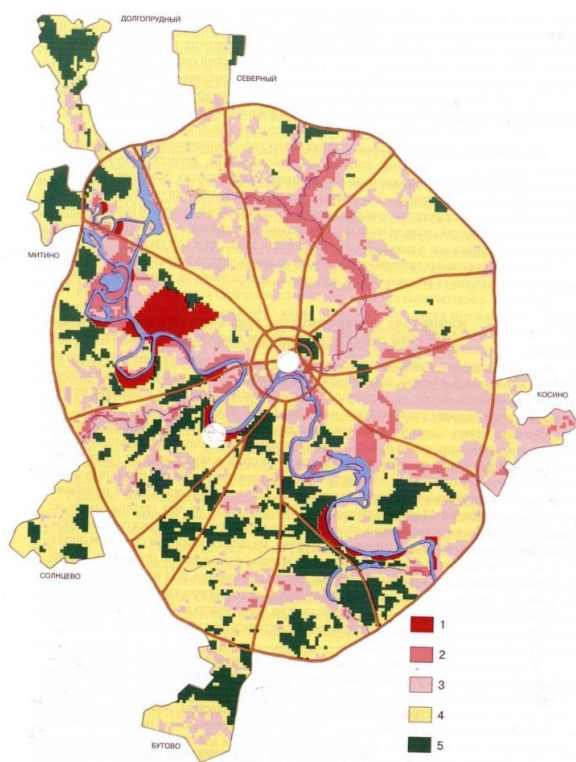


Рисунок 6.36 – Белые круги – «горячие пятна» 1-го класса по степени оползневой опасности.

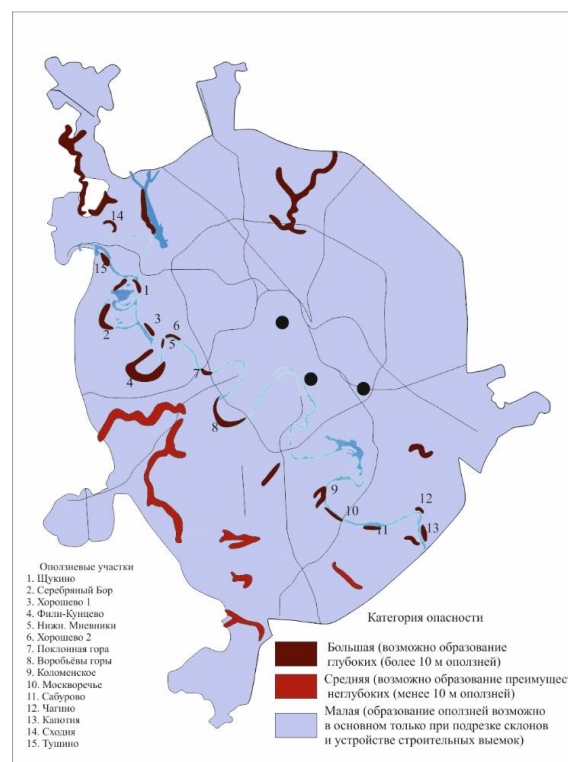


Рисунок 6.37 – Схема оползневой опасности на территории Москвы. «Горячие пятна» 2-го класса по степени оползневой опасности.

Основой рисунка 20 является карта природных опасностей (оползни, карст, подтопление) на территории Москвы (Осипов В.И., Кутепов В.М., Миронов О.К.). Категории опасности: 1 – чрезвычайно опасная; 2 – весьма опасная; 3 – опасная; 4 – малоопасная; 5 – неопасная.

На рисунке 21 показаны глубокие оползни: 1. Щукино; 2. Серебряный бор; 3. Хорошево – 1; 4. Фили – Кунцево; 5 – Нижние Мневники; 6 – Хорошево -2; 7. Поклонная Гора; 8. Воробьевы Горы (1-ый класс риска); 9. Коломенское; 10. Москворечье; 11. Сабурово; 12. Чагино ; 13. Капотня; 14. Сходня; 15. Тушино. Черные круги указывают на поверхностные оползни Самотечная площадь (север), Андрониевская и Николоямская набережные (восток), Котельническая набережная (центр). Основа - схема оползневой опасности на территории Москвы [Рагозин, 2002].

И если в районе Кремля оползневая опасность не так велика, не говоря уже о постоянном мониторинге и укрепляющих мероприятиях, то стоимость инфраструктуры и величина возможного ущерба очень высока. На Воробьевых горах оползневая опасность очень велика. И хотя плотность населения там мала, но возможный ущерб от оползневых процессов может быть также очень значителен. Так, имелись геологические проблемы со строительством метрополитана и здания Президиума РАН, а конструкция эскалатора была разрушена медленным постоянным оползневым процессом. (Рисунок 6.38.). В настоящее время эскалатор восстанавливается.



а)

б)

Рисунок 6.38 а,б – Разрушенный эскалатор на Воробьевых горах. (Фото В.Б. Сваловой)

При необходимости идентифицировать районы с наибольшим потенциальным ущербом в случае опасного природного события можно по данным ночной авиационной и космической съемки урбанизированной территории, которая хорошо отражает плотность инфраструктуры и жилой застройки городских агломераций. При этом большей освещенностью нередко характеризуются наиболее ценные объекты культурного наследия и важные дорогостоящие современные постройки (Рисунок 6.39).



Рисунок 6.39 – Ночное аэрофото Москвы <https://deni-didro.livejournal.com/130424.html>

Выбор и оценка параметров ущерба требует обоснованного анализа. Во многом он носит экспертный характер. Также он определяется постановкой задачи и наличием и доступностью данных. Выбранные параметры 1) плотность населения; 2) плотность застройки; 3) плотность дорог и коммуникаций; 4) стоимость земли; 5) стоимость жилья не являются абсолютно независимыми и равнозначными. При более детальном походе вводятся веса параметров ущерба, что требует дополнительных исследований и экспертных оценок. Плотность населения можно рассматривать как основной определяющий параметр, влияющий на остальные, которые в свою очередь имеют между собой сложную зависимость.

Но основной тренд сохраняется: чем больше плотность населения, тем выше и остальные параметры. Чем ближе к центру города при радиальном планировании, тем выше значения параметров. Также следует учитывать, что обычно наиболее опасные производства и объекты вынесены за центр города и

даже за территорию города и требуют отдельного рассмотрения и учета, особенно при рассмотрении техногенных катастроф.

Плотность населения в крупных мегаполисах значительно изменяется в течение суток, что также можно учесть при детальном анализе проблемы (Рисунок 6.40).

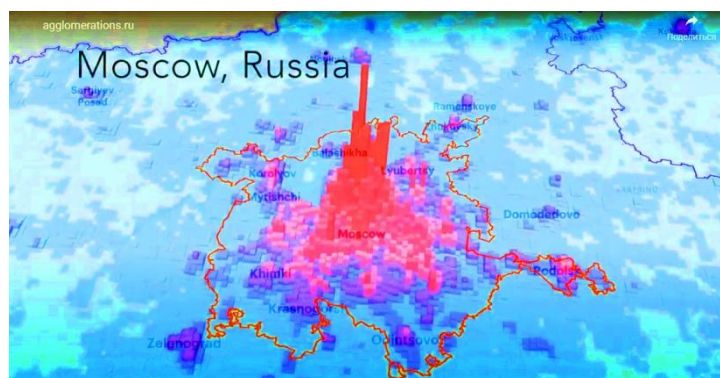


Рисунок 6.40а – Визуализация плотности населения в Москве. Средняя плотность населения

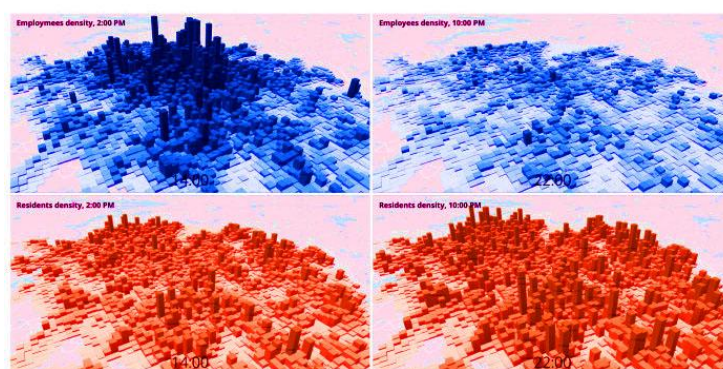


Рисунок 6.40б – Визуализация плотности населения в Москве. Плотность служащих (вверху) и жителей (внизу) в 14 часов (слева) и в 22 часа (справа)

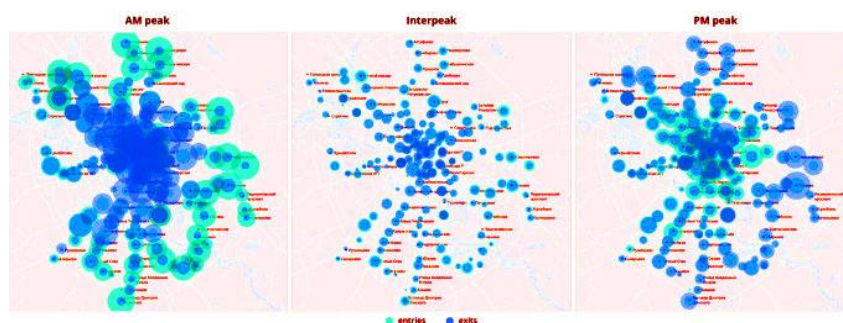


Рисунок 6.40в – Визуализация плотности населения в Москве. Заполняемость московского метро в утренний час пик (слева), в дневной (в центре) и в вечерний час пик (справа).

<https://habr.com/ru/company/yandex/blog/331586/>

Изменение плотности населения в течение суток учитывается, например, при оценке оползневой опасности в горных поселениях при высокой опасности схода оползней и селей.

Урбанизированные территории в горной местности особенно сильно подвержены оползневой опасности и характеризуются высоким оползневым риском. Катастрофические оползни на горных территориях часто ведут к человеческим жертвам. В городах на равнинных территориях человеческие жертвы от оползней случаются редко, но существует необходимость расширения земель под новое строительство, что связано с проблемами территориального планирования и проведением инженерных мероприятий. При оценке риска не всегда есть необходимость строить подробные карты риска. Значительно важнее определить места максимального риска для территории мегаполиса – «горячие пятна риска».

В качестве экспресс-анализа оползневой опасности можно рассматривать суперпозицию русел рек, являющихся показателем глубинных разломов земной коры и напряженно-деформированного состояния литосферы и связанных с формированием оползней, и ночных снимков из космоса, характеризующих потенциальный ущерб в случае катастрофического события.

Таким образом, разработана методология оценки и картографирования оползневой опасности для урбанизированных территорий в соответствии с Публичной кадастровой картой России 2022 г. **rosreestr-map-2022.ru**.
Кадастровая-Карта, **kadastr.ru** magazine/vopros-otvet...stoimost2022/**rosreestr.gov.ru** wps/portal/cc_ib_sved FDGKO.

Разработанный метод анализа и управления экологическим риском является основой для решения проблем территориального планирования с целью выбора потенциальных территорий для размещения новых объектов разного назначения и исключения из дальнейшего освоения «горячих пятен» по геоэкологическому риску, и напротив, организации там дополнительной системы мониторинга и инженерных противооползневых мероприятий.

Детальное построение карты оползневой риска для территории Москвы даст ключ к решению проблемы управления оползневым риском, что рассматривается как ряд мер по снижению оползневой риска на территории города, включая мониторинг, противооползневые мероприятия, прогноз, страхование и др. Установлены «горячие пятна» 1-го и 2-го класса оползневой риска на территории города.

6.4. Геоэкологический риск и проблемы территориального планирования для размещения объектов утилизации и глубокой переработки отходов

Проблемы территориального планирования тесно связаны с решением задачи размещения новых объектов высокой опасности без значительного увеличения экологической нагрузки.

Задача утилизации и глубокой переработки твердых бытовых и промышленных отходов очень остро стоит как в стране в целом, так и особенно в крупных мегаполисах, где повышенная плотность населения, коммуникаций и промышленного производства создает высокую экологическую нагрузку на окружающую среду [Заиканов и др., 2018]. Задача размещения объектов повышенной экологической опасности, связанных с утилизацией и глубокой переработкой отходов, является важнейшей народнохозяйственной и научной проблемой, требующей незамедлительного решения. Несмотря на необходимость скорейшего решения проблемы, следует рассматривать и предвидеть последствия принятого решения на долгосрочную перспективу. Важно не только учитывать все возрастающую экологическую нагрузку на геологическую и природную среду, но и принимать во внимание психологические и социальные аспекты решения проблемы. С одной стороны, необходимо вывозить отходы за пределы больших городов, если невозможна их полная безотходная переработка без загрязняющих выбросов, а с другой - нельзя это делать в ущерб соседним населенным пунктам и окружающей природе. Проблема требует стратегического научного подхода и решения, учитывающего все многообразные осложняющие факторы и аспекты.

В качестве исходных положений можно принять следующие: 1) Необходимость переработки и утилизации отходов на небольших расстояниях от источников отходов. Не перевозить отходы на отдаленные территории, чтобы не загрязнять дороги. 2) Имеющиеся места складирования отходов необходимо рекультивировать, а многие ликвидировать. Отходы подвергнуть глубокой переработке и утилизации. 3) Для имеющихся свалок ТБО и ТКО, мусороперерабатывающих заводов и экотехнопарков необходимо установить жесткую многофункциональную систему экомониторинга.

Так для Москвы в качестве полигонов переработки и утилизации отходов следует рассматривать Московскую и близлежащие области.

6.4.1. Природные опасности Московской области

Для территории Московской области наиболее характерны такие виды опасных природных процессов как наводнения, оползни, карст, ураганы, засухи (как результат лесные и торфяные пожары) [Вагнер, Манучарянц, 2003] (Рисунок 6.41).



Рисунок 6.41 – Схематическая карта распространения оползневых процессов и карста на территории Московской области. Белый – площади слабого проявления процессов, Желтый – площади среднего проявления процессов, Красный – площади интенсивного проявления процессов. <https://mwmoskva.ru/ekologicheskaya-karta-moskvy.html> (masteratlas.ru).

На территории области отмечались и землетрясения. Слабые сейсмические волны доходили из Средиземноморской геосинклинальной области, а также из Средней Азии.

Московская область расположена в центре древней платформы, что обуславливает слабое проявление тектонических процессов. Вместе с тем определенную угрозу высотным зданиям и сооружениям на территории Московской области представляют низкочастотные колебания, вызываемые прохождением сейсмических волн от крупных землетрясений.

Тектонические условия области не однородны. Территория Подмосковья занимает центр и юго-западный склон Московской синеклизы - крупнейшей платформенной структуры, формирование которой началось в конце рифея и окончательно завершилось в девонское время. Она представляет собой обширный чашеобразный прогиб докембрийского фундамента платформы, размерами примерно 1000х450 км, ориентированный удлиненной осью на восток – северо-восток [Вагнер, Манучарянц, 2003].

Кристаллический фундамент Русской платформы в пределах Московской области имеет древние разломы – авлакогены, которые в геологическом прошлом являлись очагами вулканизма. Авлакогены являются районами проявления повышенной геомагнитной активности. Наиболее глубокий из них Пачелмский, занимает территорию Зарайского, Каширского, Озерского, Чеховского районов.

Также на территории области расположены еще два авлакогена – Подмосковный и Гжатский. Они пересекают центральную часть области, в том числе и южную часть Москвы [Вагнер, Манучарянц, 2003] (Рисунок 6.42).

В западной части Московской области, уходя частично на территорию соседней Смоленской, располагается обширная Гжатская впадина, в пределах которой скважинами зафиксирована глубина фундамента порядка 2600 м (в районе к югу от Волоколамска). К юго-востоку и востоку от нее находятся две линейно вытянутые узкие впадины: расположенная чуть восточнее Москвы почти широтная Подмосковная впадина (с глубиной залегания фундамента более 4200 м в районе Ногинска) и такая же глубокая Пачелмская впадина, протянувшаяся от

истоков реки Рожайки вдоль долины реки Северки на юго-восток, к Зарайску и Рязани.

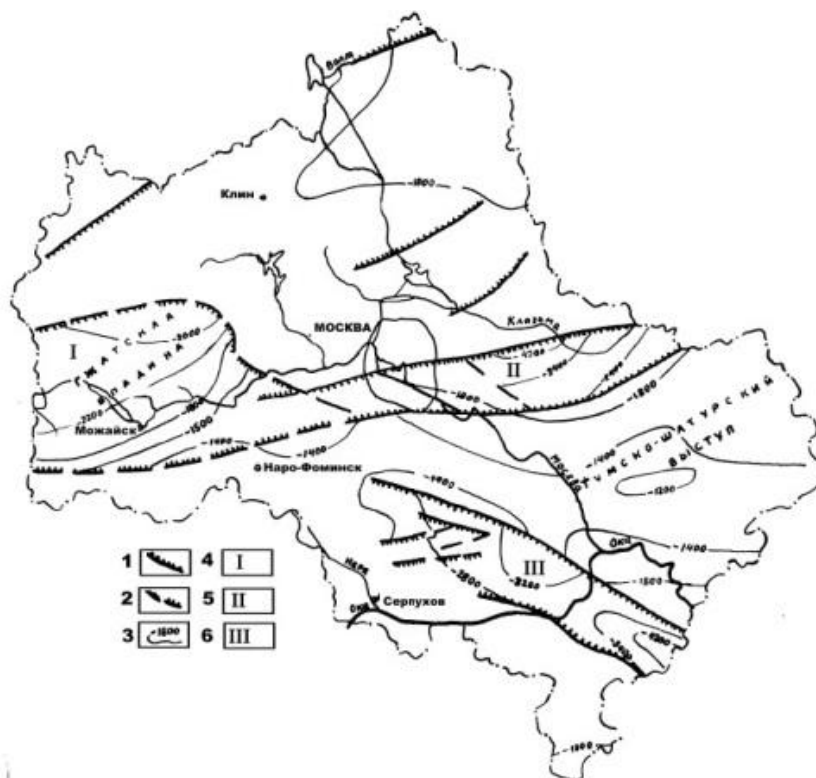


Рисунок 6.42 – Схематическая тектоническая карта Московского региона. Разломы кристаллического фундамента: 1-установленные, 2 - предполагаемые ; 3- изогипсы поверхности фундамента, м; Впадины фундамента: 4 – Гжатская, 5 – Подмосковная, 6 – Пачелмская.

Территория области изобилует тектоническими разломами разного ранга. Как правило, разломы маркирует речная система. Разломы кристаллического фундамента потенциально являются опасными, так как в их пределах возможна активизация тектонических процессов, которая будет сопровождаться землетрясениями.

Изучение современных движений земной коры показывает, что территория области продолжает жить довольно активной (учитывая ее платформенное положение) неотектонической жизнью. В неоген-четвертичное время она испытала серию поднятий и опусканий, причем преобладали подъемы, выразившиеся в суммарной за этот период амплитуде в 50 метров. Новейшие измерения показывают, что в настоящее время северо-западные районы области (в частности, Смоленско-Московская возвышенность) испытывают подъем с

амплитудой 1-8 мм в год, а восточное Подмосковье (Мещерская низменность), наоборот, опускается на 5-6 мм в год [Вагнер, Манучарянц, 2003; Общегеографический ..., 2000]. Пониженные области связаны с подтоплением и наводнениями. (Рисунок 6.43).

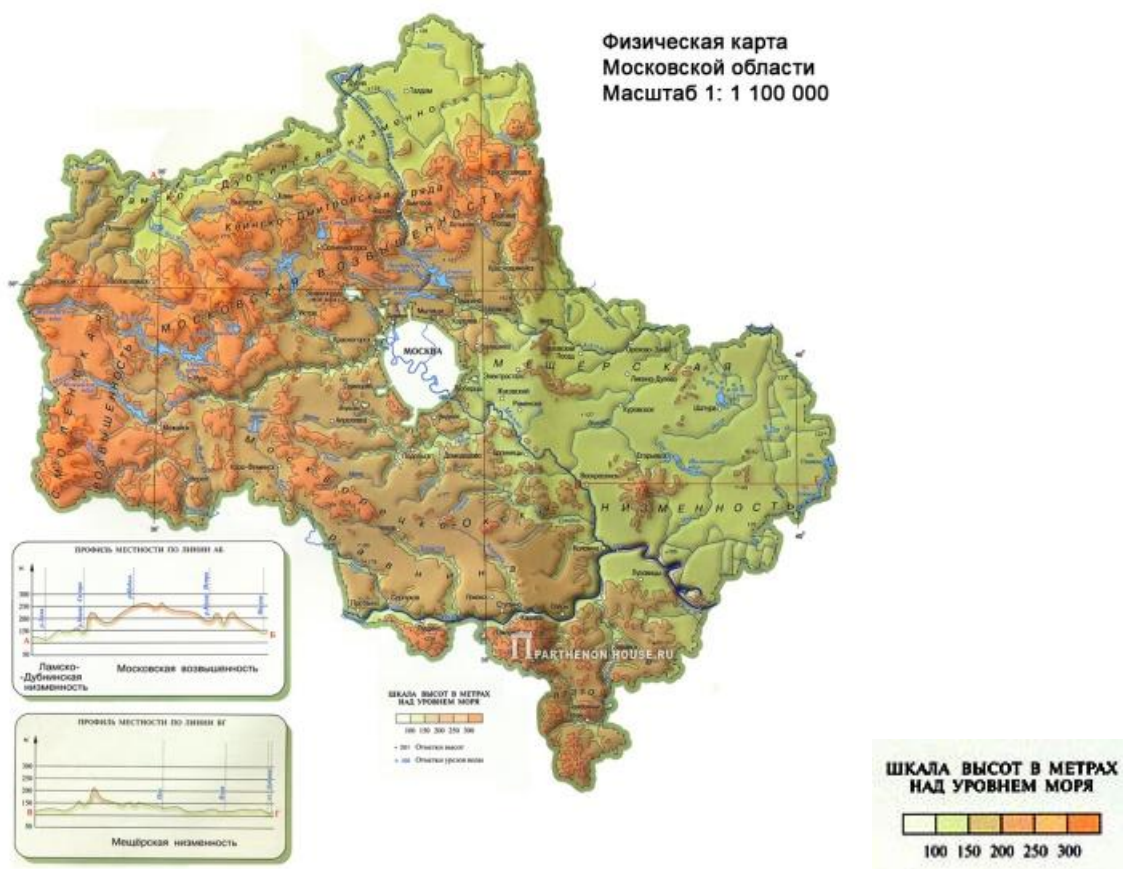


Рисунок 6.43 – Физическая карта Московской области (Parthenon house.ru).
<https://prezentacii.org/prezentacii/prezentacii-po-geografii/126058-prirodnye-kompleksy-moskovskoj-oblasti.html>

Наибольшую потенциальную опасность несут авлокагены, которые пересекают область широтно и на юге меридианально. Эти крупные районы разломов приурочены к территориям с высокой плотностью населения, в том числе к южной части города Москвы. В отмеченных районах возможны смещения пластов горных пород, поэтому это нужно учитывать при организации систем расселения и строительстве.

Рассматривая по районам потенциальную тектоническую опасность, можно считать, что наибольшая опасность относится к районам: Зарайскому, Озерскому,

Ступинскому, Чеховскому, Можайскому, Рузскому, Одинцовскому, Люберецкому, Ногинскому и Павлово-Пасадскому.

В группу районов, в наибольшей степени подверженных природным и антропогенным провалам, оползням (более 25% территории) входят Каширский, Зарайский и Серебряно-Прудский районы.

Наиболее подвержены подтоплению Озерский, Луховицкий, Серпуховской, Коломенский, Каширский районы. В меньшей степени Воскресенский, Раменский, Можайский.

Ураганы на территории области наиболее опасны в крупных мегаполисах, в районах с высокой плотностью населения. Основной ущерб при ураганах это разрушение коммуникаций и инфраструктуры. Большую опасность имеют ураганы в малооблесенных районах, так как леса задерживают и ослабляют ураганный ветер. В Московской области при небольшой лесистости, ураганы проявляются по всей области, однако максимальный ущерб они приносят в плотнонаселенных районах и в московской агломерации.

Максимальное количество возможных опасных природных процессов и явлений характерно для Люберецкого и Раменского районов (5 видов). Это наиболее неблагоприятные районы Московской области по степени потенциальной опасности от природных процессов и явлений [Вагнер, Манучарянц, 2003].

Большая часть районов Московской области относится к районам с умеренной степенью потенциальной опасности от природных процессов и явлений, где проявляются 2-3 их вида.

Низкая степень потенциальной опасности от природных процессов и явлений в Московской области отмечена в следующих районах: Шаховской, Волоколамский, Пушкинский, Истринский, Красногорский.

6.4.2. Анализ и оценка геоэкологического риска опасных природных процессов Московской области

Системный подход к решению задачи требует проблемно-ориентированного анализа и оценки геоэкологической нагрузки на окружающую среду и, в частности, анализа и оценки риска опасных природных и техногенных процессов на рассматриваемых территориях с целью управления экологическим риском и недопущения превышения критических параметров воздействия на геологическую и социальную среду. Следует в первую очередь выявить и исключить территории повышенной опасности и риска. Таким образом, задача оценки и управления геоэкологическим риском становится еще более актуальной в рамках решения глобальной проблемы управления отходами и создания индустрии переработки и утилизации ТБО (твердых бытовых отходов) и ТКО (твердых коммунальных отходов) [Юганова, 2019].

Следует особо рассмотреть области повышенного напряженно-деформированного состояния литосферы, геодинамической и сейсмической активности, высокого теплового потока, повышенных скоростей поверхностных движений, геопатогенных зон и разломов, интенсивной фильтрации грунтовых и подземных вод, а также территории развития опасных природных процессов, таких как оползни, карст, суффозия, переработка берегов, подтопление и др.

Проанализируем риск опасных геоэкологических процессов на территории Московской области. Риск равен произведению вероятности возможного опасного события на произведенный ущерб:

$$R = P \times D,$$

где R – риск,

P – вероятность,

D – ущерб.

Для автоматизированного анализа фактического материала и построения карт риска необходимо найти суперпозицию интегральной карты природной опасности и интегральной карты возможного ущерба, т.е. для каждого i -того

фрагмента карты риска R_i найти произведение вероятности опасного события P_i на сумму различных j -тых возможных ущербов от опасного процесса:

$$R_i = P_i \times D_i, D_i = \sum_j D_{ij}$$

$$R_i = P_i \sum_j D_{ij} \quad (50)$$

Оценку природной опасности при этом необходимо проградуировать от 0 до 1, чтобы отразить вероятность опасного события.

Для формализации интегральной оценки природной опасности введем коэффициент k_{im} опасности от опасного процесса m в i -том квадрате, интегральный коэффициент опасности в i -том квадрате k_i и пронормируем на максимальное число баллов n для аналогии с вероятностью:

$$k_i = \sum_m k_{im}; P_i = \frac{k_i}{n}. \quad (51)$$

Пусть $m=5$, т.е. рассмотрим 5 видов природной опасности 1) оползни, 2) карст и суффозия, 3) гидрогеологические опасности (подтопление, наводнения), 4) тектонические опасности (разломы, высокие скорости движения Земной поверхности), 5) метеорологические опасности (засуха и как следствие пожары, ураганы, смерчи и др.). Каждую опасность оценим по трехбалльной системе (0, 1, 2) – низкая, средняя, высокая. Тогда k_i изменяется от 0 до 10, $n=10$, P_i изменяется от 0 до 1.

Для комплексной оценки ущерба на каждом участке предлагается проградуировать возможный ущерб от каждого параметра по трехбалльной системе (0, 1, 2), где 0 означает низкий ущерб или отсутствие ущерба, 1 – умеренный, 2 – высокий ущерб. Параметрами здесь могут рассматриваться 1) плотность населения, 2) плотность дорог и коммуникаций, 3) плотность застройки, 4) стоимость земли, 5) стоимость жилья. Чем выше значение параметра (стоимость земли, жилья и т.д.), тем выше ущерб в случае опасного события. Тогда возможный ущерб по 5 параметрам в каждом элементе изменяется от 0 до 10.

Риск в каждом элементе также варьируется от 0 до 10. Это риск в относительных единицах (больше/меньше) по 10-и балльной шкале. Разбив карту области на квадраты и вычислив риск для каждого квадрата, можно получить карту риска области по 10-и балльной шкале. Таким образом, строится карта риска как суперпозиция карт опасностей и потенциальных ущербов.

Часто нет необходимости строить подробную карту геоэкологического риска, а достаточно выделить «горячие пятна» геоэкологического риска.

Для оценки потенциального ущерба можно использовать карты плотности населения (Рисунок 6.44) и карты дорог и коммуникаций (Рисунок 6.45).

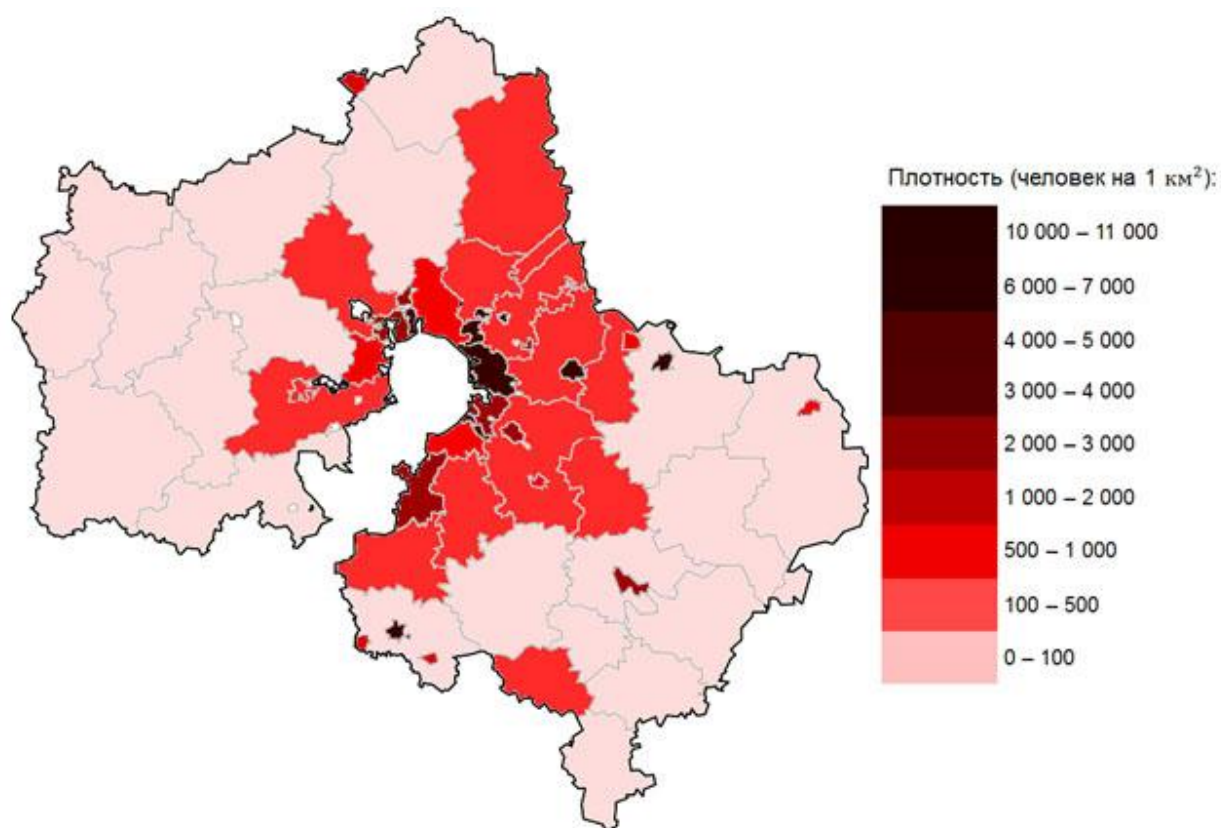


Рисунок 6.44 – Схематическая карта плотности населения Московской области (РОССТАТ). <https://golosinfo-prod.herokuapp.com/ru/articles/142044>

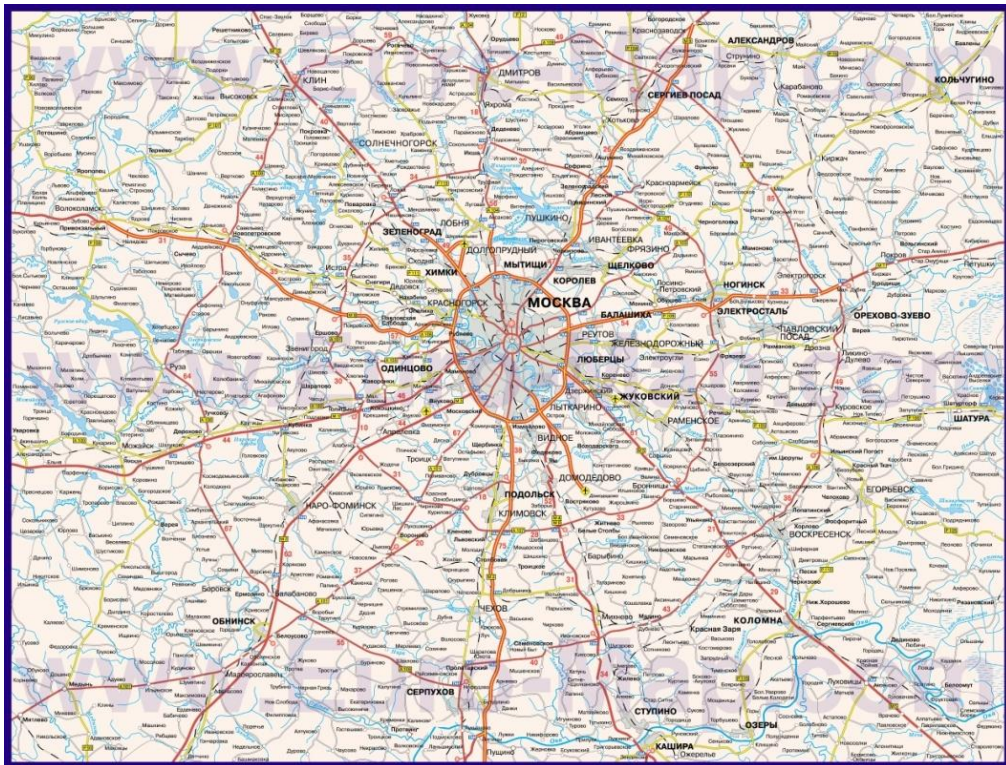


Рисунок 6.45а – Карта-схема автомобильных дорог Московской области

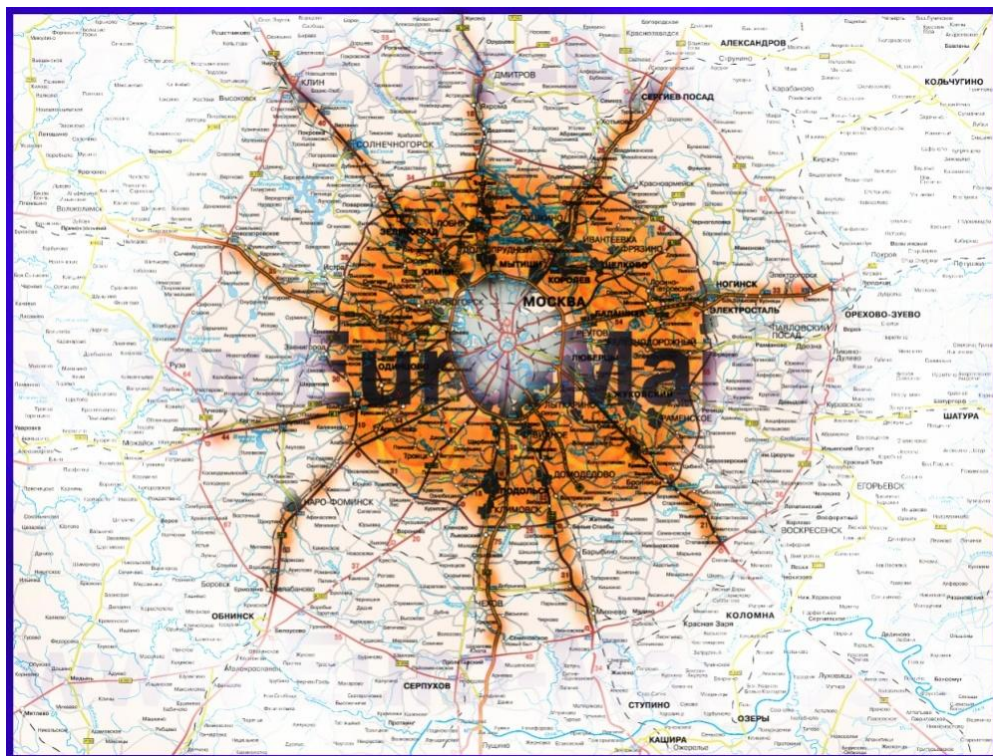


Рисунок 6.45б– Затемнение – области повышенного потенциального ущерба («Звезда потенциального ущерба» Московской агломерации (www.Euro-Map.com avtomobilnaya-karta-dorog-moskovskaya-oblast)

При использовании формул (50) и (51) следует руководствоваться следующими подходами:

1. Оползни и карст представляют наибольшую геоэкологическую опасность на территории Московской области.

2. Эндогенные опасные процессы (землетрясения) на территории области проявляются незначительно

3. Глубинные и поверхностные разломы земной коры отражают напряженное состояние литосферы. Скорости движения поверхности невелики, но их следует учитывать при долговременном территориальном планировании, особенно при строительстве скоростных железных дорог, мостов, трубопроводов, туннелей, линейных и подземных сооружений.

4. Русла рек являются показателями геодинамической опасности в литосфере как маркеры глубинных разломов земной коры и, в свою очередь, являются источниками опасных экзогенных, природных процессов вследствие рельефа берегов, обводненности территорий и гидрогеодинамики прибрежных областей. К руслам рек приурочены многие опасные природные процессы: оползни, переработка берегов, овражная эрозия, карст, суффозия, подтопление, наводнения, паводки, половодья и др. Вместе с тем к руслам рек и их высоким берегам приурочены ценные объекты культурного наследия – церкви, исторические строения, дорогостоящие спортивные сооружения. Многие города были заложены и развивались около русел рек. Таким образом, вдоль русел рек на урбанизированных территориях сконцентрированы опасные природные процессы и объекты высокого потенциального ущерба, что определяет области высокого геоэкологического риска.

5. Плотность населения и плотность дорог и коммуникаций являются определяющими параметрами ущерба. Плотность населения определяет плотность застройки. Чем ближе к Москве, тем выше стоимость земли и жилья. Потенциальный ущерб в Московской области имеет радиально-кольцевой характер. Максимальный ущерб связан с населенными пунктами вблизи Москвы и дорожной сетью (Рисунок 6.45). Области максимального ущерба Московской агломерации имеют форму звезды с 10 лучами вдоль железных и автомобильных дорог.

6. Ночные фото из космоса хорошо характеризуют потенциальный ущерб, т.к. отражают плотность застройки, дорог и коммуникаций (Рисунок 6.46). Из космоса ночью хорошо видна «звезда потенциального ущерба» Московской агломерации.

7. В качестве экспресс-анализа и оценки геоэкологического риска для неисследованных территорий можно использовать суперпозицию ночных космических снимков и русел крупных рек.

При необходимости идентифицировать районы с наибольшим потенциальным ущербом в случае опасного природного события можно по данным ночной авиационной и космической съемки урбанизированной территории, которая хорошо отражает плотность автомобильных и железных дорог, инфраструктуры и жилой застройки городских агломераций- (Рисунок 6.46).



Рисунок 6.46а – Ночное фото из космоса. Московская агломерация
<https://gamerwall.pro/12206-rossija-iz-kosmosa-nochju.html>



Рисунок 6.46б – Ночное фото из космоса. Европа ночью из космоса
1641864474_18-gamerwall-pro-p-rossiya-iz-kosmosa-nochyu-fentezi-krasivo-20



Рисунок 6.46в – Ночное фото из космоса. «Звезда потенциального ущерба» Московской агломерации ночью из космоса

Анализ и оценка природных опасностей и потенциального ущерба для Московской области на основе формул (50) и (51) с учетом подхода, изложенного в пунктах 1-7, дает оценку риска около 8 баллов по 10-балльной системе для «горячего пятна» в районе Люберцы (Рисунок 6.4.2.4).

$$k_i = 8; P_i = k_i / n = 0,8; D_i = 10; R_i = 8.$$

Основные характеристики района Люберцы по отношению к другим районам Московской области: 1) высокая плотность населения, 2) высокая плотностью дорог и коммуникаций, 3) высокая плотность застройки 4) высокая стоимость земли и жилья вследствие близости к Москве, 5) высокая оползневая и карстовая опасность , 5) близость реки Москвы, т.е. высокая опасность подтоплений и наводнений 6) наличие глубинного разлома как показателя геодинамической опасности.



Рисунок 6.47 – Схематическая карта рельефа Московской области. Черный круг – «горячее пятно» по степени геоэкологического риска (Люберцы). 1. Верхневолжская низменность; 2. Смоленско-Московская возвышенность; 3. Мещерская низменность; 4. Москворецко-Окская равнина; 5. Среднерусская возвышенность.

На основе проведенного анализа делаются выводы об исключении областей высокого экологического риска из потенциальных территорий размещения дополнительных опасных объектов повышенной экологической нагрузки, в частности, для утилизации и переработки отходов. Для Московской области это в первую очередь Люберецкий и Раменский районы (восток-юго-восток от

Москвы), а также населенные пункты, включая санитарные зоны, особо охраняемые территории, объекты культурного наследия, рекреационные зоны, дороги и коммуникации. Люберецкий район можно рассматривать как «горячее пятно» первого класса по уровню геоэкологического риска. (Рисунок 6.47).

Важно отметить, что разработки, выполненные для определения «горячих пятен» риска региона на основе геодинамических, тектонических и социально-экономических параметров подтверждаются областями геохимических загрязнений и зонами экологической напряженности среды, что вполне естественно, т.к. во многом загрязнение связано с жизнедеятельностью человека (Рисунок 6.48, 6,49). Особое значение здесь имеет вынос загрязнения из г. Москвы вниз по течению реки.

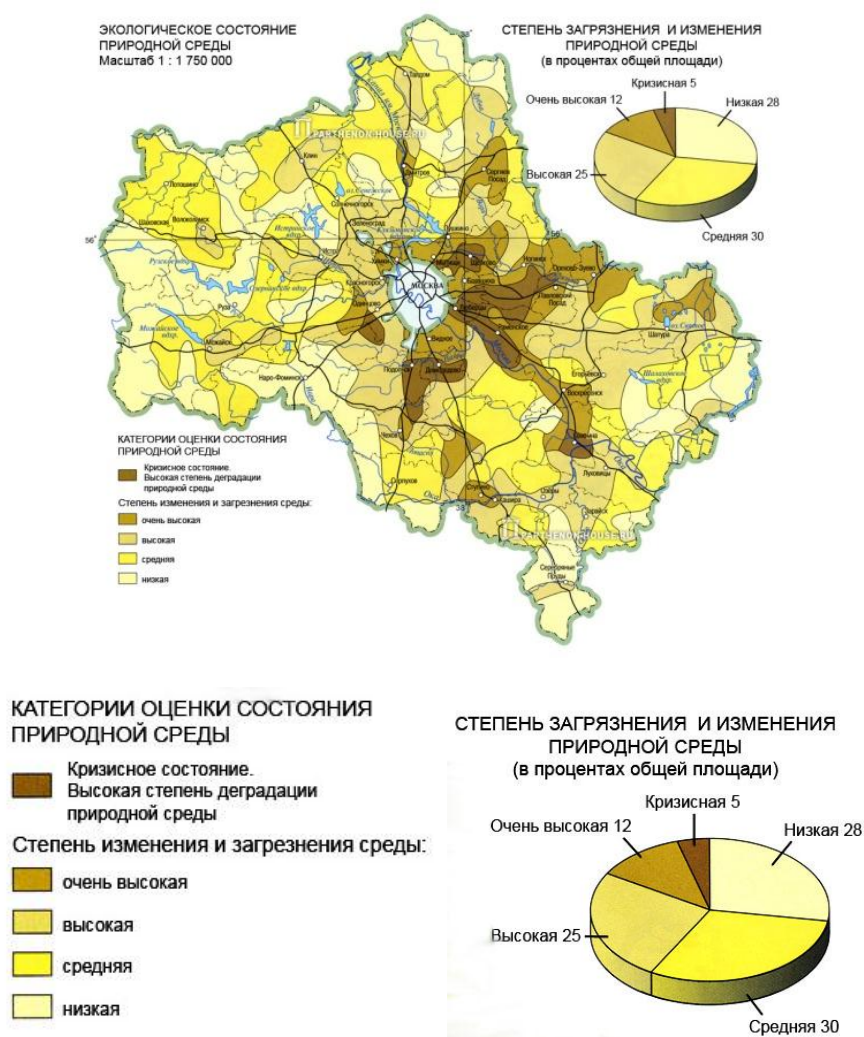


Рисунок 6.48 – Схематическая карта загрязнения природной среды Московской области
<https://terres.ru/articles/ekologicheskaya-karta-podmoskovyya> (masteratlas.ru).

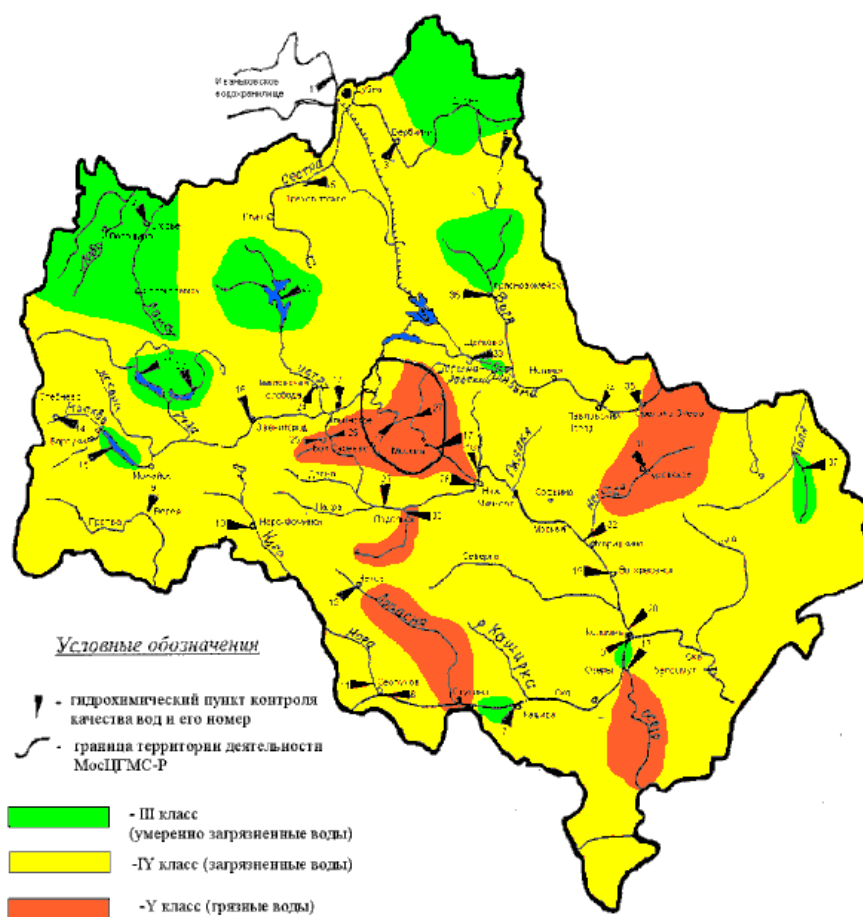


Рисунок 6.49 – Схематическая карта загрязнения подземных и поверхностных вод Московской области. <https://rudocs.exdat.com/docs/index-246647.html> (masteratlas.ru)

В связи с тем, что загрязнение природной среды оказывает максимальное воздействие на человека, а не на инфраструктуру и коммуникации, то для построения карты геохимического риска можно использовать суперпозицию карт загрязнения (Рисунок 6.48) и плотности населения (Рисунок 6.44). Т.к. плотность населения Московской области максимальна к востоку и юго-востоку от Москвы, а загрязнение среды имеет ту же направленность, то карта риска будет очень близка к карте опасности (Рисунок 6.48).

Также Люберецкий район подвержен загрязнению воздуха вследствие повышенных выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и розы ветров из Москвы (Рисунок 6.50; 6.51; 6.52; 6.53).



Рисунок 6.50 – Роза ветров Москвы.
<https://otvet.mail.ru/question/184145366>

"Роза ветров" Московской области

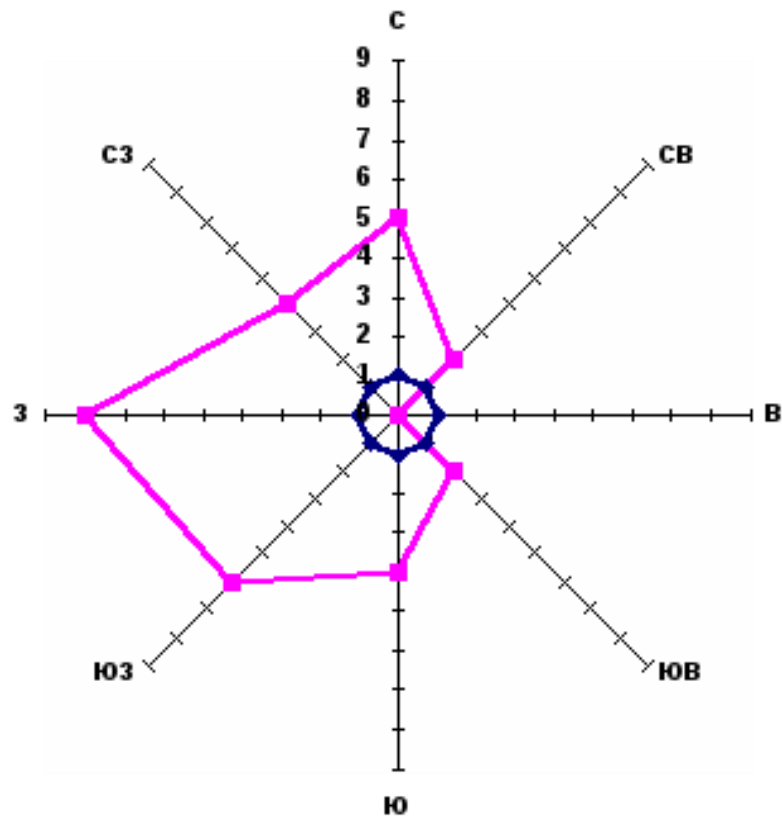


Рисунок 6.51 – Роза ветров Московской области.
<https://new.msk.ru/topic/5748-жк-белые-ночи-микрорайон-исчезающего-уединения/?page=2>

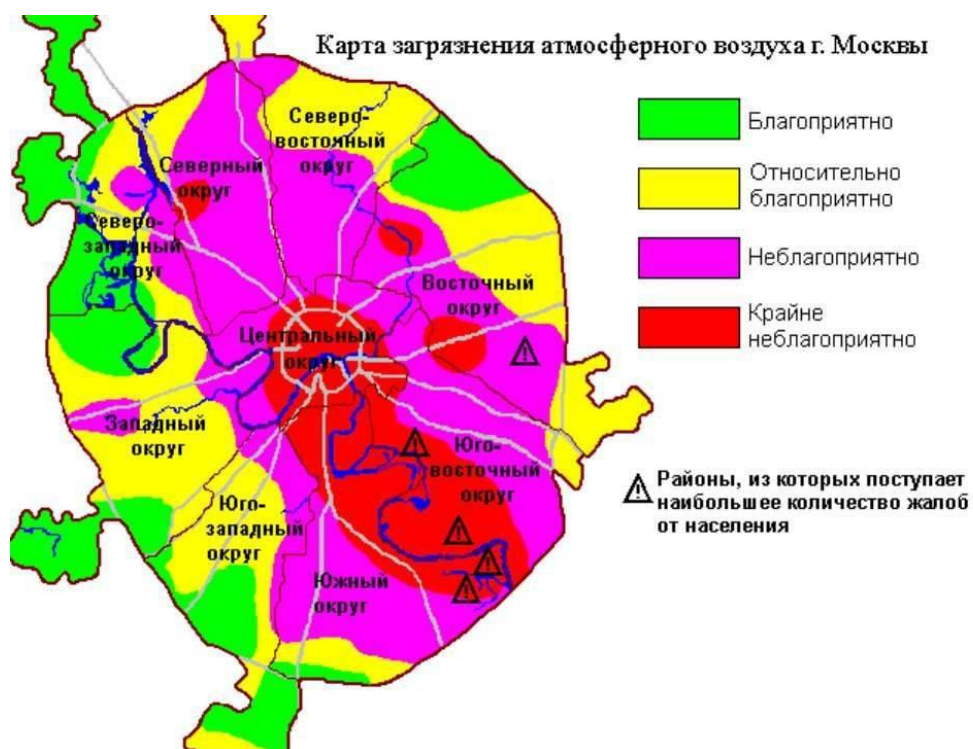


Рисунок 6.52 Карта загрязнения атмосферного воздуха города Москвы.

<https://visasam.ru/russia/goroda/ekologiya-moskvy.html>

<https://zen.yandex.ru/media/id/5f3917a8f6a63b1998be21a8/razbor-goroda-moskvy-s-ekologicheskoi-tochki-zreniia-611802cb77c7ad728168a66d>

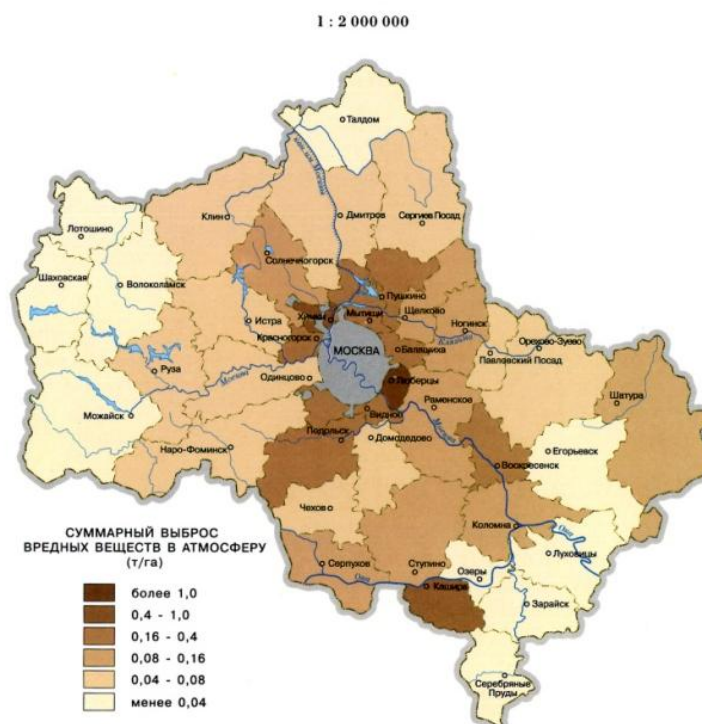


Рисунок 6.53 – Выброс вредных веществ в атмосферу.

Экологический атлас Московской области. www.osecology.ru

На основе проведенного анализа Люберецкий район можно рассматривать как «горячее пятно» по геоэкологическому риску [Свалова, 2020] вследствие высокой природной опасности, геохимического загрязнения от течения рек с территории Москвы и западного направления ветров со стороны Москвы, близости к Москве и высокой населенности (высокий потенциальный ущерб).

Таким образом, рассмотрена унифицированная оценка геоэкологического риска опасных природных процессов. Разработана методология унификации, формализации и цифровизации оценки и картографирования природного геоэкологического риска на базе общей платформы управления рисками. Введено понятие «горячих пятен» по степени геоэкологического риска. «Горячие пятна» по степени риска – это суперпозиция областей максимальной вероятности опасного события и областей максимального потенциального ущерба в случае наступления события. Установлены «горячие пятна» по степени геоэкологического риска для горных территорий на примере Кавказа, «горячих пятен» оползневого риска на примере г. Москвы, «горячих пятен» геоэкологического риска для Московской области.

Разработанный метод выделения «горячих пятен» геоэкологического риска является основой для решения проблем территориального планирования с целью исключения наиболее геоэкологически напряженных участков и выбора потенциальных мест размещения опасных объектов, в частности, объектов утилизации и переработки отходов. Разработанный метод анализа и управления геоэкологическим риском является основой для системы управления отходами и решения проблем территориального планирования с целью выбора потенциальных территорий для размещения объектов утилизации и переработки отходов, а также создания индустрии управления отходами. В то же время следует учитывать исторически сложившиеся области полигонов ТБО и ТКО, не создавать новые, а экотехнопарки и заводы по переработке и утилизации отходов располагать по возможности вблизи имеющихся областей депонирования отходов, чтобы сократить расходы на перевозки и уменьшить дополнительное загрязнение дорог и окружающей среды. Результаты исследований согласуются с

расположением планируемых мусоросжигательных заводов и полигонов депонирования ТБО и ТКО (Рисунок 6.54).

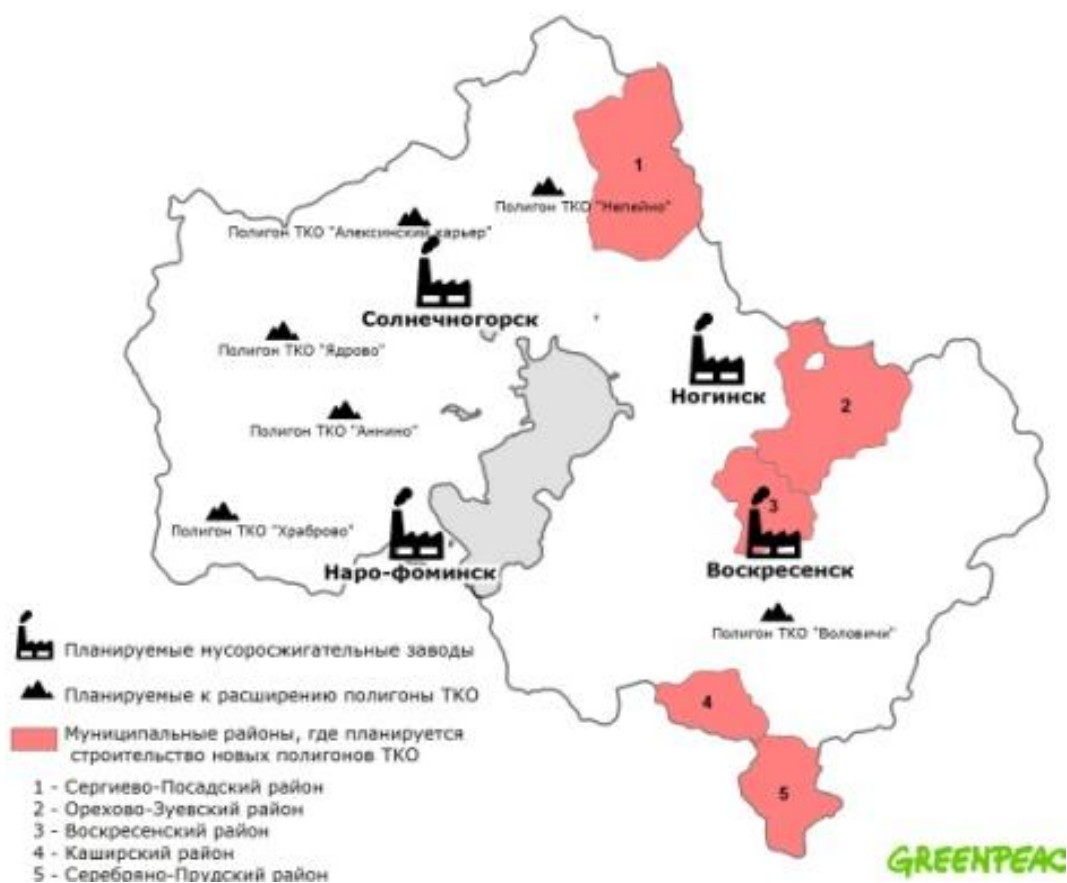


Рисунок 6.54 – Схема расположения планируемых мусоросжигательных заводов и полигонов депонирования ТБО и ТКО. <https://www.asi.org.ru/news/2016/10/10/142307/> (ГРИНПИС)

6.5. Выводы

Рассмотрена унифицированная оценка геоэкологического риска опасных природных процессов. Разработана методология унификации, формализации и цифровизации оценки и картографирования природного геоэкологического риска на базе общей платформы управления рисками. Введено понятие «горячих пятен» по степени геоэкологического риска. «Горячие пятна» по степени риска – это суперпозиция областей максимальной вероятности опасного события и областей максимального потенциального ущерба в случае наступления события. Установлены «горячие пятна» по степени геоэкологического риска для горных территорий на примере Кавказа, «горячих пятен» оползневого геоэкологического риска на примере г. Москвы, и геоэкологического риска различных геодинамических опасностей Московской области.

Установление районов расположения и локализации, т.н. «горячих пятен» требует организации комплексного геоэкологического мониторинга, а смягчение их воздействия - реализации инженерно-геологических мероприятий для снижения геоэкологического риска, развития критериев сейсмостойкого строительства, риск-ориентированного территориального планирования, дополнительных инженерно-геологических изысканий при строительстве и освоении новых территорий.

Шестое защищаемое положение.

Разработана методология унифицированной оценки и картографирования геоэкологического риска на базе общей платформы управления риском. Введено понятие «горячих пятен», дифференцируемых по уровню ожидаемого геоэкологического риска. Выявлены «горячие пятна» геоэкологического риска для горных территорий Кавказа, территорий г. Москвы и Московской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Взаимосвязь геодинамики литосферы и опасных природных процессов носит глубинный фундаментальный характер. Тектонические движения и напряжения являются источником опасных геологических процессов. Эндогенные и экзогенные опасные природные процессы во многом определяются литосферными движениями, источники которых находятся в глубинах ядра и мантии Земли. Взаимодействие литосферы и астеносферы в значительной степени влияет на формирование и эволюцию геологических структур и определяет многие опасные геоэкологические процессы и явления. Выявление этих связей и закономерностей на новом уровне представляет направление дальнейших исследований и разработок.

Русла рек являются показателями геодинамической опасности в литосфере как маркеры глубинных разломов земной коры и, в свою очередь, являются источниками экзогенных опасных природных процессов вследствие рельефа берегов, обводненности территорий и гидрогеодинамики прибрежных областей. К руслам рек приурочены многие опасные природные процессы: оползни, переработка берегов, овражная эрозия, карст, суффозия, подтопление, наводнения, паводки, половодья и др. Вместе с тем к руслам рек и их высоким берегам приурочены ценные объекты культурного наследия – церкви, храмы, замки, исторические строения, дорогостоящие спортивные сооружения. Многие города были заложены и развивались около русел рек. Таким образом, вдоль русел рек на урбанизированных территориях сконцентрированы опасные природные процессы и в то же время объекты высокого потенциального ущерба, что определяет области высокого геоэкологического риска, т.е. «горячие пятна» геоэкологического риска.

Горные и морские прибрежные территории, приуроченные к границам литосферных плит, характеризуются особенно разрушительными опасными природными процессами, стихийными бедствиями и катастрофами, связанными с повышенной геодинамической опасностью.

Города и опасные объекты в таких областях являются «горячими пятнами» по геоэкологическому риску вследствие повышенного потенциального ущерба в случае катастрофы.

Ночные космические снимки являются показателями и маркерами потенциального ущерба, т.к. отражают плотность населения, жилья, застройки, дорог, инфраструктуры и коммуникаций.

В качестве экспресс-анализа оценки риска и выделения «горячих пятен» по риску можно рассматривать суперпозицию особо опасных территорий (гор, рек, морских берегов, приуроченных к границам литосферных плит и разломам земной коры) и ночных снимков из космоса как показателей наивысшего потенциального ущерба в случае опасных событий и катастроф.

Основные результаты диссертационного исследования:

1. Разработана концепция определяющей взаимосвязи геодинамической опасности и геоэкологического риска. Обосновано, что геодинамическая опасность – это опасность процессов движения или напряженно-деформированного состояния геологической среды для различных видов и масштабов движения вещества в литосфере. Геоэкологический риск есть вероятностная мера геодинамической опасности.

2. Разработан комплексный подход к решению задач геодинамики, оценки и управления геоэкологическим риском по схеме: геодинамика литосферы – геодинамические процессы - геодинамическая и тектоническая опасность – опасные природные процессы – оценка природных опасностей и геоэкологических рисков – управление геоэкологическим риском.

3. Предложена механико-математическая модель формирования и эволюция геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром на основе приближенного решения уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости и применения методов разложения по малому параметру, сращиваемых асимптотических разложений, последовательных приближений и приближения тонкого слоя.

4. Выработан комплексный подход к совместному решению плюм-тектоники и тектоники плит. Разработана механико-математическая модель формирования и эволюции геологических структур над поднимающимся мантийным диапиром на фоне коллизии литосферных плит.

5. Разработана механико-математическая модель решения обратной задачи геодинамики прямым методом. Решена первая обратная задача геодинамики – восстановление полей скоростей, давлений и напряжений на глубине литосферы по имеющимся данным о скоростях на дневной поверхности.

6. Поставлена и решена вторая обратная задача геодинамики – определение движения границ на глубине литосферы по заданным движениям дневной поверхности. Полученные решения используются для анализа глубинных геодинамических процессов.

7. Построена самосогласованная термогравиметрическая модель литосферы и астеносферы осадочного бассейна. Установлены количественные оценки подъема астеносферного диапира под геологической структурой.

8. Предложена механико-математическая модель гравитационного движения масс по оползневому склону на основе уравнения Навье – Стокса для вязкой несжимаемой жидкости. Найдены критические параметры задачи смены режимов движения с выделением потенциальных областей мониторинга.

9. Разработана методика выявления определяющих параметров природной опасности и их градации для различных видов опасности, территорий и природно-техногенных условий на основе исследований по геодинамике, геотектонике, геомеханике, геотермии, механико-математическому моделированию, оценке и управлению природными геоэкологическими рисками.

10. Разработана методология унифицированной оценки и картографирования геоэкологического риска на базе общей платформы управления риском. Введено понятие «горячих пятен», дифференцируемых по уровню ожидаемого геоэкологического риска.

ПОЛНЫЙ СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Гончаров М.А., Короновский Н.В., Разницин Ю.Н., **Свалова В.Б.** Вклад мантийного диапиризма в процесс формирования новообразованных впадин Средиземноморья и Карибского бассейна и окружающих центробежно-вергентных складчато-покровных орогенов // Геотектоника. 2015. №6. С. 80-93. (BAK, WEB of Science, SCOPUS)
2. **Свалова В.Б.** Сравнительная геодинамика и геотермия Альпийского и Тихоокеанского поясов. Механико-математическое моделирование // Геология и геофизика Юга России. 2021. 11 (3). С. 76 – 92. DOI: 10.46698/VNC.2021.52.15.007. (BAK, SCOPUS).
3. **Свалова В.Б.** Управление геоэкологическим риском и проблемы устойчивого развития горных территорий // Геология и геофизика Юга России. 2022. 12 (1). С. 129–147. DOI: 10.46698/VNC.2022.48.61.010. (BAK, SCOPUS).
4. **V.B. Svalova**, V.B. Zaalishvili, G.P. Ganapathy, P. Ivanov. Engineering and Technical Methods for Landslide Risk Management and Reduction // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12. №1 (43). С.162-170. DOI: 10.21 177/1998-4502—2020-12-1-162-170 (BAK, SCOPUS)
5. **Свалова В.Б.** Геодинамика и геотермия Прикаспийской впадины и восточного сегмента Кавказского региона // Геология и геофизика Юга России. 2020. 10(4). С. 52-69. DOI: 10.46698/VNC.2020.92.72.004. (BAK, SCOPUS).
6. Миронов О.К., Карфидова Е.А., **Свалова В.Б.** Возможности использования ориентированного графа геологических границ в формальном описании трехмерной крупномасштабной геологической модели // Геоэкология. 2019. №1. С. 70-80. DOI:10.31857/S0869-78092019170-80 (BAK, RSCI)
7. **Свалова В.Б.** Геотермальная энергетика в России и мире и гидрогеотермальные системы Кавказа // Мониторинг. Наука и технологии. 2022. № 2(52). С. 43-53. DOI: <https://doi.org/10.25714/MNT.2022.52.005> (BAK)

8. **Свалова В.Б.** «Горячие пятна» геоэкологического риска и проблемы территориального планирования // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. 65(3). С. 77-97. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-77-97> (БАК)

9. **Свалова В.Б.** Геотермия и сейсмичность Кавказского региона и обратная задача геодинамики// Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9 (3). С. 77-93. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36485. (БАК)

10. **Svalova V.B.,** Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Melkov D.A. Landslide risk in mountain areas. // Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9 (2). С. 109-127. DOI:10.23671. VNC.2019.2.31981 (БАК)

11. **Svalova V.B.,** Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Ginzburg A.A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India // Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4). С. 87-101. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44491 (БАК)

12. **Свалова В. Б.** Анализ и оценка риска оползневых процессов на урбанизированных территориях. //Мониторинг. Наука и технологии. 2017. № 4. С. 22-29. (БАК).

13. **В.Б. Свалова.** Мониторинг и снижение риска оползневых процессов на Тайване. // Мониторинг. Наука и технологии. 2016. - №3. – С. 13-25. (БАК).

14. **Свалова В.Б.** Комплексное использование геотермальных ресурсов. // Георесурсы. 2009. № 1 (29). С. 17-23.

15. **Свалова В.Б.,** Шарков Е.В. Позднекайнозойская геодинамика Альпийского складчатого пояса в связи с формированием внутриконтинентальных морей (петролого-геомеханические аспекты). // Известия ВУЗов. (Высших учебных заведений). Геология и разведка. 2005. №6. С. 3-11.

16. **Свалова В.Б.,** Шарков Е.В. Геодинамика Байкальской рифтовой зоны (петрологические и геомеханические аспекты). // Геология и геофизика. 1992. № 5. С. 21-31.

17. Шарков Е.В., **Свалова В.Б.** О возможности вовлечения континентальной литосферы в процесс субдукции при задуговом спрединге // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 12. С. 118–131.

18. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Формирование и эволюция задуговых бассейнов Альпийского и Тихоокеанского поясов (сравнительный анализ). // Тихоокеанская геология. 1991. № 5. С. 49-55.

19. Шарков Е.В., **Свалова В.Б.** Внутриконтинентальные моря как результат задугового спрединга при коллизии континентальных плит. // Доклады Академии наук СССР. 1989. Т. 308. № 3. С. 685-688.

20. Занемонец (**Свалова**) В.Б., Михайлов В.О., Мясников В.П. Механическая модель образования глыбовой складчатости. Известия АН СССР. Физика Земли. 1976. № 10. С. 13-21.

21. Занемонец (**Свалова**) В.Б., Котелкин В.Д., Мясников В.П. О динамике литосферных движений. Известия АН СССР. Физика Земли. 1974. № 5. С. 43-54.

Публикации в изданиях, входящих в базу данных SCOPUS.

22. **Svalova V.** TXT-tool 3.007-1.1: Mechanical-Mathematical Modeling and Monitoring for Landslide Processes. /In: Sassa K., Tiwari B., Liu KF., McSaveney M., Strom A., Setiawan H. (eds) Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools. Springer, 2018. P. 315-319. (SCOPUS)

23. Ginzburg A., Nikolaev A., **Svalova V.**, Manukin A., Savosin V. TXT-tool 2.007-1.1: Monitoring Alarm System of Landslide and Seismic Safety for Potentially Hazardous Objects. /In: Sassa K. et al. (eds) Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools. Springer, 2018. P. 309-325. (SCOPUS)

24. Ginzburg A., Nikolaev A., **Svalova V.**, Postoev G., Kazeev A. TXT-tool 2.007-1.2 Landslide and Seismic Monitoring System on the Base of Unified Automatic Equipment. /In: Sassa K. et al. (eds) Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools. Springer, 2018. P. 327-340. (SCOPUS)

25. **Svalova V.** Geothermal Energy. /Глава в энциклопедии. Engineering Encyclopedia. 2017. 6 с. (SCOPUS)

26. **Valentina Svalova.** Landslide Risk Analysis, Management and Reduction for Urbanized Territories. /Proceedings of WLF4 (World Landslide Forum 4), Ljubljana, Slovenia, Springer. 2017. P. 439-445. (SCOPUS)

Монография (SCOPUS)

27. **Svalova V.** Landslide Risk: Assessment, Management and Reduction. 2017. Nova Science Publishers, New York. 253 pp. Hardcover ISBN: 978-1-53612-294-7 e-Book ISBN: 978-1-53612-311-1 (SCOPUS)

Коллективные монографии

28. **Свалова В.Б.** Геодинамика и глубинное строение Кавказского региона. // Коллективная монография «Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии». Владикавказ, 2022. С. 97-102. DOI: 10.33580/9785904868277_97

29. **Свалова В.Б.** Опасные природные процессы, риск-менеджмент и устойчивое развитие горных территорий. // Коллективная монография «Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии». Владикавказ, 2022. С. 103-109. DOI: 10.33580/9785904868277_103

Монографии (отв. редактор)

30. **Svalova V.B.** (ed.). Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Springer book: 89082526. Switzerland. 2021. 559 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8>

31. **V. Svalova** (editor). Natural Hazards and Risk Research in Russia. Springer book: 86943020 . Switzerland. 2019. 400 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91833-4>

32. **Svalova V.** (editor). Risk Assessment. InTech, 2018. ISBN 978-953-51-3799-3, Print ISBN 978-953-51-3798-6. 384 pages, under CC BY 3.0 license DOI: 10.5772/intechopen.68673 <http://www.intechopen.com/books/risk-assessment>

33. **Svalova V.** (editor). Earthquakes - Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction. InTech, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.71298

34. Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. /Кононов В.И., Юдахин Ю.Н., **Свалова В.Б.** (Отв. ред.). М.: Наука, 1993. 400 с.

Главы в монографиях

35. **Svalova V.** Thermo-gravity model for sedimentary basins./ Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. **V. Svalova** (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 25-34.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8_2

36. **Svalova V.** Geothermics and seismicity of the Caucasus region and the inverse problem of geodynamics / Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. **V. Svalova** (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 391-400. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8_22

37. **Svalova V.** Geothermics and geodynamics of the back-arc basins of the Alpine and Pacific belts. / Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. **V. Svalova** (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 401-409. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8_23

38. Makeev V., Makarova N., Sukhanova T. , **Svalova V.** Structural geodynamic zoning of Eastern European Platform – the basis for creating of geothermal model. / Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. **V. Svalova** (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 429-438.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8_25

39. Zaalishvili V., Chotchaev Kh., Burdzieva O., Melkov D., Dzhgamadze A., **Svalova V.**, Nikolaev A. Prospects for identifying and applied use of hydro and petrothermal energy sources in geodynamically active structures of the eastern segment of the Central Caucasus./ Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. **V. Svalova** (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 35-63. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8_3

40. Zaalishvili V., Chotchaev Kh., Berger M., Burdzieva O., Dzeranov B., Melkov D., Kanukov A., **Svalova V.**, Nikolaev A. Endogenous and exogenous manifestations of geodynamic activity in the Central Caucasus. / Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. **V. Svalova** (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 499-532. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63571-8_30

41. **V. Svalova.** Landslide risk assessment, management and reduction for city territories. /In:Natural Hazards and Risk Research in Russia. Edited by:**Valentina Svalova**. Springer book: 86943020. 2019. P. 283-296. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91833-4_20

42. **V. Svalova** (2019). Mechanical-mathematical modeling for landslide processes./ In:Natural Hazards and Risk Research in Russia. Edited by: **Valentina Svalova**. Springer book : 86943020 . 2019. C. 297-304. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91833-4_21

43. Alexander Ginzburg, **Valentina Svalova**, Alexey Nikolaev, German Postoev, Andrey Kazeev. Landslide and seismic monitoring systems. /In:Natural Hazards and Risk Research in Russia. Edited by: **Valentina Svalova**. Springer book: 86943020. 2019. P. 43-62. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91833-4_4

44. Alexander Ginzburg, **Valentina Svalova**, Alexey Nikolaev, Anatoliy Manukin, Vladimir Savosin. Early-warning landslide monitoring system. /In:Natural Hazards and Risk Research in Russia. Edited by: **Valentina Svalova**. Springer book: 86943020. 2019. P. 63-86. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91833-4_5

45. **Svalova V.B.** Landslide risk management and crises events. /In: Crisis Management. Theory and practice. ISBN: 978-953-51-6103-5. Edited by: Katarina Holla. InTech. 2018. P. 239- 258. DOI: 10.5772/intechopen.71641

46. **Svalova V.** Landslide Risk Management for Urbanized Territories. /In: Risk Management Treatise for Engineering Practitioners. Edited by Chike F Oduoza. InTeck, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.79181

47. **Svalova V.** Risk Analysis and Land Use Planning./ Spatial Analysis, Modelling and Planning. Edited by Jorge Rocha and José António Tenedório. InTeck, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.79776

48. **Svalova V.** Modeling and Monitoring for Landslide Processes. /Chapter in book: Natural Disasters - Typhoons and Landslides - Risk Prediction, Crisis Management and Environmental Impacts. Editor: K. Linwood, Nova Science Publishers, NY USA, 2014. P. 177-198.

49. Evgenii Sharkov and **Valentina Svalova V.** Geological-Geomechanical Simulation of the Late Cenozoic Geodynamics in the Alpine-Mediterranean Mobile Belt. / New Frontiers in Tectonic Research General Problems, Sedimentary Basins and Island Arcs. INTECH, Croatia, 2011. P. 18-38.

Публикации в других изданиях (журналах, сборниках и материалах конференций).

50. **Svalova V.** Geodynamics of Alpine Belt and Caribbean Region: Plate - Tectonics and Plume - Tectonics. // Journal of Basic & Applied Sciences, 2022. V. 18, 126–139. <https://doi.org/10.29169/1927-5129.2022.18.13>

51. Н. Б. Добрев, П. Г. Иванов, **В. Б. Свалова**, В. Б. Заалишвили, Б. В. Дзеранов. Опасные экзогенные процессы в горных районах Северного Кавказа и Болгарии. //Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2019. Том 4. № 4 (18). С. 5-14. DOI: 10.25744/genb.2020.71.19.001

52. **Svalova V.** Geothermal Energy Use, Country Update for Russia 2022. /European Geothermal Congress. Berlin. Germany. 17-21 October 2022. P. 256-263. <https://europeangeothermalcongress.eu/>
https://www.fu-confirm.de/assets/country_updates_EGC2022_lores.pdf

53. **В.Б. Свалова.** Устойчивое развитие горных территорий. /Материалы II Российского научного форума «Экология и общество: баланс интересов». Россия, г. Вологда. ФГБУН ВолНЦ РАН. 21 апреля 2022 года.

54. **В.Б. Свалова.** Риск-анализ и риск-менеджмент с использованием метода анализа иерархий./ Материалы II Российского научного форума «Экология и общество: баланс интересов». Россия, г. Вологда. ФГБУН ВолНЦ РАН. 21 апреля 2022 года.

55. **Svalova V., Povarov K.** Geothermal Resources and Energy Use in Russia. /Proceedings of WGC 2021, Iceland. 9 pp. <https://www.youtube.com/watch?v=NHkWhYyggSo> google
<http://www.wgc2020.com/>

56. **Свалова В. Б.** Геодинамика, геотермия и нефтегазоносность Прикаспийской впадины.

/Сборник материалов конференции «Новые вызовы фундаментальной и прикладной геологии нефти и газа – XXI век». Новосибирск. 14-15 сентября 2021. С. 47-49.

http://gubkin-trofimuk2021.ipgg.sbras.ru/prepare_materials

DOI 10.25205/978-5-4437-1248-2-47-49

57. **Свалова В. Б.** Гидрогеотермальные системы Кавказского региона. / Сборник материалов. Всероссийская научная конференция с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop GVW 2021). Институт вулканологии и сейсмологии. Петропавловск-Камчатский, Россия. 6-11 сентября 2021. С. 23-27. <http://www.kscnet.ru/ivs/conferences/GeothermVolc2021/ru/index>

<http://www.kscnet.ru/ivs/conferences/GeothermVolc2021/PROCEEDINGS-2021.pdf>

58. **Свалова В.Б.** Формирование и эволюция осадочных бассейнов. Пример Прикаспийской впадины. / Сборник материалов. XI научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. 20–24 сентября 2021 г. Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН г. Екатеринбург. С. 214-218. <http://igfuran.ru/>

59. **Свалова В.Б.** Глубинная геодинамика Альпийского и Тихоокеанского поясов. /Сборник материалов. Всероссийская конференция с международным участием "Динамика и взаимодействие геосфер Земли". Томск. 8-11 ноября 2021.

<http://geoconf.tsu.ru/geosphera2021/visitors/>

60. **Свалова В.Б.** Решение обратной задачи геодинамики. /Сборник материалов. Всероссийская конференция с международным участием "Динамика и взаимодействие геосфер Земли". Томск. 8-11 ноября 2021. <http://geoconf.tsu.ru/geosphera2021/visitors/>

61. **Свалова В.Б.** Геодинамика и геотермия Прикаспийской и Южно-Каспийской впадин. / Сборник материалов. Всероссийская конференция с международным участием "Динамика и взаимодействие геосфер Земли". Томск. 8-11 ноября 2021.

<http://geoconf.tsu.ru/geosphera2021/visitors/>

62. **Svalova V. B.** Geothermal resources complex utilization in Russia. / 2nd International Geothermal Conference. 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 249 012045. P. 1-9. doi:10.1088/1755-1315/249/1/012045.

63. **В.Б. Свалова**, И.В. Коробова. Проблема геоэкологической оценки территорий для размещения объектов утилизации и глубокой переработки отходов. / Сергеевские чтения. Вып.22. Москва, РУДН. 2020. С. 152-159.

64. **Свалова В.Б.** Геотермальная энергетика в России. /Российский научный форум «Экология и общество: баланс интересов», Россия, г. Вологда, ФГБУН ВолНЦ РАН, 16-20 ноября 2020 года. С. 134-137.
http://eco2020.volnc.ru/files/conf1/2020_OiE_BI_Programma-.pdf

65. **Свалова В.Б.** Управление экологическим риском и проблема захоронения отходов. /

Российский научный форум «Экология и общество: баланс интересов», Россия, г. Вологда, ФГБУН ВолНЦ РАН, 16-20 ноября 2020 года. С. 137-140.
http://eco2020.volnc.ru/files/conf1/2020_OiE_BI_Programma-2.pdf

66. Zaalishvili V.B. Chotchaev Kh.O., Magkoev T.T., Melkov D.A., Nikolaev A.V., **Svalova V.B.**, Arkhireeva I.G., Dzeranov B.V. Physical fields as derivative of deformation of rock massif and technology of their monitoring. / Proceedings of the VIII science and technology conference "Contemporary issues of geology, geophysics and geo-ecology of the North Caucasus" (CIGGG 2018) сеп. "Advances in engineering research" 2019. Издательство: ATLANTIS. PRESS. 2019. P. 62-67. Doi: 10.2991/ciggg-18.2019.12

67. **Свалова В.Б.** Глубинная геодинамика Кавказского региона. / В сборнике: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. 2019. С. 88-94.

68. **Svalova V.B.** Landslide risk assessment and management . / В сборнике: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. 2019. С. 756-767.

69. **Svalova V.** Earthquakes: Life at Risk. /In: Svalova V. (editor).Earthquakes - Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction. InTech. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.79917.

70. **Свалова В.** Пространственное геологическое моделирование и управление оползневый риском. / Материалы международной конференции «ГЕОРИСК» 2018. 6 с.

71. **Свалова В.Б.** Землетрясения, моделирование оползней и селей и вопросы инженерной защиты на Тайване. /Материалы международной конференции «ГЕОРИСК» 2018. 6 с.

72. **Svalova V.B.** Geothermal energy complex utilization. /Международный конгресс REENCON-XXI. Moscow. 2018. - 9 pp. <https://reencon.hse.ru/>.

73. **Свалова В.Б., Тетимова С.** Проблемы теплоснабжения города Велинграда, Болгария, на основе использования термальных вод. / Материалы XI Школы молодых ученых им. Э. Э. Шпильрайна «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» (октябрь 2018 г., г. Махачкала). 17 с.

74. **Свалова В.Б.** Риск оползневых процессов на урбанизированных территориях./ Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2017)<http://www.mchs.gov.ru/document/89093> РИНЦ

75. Гинзбург А.А., **Свалова В.Б.** Концепция безопасных городов и разработка системы раннего предупреждения и охранной сигнализации. / Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2017) <http://www.mchs.gov.ru/document/89093> РИНЦ

76. **Свалова В.Б.** Риск оползневых процессов на урбанизированных территориях. /Тезисы XVI Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2017) . 2017. МЧС России. Москва. С. 112-113.

77. Гинзбург А.А., **Свалова В.Б.** Концепция безопасных городов и разработка системы раннего предупреждения и охранной сигнализации. /Тезисы XVI Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2017) МЧС России. Москва. С. 33-34.

78. **Свалова В.Б.** Анализ, оценка и управление оползневыйм риском урбанизированных территорий. /Материалы конференции I Международный экологический форум в Крыму «Крым - эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития». Севастополь. 2017.

79. А.А. Гинзбург, **В.Б.Свалова.** Экологический мониторинг, управление геологическим риском и разработка концепции безопасных городов. / Материалы конференции I Международный экологический форум в Крыму «Крым - эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития». Севастополь. 2017.

80. **Свалова В.Б.,** Тетимова С. Комплексное использование термальных вод и теплоснабжение Велинграда, Болгария. / Материалы: Международная геотермальная конференция GEOHEAT, 2017, Петропавловск-Камчатский, РФ. 2017.

81. **Svalova V.,** Tetimova S. Thermal Waters Complex Use and Heat Supply for the Town Velingrad, Bulgaria. / Материалы: Международная геотермальная конференция GEOHEAT, 2017, Петропавловск-Камчатский, РФ. 2017.

82. **Свалова В.Б.** Геотермальной энергетика. Проблемы и перспективы./ Материалы: Международная геотермальная конференция GEOHEAT, 2017, Петропавловск-Камчатский, РФ. 2017.

83. **Valentina Svalova.** Geothermal Energy. Problems and Perspectives./Материалы: Международная геотермальная конференция GEOHEAT, 2017, Петропавловск-Камчатский, РФ. 2017.

84. **Свалова В.Б.** Оценка и управление оползневыйм риском./ Материалы: Всероссийская научная конференция «Фундаментальные проблемы экологии России». Иркутск. 2017. 6 с.

85. **Valentina Svalova.** Modeling and monitoring for landslide processes. /Proceedings of the 2nd Regional Symposium on Landslides 2015 (ReSyLAB 2015). Belgrade. Serbia. 2017. P. 67-73.

86. **Svalova V.** Landslide Processes Modeling, Monitoring and Risk Reduction. / Proceedings of International conference on “Landslides and slop stability” 2015 (SLOPE 2015). Bali, Indonesia. 2017.

87. **В.Б. Свалова.** Оценка и снижение оползневого риска. /Тезисы Конференции МЧС России. Москва. 2017.
88. А.А. Гинзбург, **В.Б.Свалова.** Система раннего предупреждения, охранной сигнализации и разработка концепции безопасных городов. / Тезисы Конференции МЧС России. Москва. 2017.
89. **В.Б. Свалова.** Закономерности формирования рельефа и решение обратной задачи геодинамики. // «Инновационная наука». 2016. №1. С. 201-204.
90. **В.Б. Свалова.** Мониторинг и моделирование оползневой опасности на территории Москвы. // Инженерная защита. 2016. - №1(12). – С. 34-38.
91. **В.Б. Свалова.** Анализ оползневого риска на Тайване. //Российско-китайский научный журнал "Содружество". 2016. №4. С. 136-141.
92. **В.Б. Свалова.** Анализ и управление риском оползневых процессов. //Scientia. Физика и математика. 2016. №2. С. 28-31.
93. **В.Б. Свалова.** Снижение риска оползневых процессов. //Единый всероссийский научный вестник. 2016. Часть 3. №2. С. 79-83.
94. **В.Б. Свалова.** Риск-анализ и моделирование оползневых процессов. //Международный научный журнал «Evolutio. Естественные науки». 2016.
95. **В.Б. Свалова.** Анализ и управление природным риском на Тайване. //Novation. (Болгария). 2016. №3.
96. **Svalova V.** Landslides modeling, monitoring, risk management and reduction. // EESJ (East European Scientific Journal , Польша, Варшава). 2016. № 7(11). С. 43-52.
97. **Svalova V.B.** Risk analysis, evaluation and management for landslide processes. // Sciences of Europe (Praha, Czech Republic). 2016. VOL. 4. No 6 (6). P. 15-25.
98. **В.Б. Свалова.** Оценка и управление оползневым риском урбанизированных территорий. /Тезисы. XY Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2016). Сборник материалов. ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2016. С. 77-78.

99. **В.Б. Свалова.** Мониторинг и управление оползневый риск на Тайване. / Тезисы. ХУ Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2016). Сборник материалов. ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2016. С.76-77.

100. **В.Б. Свалова.** Оценка и управление оползневый риск урбанизированных территорий. /Материалы ХУ Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2016).<http://www.mchs.gov.ru/document/89093>

101. **В.Б. Свалова.** Мониторинг и управление оползневый риск на Тайване. /Материалы ХУ Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (Антистихия 2016). <http://www.mchs.gov.ru/document/89093>

102. **В.Б. Свалова.** Геотермальная энергетика. Проблемы развития. /REENCON2016. Материалы конференции. <http://reencon-xxi.ru>.

103. **Свалова В.Б.** Оценка и снижение риска оползневых процессов урбанизированных и горнопромышленных территорий. /Материалы IV Международной научно-практической конференции «Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов», г. Екатеринбург, Россия. 2016. - С. 348-355.

104. **Svalova V.B.** Modeling, monitoring and risk reduction for landslide processes in Russia and Taiwan . /Abstracts of ICL(International Consortium on Landslides) Workshop, Japan, 2016.

105. Ginzburg A.A., Nikolaev A.V., **Svalova V.B.**, Manukin A.B., Postoev G.P., Kazeev A.I., Savosin V.V., Timkov V.V., Voronin V.V., Firsov S.A., Ginzburg M.A. Monitoring alarm system of landslide and seismic safety for potentially hazardous objects. /Abstracts of ICL Workshop, Japan, 2016.

106. Ginzburg A.A., Nikolaev A.V., **Svalova V.B.**, Postoev G.P., Kazeev A.I., Savosin V.V., Timkov V.V., Voronin V.V., Firsov S.A., Ginzburg M.A. Landslide and Seismic Monitoring System on the base of Unified Automatic Equipment. /Abstracts of ICL Workshop, Japan, 2016.

107. **Свалова В.Б.** Комплексное использование геотермальной энергии в России и мире: проблемы и перспективы. /Материалы II-ой Международной научно-практической конференции «GEOENERGY-2016» . Чеченская республика. Г. Грозный. 2016. С. 148-158.SCOPUS.

108. **Свалова В.Б.** Великое восточно-японское землетрясение и цунами и проблемы снижения риска опасных природных процессов. // Мониторинг. Наука и технологии. 2015. №1(22). С. 6-17. (BAK). 0,604

109. **Свалова В.Б.,** Тетимова С. Термоминеральные воды России и Болгарии и проблемы теплоснабжения города Велинграда. //Мониторинг. Наука и технологии.2015. №2(23). С. 61 -71. (BAK) 0,604

110. **Салова В.Б.** Альтернативная энергетика: проблемы и перспективы. // Мониторинг. Наука и технологии. 2015. № 3(24). С. 84-99. (BAK) 0,604

111. **Свалова В.Б.** Проблемы и перспективы геотермальной энергетики в России. // «Актуальные вопросы современной науки». 2015. №1(5). С. 21-30.

112. **Свалова В.Б.** Великое восточно-японское землетрясение и цунами и вопросы инженерной защиты территорий. // Инженерная защита. 2015. №3(8). С. 74-80.

113. **Свалова В.Б.** Геотермальная энергетика в России и мире. / Материалы международной конференции REENCON 2015. Москва. 2015. 8 с.

114. **Свалова В.Б.** Геотермальная энергетика в России. / Материалы Международной научно-практической конференции “GEOENERGY”, г. Грозный, Чеченская республика, 2015. С. 290-302.

115.**Свалова В.Б.** Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. / Материалы IV Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Махачкала, Дагестан, 2015. Т. 2. С. 315-322.

116. **Свалова В.Б.** Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. Уроки великого восточно-японского землетрясения и цунами 11 марта 2011 г. / Материалы XIV научно-практической конференции МЧС России «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». Москва, 2015. CD. 8 с.

117. **Свалова В.Б.** Геотермальные ресурсы и геотермальная энергетика в России. / Материалы XII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития инновационной деятельности в новом тысячелетии». Новосибирск, 2015. С. 50-54.

118. **Свалова В.Б.** Проблемы снижения риска стихийных бедствий. Уроки великого восточно-японского землетрясения и цунами. / Материалы международной научной конференции ГЕОРИСК-2015, Москва, 2015. Т. 2. С. 326-331.

119. **Свалова В.Б.** Геотермальная энергетика в России. / Материалы VI Международной научно-практической конференции «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени». Екатеринбург, 2015. Ч.2. №1(6). С. 150-154.

120. **Свалова В. Б.** Оползневые Процессы. Моделирование и Мониторинг. / Материалы IX Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: инновации и опыт». Екатеринбург, 2015. «Наука и образование». 2015. № 2 (9). С. 65-68.

121. **Свалова В.Б.** Использование геотермальных ресурсов в России. / Материалы VI Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, технологии и производства», Санкт-Петербург, 2015. Ежемесячный научный журнал « Наука. Технологии. Производство». 2015. №2(6). С. 36-39.

122. **Свалова В.Б.** Механико-математическое моделирование и снижение риска оползневых процессов. /Тезисы Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», Москва, 2015. Т. 2. С. 288-289.

123. **Svalova V., Povarov K.** Geothermal Energy Use in Russia. Country Update for 2010-2015. / Proceedings of WGC2015, Melbourne, Australia. CD. 7 pp.

124. **Svalova V., Tetimova S .** Thermomineral Waters Complex Use and Heat Supply for the Town Velingrad (Bulgaria). /Proceedings of WGC2015, Melbourne, Australia. CD. 7 pp.

125. **Svalova V.** Landslide Processes Modeling, Monitoring and Risk Reduction. / Proceedings of International conference on “Landslides and slop stability” (SLOPE 2015). Bali, Indonesia. 2015. 9 pp.

126. **Svalova V.** Modeling And Monitoring for Landslide Processes. / Abstracts of 2nd Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan region (RESYLAB-2015). Belgrad, Serbia. 2015.

127. **Svalova V.** Mechanical modeling and geophysical monitoring for landslide processes. / Proceedings of IAEG XII Congress “Engineering geology for society and territory”. Torino-2014, Italy, Springer, 2015. V. 2. P. 345-348. (WoS)

128. **Свалова В.Б.** Оползневые процессы. Моделирование и мониторинг. // Межотраслевой институт «Наука и образование». 2015. №2(9). С. 65-68.

129. **Свалова В.Б.** Механико-математическое моделирование формирования и эволюции геологических структур в связи с глубинным мантийным диапиризмом. // Мониторинг. Наука и технологии. 2014. №3(20). С. 38-42.

130. **Свалова В.Б.** Геотермальная энергетика в ЖКХ. / Независимая газета. НГ-ЭНЕРГИЯ. № 267 (6313), 9 декабря 2014 г. С. 14.

131. **Свалова В.Б.** Комплексное использование геотермальной энергии в России. Проблемы и перспективы. / Материалы Второго международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности». 10-11 ноября 2014 г. М., REENFOR-2014. С. 370-377.

132. **Свалова В.Б.** Моделирование, мониторинг и снижение риска оползневых процессов. / Сборник материалов XIII научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций», М., 14-15 мая 2014 г., МЧС России, ФКУ центр «Антистихия», 2014. С. 109-110.

133. Николаев А.В., Башилов И.П., Keh-Jian Shou, **Свалова В.Б.**, Манукин А.Б., Зубко Ю.Н. Сейсмический мониторинг опасных природных процессов. / Сборник материалов XIII научно-практической конференции «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций», М., 14-15 мая 2014 г., МЧС России, ФКУ центр «Антистихия», 2014. С. 93-94.

134. **Свалова В.Б.** Механико-математическое моделирование, мониторинг и снижение риска оползневых процессов. / Труды юбилейной конференции «Современные проблемы инженерной геодинамики», посвященной 100-летию со дня рождения профессора Г.С. Золотарева (1914-2006). МГУ, М., 2014. С. 168-169.

135. **Svalova V.** Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslide processes. IPL 163 Project. / Proceedings of the World Landslide Forum 3. Beijing, China, 2014. Volume 4. P.24-27.

136. **Svalova V.** Modeling and monitoring for landslide processes: case study of Moscow and Taiwan. / Proceedings of the World Landslide Forum 3. Beijing, China, 2014. Volume 4. P. 628-632.

137. **Svalova V.** Mechanical modeling and geophysical monitoring for landslide processes. / Abstracts of IAEG XII Congress “Engineering geology for society and territory”. Torino-2014, Italy.

138. **Свалова В.Б.** Термо-гравиметрическая модель осадочного бассейна. Пример Прикаспийской впадины. /Материалы 45 Тектонического совещания «Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования впадин с субокеанической и аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой». М., ГЕОС, 2013. С. 193-198.

139. Гончаров М.А., **Свалова В.Б.** Мантийный диапиризм как причина формирования новообразованных впадин Средиземноморья и окружающих центробежно-вергентных складчато-покровных орогенов. / Материалы 45 Тектонического совещания «Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования впадин с субокеанической и аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой». М., ГЕОС, 2013. С. 54-58.

140. **Свалова В.Б.** Снижение риска оползневой опасности. Моделирование и мониторинг. /Материалы международной научной конференции Природные риски: анализ, оценка, картографирование. М., Изд. МГУ, 2013. С. 157-163.

141. **Svalova V.**, Povarov K. Geothermal energy use in Russia. Country update for 2007-2012./Proceedings of European Geothermal Congress 2013. Pisa, Italy, 2013. 7 pp.

142. **Свалова В.Б.**, Тетимова С. Комплексное использование термоминеральных вод и проект теплоснабжения города Велинграда (Болгария). / Материалы Первого международного форума «Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности». Москва, 2013. С. 317-318.

143. **Svalova V.** Landslide processes in the urbanized Moscow area. /В сборнике: Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling. 2013. С. 17-20.

144. **Svalova V.** Geological structures and landslides modeling. /Materials of International conference IAMG 2013. Spain, Madrid, 2013.

145. **Свалова В.Б.** Термогравиметрическая модель Прикаспийской впадины. //Мониторинг. Наука и технологии. 2012. №1(10). С. 43-47.

146. **Свалова В.Б.** Термомеханика литосферы, нефтегазоносность и решение обратной задачи геодинамики. //Мониторинг. Наука и технологии. 2012. №3(12). С. 21-24.

147. **Свалова В.Б.** Геотермальная энергетика России. // Альтернативная энергетика мира. 2012. № 10. С. 20-23.

148. Николаев А.В., Башилов И.П., Keh-Jian Shou, **Свалова В.Б.**, Манукин А.Б., Зубко Ю.Н. Геофизический мониторинг опасных природных процессов. // Материалы Международной конференции «Геориск-2012». М., РУДН, 2012, т.1, 181-186.

149. Николаев А.В., Башилов И.П., Keh-Jian Shou, **Свалова В.Б.**, Манукин А.Б., Зубко Ю.Н. Сейсмо-деформационный мониторинг опасных природных процессов. / Материалы научной конференции Сергеевские чтения 2012. М., РУДН, 2012. С. 198-203.

150. **Svalova V.** Thermo-Gravimetric Model for Sedimentary Basins: Case Study of the Pre-Caspian Depression.// Journal of Earth Science and Engineering. 2012. N2. P. 538-543.

151. **Svalova V.** Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslides. /Proceedings of IPL (International Program on Landslides) Symposium, UNESCO, Paris, 2012. P. 63-96.

152. **Svalova V.** Geothermal Energy Use in Russia. / Proceedings of The 4th African Rift Geothermal Conference. (ARGeo C4) Nairobi, Kenya, 2012. 8 pp.

153. **Svalova V.** Geothermal Energy Use and Geothermal Resources of Russia. /Abstracts of 34 IGC, Australia, 2012.

154. **Svalova V.** Mechanical modeling and seismic-deformation monitoring for landslide processes. /Abstracts of 34 IGC, Australia, 2012.

155. **Свалова В.Б.** Мониторинг и моделирование оползневых процессов. //Мониторинг. Наука и технологии. 2011. №2(7). С. 19-27.

156. Николаев А.В., Башилов И.П., Keh-Jian Shou, **Свалова В.Б.**, Манукин А.Б., Зубко Ю.Н., Бехтерев С.В., Казанцева О.С., Ребров В.И., Волосов С.Г., Королев С.А. Сейсмо-деформационный мониторинг экологически опасных объектов и опасных природных процессов. //Мониторинг. Наука и технологии. 2011. №2(7). С. 6-18.

157. **Svalova V.B.** Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslide processes.// Journal of Environmental Science and Engineering. 2011. V. 5. N 10. P.1282-1287.

158. **Svalova V.B.** Landslide process simulation and monitoring. /Proceedings of ENGEOPRO, Moscow, 2011. 7 pp.

159. A.V.Nikolaev, I.P.Bashilov, Keh-Jian Shou, **V.B.Svalova**, A.B.Manukin, J.N.Zubko, S.V.Behterev, O.S.Kazantseva, V.I.Rebrov. Some directions of works on maintenance of geological safety of engineering constructions. /Proceedings of ENGEOPRO, Moscow, 2011. 7 pp.

160. **Svalova, V.B.** Geothermal Resources of Russia and Their Complex Utilization. /Proceedings of AGE2011 (Australian Geothermal Energy Conference 2011), Melbourne, Australia. 2011. 8pp.

161. **Valentina Svalova.** Landslide hazards and cultural heritage safety in Russia. Modeling and monitoring for landslide processes. / Proceedings of The International Conference Ecology and safety, Bulgaria, 2011. 9 pp.

162. **Valentina Svalova.** Geothermal energy utilization in Russia. / Proceedings of The International Conference Ecology and safety, Bulgaria, 2011. 9 pp.

163. **Svalova V.B.** Modeling and monitoring for landslide processes./ Abstract of EGU General Assembly 2011, Vienna, Austria. 2011.

164. **Valentina Svalova.** Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslide processes and landslide hazards in Moscow. / Abstracts of The 2nd World Landslide Forum 2011. Rome, Italy. 2011.

165. **Svalova V.B.** Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslides. / Abstracts of GEOCATACLISM 2011, Istanbul, Turkey. 2011.

166. **Svalova, V.B.** Geothermal resources and geothermal energy utilization in Russia. /Proceedings of the International Conference SES – Sustainable Earth Sciences, Valencia, Spain, 2011. 4 pp.

167. **В.Б. Свалова.** Геотермальные ресурсы России: проблемы и перспективы комплексного использования. // Мониторинг. Наука и технологии. 2010. №2(3). С. 16-29.

168. **В.Б. Свалова.** Проблемы и перспективы использования геотермальной энергии в России. / Материалы II Международной конференции «Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы». Махачкала, 2010. С. 46-51.

169. **Svalova V.B.** Mineral extraction from brines and geothermal resources complex use in Russia./ Proceedings of World Geothermal Congress 2010, Indonesia. 7 pp. CD.

170. **Svalova V.B., Povarov. K.O.** Geothermal development in Russia: country update 2005-2009. /Proceedings of World Geothermal Congress 2010, Indonesia. 5 pp. CD.

171. **Свалова В.Б.** “Добыть тепло из-под Земли”. Газета «Тверская, 13», №115, 25 сентября 2010 г.

172. **Свалова В.Б.** Термоминеральные воды России и их комплексное использование. //Гидрометеорология и экология. 2010. №2. С. 174-191.

173. **Svalova V.B.** Landslide hazards in Moscow and mechanical-mathematical modeling for landslide processes. /Abstracts of AGU (American Geophysical Union) International Conference “Meeting of Americas”, Brazil, Iguassu Falls, August 2010.

174. **Svalova V.B.** Complex utilization of geothermal resources./ CD Proceedings of IAEG Congress, 5-10 September 2010, Auckland, New Zealand. 2010. 7 pp.

175. **Svalova V.B.** Complex utilization of geothermal resources on Russia В сборнике: Сер.”Transactions - Geothermal Resources Council. Geothermal Resources Council Annual Meeting 2010, Geothermal 2010.” Sacramento, CA, USA, 2010. С. 884-888.

176. **В.Б. Свалова.** Геотермальные ресурсы России и их комплексное использование. //Альтернативная энергетика и экология. 2009. №7. С. 69-79.

177. **В.Б. Свалова.** Механико-математическое моделирование гравитационного движения масс по оползневому склону. /Сергеевские чтения «Моделирование при решении геоэкологических задач». Вып.11. 2009. С. 324-327.

178. **V.B. Svalova.** Mechanical-mathematical modeling for sedimentary movement and landslide processes. /CD Proceedings of the International Association for Mathematical Geosciences Meeting (IAMG 2009), Stanford, California, USA, August 23-28, 2009. 15 pp.

179. **V.B. Svalova.** Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslide process. /Abstracts of International Conference Geohazards 2009, Taiwan. 2009.

180. Keh-Jian Shou, A.V. Nikolaev, I.P. Bashilov, **V.B. Svalova**, C.C. Lin, S.T. Song. Theory and methods of earthquake early warning systems for underground pipelines and hazardous slopes. / Abstracts of International Conference Geohazards 2009, Taiwan. 2009.

181. Y. N. Zubko, A.V. Nikolaev, I.P. Bashilov, **V.B. Svalova**. Autonomous portable seismic receiver with digital registration for seismological studies. /Abstracts of International Conference Geohazards 2009, Taiwan. 2009.

182. **V.B. Svalova**. Geothermal Resources and Energy Complex Use in Russia. /Abstracts of General Assembly 2009 of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, 19-24 April 2009.

183. **V.B. Svalova**. Mechanical-Mathematical Modeling for Landslide Process./ Abstracts of General Assembly 2009 of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, 19-24 April 2009.

184. **Свалова В.Б.** Проблемы и перспективы геотермальной энергетики в России./ Материалы X Международной конференции «Тепловое поле Земли и методы его изучения». 18-19 июня 2008 года, Российский государственный геологоразведочный университет, Москва. 2008. 4 с.

185. **Svalova V.** Thermo-mechanical modeling for the lithosphere processes. /Abstracts of 33 International Geological Congress, Oslo, Norway, 2008.

186. **Svalova V.** Geothermal resources complex use and mineral extraction from brines. /Abstracts of 33 International Geological Congress, Oslo, Norway, 2008.

187. **Svalova, V.B.**, Postoev, G.P. Landslide process activization: modeling and monitoring. /Abstracts of 33 International Geological Congress, Oslo, Norway, 2008.

188. **Svalova V.**, Postoev G. Landslide Process Activization on Sites of Cultural Heritage in Moscow, Russia. /Proceedings of the First World Landslide Forum 2008, Tokyo, Japan. 2008. 4pp.

189. **Svalova V.**, Postoev G. Landslide Process Activization on Sites of Cultural Heritage in Moscow, Russia. / "Landslides", Special volume for the First World Landslide Forum 2008, Tokyo, Japan. 2008. 3 pp.

190. **Svalova, V.B.**, Postoev, G.P. Landslides Threatening Heritage Sites in Russia./ Proceedings of ICDM2008 (International Conference on Disaster Prevention Technology and Mitigation Education). Taiwan, 2008. 6 pp.

191. **Svalova V.B.** Geothermal resources of Russia and their complex utilization. /Proceedings of Petroleum Engineering Summer School, Interactive Seminar-Workshop “Geothermal Fields Development”, Dubrovnik, Croatia, June 2008. 12 pp.

192. **Свалова В.Б.** Использование геотермальной энергии в городском теплоснабжении в России и за рубежом. /Материалы 3-ей Международной конференции «Альтернативные источники энергии для больших городов», Москва, 2008. 8 с.

193. **Свалова В.Б.** Проблемы и перспективы использования геотермальных ресурсов.// «Использование и охрана природных ресурсов в России». 2008. № 5. С. 3-10.

194. **Свалова В.Б.** Проблемы и перспективы геотермальной энергетики в России.//«Наука и технологии в промышленности». 2008. №4. 16 с.

195. **Свалова В.Б.** Комплексное использование гидротермальных ресурсов./ Доклады VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». 6 т., М., 2007. С. 384-386.

196. **Свалова В.Б.,** Кутепов В.М., Постоев Г.П. Оползневые процессы. Моделирование и мониторинг. (**Svalova V.B.,** Kutepov V.M., Postoev G.P. Landslide processes. Modelling and monitoring.) /Тезисы докладов российских и китайских ученых на Российско-Китайском научном форуме высокого уровня «Ресурсы, охрана окружающей среды и устойчивое развитие». М., Наука, 2007. С. 160-162.

197. **Свалова В.Б.,** Кутепов В.М., Постоев Г.П. Активизация оползневых процессов на территории Москвы и проблема сохранения объектов культурного наследия. /Материалы 1-го Уральского международного экологического конгресса «Экологическая безопасность горнопромышленных регионов». Т.1. Екатеринбург, 2007. С. 154-158.

198. **Svalova V.B.,** Kutepov V.M., Postoev G.P. Landslide hazard in Moscow and monitoring system. /Proceedings of Taiwan-Russian Joint Symposium on Natural Hazard Monitoring, Risk Management and Reduction. Taiwan, 2007. P. IV-1-IV-15.

199. **Svalova V.B.** Complex Use of Geothermal Resources. /Proceedings European Geothermal Congress 2007, Germany. 2007. N 233. 4 pp.

200. **Svalova V.B.** Mineral Extraction from Brines and Geothermal Waters Complex Use. /Abstracts of New Zealand Workshop and New Zealand Geothermal Association Seminar 2007, New Zealand. 2007.

201. **Svalova V.B.** Mineral resources of geothermal waters and brines. /Proceedings of the International conference "Mineral extraction from geothermal brines". Tucson, Arizona, USA, 2006. 12 pp.

202. **Svalova V.B.** Geothermal resources and thermal waters of Russia: complex use. /Proceedings of the Geothermal Resources Council 2006 Annual Meeting "Geothermal Resources Securing Our Energy Future", San Diego, California, USA, 2006. 12 pp.

203. **Svalova V.B.**, Koutepov V.M., Postoyev G.P. Landslide hazard estimation on sites of modern and historical constructions in Moscow./ Proceedings of the International Conference on Disaster Prevention Technology and Mitigation Education, Taiwan, 2006. 28 pp.

204. **Svalova V.B.**, Postoyev G.P. Landslides risk reduction and monitoring for urban territories in Russia. / Proceedings of the International Conference on Disaster Prevention Technology and Mitigation Education, Taiwan, 2006. 7 pp.

205. **Svalova V.B.**, Koutepov V.M., Postoyev G.P. Landslide hazard estimation on sites of modern and historical constructions in Moscow./ Proceedings of the International Consortium on Landslides Symposium, Paris, France. 2006. 12 pp.

206. **Svalova V.B.** Geothermal energy use in Russia: progress and future. / Proceedings of the First East African rift geothermal conference. Geothermal energy: an indigenous, environmentally benign and renewable energy resource. Addis Abeba, Ethiopia, 2006. 6 pp.

207. **Svalova V.B.**, Postoyev G.P. Landslides risk reduction and monitoring for urban territories. /Proceedings of ICL (International Consortium on Landslides) Meeting, USA, 2005. 6 pp.

208. **Svalova V.B.** Geothermal energy use in Russia and environmental problems./ Proceedings of the World Geothermal Congress in Turkey, 2005. 12 pp.
209. **Svalova V.B.** Geothermal energy use in Russia and environment./ Proceedings of Geothermal Conference in Zakopane, Poland. 2004. 8 pp.
210. **Svalova V.B.** Mantle plumes and geological structures evolution. /Abstracts of 32 IGC, Florence, Italy, 20-28 August, 2004.
211. **Svalova V.B.** Geothermal energy use in Russia, sustainable development and environmental problems. /Abstracts of 32 IGC, Florence, Italy, 20-28 August, 2004.
212. **Svalova V. B.,** Postoev G.P., Koutepov V.M. Landslide hazard estimation on sites of modern and historical constructions in Moscow region./ Abstracts of 32 IGC, Florence, Italy, 20-28 August, 2004.
213. **Svalova V.B.** Geothermal resources of Russia, sustainable development and environmental problems decision./ CD Proceedings of International Conference Energy without Smoke. Sochi, 2003. 8pp.
214. **Svalova V.B.** Geothermal energy use in Russia./ Proceedings of Geothermal Conference in Reykjavik, Iceland, 2003. 4 pp.
215. **Svalova V.B.** Geothermal energy use in Russia and environmental problems./ CD Proceedings of European Geothermal Conference 2003, Hungary. 2003. 6 pp.
216. **Svalova V.B.** Thermal regime of the lithosphere and geological structures evolution. /Abstracts of the EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, 2003.
217. **Svalova V.B.** Sedimentary basins evolution modeling. /Abstracts of International Conference IAMG, Portsmouth, England, 2003.
218. **Svalova V.B.** Geological structures as reflection of mantle convection and plumes./ Abstracts of the European Geophysical Society 27 General Assembly, Nice, France. 2002.
219. **V.B.Svalova.** Mechanical-mathematical modelling for the Earth's deep and surface structures interaction./ Proceedings of International Conference IAMG, Berlin, 2002. 6 pp.

220. **Svalova V.B.** Geothermal regime of the lithosphere and geological structures evolution. Thermomechanical modelling. /Proceedings of International Conference The Earth's thermal field and related research methods, Moscow. 2002. 6 pp.

221. **Svalova V.B.** Geothermal borehole data, paleoclimate reconstruction and environmental problems decision. /Proceedings of International Symposium "Engineering-geological problems of the urban territories", Ekaterinburg, 2001. 6 pp.

222. **Svalova V.B.** Geothermal borehole data and paleoclimate reconstruction. /Proceedings of the International Conference "Rhythms of natural processes in cryosphere of the Earth", Pushchino, 2000.

223. **Svalova V.B.** The history of geothermal resources use in Russia and the former USSR. /Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Japan. 8 pp.

224. **Svalova V.B.** Mechanical-mathematical simulation of geological structures evolution./ Abstracts of the 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, 2000.

225. **Svalova V.B.** Geothermal legends through history in Russia and the former USSR: a bridge to the past. In: Stories from a Heated Earth. Our Geothermal Heritage. GRC, IGA. Sacramento, California, 1999. P. 336-355.

226. **Svalova V.B.** Paleoclimate reconstruction and the environmental problems solution. /Materials of Mining Prizibram Symposiun IAMG (International Association for Mathematical Geology). Prague, Czeck Republic, October 4-8, 1999.

227. **Svalova V.B.** The History of Geothermal Resources Use in the Former USSR./ Proceedings of the 1998 GRC Annual Meeting, San Diego, California, USA. 1998. 7 pp.

228. **Svalova V.B.** Geothermal regime of the lithosphere, paleoclimate reconstruction and environmental problems decision./ Proceedings of International Conference "The Earth's thermal field and related research methods". M., 1998. P. 258-260.

229. **Svalova V.B.** Basin formation and evolution modeling on the base of geological-geophysical data./ Abstracts of 60 EAGE Conference, Leipzig, Germany. 1998.

230. **Свалова В.Б.** Мантийный диапиризм и формирование осадочных бассейнов. Исследования на примере Прикаспийской впадины и осадочных бассейнов Бразилии. /Материалы второй международной конференции Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Москва. МГУ. 1998. С. 176-178.

231. **Svalova V.B.** Thermo-gravity model of the lithosphere of Pre-Caspian Depression. /Proceedings of International Conference The Earth's thermal field and related research methods, Moscow, 1997. P. 105-109.

232. **Svalova V.B.** Thermomechanical modeling of geological structures formation and evolution on the base of geological-geophysical data. / Proceedings of the Third Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology IAMG'97, Barcelona, Spain, 1997. Part 2. P. 1049-1055.

233. **Svalova V.B.** Mantle diapirs and sedimentary basins formation and evolution. Case study of the Pre-Caspian Depression and sedimentary basins of Brazil. /Expanded abstracts of 5th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. V. II, San Paulo, Brazil, 1997. P. 1004-1005.

234. **Svalova V.B.** Reconstruction of paleoclimate changes on the base of borehole geothermal data. / Proceedings of International Conference "Environmental geology and rational land use", S.-Petersburg, 1997.

235. **Svalova V.B.** Thermomechanical modeling for sedimentary basins formation and evolution. /Abstracts of 59 EAGE Conference, Geneva, Switzerland. 1997.

236. **Svalova V.B.** Exploration of geothermal field and evaluation of geothermal resources of the Pre-Caspian Depression. /Materials of World Geothermal Congress. Florence. 1995.

237. **Svalova V.B.** Mechanical-mathematical simulation of geological structure evolution. //Geoinformatics. 1993. V. 4. N3. P. 153-160.

238. **Свалова В.Б.,** Соловьев Б.А., Иванова Т.Д. Геодинамика и геотермия Прикаспийской впадины./ Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. Кононов В.И., Юдахин Ю.Н., **Свалова В. Б.** (Отв. ред.). М.: Наука. 1993. С. 119-132.

239. Шарков Е.В., **Свалова В.Б.** Геотермия и напряженное состояние литосферы Альпийского и Тихоокеанского поясов. / Геотермия сейсмичных и

асейсмичных зон. Кононов В.И., Юдахин Ю.Н., **Свалова В. Б.** (Отв. ред.). М.: Наука. 1993. С. 132-138.

240. **Svalova V.B.** Mechanical-mathematical models of the formation and evolution of sedimentary basins. //Sci.de la Terre, Ser.Inf., Nancy,1992. 31. P. 201-208.

241. **Svalova V.B.**, Sharkov E.V. Mantle diapirs and surface depression in back-arc areas: a rheological model. // Ofiolity,1992. 17/1/. P. 165-170.

242. **Svalova V.B.** Mechanical-mathematical modeling of geological structures evolution. /29 IGC. Kyoto, Japan, 1992.

243. **Svalova V.B.** Geodynamics of Pacific collision zone and back-arc spreading. /29 IGC. Kyoto, Japan, 1992.

244. **Svalova V.B.**, Sharkov E.V. Back-arc basins formation of Alpine and Pacific belts active margins . /29 IGC. Kyoto, Japan, 1992.

245. **Свалова В.Б.** Формирование и эволюция осадочных бассейнов: Механико-математическое моделирование. // Строение и геодинамика земной коры и верхней мантии. М. 1991. С. 66-73.

246.**Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Геодинамическая модель формирования внутриматериковых морей типа Черного, Каспийского и Средиземного. /Тектоносфера европейской части СССР. Киев. Наукова думка. 1991. С. 152-163.

247. **Свалова В.Б.**, Мясников В.П. Вопросы математического и механического моделирования в решении задач теоретической геологии. /В сб. Экспериментальная тектоника и полевая тектонофизика. Киев, Наукова думка. 1991. С. 29-35.

248. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Термомеханическая модель формирования задуговых морей Альпийского пояса. /Теоретические и экспериментальные исследования геотермического режима акваторий . Сб. науч. тр. АН СССР, Комис. по пробл. Мирового океана; Отв. ред. Ю. М. Пушаровский, В. И. Кононов. М.: Наука, 1991. 260 с. С. 75-86.

249. Соловьев Б.А., **Свалова В.Б.**, Иванова Т.Д. Термомеханическая модель формирования и эволюции осадочного бассейна на примере Прикаспийской

впадины. /Теоретические и экспериментальные исследования геотермического режима акваторий: Сб. науч. тр. АН СССР, Комис. по пробл. Мирового океана; Отв. ред. Ю. М. Пушаровский, В. И. Кононов. М.: Наука, 1991. 260 с. С. 93-104.

250. **Svalova V.** Forming and evolution of sedimentary basins. Mechanical-mathematical modelling. /Сб. докладов Всесоюзной конференции Строение и геодинамика земной коры и верхней мантии. Москва, ГИН РАН, 1990. М., 1991. С. 66-73.

251. **Свалова В.Б., Шарков Е.В.** Петролого-геомеханические аспекты геодинамики Альпийского пояса./ Сб. докладов Всесоюзной конференции Строение и геодинамика земной коры и верхней мантии. Москва, ГИН РАН, 1990. М., 1991. С. 99-109.

252. **Свалова В.Б., Соловьев Б.А., Иванова Т.Д.** Модель эволюции осадочного чехла и условия формирования крупных зон нефтегазонакопления Прикаспийской впадины./ Сб. докладов Всесоюзной конференции Строение и геодинамика земной коры и верхней мантии. Москва, ГИН РАН, 1990. М., 1991. С. 80-90.

253. **Свалова В.Б.** Механические и математические модели региональных геологических структур и процессов. / Материалы Межд. конф. IAMG (International Association for Mathematical Geology) Горнорудный Пржибрам в науке и технике. Пржибрам, Чехословакия. 1991.

254. **Svalova V.** Thermomechanical modeling of geological structure evolution. /Abstracts of XVI General Assembly of EGS. Wiesbaden, Germany, 1991.

255. **Svalova V.** Formation and evolution of sedimentary basins. Mechanical-mathematical modeling. /Abstracts of XVI General Assembly of EGS. Wiesbaden, Germany, 1991.

256. **Svalova V.** Formation and evolution of back-arc seas./ Abstracts of XX General Assembly of IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). Vienna, Austria, 1991.

257. **Svalova V.** Interaction between tectonics and isostasy during modeling of sedimentary basins./Abstracts of XX General Assembly of IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). Vienna, Austria, 1991.

258. **Svalova V.** Mechanical-mathematical models of the forming and evolution of sedimentary basins./ Materials of CODATA conference Geomathematics and geostatistics. Leeds, U.K. 1990. 8 pp.

259. **Свалова В.Б.,** Мясников В.П., Медведев С.Е. Моделирование процесса формирования и эволюции осадочного чехла. /Материалы мирового центра данных. Информационное обеспечение геофизических исследований. М., ВИНТИ. 1990. С. 13-20.

260. **Свалова В.Б.,** Шарков Е.В. Геодинамическая модель формирования задуговых морей Альпийского пояса. /Материалы мирового центра данных. Информационное обеспечение геофизических исследований. М., ВИНТИ. 1990. С. 21-28.

261. **Свалова В.Б.** Структурообразующие обстановки в осадочном чехле, коре и верхней мантии. /Сборник трудов Международного симпозиума IAMG «Математические методы в геологии». Пржибрам, Чехословакия. 1989. С. 162-169.

262. **Свалова В.Б.** Математические модели временной и структурной эволюции рельефа и осадочного чехла. /Материалы Межд. конф. IAMG (International Association for Mathematical Geology) Горнорудный Пржибрам в науке и технике. Пржибрам, Чехословакия. 1987.

263. Гордин В.М., Занемонец (**Свалова**) В.Б., Михайлов В.О., Мясников В.П. Механическое моделирование процессов формирования структур земной коры при геологическом истолковании региональных гравитационных аномалий. /Геофизический сборник АН УССР. Вып. 81. 1978. С. 108-129.

264. Занемонец Н.А., Занемонец (**Свалова**) В.Б., Дровенникова М.П. К анализу температурного поля в вулканизируемой пластине с учетом внутренних источников тепла переменной мощности. //Каучук и резина. 1971. №10. С. 14-17.

265. **Свалова В.Б.** Расчет напряженно-деформированного состояния и упругих характеристик армированного стеклопластика при различных видах нагружения. /Сборник научных трудов «Дифференциальные уравнения и обратные задачи динамики». М., Изд. УДН, 1983. 8 с.

266. **Свалова В.Б.**, Евреинов В.В., Бадаева И.Г. Решение задач кинетики процессов модификации полиуретанов. /Сб. «Численные методы в теоретической физике и физической химии». М., Изд. УДН, 1983. 5 с.

267. **Свалова В.Б.**, Роздина И.Г., Евреинов В.В., Тигер Р.П., Энтелис С.Г. Кинетическая модель совместного процесса поликонденсации и циклотримеризации. //Химическая физика. 1984. Т.3. №7. 7с.

268. **Свалова В.Б.** Расчет напряженно-деформированного состояния сбалансированного композита с учетом приложенных внешних моментов. / Сб. «Численные методы в задачах математической физики». М., Изд. УДН, 1985. 5 с.

269. **Свалова В.Б.** Алгоритм расчета прочности многослойного композитного материала при различных видах нагружения. /Сб. «Численные методы в задачах математической физики». М., Изд. УДН, 1985. 4 с.

270. **Свалова В.Б.** Расчет напряженно-деформированного состояния слоистого композита для несимметричной структуры армирования. /Сб. «Вычислительная математика и информатика». М., Изд. УДН, 1986. 8 с.

271. **Свалова В.Б.** Расчет упругих характеристик композитного материала по известным упругим характеристикам однонаправлено-армированного слоя. / Сб. «Вычислительная математика и информатика». М., Изд. УДН, 1986. 5 с.

272. **Свалова В.Б.** Расчет напряженно-деформированного состояния, упругих характеристик и прочности многослойного композитного материала стандартной структуры армирования. /Сборник программ для решения задач в вычислительной математике и информатике. М., Изд. УДН, 1986. 4 с.

273. **Свалова В.Б.** Расчет задачи кинетики процессов модификации полиуретанов методом Рунге-Кутты. /Сборник программ для решения задач в вычислительной математике и информатике. М., Изд. УДН, 1986. 4 с.

274. **Свалова В.Б.,** Мясников В.П. Многослойные механические модели реологического поведения тектонически расслоенной литосферы./ Тезисы Всесоюзного совещания-семинара молодых ученых «Современные проблемы механики жидкости и газа». Г. Грозный, 1986.

275. **Свалова В.Б.,** Мясников В.П. Механические модели динамики региональных геологических структур. /Тез. VI Всесоюзного съезда по теоретической и прикладной механике. Ташкент, 1986.

276. **Свалова В.Б.,** Мясников В.П. Вопросы математического и механического моделирования в решении задач теоретической геологии./ Тез. II Всесоюзного симпозиума «Экспериментальная тектоника в решении задач теоретической и практической геологии». Ялта, 1987.

277. **Свалова В.Б.** Многослойные механические модели реологического поведения тектонически расслоенной литосферы. /Тез. III Тихоокеанской школы по морской геологии, геофизике и геохимии. Владивосток, 1987.

278. **Свалова В.Б.,** Мясников В.П. Математическое моделирование региональных геологических структур на основе механической модели тектонически расслоенной литосферы./ Тез. конференции по Морской геофизике. Геленджик, 1988.

279. **Свалова В.Б.,** Мясников В.П. Механико-математическое моделирование динамики шельфовой зоны морей и океанов. /Тез. Межд. симпозиума «Инженерная геология шельфа и континентального склона морей и океанов мира». Тбилиси, 1988.

280. **Свалова В.Б.,** Шарков Е.В. Геодинамическая модель формирования внутриматериковых морей типа Черного, Каспийского и Средиземного. . Тез. Всесоюзной конференции « Модели строения тектоносферы различных регионов СССР». Ялта, 1988.

281. **Свалова В.Б.,** Шарков Е.В. Исследование петрологических явлений в областях задугового спрединга с помощью механико-математической модели. /Тез. II Всесоюзного совещания «Физико-химическое моделирование в геохимии и петрологии на ЭВМ». Иркутск, 1988.

282. **Свалова В.Б.**, Мясников В.П., Медведев С.Е. Моделирование процесса формирования и эволюции осадочного чехла. / Тез. Международного семинара «Использование банков данных при региональных исследованиях». Махачкала, 1988.

283. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Геодинамическая модель формирования задуговых морей Альпийского пояса. / Тез. Международного семинара «Использование банков данных при региональных исследованиях». Махачкала, 1988.

284. **Свалова В.Б.**, Мясников В.П., Медведев С.Е. Геомеханическая модель формирования и эволюции осадочного чехла./ Тез. I Всесоюзной конференции «Геодинамические основы прогнозирования нефтегазоносности недр». М., 1988.

285. **Свалова В.Б.**, Соловьев Б.А., Иванова Т.Д. Прогноз ранних этапов формирования Прикаспийской впадины с применением механико-математической модели. /Тез. I Всесоюзной конференции «Геодинамические основы прогнозирования нефтегазоносности недр». М., 1988.

286. **Свалова В.Б.** Математическое моделирование региональных геологических структур на основе механической модели тектонически расслоенной литосферы. /Тез. 8 Всесоюзной школы «Геология морей и океанов». Геленджик, 1988.

287. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Термомеханические модели эволюции литосферы Альпийского пояса./ Тез. Международного симпозиума «Тепловая эволюция литосферы и ее связь с глубинными процессами». Москва, 1989.

288. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Поля температур и напряжений Байкальской рифтовой зоны. /Тез. Международного симпозиума «Тепловая эволюция литосферы и ее связь с глубинными процессами». Москва, 1989.

289. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Сравнительная термогеодинамика Альпийского и Тихоокеанского поясов./ Тез. Международного симпозиума «Тепловая эволюция литосферы и ее связь с глубинными процессами». Москва, 1989.

290. **Свалова В.Б.**, Соловьев Б.А., Иванова Т.Д. Геодинамические обстановки формирования региональной структуры нефтегазоносных комплексов Львовского прогиба./ Тез. республиканской конференции «Проблемы геологии и геохимии горючих ископаемых запада Украинской ССР. Львов, 1989.

291. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Исследование переходных зон океан-континент на основе механико-математического моделирования./ Тез. XX пленума Геоморфологической комиссии АН СССР «Геоморфологическое строение и развитие зон перехода от континентов к океанам». Владивосток, 1989.

292. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Сравнительный анализ формирования и эволюции задуговых морей Альпийского и Тихоокеанского поясов./ Тез. XX пленума Геоморфологической комиссии АН СССР «Геоморфологическое строение и развитие зон перехода от континентов к океанам». Владивосток, 1989.

293. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Термомеханические модели литосферы Байкальской рифтовой зоны. /Тез. региональной конференции «Геотермия и ее применение в региональных поисково-разведочных исследованиях». Свердловск, 1989.

294. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Термогеодинамика литосферы Альпийского пояса./ Тез. региональной конференции «Геотермия и ее применение в региональных поисково-разведочных исследованиях». Свердловск, 1989.

295. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Напряженное состояние литосферы Байкальской рифтовой зоны. /Тез. Всесоюзного совещания «Эндогенные процессы в зонах глубинных разломов». Иркутск, 1989.

296. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Геодинамика задуговых морей, механико-математическое моделирование. /Тез. Международного симпозиума «Тектоника, энергетические и минеральные ресурсы Северо-Западной Пацифики». Хабаровск, 1989.

297. **Свалова В.Б.** Геодинамические модели эволюции осадочных бассейнов./Тез. Международного симпозиума «Компьютерный анализ бассейнов с целью прогноза энергетических и минеральных ресурсов». Гюстроф, ГДР, 1990.

298. **Свалова В.Б.**, Соловьев Б.А., Иванова Т.Д. Геодинамические условия формирования продуктивных горизонтов Средне-Европейской депрессии./ Тез. Международного симпозиума «Компьютерный анализ бассейнов с целью прогноза энергетических и минеральных ресурсов». Гюстроф, ГДР, 1990.

299. **Свалова В.Б.**, Соловьев Б.А., Иванова Т.Д. Термомеханические модели формирования и эволюции осадочных бассейнов (на примере Прикаспийской впадины). Тез. Международного симпозиума «Компьютерный анализ бассейнов с целью прогноза энергетических и минеральных ресурсов». Гюстроф, ГДР, 1990.

300. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Термогеодинамика активных континентальных окраин и формирование месторождений полезных ископаемых. /Тез. школы-семинара «Тектоника и минерагения Северо-Востока СССР». Магадан, 1990.

301. **Свалова В.Б.** Эволюция осадочных бассейнов и формирование зон нефтегенерации. /Тез. Всесоюзного семинара-совещания «Осадочные и вулканогенно-осадочные формации и их полезные ископаемые». Баку, 1990.

302. **Свалова В.Б.** Механико-математические модели формирования и эволюции осадочных бассейнов. /Тез. школы по Морской геофизике. Геленджик. 1990.

303. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Геодинамика зоны коллизии литосферных плит Тихоокеанского типа. / Тез. школы по Морской геофизике. Геленджик. 1990.

304. **Свалова В.Б.** Термомеханические модели эволюции осадочных бассейнов и формирование зон нефтегазогенерации. /Тез. Международной конференции «Тепловой поток и термические режимы литосферы». Дания, Копенгаген, 1990.

305. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Термогеодинамика зоны коллизии Альпийского пояса./ Тез. Международной конференции «Тепловой поток и термические режимы литосферы». Дания, Копенгаген, 1990.

306. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Сравнительная термогеодинамика задуговых морей Альпийского и Тихоокеанского поясов./ Тез. Международной

конференции «Тепловой поток и термические режимы литосферы». Дания, Копенгаген, 1990.

307. **Свалова В.Б.**, Соловьев Б.А., Иванова Т.Д. Геотермальные критерии формирования месторождений углеводородов в подсолевых отложениях Прикаспийской впадины. /Тез. Международной конференции «Тепловой поток и термические режимы литосферы». Дания, Копенгаген, 1990.

308. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Геодинамика литосферы Байкальской рифтовой зоны./ Тез. Всесоюзного совещания «Разломообразование в литосфере: тектонофизические аспекты». Иркутск, 1991.

309. **Свалова В.Б.**, Шарков Е.В. Напряженное состояние литосферы и рифтогенез. /Тез. Всесоюзного совещания «Разломообразование в литосфере: тектонофизические аспекты». Иркутск, 1991.

310. **Svalova V.B.** Vertical changes of temperature field for sedimentary basins. / Abstracts of International conference “Development of geothermal measurements in boreholes”. Germany, Klein-Keris. 1993.

ТЕРМИНОЛОГИЯ

Опасность – явления, угрожающие жизни и здоровью человека.

Опасность – это угроза негативного воздействия на объект, которое может придать ему нежелательные качества и динамику развития, ухудшить его свойства, результаты функционирования.

Угроза понимается как синоним слова «опасность», но более конкретная и непосредственная форма опасности причинения ущерба. Опасность может присутствовать, но не угрожать непосредственно.

Природная опасность – природные процессы и явления, представляющие угрозу для жизни и здоровья человека и угрозу ущерба природной и техногенной среды.

Геодинамическая опасность - процессы и явления, связанные с движением вещества литосферы, представляющие угрозу для жизни и здоровья человека и угрозу ущерба природной и техногенной среды.

Тектоническая опасность - природное явление, которое угрожает людям или может нанести ущерб, природная опасность, вызванная движением тектонических плит (включая вулканы и землетрясения).

Тектоническая опасность – опасность, связанная с геотектоникой: тектоникой литосферных плит, разломами земной коры, глубинными разломами, движением по разломам.

Понятия **геодинамическая опасность** и **тектоническая опасность** очень близки и отражают соотношение и взаимосвязь между **геодинамикой** и **геотектоникой**.

Наиболее ярко **геодинамическая опасность** проявляется в землетрясениях и оползневом процессе.

Геотермическая опасность – опасность, связанная с геотермальной активностью и повышенным тепловым потоком, выносом глубинного тепла, подъемом мантийных диапиров, вулканизмом и тектоно-магматической активизацией.

Наиболее ярко **геотермическая опасность** проявляется в извержениях вулканов.

Конвективный перенос тепла осуществляется движением вещества Земли, чем осуществляется (овеществляется) связь **геодинамики и геотермии**.

Риск – вероятностная мера опасности, выраженная в виде возможного ущерба за определенное время.

Риск есть математическое ожидание ущерба.

Риск есть произведение вероятности возможного опасного события на произведенный ущерб.

Риск природный – вероятностная мера природной опасности, выраженная в виде возможного ущерба за определенное время.

Геодинамический риск – природный риск, связанный с движениями в литосфере.

Геодинамический риск – вероятностная мера геодинамической опасности.

«Горячие пятна» по степени риска – это суперпозиция областей максимальной вероятности опасного события и областей максимального потенциального ущерба в случае наступления события.

Риск допустимый (приемлемый) – уровень возможных потерь от природно-техногенных опасностей, не приводящих к необратимым изменениям объектов или природной среды. Устанавливается исходя из научного обоснования и социально-экономических возможностей.

Риск дифференцированный – показатель возможных потерь для объекта от одной опасности за заданное время.

Риск индивидуальный – показатель возможных потерь от одной или нескольких опасностей, установленный для представителя группы населения, находящейся в зоне возможного поражения, в виде гибели, ранения, потери здоровья или других негативных последствий за определенное время, обычно за один год.

Риск интегральный - показатель возможных потерь от нескольких опасностей за определенное время.

Риск физический (событийный) - показатель возможных потерь от одной или нескольких опасностей для объекта в виде числа негативных случаев его поражения с определенным уровнем потерь (количество разрушенных и поврежденных зданий и сооружений, площадь выведенных из землепользования территорий, число чрезвычайных ситуаций определенной степени тяжести и т.п.) за определенное время.

Риск экологический – вероятностная мера одной или нескольких экологических опасностей для определенных видов, популяций, сообществ живых организмов, экосистем, групп населения в виде возможных негативных изменений и потерь за определенное время.

Риск экономический - показатель возможных потерь от одной или нескольких опасностей для объекта за определенное время в стоимостном выражении.

Риск экономический удельный - показатель возможных потерь от одной или нескольких опасностей для объекта за определенное время в стоимостном выражении на единицу площади.

Управление природным риском – комплекс взаимосвязанных нормативно-правовых, организационно-административных, экономических, инженерно-технических и других мероприятий, направленных на уменьшение или предупреждение возможных или существующих потерь населения, объектов экономики и окружающей природной среды от природных опасностей. (Рагозин).

Управление геоэкологическим риском включает следующие понятия:

1. Идентификация опасности; 2. Оценка уязвимости; 3. Анализ рисков; 4. Понятие приемлемого риска; 5. Оценка рисков; 6. Картографирование рисков; 7. Меры по снижению риска: а) законодательные; б) организационные и административные; в) экономические, включая страхование; г) инженерно-технические; д) моделирование; е) мониторинг; ж) информация.

Под информацией понимается оповещение населения и принимающих решения органов о возможном катастрофическом событии или опасном природном явлении, а также просвещение, обучение действиям, тренинги.

Управление риском есть система мер, ведущих к снижению риска.

Ущерб – вред, убыток, потери.

Ущерб – вред, нанесенный физическому или юридическому лицу, объекту или отрасли хозяйства, природной среде, выраженный в физических, стоимостных или иных показателях.

Уязвимость – свойство объектов утрачивать свойства. Изменяется от 0 (отсутствие повреждений) до 1 (полное разрушение).

Элементы риска - все находящиеся на рассматриваемой площади объекты потенциальной опасности - люди, инженерные сооружения гражданского и промышленного назначения, линии жизнеобеспечения, составляющие инфраструктуры, экономическая и коммерческая деятельность и т. д.

РИСК.

Этимология. Варианты.

Оксфордский словарь английского языка (OED) приводит самое раннее использование этого слова на английском языке (в написании *risque* от его французского оригинала, "risque") с 1621 года и написание как *risk* (**risk**) с 1655 года.

3-е издание OED определяет **risk** как:

Возможность потери, травмы или другого неблагоприятного обстоятельства; шанс или ситуация, связанные с такой возможностью.

В Кембриджском словаре дается определение: **risk** как “возможность того, что произойдет что-то плохое”.

Слово «**risk**» является заимствованием из фр. *risque* — «risk» и итал. *risico* — «risk», и восходит к др.-греч. ῥίσικόν — «утёс» и др.-греч. ῥίζα — «подножие горы». Отсюда — «рисковать» — от фр. *risquer* и итал. *risicare*, что означает — «лабиринт между скал». (Фасмер).

Слово «**risk**», в переводе с испанского, означает: «риф», «скала», «отвесная скала», т.е. опасность, которая могла угрожать кораблям.

Риск (от лат. *resēcō* «отсекать; сокращать» или др.-греч. *ρίζικόν* «опасность») — сочетание (с точки зрения вычисления — произведение) вероятности и последствий наступления неблагоприятных событий.

Было предложено много разных определений **риска**.

Международное стандартное определение **риска** для общего понимания в различных

приложениях - “влияние неопределенности на цели”.

Риск - это вероятность того, что произойдет что-то плохое.

Риск предполагает неопределенность в отношении последствий деятельности в отношении того, что люди ценят (здоровье, благополучие, богатство, собственность или окружающая среда), часто фокусируясь на негативных, нежелательных последствиях.

“**Статистически ожидаемый убыток**”. Ожидаемое значение потерь было использовано Вальдом (1939) для определения **риска** в том, что сейчас известно как теория принятия решений.

Вероятность события, умноженная на его величину, была предложена в качестве определения **риска** для планирования работ в Дельфте в 1953 году, программы защиты от наводнений в Нидерландах .

Он был принят Комиссией по ядерному регулированию США (1975) и по-прежнему широко используется.

Понимание **риска**, методы оценки и управления, описания риска и определения риска различаются в разных областях практики (бизнес, экономика, окружающая среда, финансы, информационные технологии, здравоохранение, страхование, безопасность и т. д.).

Риск в экономике - произведение вероятности порчи имущества на его стоимость.

Риск — характеристика ситуации, имеющей неопределённость исхода, при обязательном наличии неблагоприятных последствий.

Риск — количественная оценка опасностей, определяется как частота одного события при наступлении другого.

Риск — это неопределённое событие или условие, которое в случае возникновения имеет позитивное или негативное воздействие, приводит к приобретениям или потерям в денежном выражении.

Риск — это вероятность возможной нежелательной потери чего-либо при плохом стечении обстоятельств.

Риск — это вероятность выхода опасного фактора из под контроля и серьёзность последствий, выражаемая степенью проявления.

Риск — это произведение вероятности на убыток.

Управление рисками также называют риск-менеджментом.

Менеджмент риска, управление рисками — это юриспруденция в части гражданского и уголовного законодательства, стадийность, лимитирование, дублирование, страхование, диверсификация, уничтожение фактора риска, уклонение и др.

История разработки понятия риска

Исследование **риска** тесно связано с развитием теории вероятностей.

В Средние века развитие математики в этой отрасли было обусловлено, в частности, аналитическим интересом к азартным играм — картам, костям, но в основном было связано с военно-прикладными исследованиями в области управления артиллерийскими системами и теории стрельб.

XX век

Концепция Найта: «**Риск против неопределённости**».

“**Измеримая неопределенность**”. Определение из книги Фрэнка Найта “Риск, неопределенность и прибыль” (1921).

Knight, F. H. (1921) Risk, Uncertainty and Profit, Chicago: Houghton Mifflin Company.

Психология риска

В психологии термин **риск** связан с тремя направлениями исследований:

Риск как мера ожидаемой неудачи в деятельности. Вес риска определяется как произведение вероятности неуспеха на степень неблагоприятных последствий.

Риск как действие, грозящее субъекту определёнными потерями (проигрышем, заболеванием, иным ущербом). Различают мотивированный риск, предполагающий получение ситуативных преимуществ в деятельности, немотивированный риск, не имеющий рационального основания; оправданный и неоправданный риск.

Риск как ситуация выбора. Выбор должен быть осуществлён между менее привлекательной, но более надёжной стратегией, и более привлекательной, но менее надёжной.

Склонность к **риску** представляет собой довольно устойчивую характеристику индивида и связана с такими личностными чертами, как импульсивность, независимость, стремление к успеху, склонность к доминированию. На рисковое поведение оказывает влияние также культура и социальные условия.

Антиподом **риска** являются гарантии. Выделяют гарантии достижения (рассчитаны на успех) и гарантии компенсации (рассчитаны на неудачу).

Виды риска

Существует множество определений **риска**, рождённых в различных ситуационных контекстах и с различными особенностями применений.

С наиболее распространённой точки зрения, каждый **риск** (мера риска) пропорционален как ожидаемым потерям, которые могут быть причинены рисковым событием, так и вероятности этого события.

Существует множество независимых **классификаций рисков**.

Технический риск — вероятность отказа технических устройств с последствиями определённого уровня (класса) за определённый период функционирования опасного производственного объекта.

Индивидуальный риск — частота поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых факторов опасности аварий.

Потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) — частота реализации поражающих факторов аварии в рассматриваемой точке территории. Частным случаем территориального риска является экологический риск, который выражает вероятность экологического бедствия, катастрофы, нарушения дальнейшего нормального функционирования и существования экологических систем и объектов в результате антропогенного вмешательства в природную среду или стихийного бедствия.

Коллективный риск (групповой, социальный) — это риск проявления опасности того или иного вида для коллектива, группы людей, для определённой социальной или профессиональной группы людей. Частным случаем социального риска является экономический риск, который определяется соотношением пользы и вреда получаемого обществом от рассматриваемого вида деятельности.

Приемлемый (допустимый) риск аварии — риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических соображений. Риск эксплуатации объекта является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск. Таким образом, приемлемый риск представляет собой некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями его достижения. Величина приемлемого риска для различных обществ, социальных групп и отдельных людей — различная. Например, для Европейцев и Индусов, женщин и мужчин, богатых и бедных. В настоящее время принято считать, что для действия техногенных опасностей в целом индивидуальный риск считается приемлемым, если его величина не превышает 10^{-6} .

Профессиональный риск — это риск, связанный с профессиональной деятельностью человека.

Сейсмический риск — стоит особняком, с 1968 г. он включает экономические и социальные потери.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов А.А., Гончаренко Б.Д., Калинин М.К. Нефтегазовый потенциал подсолевых отложений. М.: Наука, 1985. 205 с.
2. Андерсон Д.Л., Дзевонский А.М. Сейсмическая томография. // В мире науки, 1984. №12. С. 16-26.
3. Андреева Н.В., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедобоев Б.А., Габараев А.Ф. Новые представления о глубинном строении Осетинского сектора Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России, 2013. № 4. С. 3-7.
4. Аникеев А.В. О причинах провалов и локальных оседаний земной поверхности в Москве // Геоэкология, 2002. № 4. С. 363-374.
5. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. М.: РУДН, 2017. 328 с.
6. Антипов М.П., Быкадоров В.А., Волож Ю.А., Леонов Ю.Г. Проблемы происхождения и развития Прикаспийской впадины. // Геология нефти и газа, 2009. № 3. С. 11-19.
7. Артемьев М.Е. Изостазия территории СССР. Москва: Наука, 1975. 215 с.
8. Артюшков Е.В. Физическая тектоника. Москва: Наука, 1993. 456 с.
9. Артюшков Е.В. Геодинамика. Москва: Наука, 1979. 327 с.
10. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация./ Под общей редакцией С.К. Шойгу. Москва: Феория, 2010. 696 с.
11. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций РФ. Южный федеральный округ. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2007.
12. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации. /Под. Общ. Ред. С.К. Шойгу. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2005. 224 с.

13. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М., Евдокимов В.С. Об определении механического состояния тектонических разломов. Геология и геофизика Юга России. 2022. Т. 12. № 2. С. 53-66.
14. Бабешко В.А., Хрипков Д.А., Уафа С.Б., Шестопапов В.Л., Телятников И.С., Евдокимов В.С. О моделях предоползневых структур для сред разных реологий. В сборнике: Материалы XXII Международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2021). Материалы конференции. Москва, 2021а. С. 160-162.
15. Бабешко В.А., Бабешко О.М., Горшкова Е.М., Евдокимова О.В., Зарецкая М.В., Павлова А.В., Телятников И.С., Федоренко А.Г., Шестопапов В.Л. Целевые и междисциплинарные результаты проекта «Разработка комплекса математических моделей прогнозирования землетрясений с широким набором литосферных плит, охватывающих различные типы прибрежных территорий». В сборнике: Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления - III»). Материалы III Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова. Ростов-на-Дону, 2021б. С. 26-29.
16. Бабина Е.О., Мордасова А.В., Ступакова А.В., Титаренко И.А., Сауткин Р.С., Воронин М.Е., Величко М.А., Махнутина М.Л., Колесникова Т.О., Цыганкова А.А.. Условия накопления олигоцен-нижнемиоценовых майкопских клиноформ Центрального и Восточного Предкавказья как ключевой критерий прогноза природных резервуаров. // Георесурсы. 2022. Т. 24. № 2. С. 192–208. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2022.2.18> УДК 553.982
17. Бабурин В.Л., Данилина А.В., Гаврилова С.А., Грязнова В.В., Шныпарков А.Л. Оползневой риск на Северном Кавказе. // В сборнике Снежные лавины, сели и оценка риска. Выпуск 3. Москва: Изд-во «Перо», 2014. С. 41-49.
18. Бабурин В.Л., Бабина С.В., Деркачева А.А., Сократов С.А., Хисматуллин Т.И., Шныпарков А.Л. Оценка селевого риска в экономических

показателях на примере Сибирского федерального округа. // Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2019. (4) С. 3-14.

19. Батугин А.С. Закономерности пространственного изменения геодинамической опасности. С-Пб.: ВНИМИ, 1997. 12 с.

20. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций. М.: МГОФ «Знание», 2015. 864 с.

21. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф. М.: МГФ «Знание», 1999. – 672 с.

22. Безуглова Е.В. Оценка и управление оползневым риском транспортных природно-технических систем Черноморского побережья Кавказа. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Краснодар, 2014.

23. Белоусов В.В. Основы геотектоники. 2-е изд. М.: Недра, 1989. 382 с.

24. Богданов Н.А. Тектоника глубоководных впадин окраинных морей. - М.: Недра, 1988. 219 с.

25. Богданов Н., Филатова Н. Строение и геодинамика формирования активных окраин континентов. //Литосфера, 2001. №1. С. 32-49.

26. Богомолов А. Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. – Пермь: ПГТУ, 1996. 150 с.

27. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю. Природные катастрофы и окружающая среда. // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2012. №1. С. 3-150.

28. Бондырев И.В., Церетели Э.Д., Али У., Заалишвили В.Б. Оползни Южного Кавказа. // Геология и геофизика Юга России, 2014. № 4-2. С. 105-123.

29. Бочкарева В.А., Сыдыков Ж.С., Джангирьянц Д.А. Подземные воды Прикаспийской впадины и ее восточных обрамлений. Алма-Ата: Наука, 1973. 228 с.
30. Булаева Н.М., Гридин В.И. Определяющая роль физических полей Земли и современных геодинамических процессов в возникновении и развитии чрезвычайных ситуаций. //В сборнике: Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов. Материалы III Школы молодых ученых им. Э.Э. Шпильрайна: к 30-летию Института проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН. 2010. С. 47-57.
31. Булаева Н.М. Сопряженный мониторинг теплового поля земли для исследования геотермальных энергоресурсов Дагестана. // Мониторинг. Наука и технологии, 2009. № 1 (1). С. 27-36.
32. Булаева Н.М., Кобзаренко Д.Н., Аскеров С.Я. Использование температурных данных, полученных по космическим изображениям, для изучения взаимосвязи теплового поля с сейсмической активностью региона. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2005. Т. 2. № 2. С. 168-170.
33. Бурова В.Н. Особенности районирования урбанизированных территорий для оценок риска от опасных природных процессов // Геоэкология, 2019. № 6. С. 106-111.
34. Вагнер Б.Б., Манучарянц Б.О. Геология, рельеф и полезные ископаемые Московского региона. М.: МГПУ. 2003. 82 с.
35. Вегенер А. Происхождение материков и океанов / Л.: Наука, 1984. 285 с.
36. Вознесенский Е.А., Латыпов А.И., Жаркова Н.И. Сейсмическая разжижаемость песков основания башни "Казанская ривьера". // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2016. № 4. С. 23-27.
37. Геологический риск урбанизированных территорий. / Под ред. В. И. Осипова. Москва: РУДН, 2020. 316 с.

38. Геолого-геофизическое моделирование нефтегазоносных территорий. /Ред. Неволин Н.В., Ковылин В.М. М.: Недра, 1993. 208 с.
39. Геофизические поля и строение земной коры Закавказья. / Отв. ред. Белоусов В.В., Балавадзе Б.К. М.: Наука, 1985. 174 с.
40. Гинзбург Л.К. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости и оползневого давления. М.: Центр. бюро научн. техн. инф., 1986.
41. Гончаров М.А., Короновский Н.В., Разницин Ю.Н., Свалова В.Б. Вклад мантийного диапиризма в процесс формирования новообразованных впадин Средиземноморья и Карибского бассейна и окружающих центробежно-вергентных складчато-покровных орогенов. // Геотектоника, 2015. №6. С. 80–93.
42. Гончаров М.А., Свалова В.Б. Мантийный диапиризм как причина формирования новообразованных впадин Средиземноморья и окружающих центробежно-вергентных складчато-покровных орогенов. //Материалы 45 Тектонического совещания «Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования впадин с субокеанической и аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой». М.: ГЕОС, 2013. С. 54-58.
43. Гордиенко В.В., Завгородняя О.В. Тепловой поток Прикаспийской впадины.// Геотермические исследования в Средней Азии и Казахстане. М.:Наука, 1984. С. 251-255.
44. Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Республики Дагестан от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008–2014 гг.». Махачкала: Главное управление МЧС РФ по Республике Дагестан, 2009–2015.
45. Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Республики Ингушетия от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2008–2014 гг.» Магас: Главное управление МЧС РФ по Республике Ингушетия, 2008–2014.
46. Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территорий Кабардино-Балкарской Республики от чрезвычайных ситуаций

природного и техногенного характера в 2008–2014 гг.». Нальчик: Главное управление МЧС РФ по Кабардино-Балкарской Республике, 2009–2015.

47. Государственные доклады «О состоянии защиты населения и территории Чеченской Республики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008–2014 гг.». Грозный: Главное управление МЧС РФ по Чеченской Республике, 2009–2015.

48. Грачев А. Ф. Южно-Каспийская впадина.// Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии. М.: Издательство «Пробел», 2000. С. 217-224.

49. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В. Классификация оползней по механизму их развития // Вопр. изуч. оползней и факторов, их вызывающих. М.: ВСЕГИНГЕО, 1980. Вып. 29.

50. Гурари Ф. Г. Строение и условия образования клинаформ Западно-Сибирской плиты (история становления представлений). Новосибирск: СНИИГГиМС, 2003. 141 с.

51. Добрев Н.Б., Иванов П. Г., Свалова В. Б., Заалишвили В. Б., Дзеранов Б. В. Опасные экзогенные процессы в горных районах Северного Кавказа и Болгарии. //Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2019. Том 4. № 4 (18). С. 5-14.

52. Добрецов Н.Л. Взаимодействие тектоники плит и тектоники плюмов: вероятные модели и типичные примеры. // Геология и геофизика, 2020. Т. 61. № 5-6. С. 617-647.

53. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1994. 300 с.

54. Доклады «О состоянии защиты населения и территорий Карачаево-Черкесской Республики от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2008–2014 гг.». Черкесск: Главное управление МЧС РФ по Карачаево-Черкесской Республике, 2009–2015.

55. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. 308 с.

56. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Шемпелев А.Г. Мониторинг опасных геологических процессов в зоне предполагаемого Ардонского разлома и на участке трассы газопровода от сел. Дзуарикау до границы РСО-Алания. // Геология и геофизика Юга России, 2012. № 4. С. 25-32.
57. Заалишвили В.Б., Чотчаев Х.О., Шемпелев А.Г. Признаки геодинамической обстановки и элементов структурно-вещественных комплексов Центрального Кавказа на глубинном разрезе Геналдонского профиля. // Геология и геофизика Юга России, 2018. №4. С. 58-74.
58. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В., Сависько И.С. Геоэкологические ограничения при проектировании реорганизации городского пространства // Геоэкология, 2017. № 4. С. 82-96.
59. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В., Сависько И.С. Геоэкологическая безопасность городов в горнопромышленных и техногенно нагруженных районах / В сборнике: Сергеевские чтения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Пермь: 2019. С. 179-183.
60. Заиканов В.Г., Заиканова И.Н., Булдакова Е.В. Геоэкологический и ландшафтно-экологический анализ территорий существующих свалок ТБО Московской области. / Сергеевские чтения. Вып. 20. М.: РУДН, 2018. С. 65-70.
61. Занемонец (Свалова) В.Б., Котелкин В.Д., Мясников В.П. О динамике литосферных движений. // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1974. №4. С. 43–54.
62. Защита от затопления и подтопления городов, населенных пунктов, объектов народного хозяйства и ценных земель в бассейне р. Терек на территории пяти республик Российской Федерации – Дагестана, Ингушетии, Кабардино-Балкарии, Северной Осетии, Чечни (первоочередные противопаводковые мероприятия). Федеральная целевая программа. М.: Роскомвод, 1995. 63 с.
63. Земная кора и история развития Средиземного моря. / Отв. ред. Муратов МВ. М.: Наука, 1982. 208 с.

64. Зеркаль О.В., Самарин Е.Н., Чернов М.С., Аверин И.В., Новиков П.В. Изменение состава и строения юрских глин в зоне оползневых смещений на участке «Воробьевы горы» (г. Москва). / В сборнике: Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Москва: РУДН, 2022. С. 175-181.
65. Казеев А.И. Причины и механизм катастрофической активизации глубоких блоковых оползней в г. Москве. // Городские агломерации на оползневых территориях. Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. С. 57-64.
66. Казеев А.И. Оползневая опасность и риск в зарубежной теории и практике (по семинару "LARAM", г. Равелло, Италия, 2008). // Матер. междунар. научн.-практич. конф. "Геориск-2009", 2009. Т. 2. С. 348- 353.
67. Картер У.Е., Робертсон Д.С. Исследование Земли с помощью интерферометрии со свехдлинной базой. // В мире науки, 1987. №1. С. 16-25.
68. Козлякова И.В., Еремина О.Н., Миронов О.К. Геологический риск урбанизированных территорий (оценка и картографирование на примере г. Москвы). //Геоэкология, 2018. №5. С. 53 – 65.
69. Кокс А., Харт Р. Тектоника плит. М.: Мир, 1989. 427 с.
70. Комплект карт ОСР-97-А, В, С и другие материалы для Строительных норм и правил – СНиП Строительство в сейсмических районах”. М.: ОИФЗ, 1998.
71. Короновский Н. В., Хаин В. Е., Ясаманов Н. А. Историческая геология: Учебник. М.: изд-во Академия, 2006.
72. Кофф Г.Л. Экономико-геологическая оценка техногенных изменений геологической среды урбанизированных территорий. Т. II. М.: Институт литосферы АН СССР, 1990. 128 с.
73. Кофф Г.Л., Петренко С.И., Лихачева Э.А., Котлов В.Ф. Очерки по геоэкологии и инженерной геологии Московского столичного региона. М.: Изд-во РЭФИА, 1997. 185 с.

74. Кофф Г.Л., Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды. М.: Изд-во "Медиа-пресс", 2006. 200 с.
75. Краевая целевая программа «Экология и природные ресурсы Ставропольского края на 2012–2015 годы». Утверждена постановлением Правительства Ставропольского края от 20 июля 2011 г. № 268-п. Ставрополь: 2011. 27 с.
76. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: Агентство Экономических Новостей, 1999. 220 с.
77. Кутепов В.М., Анисимова Н.Г., Кожевникова И.В., Козлякова И.В., Райков А.А., Соколов В.С. Инженерно-геологические условия оползневого участка в окрестностях Коломенского в Москве. // Сергеевские чтения, 2001. № 3. С. 227-233.
78. Кутепов В.М., Анисимова Н.Г., Еремина О.Н., Кожевникова И.А., Козлякова И.В. Опасные геологические процессы и геоэкологическое состояние территории г. Москвы // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий: матер. Второй Всерос. науч.-практ. конф., 26-27 ноября 2009. г. Екатеринбург: 2009. С. 194-196.
79. Кутепов В.М., Анисимова Н.Г., Еремина О.Н., Кожевникова И.А., Козлякова И.В. Карта дочетвертичных отложений как основа крупномасштабного геологического картирования г. Москвы. // Геоэкология, 2011. № 5. С. 399-410.
80. Кутепов В.М., Козлякова И.В., Анисимова Н.Г., Еремина О.Н., Кожевникова И.А. Оценка карстовой и карстово-суффозионной опасности в проекте крупномасштабного геологического картирования г. Москвы. // Геоэкология, 2011. № 3. С. 217-228.
81. Кропоткин М.П. Оценка оползневой угрозы для метромоста Воробьевых гор в Москве.//Инженерная геология, 2016. № 3. С. 6-15.

82. Ларионов В.И., Фролова Н.И., Угаров А.Н. Оценка сейсмического риска //Геозкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2017. № 2. С. 22-37.
83. Лобковский Л. И., Никишин А. М., Хаин В. Е. Современные проблемы геотектоники и геодинамики. Москва: Научный мир, 2004. 610 с.
84. Лобковский Л. И. Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. Москва: Наука, 1988. 251 с.
85. Любимова Т.В., Бондаренко Н.А., Стогний В.В., Погорелов А.В. Карта интегрального риска проявления экзогенных геологических процессов как основа для решения различных теоретических и прикладных задач на территории Краснодарского края. // Естественные и технические науки, 2017. №2 (114). С. 140-145.
86. Мавлянова Н.Г., Козлякова И.В., Анисимова Н.Г., Еремина О.Н., Кожевникова И.А. Проблемы освоения подземного пространства урбанизированных территорий // Сергеевские чтения, выпуск 17. Москва: РУДН, 2015. С. 159-165.
87. Максимов С.П., Дикенштейн Г.Н., Золотов А.Н., Капустин И.Н., Кирюхин Л.Г., Размышляев А.А. Геология нефти и газа Восточно-Европейской платформы. М.: Недра, 1990. 274 с.
88. Маловицкий Я. П., Сенин Б.В. Пелагогенные впадины на современных и древних континентальных окраинах. // Геотектоника, 1988. №1. С. 11-23.
89. Мамаев Ю.А., Козловский С.В., Ястребов А.А. Природа, факторы развития и динамика оползней в юрских глинах на территории г. Москвы. // Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2019. № 4. С. 40-50.
90. Мамаев Ю.А., Ястребов А.А. Особенности развития солифлюкционно-эрозионных процессов в высокогорных областях Большого Кавказа (на примере территории горного курорта "Лагонаки"). // В сборнике: Сергеевские чтения. Инженерная геология и геозкология. Фундаментальные

проблемы и прикладные задачи. Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН. Ответственный редактор В.И. Осипов. М.: РУДН, 2016. С. 163-167.

91. Материалы для ежегодного государственного доклада «О состоянии защиты населения и территории Республики Северная Осетия – Алания от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2008–2014 гг.». Владикавказ: Главное управление МЧС РФ по Республике Северная Осетия – Алания, 2008–2014.

92. Материалы для подготовки ежегодного государственного доклада «О состоянии защиты населения и территории Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по Ставропольскому краю за 2008–2014 гг.». Ставрополь: Главное управление МЧС РФ по Ставропольскому краю, 2009–2015.

93. Маций С.И., Безуглова Е.В., Плешаков Д.В. Оценка оползневого риска транспортных сооружений. Краснодар: КубГАУ, 2015. 120 с.

94. Методика прогнозирования последствий землетрясений. М.: ВНИИ ГОЧС-ЦИЭКС-СЦ ИГЭ РАН, 2000. 27 с.

95. Международная тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления. Объяснительная записка. / Отв. ред. Е. В. Хаин и В.И. Богданов Н.А. Москва: Научный Мир, 2003. 120 с.

96. Международная тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления./ Ред.: В. Е. Хаин, Н. А. Богданов. М: Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН, 2003.

97. Милуков В.К., Миронов А.П., Рогожин Е.А., Стеблов Г.М. Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS наблюдениям. // Геотектоника, 2015. №3. С. 56–65.

98. Моисеенко У.И., Негров О.Б. Геотермические условия Северо-Кавказской сейсмоопасной зоны. // В кн.: Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. М.: Наука, 1993. С. 32–40.

99. Москва. Геология и город. / Под ред. Осипова В.И. и Медведева О.П. М.: Московские учебники и картолитография, 1997. 400 с.
100. Мухтаров А.Ш. Тепловой поток восточной части Кавказской зоны коллизии. // Сб. научных трудов «Тепловое поле Земли и методы его изучения». М.: РГГРУ, 2008. С. 155-160.
101. Мягков С.М. География природного риска. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
102. Мясников В.П., Фадеев В.Е. Модели эволюции Земли и планет земной группы./ Итоги науки и техники. Физика Земли. Т.5. М.: ВИНТИ, 1980. 232 с.
103. Мясников В.П., Свалова В.Б. Вопросы математического и механического моделирования в решении задач теоретической геологии.// Избранные труды академика Мясникова В.П. в 3 т. Том 2. Механика геофизических процессов. Владивосток: Дльнаука, 2007. С. 366-371.
104. Национальный атлас России: в 4 т. / Редколл.: А. В. Бородко (предс.), В.В. Свешников (гл. ред.) и др. М.: Роскартография, 2004–2008. ББК Д18(2Рос)1А. ISBN 5-85120-216-5.
105. Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. М.: Наука, 2004. 780 с.
106. Несмеянов С.А. Оротектонический метод. М.: ООО “Миттель Пресс”, 2017. 376 с.
107. Несмеянов С.А. Оротектонический метод: история формирования и перспективы применения в геоэкологии. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2017. №2 . С. 3-13.
108. Несмеянов С.А., Воейкова О.А. Проблема учета тектонической опасности при хранении и захоронении высокотоксичных отходов. // Сергеевские чтения. Вып. 20. М.: РУДН, 2018. С. 132-137.
109. Николаев А.В., Заалишвили В.Б., Гиоргобиани Т.В., Дзеранов Б.В., Мельков Д.А. Основные оползневые структуры Северной Осетии. // В сборнике: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. 2019. С.749-755.

110. Общегеографический атлас «Москва. Московская область». ВТУ ГШ, 439 ЦЭВКФ, Москва, 2000.
111. Осипов В.И. Природные опасности и стратегические риски в мире и в России. //Экология и жизнь, 2009. 11–12(96–97) 16 с.
112. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века. // Вестник российской академии наук, 2001. Том 71. №4. С. 291-302.
113. Осипов В.И. Природные катастрофы: анализ развития и пути минимизации последствий.// Материалы 9-й Международной научно-практической конференции. Том 1. Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (Геориск- 2015). М.: РУДН, 2015. С. 7-24.
114. Осипов В.И. Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы // Геоэкология, 2011. № 3. С. 195-197.
115. Осипов В.И. Биосфера и экологическая безопасность. М.: РУДН, 2017. 136 с.
116. Осипов В.И., Антипов А.В. и др. Инновационный проект по крупномасштабному специализированному геологическому картографированию территории города Москвы. //В сборнике "Практика и опыт ГУП "Мосгоргеотрест". М.: 2012. С. 150-176.
117. Осипов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Молодых И.И., Пырченко В.А., Сависько И.С. Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы // Геоэкология, 2011. № 4. С. 306-318.
118. Осипов В.И., Бурова В.Н., Карфидова Е.А. Формирование сведений о геоэкологических условиях в границах кадастрового деления территории г. Москвы. // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. Москва: РУДН, 2015. С. 76-82.
119. Осипов В.И., Еремина О.Н., Козлякова И.В. Оценка экзогенных опасностей и геологического риска на урбанизированных территориях (обзор зарубежного опыта) // Геоэкология, 2017. № 3. С. 3-16.

120. Осипов В.И., Ларионов В.И., Сущев С.П., Фролова Н.И., Угаров А.Н., Кожаринов С.В., Барская Т.В. Оценка сейсмического риска территории г. Б. Сочи // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2015. №1. С. 3-19.
121. Осипов В.И., Постоев Г.П.. Эффективное использование оползнеопасной территории мегаполисов. // Труды междунар. конф. по геотехнике (7-10 июня 2010). М.: 2010. Том 5. С. 1741-1746.
122. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Простые оползни (аспекты классификации). Кишинев: Изд-во "Штиинца", 1987. 161 с.
123. Поляк Б.Г., Хуторской М.Д. Тепловой поток из недр – индикатор глубинных процессов. //Георесурсы, 2018. 20(4). Ч.2. С. 366-376. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.4.366-376>
124. Постоев Г.П. Глубокие блоковые оползни на урбанизированных территориях // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий. Материалы междунар. симпоз. Екатеринбург: АКВАПРЕСС, 2001. Т. 1. С. 335-342.
125. Постоев Г.П. К вопросу количественной оценки оползневого риска // Риск-2003: Материалы Всеросс. конф. М.: Изд-во РУДН, 2003. Том II. С. 48-50.
126. Природные опасности России. Оценка и управление природными рисками. /Под ред. Рагозина А.Л. М.: КРУК, 2003. 316 с.
127. Природные опасности России. Экзогенные геологические опасности. / Под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. М.: Изд. фирма "КРУК", 2002. 348 с.
128. Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности / Под ред. Г.С. Голицина, А.А. Васильева. М.: Издательская фирма «КРУК», 2001. 296 с.
129. Рагозин А.Л. Общие положения оценки и управления природным риском // Геоэкология, 1999. № 5. С. 417-429.
130. Разумов В.В., Перекрест В.В., Стрешнева Н.П., Кюль Е.В. Атлас природных опасностей и стихийных бедствий Кабардино-Балкарской Республики. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2000. 66 с.

131. Разумов В.В., Аджиев А.Х., Разумова Н.В. и др. Опасные природные процессы Северного Кавказа / под ред. проф. В.В. Разумова. М.: Изд-во «Феория», 2013. 320 с.
132. Разумов В.В., Стрешнева Н.П., Перекрест В.В. Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа под ред. акад. РАН М.Ч. Залиханова. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2001. 112 с.
133. Рамберг Х. Сила тяжести и деформации в земной коре. М.: Недра, 1985. 399 с.
134. Рекомендации по оценке геологического риска г. Москвы. / Под ред. Рагозина А.Л. Москомархитектура, ГУ ГО ЧС г. Москвы. М.: Изд-во ГУП НИАЦ, 2002. 59 с.
135. Республика Северная Осетия-Алания. Природные ресурсы. Общая геология. Гл. 9. Гравитационные процессы. С. 17-21.
136. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Овсяченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении. // Геотектоника, 2015. №2. С. 36–49.
137. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Заалишвили В.Б., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Андреева Н.В., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Дзедобоев Б.А., Габараев А.Ф. Новые представления о глубинном строении Осетинского сектора Большого Кавказа // Геология и геофизика Юга России, 2013. №4. С. 3-7.
138. Рогожин Е.А., Лутиков А. И., Овсяченко А. Н., Донцова Г. Ю., Родина С. Н., Кучай М. С. Опыт детального сейсмического районирования Северного Кавказа // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений, 2013. № 4. С. 38–42.
139. Родкин М. В. Флюидогеодинамическая модель литосферы Южного Каспия.// Геотектоника, 2003. № 1. С. 43-53.
140. Родников А. Г., Сергеева Н. А., Забаринская Л. П., Родкин М. В. Особенности строения литосферы осадочных бассейнов окраинных и внутренних

морей. // Геофизика XXI столетия: 2002 год. Москва: Научный Мир, 2003. С. 125-135.

141. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Decision making. Method of hierarchy analysis]. Пер. с англ. М., изд-во "Радио и связь", 1993. - 278 с.

142. Сергеев Е.М. Геологический фундамент Москвы // Город, природа, человек. М.: Мысль, 1982. - С. 109-142.

143. Свалова В. Б. Управление геэкологическим риском и проблемы устойчивого развития горных территорий. // Геология и геофизика Юга России. 2022. 12 (1). С. 129–147. SCOPUS. DOI: 10.46698/VNC.2022.48.61.010.

144. Свалова В.Б. Великое восточно-японское землетрясение и цунами и проблемы снижения риска опасных природных процессов. // Мониторинг. Наука и технологии. 2015. №1(22). С. 6-17.

145. Свалова В.Б. Механико-математическое моделирование формирования и эволюции геологических структур в связи с глубинным мантийным диапиризмом. // Мониторинг. Наука и технологии, 2014. №3(20). С. 38–42.

146. Свалова В.Б. Термогравиметрическая модель осадочного бассейна. Пример Прикаспийской впадины. /Материалы 45 Тектонического совещания «Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования впадин с субокеанической и аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой». М.: ГЕОС, 2013. С. 193-198.

147. Свалова В.Б. Термомеханика литосферы, нефтегазоносность и решение обратной задачи геодинамики. //Мониторинг. Наука и технологии, 2012. №3(12). С. 21-24.

148. Свалова В.Б. Геотермия и сейсмичность Кавказского региона и обратная задача геодинамики// Геология и Геофизика Юга России, 2019. № 9 (3). С. 77-93.

149. Свалова В.Б. Глубинная геодинамика Кавказского региона. /В сборнике: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах:

модели, системы, технологии. Под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. 2019. С. 88-94.

150. Свалова В.Б.. Геодинамика и геотермия Прикаспийской впадины и восточного сегмента Кавказского региона.//Геология и геофизика Юга России, 2020. №10(4). 52-69.

151. Свалова В.Б. Снижение риска оползневых процессов. //Единый всероссийский научный вестник, 2016. II. С. 79-83.

152. Свалова В.Б. Мониторинг и снижение риска оползневых процессов на Тайване. // Мониторинг. Наука и технологии. 2016. №3. С. 13-25.

153. Свалова В.Б. Мониторинг и моделирование оползневой опасности на территории Москвы. //Инженерная защита, 2016. №1 (12). С.34-38.

154. Свалова В.Б. Мониторинг и моделирование оползневых процессов. Мониторинг. Наука и технологии. №2(7), 2011, 19-27.

155. Свалова В.Б. Управление экологическим риском и проблема захоронения отходов. /Материалы конференции. Российский научный форум «Экология и общество: баланс интересов». Россия, г. Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН, 16-20 ноября 2020 г.
http://eco2020.volnc.ru/files/conf1/2020_OiE_BI_Programma-2.pdf

156. Свалова В.Б. Геотермальная энергетика в ЖКХ.// Независимая газета. НГ - ЭНЕРГИЯ. 9 декабря 2014 г. № 267 (6313). С. 14.

157. Свалова В.Б. Геотермальные ресурсы России: проблемы и перспективы комплексного использования. // Мониторинг. Наука и технологии. 2010. №2(3). С. 16-29.

158. Свалова В.Б. Геотермальные ресурсы России и их комплексное использование.// Альтернативная энергетика и экология. 2009. №7. С. 69-79.

159. Свалова В.Б. Проблемы и перспективы использования геотермальных ресурсов.//Использование и охрана природных ресурсов в России. 2008. № 5. С. 3-10.

160. Свалова В.Б. “Добыть тепло из-под Земли”. // Газета «Тверская, 13», №115, 25 сентября 2010 г.

161. Свалова В.Б. Термоминеральные воды России и их комплексное использование. //Гидрометеорология и экология, 2010. №2. С. 174-191.
162. Свалова В.Б., Тетимова С. Термоминеральные воды России и Болгарии и проблемы теплоснабжения города Велинграда. //Мониторинг. Наука и технологии.2015. №2(23). С. 61 -71.
163. Свалова В.Б., Коробова И.В. Проблема геоэкологической оценки территорий для размещения объектов утилизации и глубокой переработки отходов. /Сергеевские чтения. Вып.22. Москва: РУДН, 2020. С. 152-159.
164. Свалова В.Б., Соловьев Б.А., Иванова Т.Д. Геодинамика и геотермия Прикаспийской впадины. / Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. М.: Наука, 1993. С.119-132.
165. Свалова В.Б., Шарков Е.В. Формирование и эволюция задуговых бассейнов Альпийского и Тихоокеанского поясов (сравнительный анализ). // Тихоокеанская геология, 1991. №5. С. 49–63.
166. Свалова В.Б., Шарков Е.В. Геодинамика Байкальской рифтовой зоны (петрологические и геомеханические аспекты). // Геология и геофизика, 1992. №5. С. 21–30.
167. Склоновые геологические процессы. / Редакторы В.Т. Трофимов, О.В. Зеркаль. М.: Издательство «Перо», 2022. 724 с.
168. Соловьев Б.А., Свалова В.Б., Иванова Т.Д. Термомеханическая модель формирования и эволюции осадочного бассейна на примере Прикаспийской впадины. /Теоретические и экспериментальные исследования геотермического режима акваторий. М.: Наука, 1991. С. 93-104.
169. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 506 с.
170. Стогний В.В., Стогний Г.А., Волкова Т.А., Любимова Т.В. Геоэкологические риски Северо – Западного Кавказа и их оценка. /В сборнике: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. 2019. С. 768-772.

171. Стогний Г.А., Стогний В.В. Сейсмичность Большого Кавказа с позиции блоковой делимости земной коры // Экологический вестник научных центров ЧЭС, 2017. №2. С. 86-95.
172. Сулиди-Кондратьев Е.Д., Козлов В.В. Деструкция земной коры в зоне сочленения Африкано-Аравийского континента и Средиземноморско-складчатого пояса. /В кн.: Тектоника Средиземноморского пояса. Отв. ред. Муратов М.В., Яншин А.Л. М.: Наука, 1980. С. 40-49.
173. Тектоника Средиземноморского пояса. / Отв. ред. Муратов М.В., Яншин А.Л. М.: Наука, 1980. 244 с.
174. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред. М.: МИР, 1985. Ч. 1. 376 с., Ч.2. 360 с.
175. Тихвинский И.О. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов. М.: Наука, 1988. 144 с.
176. Тихвинский И.О. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. М.: Стройиздат, ПНИИИС, 1984. 80 с.
177. Трофимов В.Т. О необходимости совершенствования и аккуратного развития понятийно-терминологической базы инженерногеологического изучения современных геологических процессов и явлений / Тр. Межд. науч. конф. (Москва, геол. ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова. 29-30 января 2009 г.). Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. М.: Изд. МГУ, 2009. С. 7-9.
178. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. М.: ЗАО "Геоинформмарк", 2002. 415 с.
179. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе. // Физика земли. 2007. №7. С. 31–45.
180. Ушаков С.А., Галушкин Ю.И. Литосфера Земли (По геофизическим данным). /Сер. Физика Земли. Т.4. М.: ВИНТИ, 1979. 224 с.
181. Флейшман С.М. Сели. 2-е изд. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 312 с.
182. Фролова Т.И. Магматизм и происхождение тафрогенных впадин. / Проблемы эволюции тектоносферы. Сб. научных статей (к 90-летию со дня

рождения В.В. Белоусова). Отв. ред. Шолпо В.Н. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 298-317.

183. Хаин В.Е. Региональная геотектоника: Океаны. Синтез. М.: Недра, 1985. 512 с.

184. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Альпийский Средиземноморский пояс. М.: Недра, 1984. 344 с.

185. Хаин В. Е. Проблема происхождения и возраста Южно-Каспийской впадины и ее возможные решения. // Геотектоника, 2005. № 1. С. 40-44.

186. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2005. 560 с.

187. Хван А.П. Возможная модель оползня. //Строительство и техногенная безопасность. 2006. Вып. 15–16. С. 55–56.

188. Хулелидзе К.К. Анализ опасных природных процессов на территории Северной Осетии // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. Вып. 1. С. 48–49.

189. Хуторской М.Д., Буитрон Л.А. Мониторинг термического состояния дна акваторий – новый метод прогнозирования природных катастроф. /Тепловое поле Земли и методы его изучения. М., РУДН, 2000. С. 296-305.

190. Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Леонов Ю.Г., Павленкин А.Д., Поляк Б.Г. Термотомография: новый метод изучения геотермического поля. //Георесурсы, 2005. №2(17). С. 19-28.

191. Хуторской М.Д. Глубина источников и тепловой режим мантийных плюмов.// Мониторинг. Наука и технологии. 2021. № 3 (49). С. 20-31.

192. Хуторской М. Д., Антоновская Г. Н., Басакина И. М., Тевелева Е. А.. Сейсмичность и тепловой поток в обрамлении Восточно-Европейской платформы. //Вулканонология и сейсмология, 2022. № 2. С. 74–92.

193. Хуторской М.Д., Зволинский В.П., Рассказов А.А. Мониторинг и прогнозирование геофизических процессов и природных катастроф: Учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 1999. 222 с.

194. Хуторской М.Д., Керимов В.Ю. Эндогенные природные катастрофы. М.: РГГУ, 2022. 255 с.
195. Царегородцева Т.К., Курина Е.Е. Проблемы границ, происхождения и возраста Южно-Каспийской впадины. / Материалы совещания «Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики». М.: ГЕОС, 2020. Т.2. С. 386-391.
196. Чотчаев Х. О., Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. //Геология и геофизика Юга России. 2020. №10 (4). С. 70 – 100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.
197. Шарков Е.В., Свалова В.Б. Внутриконтинентальные моря как результат задугового спрединга при коллизии континентальных плит. // Доклады Академии наук СССР. 1989. Т. 308. №3. С. 685–688.
198. Шарков Е.В., Свалова В.Б. О возможности вовлечения континентальной литосферы в процесс субдукции при задуговом спрединге. // Изв. АН СССР, сер. геол. 1991. №12. С. 118–131.
199. Шарков Е.В., Свалова В.Б. Геотермия и напряженное состояние литосферы Альпийского и Тихоокеанского поясов. / Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. М.: Наука, 1993. С.132-138.
200. Шевченко В.И., Резанов И.Л. Тектоника и геофизические поля Крыма-Кавказа-Копетдага. /Проблемы геодинамики Кавказа. Отв. ред. Муратов М.В., Адамия Ш.А. М.: Наука, 1982. С. 80-85.
201. Шеко А.И., Постоев Г.П., Кюнтцель В.В. и др. Оползни и сели. / Гл. ред. Козловский Е.А. М.: Произв.-изд. комбинат ВИНТИ, 1984. Т. 1. 352 с.
202. Шеко А.И. Основные положения оценки опасности и риска экзогенных геологических процессов / Анализ и оценка природного и техногенного риска в строительстве. М.: ПНИИИС, 1995. 56 с.
203. Шеко А.И. Прогноз активности экзогенных геологических процессов, оценка опасности и риска в системе обеспечения безопасности. / Анализ и оценка природного и техногенного риска в строительстве. М.: ПНИИИС, 1997. С. 76-77.

204. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980. 296 с.
205. Шныпарков А.Л., Колтерман П.К., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Перов В.Ф. Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа. //Геориск, 2013. №4. С. 20-25.
206. Экзарьян В.Н. Геоэкология и охрана окружающей среды. М.: Изд. «Щит-М», 2009.
207. Юганова Т.И. Выбор участков для размещения объектов обращения с отходами на основе методов многокритериального принятия решений. // Геоэкология, 2019. № 4. С. 79-93.
208. Artemieva I.M., Thybo H., Kaban M.K. Deep Europe today: geophysical synthesis of the upper mantle structure and lithospheric processes over 3.5 Ga. /From: Gee DG, Stephenson RA (eds). European Lithosphere Dynamics. Geological Society, London. Memoirs, 2006. 32. P. 11-41.
209. Allen M. B., Jones S., Ismail-Zadeh A., Simmons M., Anderson L. Onset of subduction as the cause of rapid Pliocene-Quaternary subsidence in the South Caspian basin. //Geology, 2002. V.30. N 9. P. 775-778.
210. Babeshko V.A., Evdokimova O.V., Babeshko O.M. On a new model for predicting landslide events. Advanced Structured Materials. 2022. T. 156. C. 13-21.
211. Barykina O.S., Zerkal O.V., Samarin E.N., Gvozdeva I.P. The History of Slope Evolution - Primary Cause of its Modern Instability (by Example of the «Vorobyovy Gory» Landslide, Moscow). / Svalova V. (ed.) Natural Hazards and Risk Research in Russia: Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering. Springer, 2019. P. 345-361.
212. Berry M.J., Knopoff L., Mueller St. The low-velocity channel of the Upper Basin. // Rapp. et proc.-verb. reun. Comm. intern. explor. Sci. Mer. Mediterr. Monaco, 1969. Vol. 19. № 4.
213. Bertani R. Geothermal Power Generation in the World 2005-2010 Update Report. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia. CD.

214. Brikmann J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. // *Environment Hazards*. 2007. - No.7. - P. 20-31.
215. Cascini, L., Ferlisi, S. Introduction to the thematic set of papers on the quantitative analysis of landslide risk//*Bull. Eng. Geol. Environmn*, 2014. Vol. 73. no. 2. P. 207-208.
216. Condie K.C. Mantle plumes and their record in Earth history. Cambridge University Press. 2001. 306 pp.
217. Condie K. Supercontinents and superplume events: distinguishing signals in the geologie record. // *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 2004. Vol. 146. P. 319–332.
218. Corominas J, van Westen C, Frattini P, Cascini L, Mallet J-P et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. // *Bulletin of Engineering Geology and Environment*. 2014. V. 73. №2. P. 209-263.
219. Courtillot V., Davaille A., Besse J., and J. Stock. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. // *Earth and Planetary Science Letters*, 2003. Vol. 205. P. 295-308.
220. Cruden DM, Varnes DJ. Landslide types and processes. /In: Turner AK, Schuster RL. (eds). *Landslides investigation and mitigation*. Transportation research board, US National Research Council. Special Report 247, Washington, DC, 1996. - Chapter 3. P. 36–75.
221. Cruden DM. Limits to common toppling. // *Canadian Geotech J*. 1989. 26. P. 737–742.
222. Cruden DM, Antoine P. The slide from Mt. Granier, Isère and Savoie, France on Nov. 24, 1248. / In: *Proc. 4th. International Symposium on Landslides*, Toronto, 1984. Vol. 1. P. 475–481.
223. Cruden DM, Hu XQ. Rock mass movements across bedding in Kananaskis country, Alberta. // *Canadian Geotech J*. 1992. 29. P. 675–685.
224. Cutter S.L. Building disaster resilience: steps toward sustainability. // *Challenges in Sustainability*. 2014. Vol. 1(2). P. 72-79.

225. Cutter S.L., Finch C. Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. // Proc. Natl. Acad. Sc. 2008. Vol. 105(7). P. 2301-2306.
226. Dietz, Robert S. Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor. //Nature. 3 June 1961. 190 (4779). P. 854–857.
227. Davies, G.F. Dynamic Earth. Plates, Plums and Mantle Convection. Cambridge University Press. 1999. 458 pp.
228. Dilley M., Chen R.S., Deichmann W., Lerner-Lam A.L., Arnold M. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. Washington D.C.: The World Bank, 2005.
229. Dirk Proske. Catalogue of risks. / Natural, Technical, Social and Health Risks. Springer. 2007. ISBN 978-3540795544.
230. Douwe G. van der Meer, Douwe J.J. van Hinsbergen, Wim Spakman. Atlas of the underworld: Slab remnants in the mantle, their sinking history, and a new outlook on lower mantle viscosity. //Tectonophysics. 2018. 723. P.309–448.
231. EM-DAT.The international disasters database. <http://www/emdat.be>.
232. Fournier d'Albe. An Approach to Earthquake Risk Management // Engineering Structures, 1982. V. 4. P. 145–152.
233. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A., Svalova V.B., Nikolaev A.V. GIS approach geospatial application for seismic microzonation study. //Geology and Geophysics of the South of Russia. 2018. № 3. C. 116-136.
234. Gee D.G., Zeyen H.J. (editors). EUROPROBE 1996 – Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents. / Uppsala University. 1996. 138 pp.
235. Ginzburg A., Svalova V., Nikolaev A., Postoev G., Kazeev A. Landslide and seismic monitoring systems. /In:Natural Hazards and Risk Research in Russia. Edited by: V. Svalova. Springer book : 86943020. 2019. P. 43-62.
236. Ginzburg A., Svalova V., Nikolaev A., Manukin A., Savosin V. Early-warning landslide monitoring system. /In:Natural Hazards and Risk Research in Russia. Edited by: V. Svalova. Springer book : 86943020. 2019. P. 63-86.
237. Gornov P. Geothermy of the continental margins of Eastern Russia. / Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Ser. "Innovation and Discovery in

Russian Science and Engineering". Ed. Svalova V.B. Springer, Switzerland, 2021. P. 123-137.

238. Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. /Ser. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering". Ed. Svalova V.B. - Springer, Switzerland, 2021. 559 pp.

239. Hess, H. H. Evolution of ocean basins. Report to Office of Naval Research / H. H. Hess. 1960. Contract No. 1858(10), NR 081-067. 38 p.

240. Hungr O., Leroueil S. and Picarelli L. The Varnes classification of landslide types, an update // Landslides, 2014. Vol. 11. Issue 2. P. 167-194.

241. Isacks Bryan, Jack Oliver, Lynn R. Sykes. Seismology and the New Global Tectonics. // Journal of Geophysical Research, 15 September 1968. V. 73. Issue 18. P. 5855–5899.

242. Jackson J., Priesley K., Allen M., Berberian M. Active tectonics of the South Caspian Basin. //Geoph. J. Int., 2002. V. 148. P. 214-245.

243. Jaedicke C., Van Den Eeckhaut M., Nadim F., Herva's J., Kalsnes B., Vangelsten B., Smith J., TofaniV., Ciurean R., Winter V., Thygeson K., Syre T., Smebye H. Identification of landslide hazard and risk 'hotspots' in Europe. //Bull Eng Geol Environ, 2014. 73. P. 325–339. DOI 10.1007/s10064-013-0541-0

244. Kalsnes B., Nadim F., Lacasse S. Managing geological risk./ In: Geologically active, Williams et al. (Eds.). Proceedings of the 11th IAEG Congress, Auckland, New Zealand, 5-10 September 2010, Taylor & Francis group, London, 2010. P. 111-126.

245. Karig D.S. Evolution of arc systems in the Western Pacific. //An. Rev. Earth and Planet. Sci. 1974. V.2. P. 51-75.

246. Karig D.E. Origin and development of marginal basin in the Western Pacific // J. Geophys. Res. 1971. Vol. 76. P. 2542–2561.

247. Knight F.H. Risk, Uncertainty and Profit. Chicago: Houghton Mifflin Company, 1921.

248. Koulakov I., Zabelina I., Amanatashvili I., Meskhia V. Nature of orogenesis and volcanism in the Caucasus region based on results of regional tomography. // *Solid Earth*. 2012. No. 3. P. 327–337.
249. Lollino G., et al. (Eds.) *Engineering geology for society and territory*. Volume 5. Springer International Publishing, Switzerland, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-09048-1
250. McKenzie D. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions // *Geophys. J. Roy. Astronom. Soc.* 1978. Vol. 55. № 1. P. 217–254.
251. Muller B., Zoback M.L., Fuchs K., Mastin L., Gregersen S., Pavoni N., Stephansson O., Ljunggren C. Regional patterns of tectonic stress in Europe // *J. Geophys. Res.* 1992. Vol. 97. № B8. P. 11783–11803.
252. Parsons B., Sclater J. G. An analysis of the variation of ocean floor bathymetry and heat flow with age. // *J. Geophys. Res.*, 1977. Vol. 83. P. 803-827.
253. Priestley K, Cipar J. J. Central Siberian, upper mantle structure and the structure of the Caspian basin. // *Phillips Laboratory Environmental Research Paper*, 1993. N 1125. P. 86-92.
254. Ringwood A.E., Irifune T. Nature of 650 km seismic discontinuity: implication for mantle dynamics and differentiation. // *Nature*, 1988. V. 331. No. 6152. P. 131-134.
255. *Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management*, 2010. / <http://register.consilium.europa.eu/pdf/en/10/st17/st17833.en10.pdf>
256. Rodnikov A. G., Sergeyeva N. A., and Zabarinskaya L. P. Deep structure of the Eurasia-Pacific transition zone. // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2001. Vol. 3. № 4. P. 293-310.
257. Roed-Larson Sverr. Disasters in Europe: examples opinions and investigations. / *Proceedings of 10-th Annual Conference of TIEMS, Sophia-Antipolis, France*. June 3-6. 2003. P. 404—411.
258. Saaty T.L. *Decision making with dependence and feedback. The Analytic Network Process*. RWS Publications, 2001. 370 p.

259. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. // Int. J. Services Sciences. 2008. Vol. 1. No.1. P. 83-98.
260. Sharkov E., Svalova V. Geological-geomechanical simulation of the Late Cenozoic geodynamics in the Alpine-Mediterranean mobile belt. / New Frontiers in Tectonic Research – General Problems, Sedimentary Basins and Island Arcs. INTECH, Croatia. 2011. P. 18–38.
261. Svalova V. Mechanical-mathematical modeling for sedimentary movement and landslide processes. / CD Proceedings of the International Association for Mathematical Geosciences Meeting (IAMG 2009), Stanford, California, USA, August 23-28, 2009. 15 pp.
262. Svalova V. Landslide Risk: Assessment, Management and Reduction. 2017. Nova Science Publishers, NY. 253 pp.
263. Svalova V. (ed.). Risk Assessment. ISBN 978-953-51-3799-3, Print ISBN 978-953-51-3798-6, 384 pages, Publisher: InTech, published February 28, 2018 under CC BY 3.0 license DOI:10.5772/intechopen.68673 <http://www.intechopen.com/books/risk-assessment>
264. Svalova V. (ed.) Natural Hazards and Risk Research in Russia. Springer book : 86943020 Switzerland. 2019. 400 pp.
265. Svalova V.B. Mechanical-mathematical models of the formation and evolution of sedimentary basins. // Sciences de la Terre, Ser. Inf. 1992. No. 31. P. 201–208.
266. Svalova V.B. Mechanical-mathematical simulation of geological structures evolution. // Geoinformatics. 1993. Vol. 4(3). P. 153–160.
267. Svalova V.B. Thermomechanical modeling of geological structures formation and evolution on the base of geological-geophysical data. / Proceedings of the Third Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology IAMG'97, Barcelona, Spain. 1997. Part 2. P. 1049–1055.
268. Svalova V. Mechanical-mathematical modeling for the Earth's deep and surface structures interaction. / Proceedings of International Conference IAMG, Berlin. 2002. 5 p.

269. Svalova V.B. Thermo-gravity model for sedimentary basins./ В сборнике: Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Ser. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering". Ed. Svalova V.B., Springer, Switzerland, 2021. P. 25-34.
270. Svalova V. B. Geothermics and seismicity of the Caucasus region and the inverse problem of geodynamics. / Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere.Ser. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering". Ed. Svalova V.B., Springer, Switzerland, 2021. P. 391-400.
271. Svalova V. B. Geothermics and geodynamics of the back-arc basins of the Alpine and Pacific belts.// Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere.Ser. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering" ". Ed. Svalova V.B., Springer, Switzerland, 2021. P. 401-409.
272. Svalova V.B. Landslide risk assessment and management. /В сборнике: Опасные природные и техногенные процессы в горных регионах: модели, системы, технологии. Под редакцией А.В. Николаева, В.Б. Заалишвили. 2019. С. 756-767.
273. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Melkov D.A. Landslide risk in mountain areas. // Geology of the South of Russia. 2019. No. 9(2). P. 109–127.
274. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Ivanov P. Engineering and Technical Methods for Landslide Risk Management and Reduction.// Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12. №1 (43). С.162-170.
275. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Ginzburg A.A. Complex environmental monitoring in Russia and India. // Geology and Geophysics of the South of Russia. 2019. Т. 9. № 4. С. 87-101.
276. Tamaki K. Geological structure of the Sea of Japan and its tectonic implications. // Bull. Geol. Surv. Japan. 1988. V. 39. No. 3. P. 269-365.
277. The Global Heat Flow Database of the International Heat Flow Comission. <http://www.heatflow.und.edu/>

278. Trubitsyn V. P. , A. P. Trubitsyn A. P., Evseev M. N., Evseev A. N. The processes of heat and mass transfer in the Earth's mantle. / Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Ser. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering". Ed. Svalova V.B., Springer, Switzerland, 2021. C. 3-23.

279. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction, 2009. <http://www.unisdr.org/eng/terminology/ UNISDR-terminology-2009-eng.pdf>.

280. United Nations International Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Risk and Poverty in a Changing Climate: Invest Today for a Safer Tomorrow. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. 2009. Geneva, Switzerland: UNISDR.

281. United Nations International Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Local Governments and Disaster Risk Reduction: Good Practices and Lessons Learned. 2010. Geneva, Switzerland: UNISDR.

282. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements 2009. London: Earthscan. 2009.

283. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). Global Report on Human Settlements: Cities and Climate Change. London: Earthscan. 2011.

284. United Nations International Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: UNISDR. 2015. www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/index.html.

285. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). The 2018 Annual Report. Geneva, Switzerland, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). <https://reliefweb.int/report/world/unisdr-annual-report-2018>.

286. Varnes D.J. Slope movement types and processes. /In: Schuster RL, Krizek RJ (eds). Landslides, analysis and control, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., 1978. P. 11–33.

287. Varnes DJ. Landslide types and processes. /In: Eckel EB (ed) Landslides and engineering practice, special report 28. Highway research board. National Academy of Sciences, Washington, DC, 1954. P. 20–47.
288. Varnes DJ, Savage W (eds.) The Slumgullion earth flow: a large-scale natural laboratory. U.S. Geological Survey Bulletin 2130, 1996.
289. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. //Landslides. 2015. V. 12. N4. P. 787-798.
290. Wirtz, A., Kron, W., Löw, P., and Steuer, M. The need for data: natural disasters and the challenges of database management. //Natural Hazards. 2014. N70. P. 135-157.
291. Wirtz, A., Löw, P., Mahl, T., and Yildirim, S. Hitting the poor: public-private partnership as an option. / In Extreme Natural Events, Disaster Risks and Societal Implications, ed. by A. Ismail-Zadeh, J. Fucugauchi, A. Kijko et al. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2014. P. 386-398.
292. World seismicity map of ESSA, Bull. Seism. Soc. Amer., 1969, vol. 369.
293. Zaalishvili, V.B., Chotchaev, Kh.O., Burdzieva, O.G., Melkov, D.A., Dzhgamadze, A.K., Svalova, V.B., Nikolaev, A.V. Prospects for identifying and applied use of hydro and petrothermal energy sources in geodynamically active structures of the eastern segment of the Central Caucasus./Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Ser. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering". Ed. Svalova V.B., Springer, Switzerland, 2021. P. 35-63.
294. Zaalishvili V.B., Chotchaev Kh.O., Berger M.G., Burdzieva O.G., Dzeranov B.V., Melkov D.A., Kanukov A.S., Svalova V.B., Nikolaev A.V. Endogenous and exogenous manifestations of geodynamic activity in the Central Caucasus. / Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Ser. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering". Ed. Svalova V.B., Springer, Switzerland, 2021. P. 499-532.
295. Zabarinskaya L., Sergeyeva N., Rashidov V., Nisilevich M., Krylova T. Structure and Dynamics of the Lithosphere for the Eurasia-Pacific Transition Zone. /

Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. Ser. "Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering". Ed. Svalova V.B., Springer, Switzerland, 2021. P. 411-428.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СПИСОК КРУПНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Список крупнейших землетрясений по магнитуде

Землетрясения, магнитуда которых составила 8,5 и выше

№	Дата	Место	Магнитуда
1	22 мая 1960	Вальдивия,  Чили	9,5
2	26 декабря 2004	Индийский океан, к северу от Суматры,  Индонезия	9,3
3	27 марта 1964	Аляска,  США	9,2
4	11 марта 2011	Сендай,  Япония	9,1 ^[1]
5	4 ноября 1952	Камчатка и Курилы,  СССР	9,0 ^[2]
6	25 ноября 1833	Суматра,  Голландская Ост-Индия	8,8-9,2
7	31 января 1906	 Колумбия и  Эквадор	8,8
8	27 февраля 2010	Мауле,  Чили	8,8
9	26 января 1700	Каскадные горы, Северная Америка ^[3]	8,7-9,2
10	8 июля 1730	Вальпараисо,  Чили ^[4]	8,7-9,0
11	1 ноября 1755	Лиссабон,  Португалия	8,7 ^[5]
12	4 февраля 1965	Крысы острова, Аляска,  США	8,7
13	28 марта 2005	Суматра,  Индонезия	8,6-8,7
14	15 августа 1950	Ассам, Тибет  Индия  Китай	8,6

Список наиболее смертоносных землетрясений

№	Дата	Место	Жертвы	Магнитуда	Комментарии
1	23 января 1556	Шэньси,  Китай	830 000	8,0	
2	28 июля 1976	Таншань,  Китай	242 419	8,2	По неофициальным данным, погибло свыше 655 000 человек.
3	21 мая 525	Антиохия,  Византия (сейчас в  Турции)	250 000	8,0	Сведения: Прокопий Кесарийский и Иоанн Эфесский.

4	16 декабря 1920	Нинся-Ганьсу,  Китай	240 000	7,8 или 8,5	Вызвало много разломов и оползней.
5	26 декабря 2004	Индийский океан, к северу от Суматры,  Индонезия	230 210	9,3	Основной урон был вызван цунами.
6	11 октября 1138	Алеппо, Сирия (сейчас в  Сирии)	230 000	8,5	Первые данные о количестве жертв появились в XV веке.
7	12 января 2010	Порт-о-Пренс,  Гаити	222 570	7	Ранения получили 194 000 человек, без крова остались миллионы граждан.
8	22 декабря 856	Дамган, Персия	200 000		
9	23 марта 893	Ардебиль, Персия	150 000		
10	1 сентября 1923	регион Канто,  Япония	143 000	7,9	Великий пожар в Токио.
11	28 декабря 1908	Мессина,  Италия	123 000	7,1	В Мессине было разрушено 93 % зданий.
12	6 октября 1948	Ашхабад,  СССР	110 000	7,3	
13	31 декабря 1703	Эдо (ныне Токио),  Япония	108 800		Основной урон был вызван цунами.
14	27 сентября 1290	Нинчэн,  Китай	100 000	6,8	

Наиболее разрушительные землетрясения

Землетрясение в Гяндже

Землетрясение в Гяндже — одно из крупнейших^{[30][31]} землетрясений в истории силой в 11 баллов, происшедшее 30 сентября^[32] 1139 года близ города Гянджа на территории современной Азербайджанской Республики. В результате катастрофы погибло 230 тыс. человек.

Во время землетрясения обрушилась гора Кяпаз и преградила русло реки Ахсу, пролегавшую через неё, вследствие чего образовались восемь озёр, одно из которых — озеро Гёйгёль. Это озеро в данное время находится на территории одноименного заповедника^{[33][34]}.

Это землетрясение входит в пятёрку землетрясений, унёсших самое большое количество жизней^[35].

Великое китайское землетрясение (1556)

Великое китайское землетрясение (кит. 嘉靖大地震) произошло в провинции Шэньси 23 января 1556 года. Оно унесло жизни приблизительно 830 000 человек — больше, чем любое другое землетрясение в истории человечества. Эпицентр Шэньсийского землетрясения находился в долине реки Вэй в провинции Шэньси, недалеко от уездов Хуасянь, Вэйнань и Хуайнь. В Хуасяне были разрушены все постройки, погибло более половины населения. В эпицентре землетрясения открылись 20-метровые провалы и трещины. Разрушения затронули территории, расположенные в 500 км от эпицентра. Некоторые районы Шэньси вовсе обезлюдели, в других погибло около 60 % населения. Такое количество жертв было обусловлено тем, что большая часть населения провинции обитала в лёссовых пещерах, которые обрушились уже после первых толчков либо были затоплены селевыми потоками^[36]. В течение полугода после землетрясения несколько раз в месяц следовали повторные толчки^[37].

Землетрясение на Ямайке (1692)

Ямайское землетрясение 1692 года — землетрясение, произошедшее в городе Порт-Ройял (Ямайка) 7 июня 1692 года ровно в 11:43 в соответствии с остановившимися часами, найденными на дне бухты^[38]. Бóльшая часть города, известного как «сокровищница Вест-Индии» и «одно из самых безнравственных мест на Земле», была затоплена морем. Около 2 тысяч человек погибло в результате землетрясения и цунами, ещё примерно 3 тысячи — от травм и распространившихся болезней^[38].

Большое Сицилийское землетрясение.

Сицилийское землетрясение (1693)

Или *Большое Сицилийское* — одно из крупнейших землетрясений в истории Сицилии. Землетрясение произошло 11 января 1693 года при извержении Этны и повлекло разрушения в Южной Италии, на Сицилии и Мальте. Погибло от 60 до 100 тысяч человек^{[39][40]}. Наиболее пострадала юго-восточная Сицилия. Именно в

районе Валь-ди-Ното, практически полностью разрушенном, родился новый архитектурный стиль позднего барокко, известный как «сицилийское барокко»^[41].

Землетрясение годов Хозй (1707)

Землетрясение годов Хозй (яп. 宝永地震 *Хо:эй дзисин*) — землетрясение, произошедшее в 14:00 по местному времени 28 октября 1707 года, было сильнейшим в истории Японии^[42] до Сендайского землетрясения 2011 года, по масштабу жертв и разрушений превосходя его, но уступая землетрясениям в стране 1896, 1995 и 1923 (тяжелейшему по последствиям) годов. В результате районам юго-западного Хонсю, Сикоку и юго-восточного Кюсю был нанесён ущерб от среднего до тяжёлого^[43]. Землетрясение и вызванное им разрушительное цунами повлекло за собой гибель более пяти тысяч человек^[44]. Это землетрясение с магнитудой 8,6, возможно, вызвало извержение вулкана Фудзи, произошедшее 49 дней спустя^[45].

Лиссабонское землетрясение (1755)

Великое лиссабонское землетрясение с магнитудой в 8,7 баллов произошло 1 ноября 1755 года, в 9.20 утра. Оно превратило в руины Лиссабон — столицу Португалии, и стало одним из самых разрушительных и смертоносных землетрясений в истории, унеся жизни около 90 тысяч человек за 6 минут. За подземными толчками последовали пожар и цунами, причинившее особенно много бед в силу прибрежного расположения Лиссабона. Землетрясение обострило политические противоречия в Португалии и, фактически, положило начало заката Португалии как колониальной империи. Событие широко обсуждалось европейскими философами эпохи Просвещения и способствовало дальнейшему развитию концепций теодицеи.

Ассамское землетрясение (1897)

Ассамское землетрясение 1897 года — землетрясение, произошедшее 12 июня 1897 года в Ассаме, Британская Индия. По оценкам, его магнитуда составила 8,1 M_w ^[46]. Считается, что гипоцентр располагался на глубине 32 км.

Ассамское землетрясение оставило в руинах каменные здания на площади 390 000 км², а всего затронуло более 650 000 км² от Бирмы до Нью-Дели. За основным ударом последовало большое количество повторных толчков. Учитывая масштабы землетрясения, смертность была не так высока (около 1500 жертв), но материальный ущерб был весьма значительным. Землетрясение произошло на юго-юго-западном обнажении взброса Олдхэм, на северной окраине плато Шиллонг Индийской плиты^{[47][48]}. Минимальное смещение поверхности земли составило 11 м, с максимумами до 16 м. Это одни из самых больших вертикальных смещений из всех измеренных землетрясений^[47]. Расчётная область смещения распространилась на 110 км вдоль линии сдвига по поверхности, и от 9 до 45 км ниже поверхности. Фактически в землетрясении была задействована вся толща земной коры. Изменения рельефа были столь выраженными, что практически вся местность изменилась до неузнаваемости.

Шемахинское землетрясение (1902)

Шемахинское землетрясение с магнитудой 6,9, произошедшее 13 февраля (31 января по юлианскому календарю) 1902 года на территории современной Азербайджанской Республики, было самым сильным землетрясением за всю историю города Шемахы, которым был разрушен практически весь город. Было разрушено около 4 000 домов и свыше 3000 жертв^[49] были погребены под этими развалинами.

Мессинское землетрясение (1908)

Мессинское землетрясение (итал. *Terremoto di Messina*) магнитудой 7,5 произошло 28 декабря 1908 года в Мессинском проливе между Сицилией и Апеннинским полуостровом. В результате были разрушены города Мессина и Реджо-Калабрия. Это землетрясение считается сильнейшим в истории Европы^[50]. Землетрясение началось около 5:20 утра 28 декабря в море, на дне Мессинского пролива. Толчки вызвали смещение участков дна, после чего на Мессину с интервалами в 15-20 минут обрушилось три волны цунами высотой до трёх метров. В самом городе в течение одной минуты произошло три сильных удара,

после второго начались обрушения зданий. Всего от землетрясения пострадали более двадцати населённых пунктов в прибрежной полосе на Сицилии и в Калабрии. Повторные толчки] продолжались в январе 1909 года.

Существуют разные оценки общего количества погибших, максимальная цифра — 200 000 человек^[50].

Великое землетрясение Канто (1923)

Великое землетрясение Канто́ (яп. 関東大震災 *Канто: дайсинсай*) — сильное землетрясение (магнитуда 8,3), 1 сентября 1923 года произошедшее в Японии. Название получило по региону Канто, которому был нанесён наибольший ущерб. На Западе его именуют также Токийским или Йокогамским, поскольку оно практически полностью разрушило Токио и Йокогаму. Землетрясение стало причиной гибели нескольких сотен тысяч человек и причинило значительный материальный ущерб. Землетрясение началось 1 сентября 1923 года, после полудня. Эпицентр его располагался в 90 км к юго-западу от Токио, на морском дне, возле острова Осима в заливе Сагами. Всего за двое суток произошло 356 подземных толчков, из которых первые были наиболее сильными. В заливе Сагами из-за изменения положения морского дна поднялись 12-метровые волны цунами, которые опустошили прибрежные поселения. По масштабу разрушений и количеству пострадавших это землетрясение является самым разрушительным за всю историю Японии (но не самым сильным, так, землетрясение 2011 года более мощное, но вызвало менее масштабные последствия).

Крымские землетрясения 1927 года

Крымское землетрясение 1927 года — землетрясение на Крымском полуострове, произошедшее 26 июня 1927 года. Несмотря на то, что землетрясения происходили в Крыму ещё с древнейших времен, самые известные и самые разрушительные землетрясения случились в 1927 году. Первое из них произошло днем 26 июня. Сила землетрясения 26 июня составила на Южном берегу 6 баллов. Оно не вызвало сколько-нибудь серьёзных разрушений и жертв,

однако в результате возникшей в некоторых местах паники не обошлось без пострадавших. Очаговая область землетрясения располагалась под дном моря, к югу от поселков Форос и Мшатка и, вероятно, вытягивалась поперек берега. Уже во время самого землетрясения рыбаки, находившиеся 26 июня 1927 г. в 13:21 в море, отметили необычное волнение: при совершенно тихой и ясной погоде на воде образовалась мелкая зыбь и море как бы кипело. До землетрясения оно оставалось совершенно тихим и спокойным, а во время толчков слышался сильный шум.

Ашхабадское землетрясение (1948)

Ашхабадское землетрясение — разрушительное землетрясение, произошедшее 6 октября 1948 года в 02:17 по местному времени вблизи города Ашхабада магнитудой 7,3 по шкале Рихтера. Его очаг располагался на глубине в 18 км, практически прямо под городом. В эпицентре интенсивность сотрясений доходила до IX—X баллов по шкале MSK-64. Ашхабад был полностью разрушен, погибло около 35 тысяч человек. Помимо Ашхабада пострадало большое количество населенных пунктов в близлежащих районах, в Ашхабадском — 89 и Гекдепинском — 55, а также соседнем Иране. С 1995 года дата 6 октября узаконена в Туркмении как День поминовения.

Великое Чилийское землетрясение (1960)

Великое Чилийское Землетрясение (иногда — **Вальдивское Землетрясение**, исп. *Terremoto de Valdivia*) — сильнейшее землетрясение в истории наблюдения, моментная магнитуда — по разным оценкам от 9,3 до 9,5, произошло 22 мая 1960 года в 19:11 UTC в Чили. Эпицентр располагался возле города Вальдивия ($38^{\circ}16'$ ю. ш. $73^{\circ}03'$ з. д.^{НГЯО}) в 435 километрах южнее от Сантьяго. Волны возникшего цунами достигали высоты 10 метров и нанесли значительный ущерб городу Хило на Гавайях примерно в 10 тыс. километрах от эпицентра, остатки цунами достигли даже берегов Японии. Количество жертв составило около 6 тыс. человек, причём основная часть людей погибла от цунами.

Великое Аляскинское землетрясение (1964)

Великое Аляскинское землетрясение — сильнейшее землетрясение в истории США и второе, после Вальдивского, в истории наблюдений, его моментная магнитуда составила 9,1-9,2. Землетрясение произошло 27 марта 1964 года в 17:36 по местному времени (UTC-9). Событие пришлось на Страстную пятницу и в США известно как *Good Friday Earthquake*. Гипоцентр находился в Колледж-фьорде, северной части Аляскинского залива на глубине более 20 км на стыке Тихоокеанской и Северо-Американской плит. Великое Аляскинское землетрясение повлекло разрушения в населённых пунктах Аляски, из крупных городов наиболее пострадал Анкоридж, находившийся в 120 км западнее эпицентра.

Ташкентское землетрясение (1966)

Ташкентское землетрясение — катастрофическое землетрясение (магнитуда 5,2), произошедшее 26 апреля 1966 года в 5 часов 23 минуты в Ташкенте. При относительно небольшой магнитуде ($M=5,2$), благодаря небольшой глубине (от 3 до 8 км) залегания очага, оно вызвало 8—9-балльные (по 12-балльной шкале MSK-64) сотрясения земной поверхности и существенные повреждения строительных объектов в центре города. Зона максимальных разрушений составляла около десяти квадратных километров. На окраинах же столицы сейсмический эффект едва достигал 6 баллов. Сильные колебания почвы с частотой 2—3 Гц продолжались 10—12 секунд. Относительно небольшое число пострадавших (8 погибших и несколько сот травмированных) в городе с миллионным населением обязано преобладанию вертикальных (а не горизонтальных) сейсмических колебаний, что предотвратило полный обвал даже ветхих глинобитных домов. Анализ причин травм показал, что в 10 % случаев они были получены от обрушений стен и крыш, 35 % — от падающих конструктивных частей зданий и сооружений (штукатурка, гипсовая лепка, кирпичи и т. п.) и предметов домашнего обихода. В 55 % причинами травм было неосознанное поведение самих пострадавших, обусловленное паническим

состоянием и страхом (выпрыгивание из верхних этажей, ушибы о различные предметы и тому подобное). Однако впоследствии количество смертельных случаев умножилось в результате сердечных приступов в период возникновения даже незначительных повторных толчков.

Таншаньское землетрясение (1976)

Землетрясение в Таншане (кит. 唐山大地震) — природная катастрофа, произошедшая в китайском городе Таншане (провинция Хэбэй) 28 июля 1976 года. Землетрясение магнитудой 7,8 считается крупнейшей природной катастрофой XX века. По официальным данным властей КНР, количество погибших составляло 242 419 человек. В 3:42 по местному времени город был разрушен сильным землетрясением, гипоцентр которого находился на глубине 22 км. Разрушения имели место также и в Тяньцзине и в Пекине, расположенном всего в 140 км к западу. Вследствие землетрясения около 5,3 миллионов домов оказались разрушенными или повреждёнными настолько, что в них невозможно было жить. Несколько повторных толчков, сильнейший из которых имел магнитуду 7,1, привели к ещё бóльшим жертвам.

Спитакское землетрясение(1988)

Спитакское землетрясение (арм. Միլիտարի երկրաշարժ), также известное как **Ленинаканское землетрясение** (арм. Լենինականի երկրաշարժ) — катастрофическое землетрясение магнитудой 7,2^[51], произошедшее 7 декабря 1988 года в 10 часов 41 минуту по московскому времени на северо-западе Армянской ССР. В результате землетрясения были полностью разрушены город Спитак и 58 сёл; частично разрушены города Ленинакан (ныне Гюмри), Степанаван, Кировакан (ныне Ванадзор) и ещё более 300 населённых пунктов^[52]. Погибли по крайней мере 25 тысяч человек, 514 тысяч человек остались без крова^[51]. В общей сложности, землетрясение охватило около 40 % территории Армении^[51]. Из-за риска аварии была остановлена Армянская АЭС.

Землетрясение в Кобе (1995)

Землетрясение в Кобе (яп. 阪神・淡路大震災) — одно из крупнейших землетрясений в истории Японии. Землетрясение произошло утром во вторник 17 января 1995 года в 05:46 местного времени. Магнитуда составила 7,3 по шкале Рихтера. По подсчётам, во время землетрясения погибло 6 434 человек. Последствия стихии: разрушение 200000 зданий, 1 км скоростного шоссе Хансин, уничтожение 120 из 150 причалов в порту Кобе, нарушения электроснабжения города. Жители боялись вернуться домой из-за подземных толчков, которые продолжались несколько дней. Ущерб составил примерно десять триллионов иен или 102,5 млрд долларов США, или 2,5 % от ВВП Японии в то время.

Землетрясение в Нефтегорске (1995)

Землетрясение в Нефтегорске — землетрясение магнитудой около 7,6, произошедшее ночью 28 мая 1995 в 1:04 местного времени на острове Сахалин. Оно полностью разрушило посёлок Нефтегорск — под обломками зданий погибло 2040 человек^[53] из общего населения в 3197 человек^[54]. Также в ту ночь сильным толчкам подверглись города и посёлки севера Сахалина. В городе Оха — центре Охинского района Сахалинской области, с населением около 30 000, толчки достигали не менее 6 баллов. Не выдержали козырьки подъездов в некоторых домах.

Измитское землетрясение (1999)

Измитское землетрясение — землетрясение (магнитуда 7,6), произошедшее 17 августа 1999 года в Турции в 3:01 по местному времени^[55]. Центр располагался на глубине 17 км, эпицентр находился недалеко от промышленного города Измит (координаты 41.81°с. ш. 30.08°в. д.). В результате погибло более 18 тысяч человек, около 44 тысяч было ранено, около 500 000 осталось без крова.

Подводное землетрясение в Индийском океане в 2004 году

Подводное землетрясение в Индийском океане, произошедшее 26 декабря 2004 года в 00:58:53 UTC (07:58:53 по местному времени), вызвало

цунами, которое было признано самым смертоносным стихийным бедствием в современной истории. Магнитуда землетрясения составила, по разным оценкам, от 9,1 до 9,3. Это третье по силе землетрясение за всю историю наблюдения.

Эпицентр землетрясения находился в Индийском океане, к северу от острова Симёлуэ, расположенного возле северо-западного берега острова Суматры (Индонезия). Цунами достигло берегов Индонезии, Шри-Ланки, юга Индии, Таиланда и других стран. Высота волн превышала 15 метров. Цунами привело к огромным разрушениям и огромному количеству погибших людей, даже в Порт-Элизабет, в ЮАР, в 6900 км от эпицентра.

Погибло, по разным оценкам, от 225 тысяч до 300 тысяч человек. По данным Геологической службы США (USGS), число погибших — 227 898^[56]. Истинное число погибших вряд ли когда-либо станет известно, так как множество людей было унесено водой в море.

Сычуаньское землетрясение (2008)

Сычуаньское землетрясение (кит. 四川大地震) — разрушительное землетрясение, произошедшее 12 мая 2008 года в 14:28:01.42 по Пекинскому времени (06:28:01.42 UTC) в китайской провинции Сычуань. Магнитуда землетрясения составила 8 M_w согласно данным Китайского сейсмологического бюро и 7,9 M_w по данным Геологической службы США. Эпицентр зафиксирован в 75 км от столицы провинции Сычуань города Чэнду, гипоцентр — на глубине 19 км^[57]. Это землетрясение также известно как **Вэньчуаньское** (кит. 汶川大地震), поскольку эпицентр землетрясения приходится на уезд Вэньчуань. Землетрясение ощущалось в Пекине (удаление 1,500 км) и Шанхае (1,700 км), где тряслись офисные здания и началась эвакуация^[58]. Его почувствовали и в соседних странах: Индии, Пакистане, Таиланде, Вьетнаме, Бангладеш, Непале, Монголии и России. Официальные источники заявляют, что на 12 мая 2008 погибло 69 197 человек (www.cctv.com), пропало без вести порядка 18 тыс. человек, 288 431 пострадало^[59]. Сычуаньское землетрясение явилось сильнейшим

в Китае после Таншаньского землетрясения (1976), унёсшего около 250 000 жизней.

Землетрясение в Японии (2011)

Землетрясение у восточного побережья острова Хонсю в Японии (яп. 東北地方太平洋沖地震 *То:хоку тихо: Тайхэйё:-оки дзисин*, «Землетрясение в Тихом океане, оказавшее влияние на регион Тохоку»), также **Великое восточнояпонское землетрясение** (яп. 東日本大震災 *Хигаси Нихон дайсинсай*) — землетрясение магнитудой, по текущим оценкам, от 9,0 до 9,1 произошло 11 марта 2011 года в 14:46 по местному времени (05:46 UTC). Эпицентр землетрясения был определён в точке с координатами 38,322° с. ш. 142,369° в. д. восточнее острова Хонсю, в 130 км к востоку от города Сендай и в 373 км к северо-востоку от Токио. Гипоцентр наиболее разрушительного подземного толчка (произошедшего в 05:46:23 UTC) находился на глубине 32 км ниже уровня моря в Тихом океане. Землетрясение произошло на расстоянии около 70 км от ближайшей точки побережья Японии. Первоначальный подсчёт показал, что волнам цунами потребовалось от 10 до 30 минут, чтобы достичь первых пострадавших областей Японии. Через 69 минут после землетрясения цунами затопило аэропорт Сендай.

Это сильнейшее землетрясение в известной истории Японии и седьмое, а по другим оценкам даже шестое, пятое или четвёртое по силе за всю историю сейсмических наблюдений в мире. Однако по количеству жертв и масштабу разрушений оно уступает землетрясениям в Японии 1896 и 1923 (тяжелейшему по последствиям) годов.

https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_крупнейших_землетрясений

<https://ru.wikipedia.org/wiki/Землетрясение>

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

СПИСОК ОПОЛЗНЕЙ

Объемы оползней регистрируются в кубических километрах (км³)
или в миллионах кубических метров (МКМ)

Доисторические оползни

Дата	Место	Имя	Широта	Долгота	Объем	Комментарии	Ист.
48 млн лет	Харт-Маунтин, Вайоминг, США	Горная горка сердца Heart Mountain			~2000 км ³	В настоящее время в основном разрушен	[1][2]
21-22 млн лет	Юго-запад штата Юта, США	Гравитационный оползень Маркагунта	37,7N	112,83 Вт	~1700-2000 км ³		[3][1]
~6,1 млн лет	Горы Ист-Траверс, Юта, США	Мега оползень в горах Восточного Траверса	40,48 N	111,85 Вт	~50-100 км ³	Оползень охватывает всю гору Восточный Траверс	[4][5]
Где-то между 19 000 и 10 000 годами до нашей эры	Озеро Тахо, Калифорния и Невада, США				12,5 км ³	Оползень произошел вдоль западного берега озера, образовав залив Маккинни и породив мегацунами в озере высотой около 100 метров (328 футов).	[6][7]
около 15 000 лет до н.э.	Горы Сан-Бернардино, Калифорния, США	Оползень Блэкхок			0,52 км ³	Каменный куб со стороной 0,5 мили (0,8 км) съехал на 1500 футов (457 м) вниз по склону крутого каньона, затем вышел из каньона и проехал 5 миль (8 км) по плоской долине со скоростью до 75 миль в час (121 км / ч).	[8]

Дата	Место	Имя	Ши рота	Долг ота	Объем	Комментарии	Ист.
11 000 лет до н. э.	Новая Зеландия	Оползень на Грин-Лейк (Саутленд)			27 км ³	новое движение (2019) Альпийские сады оползневой же зоны	[9]
Поздний плейстоц ен	Британска я Колумбия	Поклонник Чики			~0,15 км ³	Обрушение западного склона горы Гарибальди	[10]
Около 10 000 лет до н. э.	Саидмарре х, Иран	Оползень Саидмарре	33N	47.65 Е	20 км ³		[11]
8000 г. до н. э.	Швейцари я	Оползень Флимс			9 км ³		[12]
~ 9 900 г. до н. э.	Отаго, Новая Зеландия	Лохнагар Оползень	44.36 С	168Е	1 км ³	Обрушение горы, образующей озеро Лохнагар.	[13]
~ 2800 г. до н. э.	Каньон Зайон, Юта, США				0,286 км ³	Оползень создал в настоящее время ровный пол каньона Зайон внутри национального парка Зайон.	[14]
~ 1920 г. до н. э.	Ущелье Цзиши, провинция Цинхай, Китай				0,040– 0,080 км ³	Оползень перекрыл реку Хуанхэ, прорыв плотины, возможно, вызвал Большое наводнение Гун- Ю	[15]
Около 200 г. до н. э.	Северный остров, Новая Зеландия				2,2 км ³	Запруженное озеро Вайкаremoана	[16][17]

Подводные оползни

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Комментарии	Ист.
1,4 млн лет	У северного Молокаи, Гавайи	Оползень Вайлау			2500 км ³	Северная треть вулкана Восточный Молокаи внезапно обрушилась в Тихий океан в результате оползня шириной 25 миль (40 км) с выбросом длиной 120 миль (193 км), который поднялся в гору на 900 футов (274 м) от Гавайской глубины за последние 80 миль (130 км). Это вызвало цунами высотой 2000 футов (610 м) в местном масштабе, которое достигло Калифорнии и Мексики.	[18]
От 1,5 до 0,5 млн лет	на северо-востоке Оаху, Гавайи	Оползень Ну'уану			7500 км ³	Восточная половина вулкана Коолау рухнула в Тихий океан, оставив после себя остатки западного края на Оаху в виде хребта Коолау. Оползень прошел более 140 миль (225 км), поднявшись примерно на 1000 футов (305 м) за последние 85 миль (137 км) и оставив массивное поле обломков к северу от Оаху и Молокаи площадью 25 000 квадратных километров (9700 кв. миль). Самый большой обломок, подводная гора Таскалуса, имеет размеры 19 на 11 миль (31 на 18 км) и возвышается на 1,1 мили (1,8 км) над морским дном.	[19][20]
Менее 2,6 млн лет	у берегов Южной Африки	Оползень Агульяс			20 000 км ³	Самый крупный из описанных на сегодняшний день	[21]
около 170 000 лет назад	у Северного острова, Новая Зеландия	Лавина обломков в Руатории			3000 км ³		[22]
около 8000	Норвежское море	Оползень Сторегга	64.87	1.3	3500 км ³	Вызвал сильное цунами, которое пронеслось над Шетландскими и	[23]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Комментарии	Ист.
лет назад						Оркнейскими островами	
13 март а 1888	Остров Риттер, Нидерландская Ост- Индия	Извержение и цунами на острове Риттер в 1888 году			от 4 до 5 км ³	Во время извержения вулкана значительная часть острова соскользнула на 800 метров (2625 футов) в море, вызвав цунами высотой от 12 до 15 метров (39-49 футов), которые обрушились на близлежащие острова и продвинулись на юг до Новой Гвинеи, где их высота составляла 8 метров (26 футов) высокий. В результате волн погибло около 3000 человек.	[24][25] [26][27] [28]
18 Ноября 1929	Гранд-Бэнкс Ньюфаундленда	Землетрясение в Гранд-Бэнксе в 1929 году	44.54	-56.0 1	200 км ³	Оборвало 12 подводных кабелей связи. Высота цунами составляла от 3 до 8 метров (от 10 до 26 футов), его высота составляла 13 метров (43 фута), в результате чего на полуострове Бурин погибли 28 человек.	[29]
17 июля 1998	К северу от Новой Гвинеи	Землетрясение в Папуа-Новой Гвинее в 1998 году			4 км ³	Оползень в Тихом океане последовал за землетрясением магнитудой 7,0 на несколько минут и вызвал цунами высотой от 10 до 15 метров (от 33 до 49 футов), которые обрушились на северное побережье Папуа-Новой Гвинеи, в результате чего погибло от 2100 до 2700 человек, 1000 получили ранения и 10 000 остались без крова.	[30]
22 Декабря 2018	Anak Krakatau, Индонезия	2018 цунами в Зондском проливе			150 мкм	Около 64 гектаров (160 акров) юго-западного склона острова соскользнули в Зондский пролив во время извержения вулкана, что уменьшило высоту вулкана с 338 до 110 метров (1109-361 футов). Вызванное цунами обрушилось на побережья Явы и Суматры с высотой от 2 метров (6,6 футов) до 13,4	[31][32] [33][34] [35][36]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Комментарии	Ист.
						метров (44 фута), в результате чего 426 человек погибли, 25 пропали без вести и 14 059 получили ранения.	

Исторические оползни до 20-го века

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
563	Женевское озеро, Швейцария и Франция	Событие в Тауредунуме	46.35	6.86		многие	Разрушенные деревни и обрушившийся на город Женева.	[37]
25 Ноября 1248 года	Mont Granier, France		45.46	5.93		1000+	Разрушено пять деревень.	
25 января 1348 года	Dobratsch, Austria	Оползень в Добраче			900 мкм		Вызванный землетрясением во Фриули (8-9 баллов EMS), из-за разлива реки Гейл, 2 деревни пришлось оставить.	
1425 - 1450	Северный Бонневиль, Вашингтон, США	Мост Богов (наземный мост)	45.66	-121.94	14 км ³		Возможно, связано с землетрясением в Каскадии в 1458 году	[38][39][40]
Около 1560	Озетт, Вашингтон, США	Археологический памятник индейской деревни Озетт	48.17	-124.73			Частично погребена деревня в Озетте	[41][42]
Около 1560	Озетт, Вашингтон, США	Археологический памятник индейской деревни Озетт	48.17	-124.73			Частично погребена деревня в Озетте	[43][44]
19 Июня 1718 года	Ганьсу, Китай	Землетрясение 1718 года в Тунвэй–Ганьсу					Землетрясение магнитудой 7,5 вызывает более 300 оползней,	[45]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							которые сносят деревни и приводят к гибели 73 000 человек.	
22 Февра ля 1756 года	Лангфьорден, Норвегия				от 12 до 15 мкм	32	Скатился на 400 метров (1312 футов) вниз по склону горы Тьеллафьеллет в Лангфьорден, породив три мегацунами в Лангфьордене и Эресфьорде с высотой от 40 до 50 метров (131-164 футов). Крупнейший оползень в Норвегии за историческое время.	[46]
1 Июня 1786 года	Район Кангдин-Лудин, провинция Сычуань, юго-западный Китай	Землетрясение Кангдин-Лудин в 1786 году					Землетрясение магнитудой 7,75 м вызвало большой оползень, который создал оползневую плотину высотой 70 метров (230 футов) на реке Даду. 10 июня произошел катастрофический сбой плотины, в результате чего наводнение распространилось на 1400	[47][48]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							километров (870 миль) вниз по течению и унесло жизни 100 000 человек.	
2 Сентября 1806 года	Canton of Schwyz, Switzerland	Оползень Гольдау	47.05	8.55	40 мкм	457	Разрушил четыре деревни и вызвал цунами в озере Лауэрц	[49]
24 декабря 1839	Лайм-Реджис, Дорсет	От Аксмута до Лайм-Реджиса Андерклифф					Один из серии обвалов	
1855– 1856	Британская Колумбия	Обрушение барьера			30 мкм			[50]
1881	Уезд Цяоцзя, Юньнань, Китай	Оползень Шигаоди			530 мкм		Образовалась плотина на реке Цзиньша	[51]
11 Сентября 1881	Вяз, Швейцария				7,6 мкм	114– 115	Склон горы, ослабленный карьерами и двухмесячным и проливными дождями, соскользнул в деревню, где он похоронил 83 строения, затем через долину, в которой стояла деревня, и 300 ярдов (274 м) вверх по противоположному склону.	[8][52]
19 Сентября 1889	Кап Диамант, Квебек	Québec rockslide	46.48 5	–71.21		>40		[53]

1901–1950

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
22 Августа 1902	Китайско – кыргызская граница, Синьцзян, Китай	Туркестанское землетрясение 1902 года	39.87	76.42	>0,2 мкм	5,650– 10,000	Оползень, вызванный землетрясением магнитудой 7,7 в горах Тянь-Шаня. Землетрясение вызвало оползни в долинах и горах. Разрушения были широкомасштабными.	[54][55][56]
29 апреля 1903	Черепашья гора, Альберта, Канада	Оползень Фрэнка	49.59	–114.39	30 мкм	от 70 до 90	Около 110 миллионов тонн (120 миллионов коротких тонн) известняковой породы соскользнули с Черепашьей горы, достигнув противоположных холмов за 100 секунд и похоронив восточную окраину Фрэнка, шахтерского городка в Альберте. Самый смертоносный и один из крупнейших оползней в истории Канады.	[57][58]
15 января 1905 года	Ловатнет, Норвегия				0,35 мкм	61	Скатился на 500 метров (1640 футов) вниз по склону горы Рамнефьеллет в озеро Ловатнет, образовав мегацунами высотой до 40,5	[59]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							метров (133 фута).	
13 Апреля 1907	Chryszczata, Bieszczady Mountains, Poland	Zwierzło	49.18	22.10	12 мкм	0	Самый большой исторический оползень в польских горах Бещады. Озера, образовавшиеся в углублениях на поверхности оползня - "Душатынские озера". Озера и окружающий лес находятся под защитой природного заповедника.	[60]
18 Февраля 1911	Усой, Таджикистан	Усойская плотина			2 км ³	54	Вызвано землетрясением магнитудой 7,4. Оползень перекрыл реку Мургаб, образовав Сарезское озеро длиной 65 км (40 миль), которое в настоящее время все еще существует.	[61]
1914	Neuquén и Мендоса, Аргентина	Селевые потоки Рио-Барранкас и Рио-Колорадо			2 мкм	190–300	Два небольших города были разрушены, а многочисленные ранчо и фермы разрушены вдоль 60-километровой (37 миль) долины. Длина потока: 300 км (186 миль)	[61]
19 Мая 1919	Келуд, Восточная Ява, Индонезия	Келут Лахарс				5110	В результате оползней погибло 5110 человек, было разрушено или повреждено 104 деревни.	[61]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							Длина 185 км (115 миль).	
16 декабря 1920	Округ Хайюань, Нинся, Китай	Землетрясение в Хайюане в 1920 году				>100,000	Лессовые потоки и оползни на площади 50 000 км ² (19 000 кв. миль). Провалы в лессе вызвали сильное растрескивание, оползневые дамбы и погребенные деревни.	[61]
1920	Veracruz, Мексика	Селевые потоки Рио-Уицилапан				est. 600–870	Селевые потоки разрушили деревню Барранка-Гранде глубиной от 40 до 65 метров (от 131 до 213 футов). Селевые потоки простирались более чем на 40 км (25 миль). Вызвано землетрясением магнитудой ~ 6,5.	[61]
1921	Almaty, Казахстан	Алма-Атинские селевые потоки				~500	Селевой поток в долине реки Алма-Атинка разрушил город Алма-Ата.	[61]
26 марта 1924	Побережье Амальфи, Италия					~100	Серия крупных оползней после 18 часов сильного дождя	[62]
23 Июня 1925	Пустыня Гро-Вентре, Вайоминг	Оползень Гро-Вентре	43.62	110.55	38 мкм	6 (когда в 1927 году рухнул плотина)	Перекрыл реку Гро-Вентр, образовав плотину высотой 70 метров (230 футов)	[63]
9	Перевал	Падающ	–42.89	171.68	66		Очень быстрый	[64]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
марта 1929 года	Артура, Южный остров, Новая Зеландия	ий горный оползень			мкм		сход каменной лавины, вызванный землетрясением на перевале Артура в 1929 году	
25 августа 1933	Дзюкси, округ Мао, Сычуань, Китай	Землетрясение в Дзюкси в 1933 году			150 мкм	~3100	Самый крупный оползень образовал оползневую плотину высотой 255 метров (837 футов) на реке Мин. В результате этого оползня погибли все, кроме одного, из 577 человек в городе Дейси. Затем плотина вышла из-под контроля, что привело к наводнению и гибели 2500 человек.	[61]
7 Апрель 1934	Тафьорден, Норвегия				от 2 до 3 мкм	40	Соскользнул примерно на 730 метров (2395 футов) вниз по склону горы Лангхамарен в Тафьорден, породив мегацунами, высота которого составляла от 62 до 63,5 метров (203 и 208 футов).	[65][66][67]
13 Сентября 1936	Ловатнет, Норвегия				1 мкм	74	Скатился на 800 метров (2625 футов) вниз по склону горы Рамнефьеллет в озеро Ловатнет, образовав	[59]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							мегацунами высотой более 74 метров (243 фута).	
5 июля 1938	Квансай, Префектура Хего, Япония					~1000	Многие оползни произошли на склонах горы Рокко, 130 000 домов были повреждены или разрушены в результате оползней и наводнений.	[61][68]
13 декабря 1941	Хуарас, Анкаш, Перу	Селевой поток Хуараса			>10 мкм	4,000–6,000	Вызванный разрывом моренной дамбы, перекрывшей озеро, временно перекрыл реку Санта, через 2 дня это не удалось, и наводнение прокатилось по долине до побережья.	[61][69]
16 Августа 1945	Долина Мантаро, Перу	Оползень Кунтур Синка			5,5 мкм	ни одного оползня	Оползень образовал плотину высотой 100 метров (330 футов) в Рио-Мантаро, которая рухнула через 73 дня, вызвав наводнение.	[61]
19 декабря 1945	Alcalá del Júcar, Альбасете, Испания					16	Самый сильный камнепад, обрушившийся на муниципалитет в 20 веке	[70]
18 Сентября 1948	Ассам, Индия	Оползень в Гувахати				~500	Вызванные сильным дождем	[71]
10 июля	Гармская область,	Оползень Хаит,	39.17	70.90	75 мкм	~ 800 ~ 4000	Вызванный землетрясением в	[72]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
1949	Таджикистан	оползень долины Ясман			245 мкм	(7200 для всех оползней)	Хаите 1949 года, крупнейшим из нескольких оползней	

1951–1975

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
1953	Префектура Вакаяма, Япония	Оползни на реке Арида				1,046	Многочисленные оползни из-за тайфуна. В долине Аридкава было образовано и впоследствии разрушено множество оползневых дамб.	[61]
1953	Минами ямаширо, Район Сораку, Киото, Япония	Оползни Минами ямаширо				336 погибших или пропавших без вести	5122 дома были разрушены или сильно повреждены в результате оползней и наводнений.	[61]
7 Октября 1953 года	Беккелaget, Осло, Норвегия	Оползень Беккелaget 1953				5 погибших		[73]
12 июля 1954	Медиа Луна, Колумбия	Оползень Санта-Елена				>100	Селевой поток, вызванный проливным дождем	[74]
26 Октября 1954 года	Salerno, Побережье Амальфи					≈ 300	За 16 часов выпало 504 миллиметра (19,8 дюйма) осадков, что вызвало оползни и селевые потоки	[75]
1958	Префектура Сидзуока	Оползни в Каногаве				1,094	19 754 дома были разрушены или сильно	[61]

Дата	Место	Название/статус	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
	а, Япония						повреждены.	
9 июля 1958	Залив Литуйа, Аляска, США	Землетрясение 1958 года в заливе Литуйа на Аляске и мегацуна ми			30 мкм	2	Вызванный землетрясением магнитудой 7,5, оползень вызвал мегацунами высотой 524 метра (1719 футов) в заливе Литуйа.	[76]
17 Август а 1959 года	Мэдисон- Каньон, юго- западная Монтана, США	Землетрясение на озере Хебген в 1959 году			38 мкм	28–36	Вызвано землетрясением магнитудой от 7,2 до 7,5. Запрудил реку Мэдисон, создав озеро Тектон.	[77]
22 мая 1960 года	Озеро Риниуэ, Чили	Риньихуасо	–39.84	–72.29	≈ 40 мкм		Серия оползней, вызванных землетрясением в Вальдивии в 1960 году, перекрыла отток воды из озера Риньихуэ, в результате чего оно поднялось более чем на 20 метров (66 футов). Принятые меры по снижению уровня воды предотвратили повторение катастрофического наводнения после великого землетрясения 1575 года.	[69]
10 января 1962 года	Ранрахирка, Перу	1962 г. лавины обломков в Невадо- Уаскаран е	–9.12	–77.6	13 мкм	4,000 – 5,000	Лавина из льда и камней, вызванная обрушением части висячего ледника	[69]
9 Октябрь	Лонгароне, Италия	Оползень Вайонта	46.27	12.33	270 мкм	≈ 2,000	Оползень, вызванный	[78]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
я 1963 года	Италия						проливными дождями и просадкой водохранилища Вайонт-Дам. Жертвы и ущерб, причиненные 250-метровым (820 футов) цунами, вызванным оползнем в водохранилище.	
27 марта 1964	Сьюард, Аляска, США	Землетрясение на Аляске в 1964 году			211 мкм в Сьюарде, 9,6 мкм на высотах Тернагейна	106 от цунами, вызванного оползнем Сьюарда	Землетрясение магнитудой 9,2 вызвало подводный оползень в Сьюарде и крупные оползни в Анкоридже. Один крупный оползень прошел 3 мили (4,8 км) по почти ровной поверхности ледника Шермана	[8][61]
9 Января 1965 года	Британская Колумбия	Оползень надежды	49.40	- 121.26	48 мкм	4	"... не обнаружено сейсмического или гидрометеорологического триггера ..."	[79]
28 Марта 1965	El Cobre, Chile	Оползень Эль-Кобре				>200	Землетрясение магнитудой 7,1 привело к разрушению двух хвостохранилищ на медном руднике Эль-Сольдадо, в результате чего поток разрушил город Эль-Кобре.	[80]
1965	Автономный округ Лукуань И и Мяо,	Оползень Пуфу			450 мкм		Создал плотину на ручье Пуфугуо, которая позже разрушилась	[51]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
	Юньнань, Китай							
21 Октября 1966	Аберфан, Уэльс	Катастрофа в Аберфане	51.69	3.35		144	Обрушение неустойчивого забоя шахты, построенного на нескольких источниках, было вызвано проливным дождем, в результате чего погибла почти половина детей в деревенской школе.	
18 февраля 1967	Laranjeiras, Rio de Janeiro		-22.97	-43.20		110	Самое сильное одиночное событие в серии оползней, вызванных очень сильными дождями в окрестностях Рио-де-Жанейро летом 1966 и 1967 годов. Высокоскоростная лавина обломков обрушилась на три здания, два из которых были жилыми домами. Предыдущее количество осадков выпало со скоростью до 100 мм (3,9 дюйма) в час.	[69]
18 Марта 1967	Карагуататуба, Бразилия		-23.85	-46.63	7,6 мкм	120	Последовал сильный дождь, 420 мм (17 дюймов) за 24 часа.	[81]
9 июля 1967	Куре, Префектура Хироси		34.25	132.57		159	Сильный дождь, вызванный тайфуном Билли, вызвал наводнения	[82]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
	ма, Япония						и многочисленные оползни, разрушив 352 здания и повредив 551 дорогу	
18 Августа 1968	Река Хида, Геро, Япония		35.45	137.05	740 мкм (официальная оценка)	104	Вызванный ливнем селевой поток смел два автобуса с дороги, где они были остановлены из-за более раннего оползня	[83]
3-5 октября 1968	Дарджилинг, Индия					"тысячи"	Наводнения, вызванные выпадением осадков от 500 до 1000 мм (от 20 до 39 дюймов), вызвали множество оползней, шоссе длиной 60 километров (37 миль) было перерезано в 92 местах	[84][85]
19-20 августа 1969 года	Округ Нельсон, Вирджиния, США					150 (включая погибших в результате наводнения)	Остатки урагана Камилла выпали по меньшей мере 710 миллиметров (28 дюймов) осадков примерно за 8 часов, вызвав многочисленные потоки мусора	[86]
31 Мая 1970	Юнгай, Перу	1970 г. Лавина обломков в Невадо-Уаскаран	-9.12	-77.6	50-100 мкм	>22,000	Вызванная землетрясением 1970 года в Анкаше, масса прошла 14,5 километров (9 миль) со средней скоростью около 300 км / ч (186 миль в час) и похоронила Юнгай	[69][87]
18	Чунгар,	Чунгарск	-11.12	-76.5	0,1 мкм	400-	Каменная лавина с	[69][88]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
Марта 1971	Перу	ая лавина и цунами		3		600	обнажения известняка упала в озеро Яनावайин, вызвав волну, которая опустошила шахтерский лагерь	
4 Мая 1971	Сен-Жан-Винни, Квебек, Канада	Оползень Сен-Жан-Винни	48.47	-71.22	6,9 мкм	31	Этот оползень произошел в быстрой глине после сильного дождя, разрушив 41 дом	[89][90]
18 Июня 1972	Гонконг	Оползни в Гонконге 1972 года				156	Серия крупных оползней, в результате которых были уничтожены несколько жилых комплексов и домов	[91]
6 июля 1972	Амакуса, Япония	Катастрофа в Амакусе				115	Многочисленные обвалы склонов, вызванные проливными дождями	[92]
12-13 июля 1972	Обара, Сикоку, Япония	Оползни Обара				64	218 миллиметров (8,6 дюйма) осадков за 5 часов вызвали множество оползней	[93][94]
Апрель 1974	Регион Хунин, Перу	Оползень Маюмарка			от 1,0 до 1,6 км ³	450	Оползень разрушил Рио-Мантаро. Скорость оползня оценивается от 120 до 140 км /ч (от 75 до 87 миль в час).	[95]
22 июля 1975	Горный массив Меагер, Британская Колумбия,	Опустошительный ледниковый оползень			0,013 км ³	4	Вызванный обвалом разрушенного ледником склона, ручей Опустошения.	[96][97]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
	Канада							

1976–2000

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
30 Ноября 1977	Туве, Гетеборг, Швеция	Оползень в Туве	57.75	11.94	3-4 мкм	9	Самый сильный оползень в современной истории Швеции, вызванный проливным дождем	[98]
29 Апреля 1978	Рисса, Норвегия	Оползень Рисса	63.55	9.94	5-6 мкм	1	Быстрая глина внезапно потекла в озеро Ботн, вызвав небольшое цунами на противоположном берегу	[99]
8 Августа 1979	Эбботсфорд , Данидин, Южный остров, Новая Зеландия	Оползень в Эбботсфорде 1979 года	−45.8 97	170.4 35	5 мкм	0	Сильный дождь вызвал оползень на неустойчивом склоне, усугубленный добычей песка у основания склона, разрушив 69 домов	[100]
18 мая 1980	Гора Сент-Хеленс, Вашингтон, США	извержение вулкана Сент-Хеленс в 1980 году	46.20 0278	−122. 18666 7	2,9 км ₃	57	Крупнейший оползень в истории человечества. Отключил вулканическое жерло, вызвав извержение. Смертельные случаи были вызваны как оползнем, так и извержением.	[1]
1982	Горы Санта-Крус, Калифорния, США					30	Серия грязевых и селевых потоков произошла на обширной территории.	[101]
Апрель 1983	Тисл, Юта, США	Оползень в Чертополохе, штат	40.00	− 111.5 0	~15 мкм	0	Самый дорогостоящий оползень в истории Соединенных	[102]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Источ.
		Юта					Штатов; ущерб оценивается в 200-400 миллионов долларов (1983 долларов). Оползень образовал озеро глубиной более 160 футов (49 м) до осушения.	
5 октября 1985	Portugués Urbano район, Понсе, Puerto Rico	Оползень Мамейес				129	120 разрушенных домов, наибольшее число погибших в истории Северной Америки в результате одного оползня.	[103][104]
13 Ноября 1985	Армеро, Департамент Толима, Colombia	Трагедия в Армеро	-5.03	-74.88		23,000	Небольшое извержение вулкана Невадо-дель-Руис вызвало таяние его ледяной шапки. Это вызвало серию лахаров, вулканических селевых потоков, которые двигались со скоростью до 50 км / ч (31 миль в час) вниз по склонам вулкана. Эти оползни быстро переместились в долины, сливаясь в более крупные потоки, один из которых разрушил город Армеро.	[69]
28 июля 1987	Valtellina, Ломбардия, Итальянские Альпы	Оползень в Валь-Поле			34 мкм	29	Вызванный быстрой эрозией у основания горного склона, создал волну, которая прошла 2,7 километра (1,7 мили) вверх по течению.	[105]
3-5 июня 1993	Скарборо, Северный Йоркшир, Великобритания	Оползень в отеле Holbeck Hall			~0,5 мкм	0	Классический провал при вращении вдоль морских утесов, в результате чего судебное разбирательство	[106][107]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Источ.
							создало важный прецедент в английском праве	
21 Октября 1993	Pantai Remis, Перак, Малайзия	Оползень Пантай Ремис				0	Обрушение склона открытого оловянного рудника недалеко от моря привело к образованию новой бухты размером примерно 0,5 на 0,5 километра (0,3 на 0,3 мили).	
4 Марта 1995	Ла-Кончита, Калифорния, США	Оползень Ла Кончита 1995 года			1,3 мкм	0		[108]
30 июля 1997	Тредбо, Новый Южный Уэльс, Австралия	Оползень Тредбо 1997 года				18	Протекшая водопроводная труба привела к провалу склона, который разрушил лыжную базу	[109]
1998–1999	Келсо, Вашингтон, США	Оползень Олдеркрест-Баньон				0	Медленно движущийся оползень, в результате которого разрушено 137 домов и нанесен ущерб в размере 40 миллионов долларов.	[110]
14-16 декабря 1999	Варгас, Venezuela	Трагедия в Варгасе				30,000	Вызвано сильным штормом, в результате которого за несколько дней выпало 911 мм (35,9 дюйма) осадков	[111]
12 июля 2000	Мумбаи, Индия	Оползень 2000 года в Мумбаи	19.09	72.90		78	Вызвано эрозией почвы после сильных дождей и наводнений	[112]

2001–2010

Дата	Место	Название /статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Источ.
9 Ноября 2001	Амбури, Керала, Индия					40	Предположительно, самый сильный оползень в истории штата Керала.	[113][114]
26 Марта 2004	Гора Бавакараенг, Южный Сулавеси, Индонезия				200-300 мкм	32	Оползень, вызванный обрушением стенки кальдеры	[115][116][117]
10 Января 2005	Ла-Кончита, Калифорния, США	Оползень 2005 года в Ла-Кончите			200 000 м ³	10	Ремобилизация коллювия с 1995 года превращается в селевой поток.	[108]
17 Февраля 2006	Южный Лейте, Филиппины	2006 Южный оползень Лейте			15 мкм	1,126	Лавина из обломков горных пород, вызванная десятидневным периодом сильных дождей	[118]
3 Июня 2007	Долина гейзеров, Полуостров Камчатка, Россия					0	Оползень из грязи, снега, камней и деревьев длиной 1,5 километра (0,9 мили), шириной 200 метров (656 футов) и глубиной 60 метров (197 футов) похоронил две трети долины, образовав термальное озеро и	[119]

Дата	Место	Название /статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Источ.
							похоронив или затопив множество гейзеров, термальных бассейнов и водопадов.	
11 Июня 2007	Читтагонг, Бангладеш	2007 Оползни в Читтагонге				123	Серия оползней, вызванных незаконной вырубкой склонов и муссонными дождями	[120][121]
24 Июля 2007	Гора Стил, Территория Юкона, Канада	Гора Стил			108 мкм	0	Участок льда и камней шириной 400 м (1312 футов) упал с северной стороны горы Стил на ледник Стил. Достигнув скорости 252 км / ч (157 миль в час), он преодолел 5,76 км (3,58 мили). Один из крупнейших зарегистрированных оползней на западе Канады.	[122][123] [124][125]
6 Сентября 2008	Каир, Египет	Оползень в Каире 2008 года				119	Камнепад со скал, отдельные валуны весом до 70 тонн	[126]
9 Августа 2009	Деревня Сяолинь, Гаосюн, Тайвань	Оползень Сяолинь			30-45 мкм	439–600	В результате тайфуна Моракот.	[127][128][129]
4 Января 2010	Аттабад, Гилгит-Балтистан, Пакистан	Оползень в долине Хунза			30 мкм	20	Образовалось озеро Аттабад в результате перекрытия реки Хунза, перекрывшей Каракорумское шоссе	[130][131]

Дата	Место	Название /статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
20 Февраля 2010	Остров Мадейра, Португалия	2010 Наводнения и оползни на Мадейре				42		[132]
1 Марта 2010	Район Будуда, Уганда	Оползень в Уганде в 2010 году				100–300		[133]
10 Мая 2010	Сент-Джуд, Квебек					4		[134]
23 Мая 2010	Цзян Чжидун, Цзянси, Китай	Крушение в провинции Цзянси в 2010 году				0	Оползень был вызван предыдущими днями сильных дождей и наводнений в регионе.	[135][136]
6 Августа 2010	Гора Мигер, Британская Колумбия, Канада	Незначительный оползень			48,5 мкм	0	Сравним по объему с оползнем Хоуп в 1965 году	[137]
8 Августа 2010	Ганьсу, Китай	Оползень 2010 года в Ганьсу				1,287		[138]

2011–настоящее время

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
8 Октября 2011	Округ Айрон, штат Юта, США		37,63 ° северной широты	112.94°W	3,1 мкм	0	Покрыл 1300 футов (396 м) трассы штата Юта 14.	[139]
10 Апрель 2013	Солт-Лейк-Сити, Юта, США	Оползень в шахте Бингем-Каньон	40,523 ° северной широты	112.151° W	55 мкм	0	Возможно, крупнейший исторический, невулканический, наземный	[140][141][142]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							оползень в Северной Америке.	
16 Июня 2013	Кедарна тх, Уттарак ханд, Индия	Наводнение 2013 года в Северной Индии				5,700		
13 Дека бря 2013	Роквилл , Юта, США					2	Один валун весом в несколько сотен тонн раздавил двухэтаж ный дом с жильцами внутри.	[143]
16 Февра ля 2014	Гора Лаперуз, Аляска, США		58.542°се верной широты	137.01°W		0	Оползень весом 68 000 000 коротких тонн (61 000 000 длинных тонн; 62 000 000 тонн) прошел 7,4 километра (4,6 мили), отложив слой мусора глубиной до 40 футов (12,2 м).	[144]
22 Мар та 2014	Осо, Вашинг тон, США	Оползень 2014 Осо	48.283°се верной широты	121.847° W	10 мкм (ранняя оценка)	43	49 разрушен ных или пострадав ших сооружени й	[145][146]
2 Мая 2014	Район Арго, Провин ция Бадахша	2014 Бадахшанс кие оползни				350-2,700 зарегистри рованных	4000 человек были перемещен ы (по	[147]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
	н, Афганистан						состоянию на 4 мая 2014 года)	
25 Мая 2014	Округ Меса, штат Колорадо, США	Оползень Западного Солт-Крика 2014 года	39°10'07"северной широты	107°50'54"с.ш.		3		
30 июля 2014	Малин, Амбегаон талука, округ Пуна, Махараштра, Индия	Малинский оползень 2014	19°9'40"северной широты	73°41'18"восточной долготы		136	Более 100 пропавших без вести	[148]
2 Августа 2014	Санкоши, район Синдхупалчок, Непал	Завал Санкоши 2014 года			5,5 мкм	156+		[149]
20 Августа 2014	Префектура Хиросима, Япония	Оползни в Хиросиме 2014				74	Самые смертоносные оползни в Японии за 42 года	[150][151]
29 Октября 2014	Район Бадулла, Шри-Ланка	Оползень Бадулла 2014				16+	192 пропавших без вести и предположительно погибших	[152][153]
13 Декабря 2014	Деревня Джемблунг, Ява, Индонезия	2014 Индонезия оползень				93	23 пропавших без вести	[154][155]
23 Апреля 2015	Провинция Бадахшан, Афганистан	Оползни в Бадахшане в 2015 году				52		
28 Апреля	Сальвадор, Баия,	Оползень в Баии в				14		

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
18 мая 2015	Бразилия	2015 году						
18 мая 2015	Салгар, Департамент Антьокия Colombiа	2015 Колумбийский оползень				83 погибших; более 30 пропавших без вести (по состоянию на 20 мая 2015 года)		[156]
11 августа 2015	Горы Святого Ильи, Аляска, США					0	40 миллионов метрических тонн породы упали на поверхность ледника Тернера.	[125]
1 октября 2015	Эль-Камбре-Дос, департамент Гватемала, Гватемала	Оползень в Гватемале 2015				280 погибших; 70 пропавших без вести		
11 октября 2015	Гора Стил, Территория Юкона, Канада				20 км	0	45 миллионов метрических тонн камня, снега и льда соскользнули на 1 километр (0,6 мили) вниз по склону горы и на 2 километра (1,2 мили) по поверхности и ледника	[124][125]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							Стил.	
17 Октября 2015	Таан-Фиорд, Айси-Бей, Аляска, США	Айси-Бей (Аляска)			76 мкм	0	Склон горы, ослабленный отступлением ледников, обрушился, сбросив 200 000 000 коротких тонн (180 000 000 длинных тонн; 180 000 000 тонн) мусора на подножие ледника Тиндалл и в Таан-фиорд, создав 100-метровый (328 футов) мегацунами с высотой подъема 193 метра (633 фута).	[157][158][159] [160][161][162] [163][164][165]
13 Ноября 2015	Деревня Лидонг, Чжэцзян, Китай					38		[166]
21 Ноября 2015	Хпакант, Мьянма	2015 Катастрофа на нефритовой шахте в Хпаканте				113 погибших; более 100 пропавших без вести	60-метровая (197 футов) искусственная куча отходов, добытых на близлежащем нефритовом руднике, рухнула,	[167][168][169]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							похоронив под собой около 70 хижин в соседней деревне.	
28 Июня 2016	Национальный парк Глейшер-Бей, Аляска, США				от 62,0 до 77,8 мкм	0	Склон горы высотой 1200 метров (3900 футов) обрушился, сбросив 120 000 000 метрических тонн (132 000 000 коротких тонн) камней и обломков на ледник Лэмплаф над входом в залив Джонса Хопкинса, оставив на леднике 9-километровое (5,6 миль) поле обломков.	[170][171]
2 Апреля 2017	Мосоа, Colombia	Оползень Мокоа 2017	1°9'00" северной широты	76°38'51" восточной ш.		329+	70 пропавших без вести, третья по смертоносности погодная катастрофа в истории Колумбии.	[172]
12 Июня 2017	Рангамати, Читтагонг	Оползни в Бангладеш в 2017 году	22°38'00" северной широты	92°12'00" восточной долготы		152	Самые сильные оползни в истории	[173][174][175][176][177]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
	Бандарбан, Бангладеш						Бангладеш.	
17 Июня 2017	Нуугаациак, Гренландия	2017 Каррат- фьорд оползень	71 °32'06"се- верной широты	53 °12'45"с. ш.		4	Горный оползень вызвал сползание огромного количества камней в Каррат- фьорде на северо- востоке Гренландии , вызвав цунами с высотой волны (первоначаль- но) 90 м (295 футов), которое повредило деревню Нуугаациак в 20 км (12,4 миль) вниз по течению (когда волна была уже намного ниже).	[178][179][180]
24 Июня 2017	Деревня Синьмо, уезд Мао, провинция Сычуань , юго- западны й Китай	Оползень Синьмо 2017	32 ° 4'N	103°39'E	Объем истоще- ния: 4,26 млн. куб. м Объем накопле- ния: 13,25 мкм	10 погибших; 73 пропавших без вести	Вероятно, вызвано разрушение м горной массы, ранее ослабленно й землетрясе- нием магнитудой 7,3 в	[181]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							Диекси в 1933 году и выветрившейся после сезона дождей.	
14 Августа 2017	Фритаун , Сьерра-Леоне	Оползни в Сьерра-Леоне в 2017 году	8 °29' северной широты	13 °14'W		1,141+	Вызванный особенно влажным сезоном дождей	[182]
9 Января 2018	Калифорния, США	Оползни в Южной Калифорнии в 2018 году	34 °03'северной широты	118 ° 15'W		20	Произошло через несколько месяцев после того, как серия крупных лесных пожаров опустошил а близлежащие районы, вызвав вырубку лесов и увеличив риск оползня.	[183][184]
22 Апрель 2019	Хпакант , Мьянма					50-57 погибших	Оползень на нефритовой шахте похоронил жертв под 30 метрами (98 футов) мусора.	[185]
28 Июля 2019	Хпакант , Мьянма					14 погибших; 4 пропавших без вести	Оползень на нефритовой шахте, вызванный проливным дождем.	[186]
9 Августа	Моттама ,					70 погибших	Вызванный проливным	[187][188]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
сентябрь 2019	Городок Паунг, Мьянма						дождем. Разрушено 27 домов в деревне Тхэ Пхью Коне урочища Моттама.	
4-23 Декабря 2019	Ньемпунду, Гикомеро и Рукомбе, провинция Чибиток, северо-запад Бурунди	Оползни в Бурунди в 2019 году	2.8103 ° ю. ш.	29.1856° Е		41+ погибших, ~10 пропавших без вести	Вызвано не по сезону сильными дождями в Восточной Африке из-за того, что Индийский океан теплее обычного, отчасти в результате циклических погодных явлений и потепления океанов.	[189][190]
3 Июня 2020 года	Алта, Норвегия	Оползень Алта	70,0305° северной широты	23.0706° Е		0	Разжижение быстрой глины в прибрежном районе смыло в море восемь домов. Ширина оползня составляла 650 м (2133 фута), глубина - до 140 м (459 футов).	[191]
2 Июля 2020 года	Район Хпакант в Мьянме	Катастрофа на нефритовой шахте Хпакант				113+ погибших	Вызванный проливным дождем, в результате которого	[192]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
		2020 года					погибли коллекционеры нефритовых камней.	
7 Августа 2020 года	Петтимуди, Раджамалай, Муннар, Идукки, Керала, Индия	Оползень Петтимуди 2020 года	10.163309 ° северной широты	77.013144 ° Е		66+ погибших	После красного предупреждения, выпущенного Метеорологическим департаментом Индии (IMD), о сильных и очень сильных осадках в некоторых частях Кералы, проливные дожди обрушились на район Идукки, что привело к крупному оползню. Несколько работников чайной плантации, как опасаются, оказались в ловушке.	[193]
30 Декабря 2020 года	Йердрум, Норвегия	Оползень Йердрум 2020	60,064612 ° северной широты	11.036005 ° Е	1,4–2,1 млн. куб. м. (по оценке м)	10 погибших	Подтверждена гибель десяти человек в результате оползня. ^[194] В 2005 году в одном из отчетов	[1]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
							район, где позже произошел оползень, был назван "зоной повышенного риска". ^[195]	
3 июля 2021 года	Атами, Япония	Оползень Атами 2021			Потеряно 70 000 кубических метров насыпи (официальная оценка)	27 погибших	Согласно официальному отчету Японского агентства по борьбе с пожарами и стихийными бедствиями и Метеорологического агентства Японии, с 1 по 3 июля в жилом районе произошло обрушение в общей сложности 70 000 кубических метров насыпи для многих домов и инженерных столбов, что привело к выпадению осадков от 411 до 442 миллиметров (от 16,18 до 16,65 дюймов).	<i>[требуется цитирование]</i>
15	Petrópolis	Наводнен				176		^[196]

Дата	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
февраль 2022 года	s, Rio de Janeiro, Бразилия	ия в Петрополисе в 2022 году				погибших		
30 июня 2022 года	Округ Ноней, Манипул, Индия	Оползень в Манипуре в 2022 году				52 погибших	По меньшей мере девять человек пропали без вести.	[197]

Продолжающиеся оползни

Даты	Место	Название/статья	Широта	Долгота	Объем	Жертвы	Комментарии	Ист.
обнаружен в 1920 году	Принс-Уильям-Саунд, Аляска, США	Оползень Барри Арм	61.9	-148.9	500 мкм		Продолжающийся оползень вдоль крутого склона фьорда Барри-Арм. В середине 2020 года оползень начал двигаться со скоростью 1,6–2,7 дюйма (41-69 мм) в день; в два раза быстрее, чем в 2008 и 2020 годах. Возможный провал всего оползня может вызвать мощные волны цунами высотой до 300 м (980 футов).	[198][199]
1950-настоящее время	Долины Сигуас и Витор, Перу				12 оползней 20-80 мкм		Разрушение важнейших международных автомагистралей и речных долин ниже. Орошение засушливых плато, расширение сельхозугодий, определяющая причина долгосрочных движущихся оползней.	[200]

Даты	Место	Названи е/статья	Шир ота	Долго та	Объе м	Жер твы	Комментарии	Ист .
Заново открыт в 1983 году	Акернес ет, Норвеги я				18-54 мкм		Трещина шириной около 2 метров (6,6 футов) в 1983 году длиной 500 метров (1640 футов) на склоне горы Окернесет расширяется на 4 сантиметра (1,6 дюйма) в год. Движущаяся каменная плита находится на высоте от 150 до 900 метров (от 490 до 2950 футов) и имеет толщину 62 метра (203 фута). Возможный катастрофический обвал в Саннильсфьорде может привести к образованию мегацунами высотой от 35 до 100 метров (от 115 до 328 футов).	[201]
Ведется монитор инг с 2010 года	Troms og Finnmar k, Норвеги я		69.13 7° север ной широт ы	20.103° Е	1.3-70 мкм		Деформация скального склона Вараш в долине Сигналдален на севере Норвегии имеет толщину от 85 до 100 метров (от 279 до 328 футов) и перемещается со скоростью до 15 миллиметров (0,6 дюйма) в год.	[202]

ССЫЛКИ

1. ^ Геологическая служба США. 24 февраля 2016 года. Архивировано с оригинала 27 марта 2016 года. Проверено 2016-04-12.
2. ^ Бойтнер Э.; Герби Г. (2005), "Катастрофическое размещение блока Heart Mountain, Вайоминг и Монтана, США", Бюллетень GSA, **117** (5-6): 724-735, Bibcode: 2005GSAB..117..724B, doi: 10.1130 / b25451.1
3. ^ Хакер, Д.; Бик, Р.; Роули, П. (2014), "Катастрофическое размещение гигантского гравитационного оползня Маркагунт, юго-запад штата Юта (США): последствия для опасностей, связанных с секторальным обрушением вулканических полей", Геология, **42** (11): 943-946, Bibcode: 2014Geo....42..943H, doi:10.1130/g35896.1
4. ^ Jensen, Collin (2019). Многоступенчатое строительство парка Литтл Коттонвуд, штат Юта: происхождение, интрузия, вентиляция, минерализация и массовое перемещение (магистерская диссертация). Университет Бригама Янга. Архивировано с оригинала 2019-11-07. Проверено 2019-10-27.
5. ^ Киндред, Тэйн (2018). "Псевдотахилит - катаклазит в зоне повреждения, расположенной к северу от пика Бокс-Элдер, горы Уосатч, штат Юта, связанный с оползнем площадью 57 км²". Тезисы докладов конференции GSA. Архивировано с оригинала 2019-10-10.
6. ^ Мур, Джеймс Г.; Швейкерт, Ричард А.; Киттс, Кристофер А. (2014-08-01). "Каналы наносов, вызванные цунами, на озере Тахо, Калифорния-Невада, США". Геосфера. **10** (4): 757–768. Bibcode:2014Geosp..10..757M. doi:10.1130/GES01025.1.
7. ^ Олден, Эндрю, "Цунами Тахо": новое исследование предполагает ранее геологическое событие", kqed.org , 31 июля 2014 г., Проверено 23 июня 2020 г.
8. ^ c Киффер, Сьюзан У., "Смертельная динамика оползней", Американский ученый, Июль–Август 2014 Проверено 28 июня 2020

9. ^ "В результате чудовищного оползня в Новой Зеландии за год было утеряно материалов на сумму 90 000 контейнеров". Материал. 12 февраля 2020 года. Проверено 6 мая 2020 года.

10. ^ Геологическая служба Канады. Подразделение Ванкувера. (2009). Каталог канадских вулканов. Канада, Геологическая служба, Тихоокеанский отдел, подразделение Ванкувера. ISBN 9780309062084. OCLC 47288257.

11. ^ Шоаей, З.; Гаюмян, Дж. (1998), "Оползень Сеймарех, крупнейший комплексный оползень в мире", Восьмой международный конгресс Международной ассоциации инженерной геологии и окружающей среды, Материалы, тома 1-5: 1337-1342

12. ^ Полле, Николя; Роже Кожан; Режан Кутюр; Жан-Люк Шнайдер; Александр Л. Стром; Клэр Вуарен; Патрик Вассмер (2005). "Модель плиты на плите для оползня Флимс (Швейцарские Альпы)". Канадский геотехнический журнал. **42** (2): 587–600. doi:10.1139/t04-122.

13. ^ "Оползень в Лохнагаре-плотина - Центральный Отаго, Новая Зеландия: геомеханика и время события". ResearchGate. Проверено 2021-03-21.

14. ^ "Как огромный оползень сформировал национальный парк Зайон". Архивировано с оригинала 18 января 2017 года. Проверено 15 января 2017 г.

15. ^ Ву, Цинлун и др. (5 августа 2016). "Внезапное наводнение 1920 г. до н.э. подтверждает историчность Великого потопа в Китае и династии Ся". Наука. **353** (6299): 579–582. Bibcode:2016Sci...353..579W. doi:10.1126/science.aaf0842. PMID 27493183. S2CID 206646492.

16. ^ Шустер, Роберт Л.; Линн М. Хайленд (8-10 декабря 2003 г.). "Воздействие оползней и инновационных мер по смягчению последствий оползней на природную среду" (PDF). Материалы Международной конференции по проектированию склонов. Гонконг, Китай. Архивировано (PDF) с оригинала 2011-04-09. Проверено 2010-12-02.

17. ^ (PDF) "Всемирный взгляд на оползневые дамбы". Усойская оползневая плотина и Сарезское озеро: оценка опасности и риска в горах Памира,

Таджикистан. Нью-Йорк, США: Международная стратегия ООН по уменьшению опасности бедствий (ISDR). 2000. ISBN 978-92-1-132022-0.

18. ^ (PDF) "Исследование границ поселения Калаупапа. Вдоль северного побережья до долины Халава, Молокаи". Служба национальных парков. 2001. Проверено 2020-06-29.

19. ^ Уолтер Салливан (1991). "Морское дно хранит историю гибели Гавайских островов". Нью-Йорк Таймс. Архивировано с оригинала 2017-02-19. Проверено 2017-02-17.

20. ^ Стинтон, Джон, "Оползень Нууану разорвал Оаху на части", Гонолулу Стар-Вестник, 5 мая 1999 г. Проверено 29 июня 2020 г.

21. ^ Дингл, Р.В. (1977). "Анатомия большого подводного обвала на срезанной континентальной окраине (Южная Африка)". Журнал Лондонского геологического общества. **134** (3): 293–310. Bibcode:1977JGSoc.134..293D. doi:10.1144/gsjgs.134.3.0293. S2CID 129229469.

22. ^ Колло, Дж.-Й.; Льюис, К.; Ламарш, Г.; Лаллеман, С. (2001). "Гигантская лавина обломков Руатории на северной окраине Хикуранги, Новая Зеландия: результат наклонной субдукции подводных гор". Журнал геофизических исследований. **106** (B9): 19, 271-19, 297. Bibcode:2001JGR...10619271C. doi:10.1029/2001JB900004. Архивировано с оригинала 16 июля 2010 года. Проверено 8 июля 2010 года.

23. ^ Бондевик, Стейн; Доусон, Сью; Доусон, Аластер; Лоне, Эйстейн (5 августа 2003 года). "Рекордная высота для 8000-летнего цунами в Северной Атлантике" (PDF). Eos, Транзакции, Американский геофизический союз. **84** (31): 289, 293. Bibcode:2003EOSTr..84..289B. doi:10.1029/2003EO310001. ливн:1956/729. S2CID 129193102. Архивировано (PDF) с оригинала 7 августа 2011 года. Проверено 8 июля 2010 года.

24. ^ Аарон Микаллеф, Себастьян Ф. Л. Уотт, Кристиан Берндт, Морелия Урлауб, Саша Брюн, Инго Клауке, Кристоф Беттнер, Йенс Карстенс и Джудит Элгер, "Вулканический коллапс 1888 года становится эталоном для моделей цунами", eos.org , 17 октября 2017 г. Проверено 29 июня 2020 г.

25. ^ "Остров Риттер". Глобальная программа по вулканизму. Смитсоновский институт. Проверено 2009-04-28.
26. ^ "Остров Риттер – История извержений". Глобальная программа по вулканизму. Смитсоновский институт. Проверено 2009-04-28.
27. ^ Уорд С.Н. и Дэй С. (2003). "Вулкан Риттер—Айленд - боковой обвал и цунами 1888 года" (PDF). *Международный геофизический журнал*. **154** (3): 891-902. Bibcode:2003GeoJI.154..891W. doi:10.1046/j.1365-246X.2003.02016.x. Проверено 2007-06-11.
28. ^ Остров Риттер в Море вулканов
29. ^ Файн, И. В.; Рабинович, А. Б.; Борнхольд, Б. Д.; Томсон, Р. Э.; Куликов, Е. А. (2005). "Цунами, вызванное оползнем Гранд-Бэнкс 18 ноября 1929 года: предварительный анализ и численное моделирование" (PDF). *Морская геология. Эльзевир*. **215** (1–2): 45–57. Bibcode:2005MGeol.215...45F. doi:10.1016/j.margeo.2004.11.007. Архивировано с оригинала (PDF) 30 июня 2007 года.
30. ^ Костас Э. Синолакис, Жан-Пьер Барде, Хосе К. Борреро, Хью Л. Дэвис, Эмиль А. Окал, Эли А. Сильвер, Сюзанна Суит и Дэвид Р. Таппин, "Происхождение цунами в Папуа, Новая Гвинея, 1998 года", researchgate.net , 1 февраля 2002 г. Проверено 29 июня 2020 г.
31. ^ Александр Пэрис, Филипп Генрих, Рафаэль Пэрис и Стефан Абади, "22 декабря 2018 года, Анак Кракатау, Индонезия, оползень и цунами: предварительные результаты моделирования", springer.com , 20 декабря 2019 г. Проверено 30 июня 2020 г.
32. ^ Пермади, Агие (26 декабря 2018 года). "Longsor yang Sebabkan Tsunami Selat Sunda Seluas 64 Hektar". *Компас* (на индонезийском языке). Проверено 11 января 2019 года.
33. ^ "Tinggi Gunung Anak Krakatau Menyusut Tinggal 110 Meter" (in Indonesian). *CNN Индонезия*. 29 Декабря 2018 года. Проверено 11 января 2019 года.

34. ^ Медияра, Юлида (25 декабря 2018 года). "BNPB Terima Informasi Tinggi Tsunami Селат Сунда 2-5 метров". Detik (на индонезийском языке). Проверено 12 января 2019 года.
35. ^ "Peneliti KKP: Tinggi Tsunami Селат Сунда 13 метров" (на индонезийском языке). Кумпаран. 31 Декабря 2018 года. Проверено 12 января 2019 года.
36. ^ "Tinggi Tsunami di Lampung Banten Ternyata Mencapai 13,4 Meter" (in Indonesian). Новости Трибун. 31 Декабря 2018 года. Проверено 12 января 2019 года.
37. ^ Маршалл, Джессика (2012). "Древнее цунами разрушило береговую линию Женевского озера". Новости природы. doi:10.1038/nature.2012.11670. S2CID 130238584.
38. ^ Миллер, Марли Б.; Коуэн, Даррел С. (2017). Придорожная геология Вашингтона (Второе изд.). Миссула, Монтана: Издательство Mountain Press. стр. 192. ISBN 978-0-87842-677-5.
39. ^ Зентнер, Ник (4 апреля 2018). "Оползень моста богов". Центральный Вашингтонский университет. Архивировано с оригинала 20 декабря 2019 года. Проверено 23 декабря 2018 года.
40. ^ Топинка, Лин. "Оползень Бонневилля, оползень Ред Блафф и оползневой комплекс Каскад, ущелье реки Колумбия, штат Вашингтон". Изображения Колумбии. Архивировано с оригинала 2 марта 2018 года. Проверено 1 марта 2018 года.
41. ^ Стьюри, Тим. "Дом моей семьи: Озетт, Маках и Док Догерти". Журнал штата Вашингтон. Архивировано с оригинала 5 августа 2019 года. Проверено 26 марта 2018 года.
42. ^ "Археологический объект Озетт". Культурный и исследовательский центр Мака. Архивировано с оригинала 24 марта 2018 года. Проверено 26 марта 2018 года.

43. ^ *Стьюри, Тим. "Дом моей семьи: Озетт, Маках и Док Догерти". Журнал штата Вашингтон. Архивировано с оригинала 5 августа 2019 года. Проверено 26 марта 2018 года.*
44. ^ *"Археологический объект Озетт". Культурный и исследовательский центр Мака. Архивировано с оригинала 24 марта 2018 года. Проверено 26 марта 2018 года.*
45. ^ *Национальный центр геофизических данных. "Информация о значительных землетрясениях". Проверено 6 октября 2021 года.*
46. ^ *Хоэль, Кристер, "Скальная лавина Тьелле в 1756 году", fjords.com Проверено 22 июня 2020 года*
47. ^ *Дай, Ф.К.; Ли, К. Ф.; Дэн, Дж.Х.; Там, Л. Г., "Оползневая плотина, вызванная землетрясением 1786 года, и последующее наводнение на реке Даду, юго-западный Китай". sciencedirect.com Февраль 2005 Проверено 28 июня 2020 года*
48. ^ *Шустер, Р.Л. и Г. Ф. Вичорек, "Триггеры и типы оползней" в оползнях: Материалы Первой европейской конференции по оползням, 2002, Издательство А. А. Балкема, стр. 66*
49. ^ *Оползень Голдау 1806 года Bull Angew Geol 2006; 11(2): 3-12. Аннотация на английском языке заархивирована*
50. ^ *"Где происходят оползни?". www.empr.gov.bc.ca . Архивировано с оригинала 2017-05-01. Проверено 2017-05-09.*
51. ^ *Перейти к:^a ^b Ли, Тяньчи (1996). Составление карт опасности оползней и управление ими в Китае (PDF). Катманду: Международный центр комплексного освоения горных районов. ISBN 978-92-9115-466-1. Архивировано с оригинала (PDF) 2014-05-04. Проверено 2010-12-01.*
52. ^ *"Вяз". Исторический словарь Швейцарии (на французском языке). 7 Марта 2006 года. Проверено 30 мая 2015 года.*
53. ^ *"SOS! Канадские катастрофы". Библиотека и архив Канады. 14 Февраля 2006 года. Архивировано с оригинала 30 сентября 2007 года. Проверено 2 декабря 2010 года.*

54. ^ Цзюньюань, Дуань (1996). *阿 阿什市市志* [Хроника города Аутоси] (на китайском языке). Издательство Синьцзянского университета. стр. 117-120. ISBN 7-5631-0771-1.
55. ^ Жэнь, Чжу (2002). *新疆通志: 地震志* [Синьцзян общие Хроника : Хроника землетрясения] (по-китайски). Том 11. Синьцзянское народное издательство. стр. 117-120. ISBN 7-228-07662-1.
56. ^ Цзэнцзянь, Го; Цзунцзинь, Ма (1988). *joom* [Исследование о Великом землетрясении в Kumaе] (на китайском языке). Том 1. Earthquakes Press. стр. 143-170. ISBN 7-5028-0016-6.
57. ^ Бенко Б.; Смед Д. (1998). "Оползень Фрэнка: пересмотр механизма разрушения". Канадский геотехнический журнал. **35** (2): 299-311. doi:10.1139/cgj-35-2-299 . Проверено 10 июля 2010 года.
58. ^ (PDF) Frank Slide facts, правительство Альберты, проверено 2019-04-29
59. ^ Хоэль, Кристер, "Аварии на Лоене в 1905 и 1936 годах", fjords.com Проверено 22 июня 2020 года
60. ^ "Jak powstały Jezioro Duszatyńskie?". 28 октября 2020 года.
61. ^ Хайленд, Линн (9 сентября 2010). "Всемирный обзор крупных оползней 20-го и 21-го веков". Геологическая служба США. Архивировано с оригинала 27 мая 2010 года. Проверено 1 декабря 2010 года.
62. ^ Эспозито Э.; Порфидо С.; Виоланте С.; Алайя Ф. "Бедствие, вызванное историческими наводнениями в выбранной прибрежной зоне (южная Италия)" (PDF). Проверено 16 июля 2010 года.^{[[постоянная мертвая ссылка](#)]}
63. ^ Costa, J.E.; Schuster R.L. (1988). "Образование и разрушение естественных плотин". Бюллетень геологического общества Америки. **100** (7): 1054–1068. Почтовый индекс: 1988GSAB..100.1054C. doi:10.1130/0016-7606(1988)100<1054: ТФАФОН>2.3.CO ; 2.
64. ^ Коруп, О.; Крозье, М. (2002). "Типы оползней и геоморфологическое воздействие на русла рек, Южные Альпы, Новая Зеландия". В Рыбарж Й.;

Стемберк Й.; Вагнер П. (ред.). Оползни: материалы Первой Европейской конференции по оползням, Прага, Чешская Республика, 24-26 июня 2002 года. Тейлор и Фрэнсис. стр. 234-236. ISBN 978-90-5809-393-6.

65. ^ Фурсет, Астор (1985). *Dommedagsfjellet. Тафьорд 1934* (на норвежском языке). Oslo: Gyldendal.

66. ^ Магазин norske leksikon. "Тафьорд" (по-норвежски). Проверено 2010-10-11.

67. ^ Хоэль, Кристер, "Авария в Тафьорде в 1934 году", fjords.com Проверено 22 июня 2020 года

68. ^ "Оползни в префектуре Хего, которые сопровождали сильный дождь 5 июля 1938 года". ERI. Архивировано с оригинала 21 октября 2012 года. Проверено 16 июля 2010 года.

69. ^ Шустер Р.Л.; Сальседо Д.А.; Валенсуэла Л. (2002). "Обзор катастрофических оползней Южной Америки в двадцатом веке". В Evans S.G.; Degraff J.V. (ред.). *Катастрофические оползни: последствия, возникновение и механизмы. Обзоры в области инженерной геологии. Том 15. Геологическое общество Америки.* стр. 1-34. ISBN 978-0-8137-4115-4.

70. ^ De La Torre. "La Catástrofe del día de nochebuena del año 1803 en Alcalá del Júcar" (PDF) (in Spanish). Архивировано (PDF) с оригинала 7 апреля 2010 года. Проверено 16 июля 2010 года.

71. ^ Петли, Д.Н.; Балмер М.Х. "Применение технологий наблюдения Земли для уменьшения опасности оползней" (PDF). Архивировано с оригинала (PDF) 27 июля 2011 года. Проверено 17 июля 2010 года.

72. ^ Эванс С.Г.; Робертс Н.Дж.; Ишак А.; Делани К.Б.; Морозова Г.С.; Тутубалина О. (20 ноября 2009 г.). "Оползни, вызванные землетрясением в Хаите 1949 года, Таджикистан, и связанные с этим человеческие жертвы". *Инженерная геология*. **109** (3-4): 195-212. doi:10.1016/j.enggeo.2009.08.007.

73. ^ "Kvikkleieren kan stabiliseres med salt" (25 January 2021) Klassekampen. P. 17. "Både Mosseveien og deler av jernbanen raste ut [...] En buss og flere biler ble tatt av det raset"

74. ^ Aristizábal, Edier; Yokota, Shuichiro (2006). "Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el valle de Aburra". *Dyna* (на испанском языке). 73 (149): 5–16. ISSN 0012-7353. Архивировано с оригинала 27 января 2016 года. Проверено 18 июля 2010 года.

75. ^ Калькатерра, Д.; Паризе М.; Пальма Б. (2003). "Объединение исторических и геологических данных для оценки опасности оползней: тематическое исследование из Кампании, Италия" (PDF). *Опасные природные явления и науки о системе Земли*. 3: 3–16. Bibcode:2003NHES...3....3C. doi:10.5194/nhess-3-3-2003 . Архивировано (PDF) с оригинала 2019-08-29. Проверено 2019-08-29.

76. ^ Парарас-Караяннис, Джордж (1999). "Мега-цунами 9 июля 1958 года в заливе Литуя, Аляска, анализ механизма". Архивировано с оригинала 2 июля 2017 года. Проверено 1 декабря 2010 года.

77. ^ Аноним, "60 лет со дня землетрясения на озере Хебген 1959 года М7.3: его история и последствия для региона Йеллоустоун", usgs.gov , 5 августа 2019 г. Проверено 28 июня 2020 г.

78. ^ "Оползень Вайонта 1963 года". *Giornale di Geologia Applicata* (1). 2005. doi:10.1474/GGA.2005-01.0-05.0005.

79. ^ Эванс С.Г.; Кутюр Р. (2002). "Оползень Хоуп в 1965 году, Британская Колумбия; катастрофическое разрушение проседающего скального склона". Тезисы докладов конференции GSA h. Архивировано с оригинала 22 ноября 2011 года. Проверено 10 июля 2010 года.

80. ^ Рудольф Т.; Колдьюи В.Г. (2008). "Последствия землетрясений для устойчивости хвостохранилищ" (PDF). Архивировано (PDF) с оригинала 4 декабря 2010 года. Проверено 21 июля 2010 года.

81. ^ Кандзи, М.А.; Массад Ф.; Круз П.Т. (2003). "Селевые потоки в районах остаточных почв: возникновение и характеристики" (PDF). Архивировано с оригинала (PDF) 22 июля 2011 года. Проверено 25 июля 2010 года.

82. ^ Маклаки, Б.Ф. (1977). *"Влияние централизации в Италии, Японии и Соединенных Штатах на реагирование на стихийные бедствия, 1964-1969"*. Проверено 25 июля 2010 года.

83. ^ Такахаси, Т. (2007). *"Предисловие"*. Селевой поток: механика, прогноз и меры противодействия. Балкема - Труды и монографии по инженерным, водным и земельным наукам. Ратледж. стр. ix. ISBN 978-0-415-43552-9.

84. ^ Бхандари Р.К. *"Индийский сценарий оползней, стратегические вопросы и направления действий"* (PDF). Архивировано (PDF) с оригинала 6 декабря 2010 года. Проверено 25 июля 2010 года.

85. ^ Нат, С.К.; Рой Д.; Тингбайджам К.К.С. (10 апреля 2008). *"Смягчение последствий стихийных бедствий и управление ими в Западной Бенгалии, Индия – оценка"* (PDF). Современная наука. **94** (7): 858–864. Проверено 25 июля 2010 года.

86. ^ Морган П.А.; Иовайн Г.; Кирико П.; Вичорек Г.Ф. (1970). *Перечень селевых потоков и наводнений в Лавингстоне и Хорсиу-Маунтин, Вирджиния, 7,5-дюймовые четырехугольники, от шторма 19/20 августа 1969 года в округе Нельсон, штат Вирджиния. Отчет в открытом файле. Том 99-518. Геологическая служба США. Архивировано с оригинала 2011-06-04. Проверено 2010-07-25.*

87. ^ *"Юнгай – Сисмо Алуд Дель 31.05.1970"* (на испанском языке). Архивировано с оригинала 2010-09-17. Проверено 2010-11-22.

88. ^ Плафкер, Джордж; Эйзагирре, В. З. (1 января 1979). *"7: Каменная лавина и волна в Чунгаре, Перу"*. В книге Барри Войта (ред.). *Инженерные объекты: оползни и лавины* (1-е изд.). Elsevier. стр. 269-279. ISBN 978-0-444-59801-1.

89. ^ *"Glissement de terrain à Saint-Jean-Vianney – Les Archives de Radio-Canada"*. Новости Си-би-Си. Архивировано с оригинала 2007-12-20. Проверено 2010-11-23.

90. ^ Tavenas, F.; Chagnon, J.-Y.; La Rochelle, P. (1971). "Оползень Сен-Жан-Вианни: наблюдения и свидетельства очевидцев". *Канадский геотехнический журнал*. **8** (3): 463-478. doi: 10.1139/t71-048. Проверено 2010-07-22.
91. ^ "Оползень на дороге Пошань 1972 года / катастрофа на дороге Котуолл | Гвуло: Старый Гонконг". *gwulo.com* . Проверено 2020-06-16.
92. ^ Тарутани Н.; Маджстан С.; Морита К.; Омура Х. (2000). "Модели пространственного распределения быстрых мелких оползней на острове Амакуса" (PDF). *стр. 317-323*. Архивировано (PDF) с оригинала 15 августа 2016 года. Проверено 9 июля 2016 года.
93. ^ Тобе, Х.; Чигира, М. (2006). "Причины неглубоких оползней выветрившихся гранитных пород — с точки зрения стилей выветривания и петрологических структур" (PDF). *Ликвидация последствий стихийных бедствий, связанных с селевыми потоками, разрушениями склонов и оползнями*. Токио: Universal Academy Press. *стр. 493-501*.
94. ^ Чигира, М. (2001). "Микропрослоение гранита и его связь с оползнями, особенно после сильного ливня в июне 1999 года, префектура Хиросима, Япония". *Инженерная геология*. **59** (3-4): 219-231. doi:10.1016/S0013-7952(00)00075-2.
95. ^ Шустер, Роберт Л.; Линн М. Хайленд. "Социально-экономические и экологические последствия оползней в Западном полушарии". В Кастанеда Мартинес, Хорхе Э.; Оларте Монтеро, Хуан (ред.). *Материалы Третьего Панамериканского симпозиума по оползням, с 29 июля по 3 августа 2001 года. Отчет об открытом файле 01-0276*. Картахена, Колумбия: Геологическая служба США. Архивировано с оригинала 13 апреля 2012 года. Проверено 2 декабря 2010 года.
96. ^ "Где происходят оползни?". Правительство Британской Колумбии. Архивировано с оригинала 2010-08-18. Проверено 2011-09-05.

97. ^ Эванс, С. Г. (2006). *"Геоморфологическое воздействие катастрофической потери ледникового льда в горных регионах". Тезисы докладов осеннего собрания АГУ. 11: H11B–1247. Bibcode:2006AGUFM.H11B1247E.*
98. ^ *"Оползни и овраги". Геологическая служба Швеции. Архивировано с оригинала 2009-02-01. Проверено 2010-07-22.*
99. ^ *"База данных BFI | Film & TV | The Rissa Landslide (1981)". Архивировано с оригинала 17 октября 2012 года. Проверено 24 января 2020 года.*
100. ^ Архивировано "Стихийные бедствия в Новой Зеландии" 2009-09-24 на веб-сайте Wayback Machine, библиотеки города Крайстчерч. Проверено 22 июля 2010 года.
101. ^ Берт, Кристофер К., "Худшие оползни в истории США", Weather Underground, 25 марта 2014 г. 9:08 вечера по Гринвичу Проверено 28 июня 2020 г.
102. ^ Миллиган, Марк (май 2005). *"Оползень Чертополоха, округ Юта, штат Юта". Обзорные заметки. 37 (2). Архивировано с оригинала 2011-03-23. Проверено 2010-12-01.*
103. ^ Хайленд, Линн М.; Роберт Л. Шустер. *"Значительные оползневые явления в Соединенных Штатах" (PDF). Геологическая служба США. Архивировано (PDF) с оригинала 2010-05-27. Проверено 2010-11-30.*
104. ^ Джибсон, Р. У. (1986). *"Оценка опасности оползней, вызванных штормом 5-8 октября 1985 года в Пуэрто-Рико". Открыть файл отчета 86-26. Геологическая служба США. doi:10.3133/ofr8626. Архивировано с оригинала 8 января 2017 года. Проверено 3 сентября 2017 года.*
105. ^ Гови, М.; Гулла, Г.; Николетти, П.Г. (2002). *"Скальная лавина Валь Пола 28 июля 1987 года в Вальтеллине (Центрально-итальянские Альпы)". В Evans S.G.; Degraff J.V. (ред.). Катастрофические оползни: последствия, возникновение и механизмы. Обзоры в области инженерной геологии. Том 15. Геологическое общество Америки. стр. 71-89. ISBN 978-0-8137-4115-4.*
106. ^ *Holbeck Hall Hotel Ltd и другой против Городского совета Скарборо (Апелляционный суд (гражданский отдел) QBENF 98/0902/A2 от 22 февраля 2000 года).Текст*

107. ^ *"Оползень Холбек-Холла, Скарборо". Совет по исследованию природной среды Британского геологического общества. Архивировано с оригинала 2010-11-13. Проверено 2010-11-23.*

108. ^ *Перейти к:^{a b} Джибсон, Рэндалл (2005). "Опасность оползней в Ла-Кончита, Калифорния". Отчет открытого файла 2005-1067. Геологическая служба США. Архивировано с оригинала 2017-12-29. Проверено 2010-12-01.*

109. ^ *Пожарные бригады Нового Южного Уэльса. "Оползень Тредбо 1997 года". Архивировано с оригинала 20 февраля 2011 года. Проверено 22 июля 2010 года.*

110. ^ *Роджерс, Дж. Дэвид. "Оползень Олдеркрест-Баньон Келсо, Вашингтон (1998-99)". Университет Миссури, Ролла. Архивировано с оригинала 2010-01-05. Проверено 2010-11-23.*

111. ^ *Вичорек Г.Ф., Ларсен М.К., Итон Л.С., Морган Б.А., Блэр Дж. Л. (2 декабря 2002). "Селевые потоки и наводнения, связанные с декабрьским штормом 1999 года в прибрежной Венесуэле, и стратегии по смягчению последствий". Геологическая служба США. Архивировано с оригинала 7 апреля 2012 года. Проверено 10 июля 2010 года.*

112. ^ *"Мумбаи уязвим для оползней: активист RTI". Sakal Media Group. Времена Сакала. 31 Июля 2014 года. Архивировано с оригинала 7 октября 2015 года. Проверено 23 ноября 2015 года.*

113. ^ *Куриакосе С.Л.; Санкар Г.; Муралидхаран С. (2008). "История подверженности оползням и хорология районов, подверженных оползням, в Западных гатах Кералы, Индия". Экологическая геология. 57 (7): 1553–1568. Почтовый индекс: 2009EnGeo..57.1553K. doi:10.1007/s00254-008-1431-9 . S2CID 129091369.*

114. ^ *"Оползень уничтожил несколько католических семей в южной Индии". EWTN news. 2001-11-12. Архивировано с оригинала 2010-12-07. Проверено 2010-11-23.*

115. ^ *Хаснавир; Х. Омура; Т. Кубота. "Оползневая катастрофа в кальдере Бавакараенг, Южный Сулавеси, Индонезия" (PDF). Журнал лесных*

исследований Кюсю. **59** (2006.3): 269–272. Архивировано (PDF) с оригинала 2011-07-22. Проверено 2010-11-23.

116. ^ "Меры противодействия двум крупным катастрофам по проекту ISDM". Международная ассоциация Сабо. Архивировано с оригинала 2017-08-12. Проверено 2010-06-23.

117. ^ Цутия, Сатоши; К. Сасахара; С. Шуин; С. Озоно (2009). "Крупномасштабный оползень на склоне кальдеры в Южном Сулавеси, Индонезия". *Оползни*. **6** (1): 83-88. doi:10.1007/s10346-009-0143-х. уровень ЛПВП: 10297/4735. S2CID 130325109. Архивировано с оригинала 2019-04-28. Проверено 2020-01-25.

118. ^ Эванс С.Г.; Гатри Р.Х.; Робертс Н.Дж.; Бишоп Н.Ф. (2007). "Катастрофический обвал-обломки лавины 17 февраля 2006 года на острове Лейте, Филиппины: катастрофический оползень в тропической горной местности" (PDF). *Природные опасности и науки о системе Земли*. **7** (1): 89-101. Почтовый индекс: 2007NHESS...7...89E. doi:10.5194/nhess-7-89-2007 . Архивировано (PDF) с оригинала 20 июля 2011 года. Проверено 10 июля 2010 года.

119. ^ Аноним, "Оползень погребает Долину гейзеров", earthobservatory.nasa.gov 11 июня 2007 года, Проверено 18 июня 2020 года

120. ^ Рой, Пинаки (12 июня 2007). "Бессмысленное срезание холмов вызвало оползень". *The Daily Star*. Архивировано с оригинала 18 мая 2011 года. Проверено 25 ноября 2010 года.

121. ^ "Число погибших в результате оползней Ctg составляет 123 человека". *The Daily Star*. 14 Июня 2007 года. Архивировано с оригинала 18 мая 2011 года. Проверено 25 ноября 2010 года.

122. ^ Липовский, Паня С., et al."Сход каменных и ледяных лавин в июле 2007 года на горе Стил, горы Сент-Элиас, Юкон, Канада", researchgate.net , Ноябрь 2008 г. Проверено 18 июня 2020 г.

123. ^ Аноним, "Монументальный оползень сотрясает гору Стил на Юконе", CBC News, 6 августа 2007 г. Проверено 18 июня 2020 г.

124. ^ Макколл, Карен, "Оползень Маунт-Стил 1 из 10 крупнейших за год: исследователь", cbs.ca , 24 октября 2015 г. Проверено 18 июня 2020 г.

125. ^ Петли, Дейв, "Лавина на горе Стил: более подробная информация по сейсмическим данным", agu.org , 20 октября 2015 г. Проверено 18 июня 2020 г.

126. ^ *"Смертельный оползень обрушился на дома в Каире". Новости Би-би-си. 6 сентября 2008 года. Архивировано с оригинала 8 апреля 2012 года. Проверено 25 ноября 2010 года.*

127. ^ Петли, Дэвид (27 сентября 2009). *"Фотографии и текст из посещения оползня Шиаолин на Тайване". Блог Дейва о оползнях. Архивировано с оригинала 27 ноября 2010 года. Проверено 23 ноября 2010 года.*

128. ^ *"До 600 погибших в оползнево-разрушенной деревне на Тайване". Япония сегодня. 14 Августа 2009 года. Проверено 2010-11-23.*

129. ^ Цоу, Чингин; Чигира, Масахиро (23-28 мая 2010). *Оползень Шиаолин, вызванный тайфуном Моракот 2009 года, Тайвань (PDF). Макухари, Тиба, Япония: Собрание Японского союза геонаук 2010.*^[постоянная мертвая ссылка]

130. ^ *"Оползневое озеро на северо-западе Пакистана". Обсерватория Земли НАСА. 18 марта 2010 года. Архивировано с оригинала 16 марта 2011 года. Проверено 23 ноября 2010 года.*

131. ^ Петли, Дэвид (4 марта 2010). *"Оползень в Аттабаде в Хунзе, Гилгит / Балтистан: текущая ситуация и потребности в управлении рисками" (PDF). Национальное агентство по ликвидации последствий стихийных бедствий (Пакистан). Архивировано (PDF) с оригинала 26 ноября 2010 года. Проверено 23 ноября 2010 года.*

132. ^ *"Madeira: Número de mortos aumentou para 42", Публико (на португальском языке), 26 февраля 2010 года, архивировано с оригинала 1 октября 2011 года*

133. ^ *"Крупный оползень в Уганде". Обсерватория Земли НАСА. 13 марта 2010 года. Архивировано с оригинала 15 марта 2010 года. Проверено 23 ноября 2010 года.*

134. ^ "Семья из 4 человек найдена мертвой во время оползня в Квебеке". *Новости Си-би-Си*. 11 мая 2010 года. Архивировано с оригинала 3 июня 2010 года. Проверено 23 ноября 2010 года.

135. ^ Ян, Фанг (23 мая 2010). "Пассажирский поезд сошел с рельсов в восточном Китае, по меньшей мере 10 погибших, 55 раненых". Информационное агентство Синьхуа. Архивировано с оригинала 26 мая 2010 года. Проверено 23 мая 2010 года.

136. ^ "В результате крушения в Китае "погибли несколько человек"". *Новости Би-би-си*. Британская телерадиовещательная корпорация. 23 мая 2010 года. Архивировано с оригинала 24 мая 2010 года. Проверено 23 мая 2010 года.

137. ^ Гатри, Р. Х.; Фрил, П.; Аллштадт, К.; Робертс, Н.; Эванс, С. Г.; Делани, К. Б.; Рош, Д.; Клаг, Дж. Дж.; Якоб, М. (2012). "Оползень на горе Миг 6 августа 2010 года - селевой поток, Прибрежные горы, Британская Колумбия: характеристики, динамика и последствия для оценки опасности и риска" (PDF). *Опасные природные явления и науки о системе Земли*. **12** (5): 1277, 1282. Почтовый индекс: 2012NHES..12.1277G. doi:10.5194/nhess-12-1277-2012 . S2CID 55793271. Архивировано с оригинала (PDF) 2020-01-25.

138. ^ "Крупный оползень в Ганьсу Чжоуцзю 7 августа". 19 августа 2010 года. Архивировано с оригинала 25 февраля 2011 года. Проверено 19 августа 2010 года.

139. ^ "Еще один крупный оползень перекрыл шоссе недалеко от Сидар-Сити, штат Юта". Архивировано с оригинала 18 января 2017 года. Проверено 15 января 2017 года.

140. ^ Дэйв (2013-04-26). "Обновленная информация об оползне в шахте Бингем-Каньон". *Blogs.agu.org* . Архивировано с оригинала 4 мая 2014 года. Проверено 4 мая 2014 года.

141. ^ Дэйв (2013-04-30). "Анализ оползня в шахте Бингем-Каньон, часть 1: область источника оползня". *Blogs.agu.org* . Архивировано с оригинала 4 мая 2014 года. Проверено 4 мая 2014 года.

142. ^ Дэйв (2013-05-17). "Был ли оползень в каньоне Бингем крупнейшим историческим невулканическим оползнем в Северной Америке?". Blogs.agu.org . Архивировано с оригинала 4 мая 2014 года. Проверено 4 мая 2014 года.

143. ^ "Массивные валуны убили двоих, сровняли с землей дом на юге Юты". Нью-Йорк Дейли Ньюс. Архивировано с оригинала 16 января 2017 года. Проверено 15 января 2017 года.

144. ^ Анкоридж Дейли Ньюс, оползень на 68 миллионов тонн на Аляске: гора Лаперуза

145. ^ Бюро судебно-медицинской экспертизы округа Снохомиш (23 июля 2014 года). "Обновление СМИ Бюро медицинской экспертизы округа Снохомиш". Архивировано с оригинала 8 августа 2014 года. Проверено 27 июля 2014 года.

146. ^ "Тело оползня Oso официально идентифицировано". KING5.com . Associated Press. 23 июля 2014 года. Архивировано с оригинала 6 августа 2014 года. Проверено 28 июля 2014 года.

147. ^ "Поиск выживших после афганского оползня прекращен". Аль-Джазира. 4 Мая 2014 года. Архивировано с оригинала 4 мая 2014 года. Проверено 4 мая 2014 года.

148. ^ Персонал (31 июля 2014). "Число оползней в Пуне достигло 25, вероятно, будет расти и дальше: Раджнатх Сингх посетит сегодня". Первый пост. Архивировано с оригинала 31 июля 2014 года. Проверено 30 июля 2014 года.

149. ^ "До и после оползня в Санкоси". Обсерватория Земли. НАСА. 2014-09-23. Архивировано с оригинала 2 февраля 2017 года. Проверено 22 мая 2015 года.

150. ^ "広島土砂災害、死者50人に 1607人が避難". Асахи Симбун. 24 Августа 2014 года. Архивировано с оригинала 24 августа 2014 года. Проверено 24 августа 2014 года.

151. ^ "В Японии в результате оползней погибли 32 человека в префектуре Хиросима". Новости Би-би-си. 20 августа 2014 года. Архивировано с оригинала 20 августа 2014 года. Проверено 20 августа 2014 года.

152. ^ "Оползень на Шри-Ланке: "100 погибших, которых опасаются"". *Новости Би-би-си. BBC*. 2014-10-29. Архивировано с оригинала 29 октября 2014 года. Проверено 30 октября 2014 года.

153. ^ "Оползень на Шри-Ланке: надежды найти выживших угасают". *The Guardian*. Архивировано с оригинала 30 октября 2014 года. Проверено 30 октября 2014 года.

154. ^ "Оползень в Индонезии: 20 погибших и десятки пропавших без вести". *Новости Би-би-си*. 14 Декабря 2014 года. Архивировано с оригинала 14 декабря 2014 года. Проверено 15 декабря 2014 года.

155. ^ "Спасатели Индонезии используют землеройные машины при спасении от оползней, поскольку число жертв возросло до 32". *Reuters*. 14 Декабря 2014 года. Архивировано с оригинала 15 декабря 2014 года. Проверено 15 декабря 2014 года.

156. ^ "Оползень в Колумбии "сносит все на своем пути", убивая десятки людей". *ABC News (Австралия)*. AFP. 19 мая 2015 года. Архивировано с оригинала 20 мая 2015 года. Проверено 20 мая 2015 года.

157. ^ researchgate.net Оползень и цунами 2015 года в Таан-фиорде, Аляска

158. ^ Хигман, Бретвуд, *et al.* "Оползень и цунами 2015 года в Таан-фиорде, Аляска", *nature.com* , 6 сентября 2018 г. Проверено 16 июня 2020 г.

159. ^ prs.gov Служба национальных парков, "Оползень и цунами в Таан-фьорде", *prs.gov* , Проверено 16 июня 2020 года

160. ^ Розелл, Нед, "Гигантская волна Ледяной бухты", *alaska.edu* , 7 апреля 2016 г. Проверено 16 июня 2020 г.

161. ^ Андервуд, Эмили, "Изучение оползней на Аляске может улучшить моделирование цунами", *eos.org* , 26 апреля 2019 г. Проверено 16 июня 2020 г.

162. ^ Муни, Крис, "Одно из крупнейших цунами, когда-либо зарегистрированных, было вызвано таянием ледника три года назад". *washingtonpost.com* , 6 сентября 2018 г. Проверено 16 июня 2020 г.

163. ^ Штольц, Кит, "Почему ученые беспокоятся об оползне, которого никто не видел и не слышал", atlasobscura.com , 17 марта 2017 г. Проверено 16 июня 2020 г.

164. ^ Петли, Дейв, "Оползень ледника Тиндалла на Аляске: крупнейший зарегистрированный невулканический оползень в Северной Америке", agu.org , 2 января 2016 г. Проверено 16 июня 2020 г.

165. ^ Кнутсен, Эшлин, "Цунами на Аляске, создавшее волны высотой с космическую иглу в Сиэтле", phys.org , 21 августа 2017 г. Проверено 16 июня 2020 г.

166. ^ *"Число погибших в результате оползней в Китае возросло до 38 – Yahoo7". Au.news.yahoo.com 2015-11-19. Архивировано с оригинала 2015-12-22. Проверено 2015-12-10.*

167. ^ Аунг, Мио, "ОТЧЕТ ОБ ОПОЛЗНЕ НА НЕФРИТОВОЙ ШАХТЕ ХПАКАНТ В МЬЯНМЕ 21-11-2015- 12-3 вечера", researchgate.net , Ноябрь 2015 г., Проверено 3 июля 2020 г.

168. ^ []

169. ^ Аноним, "Оползень на нефритовой шахте в Мьянме унес жизни по меньшей мере 113 человек", Associated Press, 2 июля 2020 г., проверено 3 июля 2020 г.

170. ^ 2016 Аноним, "Оползень на леднике Лэмплаф в национальном парке Глейшер-Бей", nasa.gov , 17 июля 2016 года Проверено 21 июня 2020 года

171. ^ Бессетт-Киртон, Эрин К., Джеффри А. Коу и Венди Чжоу, "Использование стереоскопических спутниковых снимков для учета абляции, уноса и уплотнения при расчетах объема скальных лавин на ледниках: применение к лавине Лэмплаф в 2016 году в национальном парке Глейшер-Бей, Аляска", AGU, 23 марта 2018 г. Проверено 21 июня 2020 года

172. ^ Подлаха, Адам; Боуэн, Стив; Дарбинян, Клэр; Лорини, Михал. *"Обзор глобальной катастрофы - апрель 2017 года" (PDF)*. Aon Benfield Analytics. Архивировано (PDF) с оригинала 18 мая 2017 года. Проверено 20 июня 2017 года.

173. ^ Рима Пол и Зарир Хуссейн (14 июня 2017 года). "Оползень, наводнения унесли жизни 156 человек в Бангладеш, Индия; число жертв может возрасти". Reuters. Дакка / Гувахати. Архивировано с оригинала 14 июня 2017 года. Проверено 14 июня 2017 года.

174. ^ "По меньшей мере 68 погибших в результате оползней, вызванных дождем в Бангладеш". Нью-Йорк Таймс. Дакка. 13 июня 2017 года. Проверено 13 июня 2017 года.

175. ^ "По меньшей мере 68 человек погибли в результате оползней в Бангладеш". Новости СТВ. Дакка. 13 Июня 2017 года. Проверено 13 июня 2017 года.

176. ^ АЛАМ, ДЖУЛХАС (13 июня 2017). "Оползни, вызванные дождем, унесли жизни по меньшей мере 68 человек в Бангладеш". The News Tribune. Дакка. Проверено 13 июня 2017 года.^[постоянная мертвая ссылка]

177. ^ РТИ (14 июня 2017). "Число оползней в Бангладеш достигло 152". The Financial Express (Бангладеш). Дакка. Архивировано с оригинала 18 июня 2017 года. Проверено 15 июня 2017 года.

178. ^ "После разведки исследователи говорят, что высота цунами в Гренландии в июне достигла 300 футов". Технологический институт Джорджии. 25 июля 2017 года. Проверено 26 июля 2017 года.

179. ^ "Четверо пропали без вести после цунами, обрушившегося на побережье Гренландии". Новости Би-би-си. 18 Июня 2017 года. Проверено 18 июня 2017 года.

180. ^ "В результате цунами в Гренландии четыре человека пропали без вести". Ирландский независимый. 18 Июня 2017 года. Проверено 18 июня 2017 года.

181. ^ Дай, Керен; Сюй, Цян; Ли, Чжэньхун; Томас, Роберто; Фань, Сюаньмэй; Донг, Сюэцзюнь; Ли, Вэйле; Чжоу, Чживэй; Гоу, Цзисон (2019-03-01). "Оценка катастрофического оползня Синьмо 2017 года после катастрофы (Китай) с помощью космической радиолокационной интерферометрии". Оползни.

16 (6): 1189-1199. doi:10.1007/s10346-019-01152-4 . уровень ЛПВП: 10045/89476. ISSN 1612-5118. S2CID 134996836.

182. ^ *"Число погибших в результате оползня в Сьерра-Леоне возросло до 499". Daily Mail (Исламабад). 2017-08-20. Архивировано с оригинала 21 августа 2017 года. Проверено 20 августа 2017 года.*

183. ^ *"Здесь все люди, погибшие в результате оползня в Калифорнии". USA TODAY. 14 января 2018 года. Архивировано с оригинала 15 января 2018 года. Проверено 15 января 2018 года.*

184. ^ *"13 погибших в Южной Калифорнии, поскольку дождь вызвал оползни". Ворота Сан-Франциско. 9 января 2018 года. Архивировано с оригинала 10 января 2018 года. Проверено 2018-01-10.*

185. ^ Аноним, "Законодатель Мьянмы: считается, что 50 человек погибли в результате оползня на нефритовой шахте", voanews.com , 23 апреля 2019 года, 9:29 утра Проверено 3 июля 2020 года

186. ^ Аунг, Ту Ту и Сэм Аунг Мун, "Полицейские среди 18 погибших в результате оползня на нефритовой шахте в Мьянме", capebretonpost.com , 28 июля 2019, 6:58 утра Проверено 3 июля 2020 года

187. ^ Аноним, "Число погибших в результате оползня в Мьянме возросло до 59," bbc.com , 13 августа 2019 г. Проверено 3 июля 2020 г.

188. ^ Аунг, Сан Ямин, "Оползень со смертельным исходом вызывает тревогу по поводу готовности Мьянмы к стихийным бедствиям", irrawaddy.com , 20 августа 2019 года, Проверено 3 июля 2020 года

189. ^ *"Целые семьи, погребенные заживо": десятки погибших в результате оползней в Бурунди". www.aljazeera.com . Архивировано с оригинала 2019-12-05. Проверено 2019-12-05.*

190. ^ *"В результате оползней на северо-западе Бурунди погибли по меньшей мере 26 человек". Reuters. 2019-12-05. Архивировано с оригинала 2019-12-05. Проверено 2019-12-05.*

191. ^ *"Оползень в Норвегии сметает дома в море". Новости Би-би-си. Би-би-си. Проверено 2 января 2021 года.*

192. ^ *"В результате оползня на нефритовой шахте в Мьянме погибло более 100 человек". Би-би-си. 2 июля 2020 года.*

193. ^ *"число погибших в результате оползня в Муннаре растет": работники недвижимости погибли в результате оползней в Муннаре". www.onmanorama.com . Проверено 2020-08-09.*

194. ^ *Кранц, Андреас (2021-01-03). "Sju personer bekreftet omkommet etter skredet i Gjerdrum". NRK (in Norwegian Bokmål). Проверено 2021-01-04.*

195. ^ <https://www.vg.no/nyheter/innenriks/i/nAGGea/skredomraadet-beskrevet-som-hoeysisiko-i-rapport-fra-2005> *"En rapport fra 2005 beskriver samme område som en høysisikosone."*

196. ^ *Гайер, Родриго Вига (21 февраля 2022 года). "Число погибших в результате оползней и наводнений в бразильском Петрополисе достигло 176 человек; более 110 пропали без вести". Reuters. Проверено 22 февраля 2022 года.*

197. ^ *Шарма, К. Сароджкумар (12 июля 2022 года). "Число жертв оползня в Манипуре возросло до 52, поскольку найдено еще 2 тела". The Times of India. Проверено 12 июля 2022 года.*

198. ^ *Геологическая служба США; Отдел геологических и геофизических исследований Аляски; Национальный центр предупреждения о цунами; Центр землетрясений Аляски (16 сентября 2022 года). "Межведомственное информационное заявление об оползнях Барри Арм" (PDF). Проверено 24 сентября 2022 года.*

199. ^ *Дай, К.; Хигман, Б.; Линетт, П. Дж.; Жакмар, М.; Ховат, И. М.; Лильедал, А. К.; Дюфрейн, А.; Фреймюллер, Дж. Т.; Гертсема, М.; Джонс, М. В.; Хойслер, П. Дж. (2020). "Обнаружение и оценка крупного и потенциально цунамигенного перигляциального оползня в Барри-Арм, Аляска". Письма о геофизических исследованиях. **47** (22). doi:10.1029/2020GL089800.*

200. ^ *"Современное сельское хозяйство вызывает крупные оползни в перуанских пустынях". Эос. Проверено 6 мая 2020 года.*

201. ^ *Холе, Кристер, "Каменная лавина в Окернесете", fjords.com Проверено 23 июня 2020 года*

202. ^ Петли, Дейв, "Деформация скального склона Вараши в северной Норвегии", agu.org , 12 мая 2020 г. Проверено 28 июня 2020 г.

203. https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.1db1f391-6357fbb2-5abc3e47-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/List_of_landslides