

УДК 911.9 + 004.413.4 + 338.24.01 + 528.94 + 65.01 +
+ 621.316.7
Научная специальность: 2.10.2
EDN: YVEFYO

Универсальный подход к оценке риска природопользования в районах стихийных бедствий при планировании и организации хозяйственной деятельности¹. Часть 2

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2025

Окончание.
Начало Т. 22. № 2. 2025

Кузьмин С.Б.,

Институт географии
им. В.Б. Сочавы СО РАН
664033, Россия, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 1

Аннотация

В статье приведен пример использования инструмента ОРП — оценка риска природопользования и обсуждаются результаты его применения. В качестве примера выбрана территория Иркутской области, где широко распространены опасные природные процессы (ОПП). Они образуют факторы природной опасности, т.е. реальное ее проявление в виде природного процесса, явления или их совокупности, которые способны нанести вред конкретной хозяйственной деятельности человека в природе (природопользованию), отрасли экономики, предприятию или территории, снизить их эффективность и рентабельность. Взаимодействие человека и природы устанавливает природно-антропогенные связи, которые формируют систему факторов природной опасности или такое пространственно-временное сочетание природных (экологических) и антропогенных (техногенных) систем, при котором их выгодное для определенного сообщества людей взаимное функционирование возможно, но всегда сопряжено с опасностью. Выявлено, что в результате развития ОРП безопасность населения, хозяйства и территорий Иркутской области находятся под угрозой. Поэтому разработанные модели имеют большое значение для всех этапов оценки риска и управления СБ. При их конкретном использовании ученые должны сначала понять потребности органов управления, а затем сосредоточиться на выявлении проблем, связанных с этими потребностями. Разработка совместно используемой схемы управления риском природопользования с обеих сторон, учет различных точек зрения, лежат в основе обеспечения безопасности населения и хозяйства Иркутской области.

Ключевые слова: оценка риска природопользования; опасные геодинамические процессы; стихийные бедствия; чрезвычайные ситуации природного характера; Иркутская область.

Для цитирования: Кузьмин С.Б. Универсальный подход к оценке риска природопользования в районах стихийных бедствий при планировании и организации хозяйственной деятельности. Часть 2 // Проблемы анализа риска. 2025. Т. 22. № 3. С. 48–75. — EDN: YVEFYO.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

¹ Работа выполнена в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН по госзаданию. Тема: Морфолитогенез Внутренней Азии: теоретические, методические и практические аспекты исследования. Регистрационный № АААА-А21-21012190017-5. Раздел 4: Проанализировать основные проблемы изучения опасных природных процессов и риска. Выявить глобальную, национальную и региональную специфику риска природопользования и безопасности человека, экономики и территорий в обстановке стихийных бедствий.

An Universal Approach to Risk Assessment of Nature Management in Areas of Natural Disasters when Planning and Organizing of Economic Activities². Part 2

Ending.
Beginning in Vol. 22. № 2. 2025

Sergey B. Kuzmin,

Institute of Geography mem.
V.B. Sochava Siberian Branch
Russian Academy of Sciences,
Ulan-Batorskaya str., 1, Irkutsk,
66403, Russia

Abstract

The article provides an example of the use of the ERA tool - environmental risk assessment and discusses the results of its use. As an example, the territory of the Irkutsk region was chosen, where hazardous natural processes (OPP) are widespread. They form factors of natural danger, i.e. its real manifestation in the form of a natural process, phenomenon or their combination, which can harm a specific human economic activity in nature (nature management), industry, enterprise or territory, reduce their efficiency and profitability. The interaction of man and nature establishes natural-anthropogenic connections that form a system of natural hazard factors or such a spatio-temporal combination of natural (ecological) and anthropogenic (anthropogenic) systems, in which their mutual functioning, beneficial for a certain community of people, is possible, but always associated with danger.

It was revealed that as a result of the development of the DGP, the safety of the population, economy and territories of the Irkutsk region is under threat today. Therefore, the developed models are of great importance for all stages of risk assessment and SS management. With their specific use, scientists must first understand the needs of the governing bodies, and then focus on identifying the problems associated with these needs. Development of a shared environmental risk management scheme on both sides, taking into account various points of view, are the basis for ensuring the safety of the population and economy of the Irkutsk region.

Keywords: risk assessment of nature management; hazardous geodynamic processes; natural disasters; natural and man-made emergencies; Irkutsk region.

For citation: Kuzmin S.B. An universal approach to risk assessment of nature management in areas of natural disasters when planning and organizing of economic activities. Part 2 // Issues of Risk Analysis. 2025;22(3):48–75. (In Russ.). — EDN: YVEFYO.

The author declares no conflict of interest

Содержание

Введение

1. Методика исследований

2. Результаты исследований

3. Обсуждение результатов исследований

Заключение

Список источников

² The work was carried out at the Institute of Geography. V.B. Sochava SB RAS on state assignment. Topic: Morpholithogenesis of Inner Asia: theoretical, methodological and practical aspects of research. Registration No. AAAA-A21-21012190017-5. Section 4: Analyze the main problems of studying hazardous natural processes and risk. Identify global, national and regional specificities of environmental risk and human, economic and territorial security in a disaster environment.

Введение

Представленная статья является продолжением предыдущей статьи [49], в которой рассматривалась теоретическая часть исследования инструмента оценки риска природопользования (ОРП). В этой статье будет рассмотрена практическая часть исследований и проиллюстрировано использование инструмента ОРП на примере территории Иркутской области. Использование в качестве примера Иркутской области обусловлено следующими причинами. Во-первых, она изобилует опасными природными процессами (ОПП), мощнейшие из которых геолого-геоморфологические, на что мы обращали внимание в предыдущих публикациях [23, 26]. Во-вторых, Иркутская область очень перспективна в экономическом отношении. Здесь расположены самые богатые из субъектов Российской Федерации (РФ) лесные угодья, поэтому высоко развиты деревообрабатывающая и лесохимическая промышленности. Представлены крупнейшие месторождения природного газа, нефти, железных и редкоземельных руд, золота, каменного и бурого угля, каменной соли. На их базе развиты нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, химическая, микробиологическая и медицинская отрасли экономики. Имеется крупнейший в РФ энергетический комплекс, состоящий из каскада четырех ГЭС по р. Ангаре, других ГЭС, ТЭС и ТЭЦ. За счет дешевой электроэнергии функционируют и находятся на стадии проектирования крупнейшие в мире предприятия по производству алюминия. В-третьих, Иркутская область является трансграничной территорией, по которой осуществляются основные экономические потоки между РФ и Азиатско-Тихоокеанским регионом (АТР). В тоже время, есть социальные проблемы, связанные, прежде всего, с оттоком населения, несмотря на большой потенциал в плане трудовой занятости.

В Иркутской области разрабатываются и внедряются многочисленные инжиниринговые проекты по использованию природных ресурсов, ведется широкомасштабное инфраструктурное и коммуникационное строительство, внедряются новые технологии, активизируется научно-прикладная деятельность. Это делает актуальными вопросы, связанные с воздействием на окружающую природную среду, с активизацией ОПП, с увеличением числа стихийных бедствий (СБ) и чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и природно-техногенного характера.

Это способствует пристальному вниманию органов управления (от областного до муниципального), менеджеров производства, разработчиков проектов и других заинтересованных лиц к оценкам риска текущей и предстоящей производственной деятельности. Поэтому наши исследования по использованию инструмента ОРП, анализу и управлению риском являются актуальными и своевременными.

Основная цель использования инструмента ОРП — это предоставить менеджерам и администраторам реальный контекст для принятия решений, который позволит им: 1) достичь оптимального или, по крайней мере, приемлемого уровня риска, при котором выгоды, вытекающие из конкретного действия или решения, перевешивают потенциальные потери или ущерб; 2) избежать неприемлемых уровней рисков, когда вероятность и величина потенциальных потерь или ущерба перевешивают ожидаемые выгоды, или когда их величина, независимо от вероятности и предсказуемости, такова, что их невозможно обратить вспять или смягчить. Система управления рисками в РФ включает рассмотрение рисков для всех экологических, социальных и экономических ценностей общества, а также других факторов, таких, например, как история деятельности производственного субъекта, отдельной отрасли экономики или инициатора конкретного проекта развития, рамочная концепция социально-экономического развития всего региона, история формирования ландшафтов и экосистем и т.п. В рамках этой системы ОРП предлагает метод определения аспекта комплексного риска в процессе управления развитием.

Предлагаемый инструмент ОРП актуален в связи еще и с тем, что сегодня в бизнес-сообществах, органах власти, да и в самой науке утвердилась тенденция к узкому, одноцелевому мышлению, что для науки, например, объясняется растущим акцентом на анализе как на самоцели. Точность и строгость стали более приемлемы как методы хорошего исследования или проектирования, чем целостность и общность. Поскольку только небольшие и хорошо ограниченные вопросы или проблемы могут быть подвергнуты строгому анализу (в смысле изучения и последующего решения). Этим и определяется стремление науки сводить проблемы к составным частям, что во многом способствовало узкому принятию и самих управленческих решений. И с геополитической точки зрения

есть веские основания полагать, что сегодня правота в конкретном частном вопросе или проблеме с вполне определенным содержанием и важностью более ценна и требует усилий, чем обоснование и решение общих вопросов и проблем. Для науки этот выбор заключается не между анализом и синтезом, а скорее между тем, как эффективно использовать оба метода исследования и предлагать их структурам управления. Именно инструмент ОРП в этом смысле не уводит администраторов в удобные сегодня частные задачи, а позволяет выделять общую проблематику и уже на ее фоне решать эти частные задачи.

1. Методика исследований

Оценка риска природопользования только на основе прошлых событий не дает полной информации о текущем состоянии риска поскольку: 1) охватывают ограниченный интервал времени и могут не включать редкие, но серьезные природные опасности, которые просто не случились в течение времени, охватываемого каталогом; 2) наблюдаемые события не отражают распределения всех возможных будущих событий, большей величины, разной продолжительности, в разных местах и т.д.; 3) обычно не предоставляют полную временную и пространственную информацию и подробные записи о последствиях, особенно связанные с локальной природной опасностью. В этом смысле нами различаются понятия оценка риска природопользования и риска стихийных бедствий (РСБ). Инструмент ОРП решает в основном прогностические задачи. Инструмент РСБ направлен преимущественно на оценку производственных объектов, циклов, цепочек, а также конкретных регионов и административных единиц, подвергавшихся или подвергающихся воздействию стихийных бедствий и природных катастроф. В методологическом плане оба инструмента имеют одну основу. Но в плане методики имеются нюансы. Они рассматриваются отдельно для каждого конкретного случая использования этих двух инструментов. Это зависит от текущей природной, социально-экономической и геополитической ситуаций.

Главные аспекты ОРП для Иркутской области являются практическим следствием и фундаментом рассмотренных в предыдущей статье теоретико-методологических вопросов районирования территорий по ОПП. Инструмент ОРП используется

для прогностических целей на полуколичественной основе, т.е. в анализе используются как статистические данные, так и экспертные оценки. Основным источником возникновения природной опасности (ПО) в Иркутской области является рельеф, геоморфологические и современные активные геодинамические процессы [24, 25]. Поэтому оценка риска природопользования основана на характеристике и детальном анализе именно этих процессов. При исследовании ОРП используется районирование Иркутской области по опасным геоморфологическим и геодинамическим процессам (ОГП). ОГП представляют собой источники потенциальных ущербов для человека, экономики и территорий, а также факторы риска. Субъекты риска (бизнес, власть, население) должны строить планы своей деятельности с учетом этих факторов. Специалисты по ОПП — геологи, геоморфологи, метеорологи, гидрологи и др. — редко вовлечены в хозяйственно-экономическую деятельность, поэтому основные сведения об ОПП должны быть доступны населению и лицам, принимающим решения в коммерческом и государственном секторах.

Международная практика изучения ОПП и риска природопользования показывает [43–46, 48], что в процессе разработки алгоритмов и сценариев регионального развития ОГП являются главным объектом исследования и управления для обеспечения безопасности и снижения риска, особенно в районах высокой геодинамической активности, к которым относится значительная часть территории Иркутской области. К подобным заключениям пришли и отечественные исследователи [2, 4, 15, 22, 27, 29].

Риск природопользования — это процесс осуществления хозяйственной и иной деятельности человека с непосредственным использованием природных ресурсов в обстановке и с осознанием природной опасности. *Природная опасность* — это наличие или вероятность возникновения на территории осуществления хозяйственной деятельности опасных или потенциально опасных природных процессов и явлений, которые могут негативно повлиять на условия хозяйствования, снизить его эффективность, нанести ущерб. *Фактор природной опасности* (ФПО) — конкретное проявление ПО в виде природного процесса или явления (или их совокупности), которое способно нанести вред конкретной хозяйственной деятельности или снизить его эффективность, когда известен субъект

риска, например, хозяйственная инфраструктура и ее функции. Природно-антропогенные связи формируют систему факторов природной опасности (СФПО), под которой будем понимать такое пространственно-временное сочетание природных (экологических) и антропогенных (техногенных) систем, при котором их выгодное для определенного сообщества людей функционирование возможно, но сопряжено с опасностью.

Инструмент ОРП применим в нескольких случаях: 1) при комплексном территориальном анализе и планировании всего административного субъекта, отдельного региона или муниципального образования, когда учитываются все виды ОПП для всех видов природопользования в рамках субъекта; 2) при анализе конкретного вида хозяйственной деятельности, осуществляемой в рамках административного субъекта, его региона или муниципального образования, например, разработка месторождений полезных ископаемых, прокладка линейных сооружений, строительство горно-обогатительных комбинатов, создание рекреационно-туристических комплексов и т.п., когда учитываются только те ФПО, которые преимущественно влияют на производственный процесс; 3) при изучении конкретного ФПО, который может повлиять на субъект риска, например, создание атласов сейсмической опасности, разработка карт эрозионно-дефляционной опасности для ведения сельского хозяйства, создание кадастров опасных паводков и наводнений для ведения сельского хозяйства в горных и предгорных районах и т.п. Инструмент ОРП используется для всей Иркутской области с преимущественным влиянием ОГП.

Список всех ОПП следует регламентировать по степени опасности (табл. 1). Для Иркутской области наиболее опасными являются геоморфологические и современные активные геодинамические процессы, такие как: землетрясение, линейная эрозия, осыпи и обвалы, набухание и просадочность грунтов, сели, переработка берегов, их подтопление и наводнение и др. Полный список ОГП будет рассмотрен ниже. Инструмент ОРП позволяет районировать Иркутскую область и оценивать риск природопользования по ПО от ОГП. Опыт таких исследований имеется в литературе, например, составлены карты природных опасностей мира [42, 46], Индии [45], Сибирского федерального округа РФ [19]. В целом инструмент ОРП опирается на разработки по оценке риска и принятия

управленческих решений в области экономики, бизнеса и финансов [5–7, 33].

Геоморфологические и активные геодинамические процессы — это смена состояний, ход изменений в формировании земной поверхности и приповерхностных частей земной коры, осуществляемые агентами морфогенеза [36]. Для оценки влияния ОГП на человека и хозяйственную инфраструктуру Иркутской области необходимо выделить классы (экспертные ранги) ПО. Это требует создания ОГП-каркаса — выделения районов с характерными типами ОГП, т.е. районирования. Эта идея в географии не нова [35], но ее приложение к анализу геоэкологического состояния субъектов РФ не разработано, хотя для Байкальского региона имеются отдельные примеры [41].

Следует подобрать критерии выделения ОГП Иркутской области (табл. 2).

Главным подходом к районированию территории Иркутской области по ОГП является их классификация. Сформулируем основные принципы классификации ОГП.

1) Классификация проводится на региональном уровне как анализа ОГП, что определило их набор и уровень соподчинения.

2) В классификацию включены только те классы и группы ОГП, которые представляют реальную угрозу для населения, территории, социальной и хозяйственной инфраструктуры Иркутской области, остальные включены в категорию «Другие».

3) Основания деления выбраны нами по аналогии с классификацией В. Б. Выркина [9]: на уровне типа и класса ОГП — источник привноса вещества и энергии; на уровне подтипа ОГП — дальность переноса вещества и энергии; на уровне группы ОГП и единичных ОГП — форма и виды перемещения вещества и энергии.

4) На основе работ Л. Н. Ивановского [16, 18] определены ведущий, сопутствующий и второстепенный типы ОГП.

5) На принципах составления карты геоморфологических процессов СССР [12] определен характер пространственного проявления ОГП: ареальный, линейный, фронтальный. Ареальный разделен на два класса: площадной и точечный.

6) По аналогии с классификацией А. В. Чайко, А. А. Мистрюкова [39] и А. Р. Агатовой [1] определен высотный пояс и ярусы распределения ОГП.

7) На базе классификации В. Н. Невского [28] определен низший таксономический ранг и проведена типизация геоморфологических единиц районирования.

8) Определена СФПО в виде одного или субординированных процессов, явлений или определенных морфогеодинамических и климатических условий, возникающих на территориях, сопоставимых с анализируемым таксономическим рангом классификации.

9) Определены негативные воздействия ОГП на человека, территории и хозяйственную инфраструктуру.

Они используются для формирования системы предупреждения и ликвидации СБ, ПО и ЧС.

При составлении карт использованы картографические принципы. *Принцип ранговости* требует соблюдения четкой иерархии (соподчинения) при выделении на карте геоморфологических элементов или процессов. *Принцип полноты деления* требует, чтобы вся исследуемая территория (лист карты) без остатка была разделена на субординированные или топологические объекты в соответствии с выбранной методикой

Таблица 1. Классификация ОПП по масштабам СБ

Table 1. Classification of hazardous natural processes by the scale of natural disasters

Очень опасные	Наводнения, землетрясения, цунами, оползни и обвалы, ураганы и смерчи, лавины, сели, засухи, эпидемии
Опасные	Линейная эрозия, извержения вулканов, карст, суффозия, набухание и просадочность грунтов, подтопление и переработка берегов
Слабо опасные	Плоскостная эрозия, площадное засоление грунтов, дефляция, термокарст, наледеобразование, термоэрозия, солифлюкция

Таблица 2. Шкала оценок ОГП для Иркутской области

Table 2. Hazardous geodynamic processes rating scale for Irkutsk region

Интенсивность	Характеристика	Изменения ландшафта	Примеры	Возможные разрушения	Ликвидация ЧС
1 – не интенсивный процесс, низкая опасность	Происходит на небольшой площади, охватывает малые массы грунта; малые скорости и расстояние перемещения	Ландшафт практически не изменяется	Оплывины на склонах и откосах дорог, оползни, размыв донных оврагов, локальный сыв-намыв почвы, пучение грунтов, подмыв берегов, суффозия, солифлюкция	Небольшие нарушения сооружений и конструкций, локальная деформация и разрушение дорожного полотна	Ликвидируются местным населением
2 – умеренно интенсивный процесс, умеренная опасность	Охватывает заметную площадь и массу грунта; перемещение – на метры по горизонтали и на сантиметры по вертикали	Локальные изменения в ландшафтической среде	Камнепады, осыпи, локальная активизация оползней, образование и рост донных и береговых оврагов, эрозионных рытвин, заметный сыв-намыв почвы	Частичное разрушение сооружений, наклон зданий, искривление трубопроводов и дорожного полотна, линий электропередач	Местные административные и муниципальные власти
3 – интенсивный процесс, высокая опасность	Охватывает большую площадь и массы грунта; перемещение – до десятков метров по горизонтали, до десятков сантиметров по вертикали	Заметные изменения в ландшафте и гидрогеологической среде	Сели, крупные оползни, обрушение скал, откосов дорог, стенок карьеров, активная эрозия, сильный сыв-намыв почвы, русловые деформации, карстовые и суффозионные просадки	Значительное, но не полное разрушение сооружений, больших участков сельхозугодий, трубопроводов, дорог, травмы и единичные жертвы среди населения	Местные административные, муниципальные, областные и краевые власти
4 – очень интенсивный процесс, очень высокая опасность	Быстрые перемещения значительных масс грунта на больших площадях: горизонтальные – до сотен метров, вертикальные – до десятков метров	Сильные изменения ландшафта. Негативное влияние на соседние территории вне очага их распространения	Серия селей, площадная активизация оползней, карстовые провалы, разрушение берегов, дефляция, массовое оврагообразование, сплошной сыв-намыв почвы, пыльные бури	Полное разрушение хозяйственной инфраструктуры, сохраняются отдельные сооружения, участки сельхозугодий, трубопроводов, число жертв превышает десять человек	Областные и федеральные организации, общенациональные и международные службы спасения

картографирования. *Принцип целостности* требует, чтобы каждый из картографируемых элементов (компонентов) рельефа отвечал определенному этапу рельефообразования, принадлежал к определенному генетическому типу, характеризовался определенными морфометрическими показателями, специфическими эндогенными и экзогенными геоморфологическими процессами и структурно-вещественными комплексами (горными породами). *Принцип однородности описания* требует, чтобы каждый выделяемый на карте типологический элемент рельефа был охарактеризован одинаковым набором свойств с равной точностью и степенью детальности в соответствии с определенным иерархическим уровнем принятой систематики (классификации). *Принцип специализации* требует использовать при картографировании рельефа или ОГП такое их разбиение, которое наиболее полно отвечает поставленным задачам. *Принцип однородности границ* требует проведения границ между геоэкологическими районами с фиксированным набором свойств. *Принцип непересечения* границ требует, чтобы на карте не выделялись участки, относящиеся более чем к одному классу картографируемых объектов.

2. Результаты исследований

Изложенные методические указания позволяют провести классификацию ОГП Иркутской области, дополнив ее региональной и предметной спецификой, что позволяет переходить от классификации к районированию (табл. 3).

На базе разработанной классификации построена карта районирования Иркутской области по ОГП (рис. 1).

В качестве дополнительных ФПО составлены карты: 1) неотектоники и сейсмической опасности (рис. 2); 2) подземных вод зоны свободного водообмена и гидрогеодинамических процессов (рис. 3), которые в совокупности с первой картой образуют СФПО.

Интегральная карта районирования Иркутской области по ОГП строилась по следующему принципу. На основе геолого-геоморфологического строения, генезиса и истории развития рельефа, распределения землетрясений и сетки активных разломов, величины деформаций мел-палеогеновой поверхности выравнивания, основных гидрогеодинамических комплексов геоморфологические подобласти в дальнейшем частично объединялись, разъединялись, экстраполировались,

насыщались дополнительной информацией, после чего интерпретировались и анализировались как геоэкологические районы, разделенные на четыре уровня по классам риска природопользования (рис. 4).

Были разъединены: 1) геоморфологические подобласти Приморский, Байкальский и Аkitканский хребты геоморфологической области горы Прибайкалья; 2) геоморфологическая подобласть Ангаро-Чунское плато геоморфологической области Среднеангарское плато; 3) геоморфологическая подобласть низкие платовые плато геоморфологической области Лено-Ангарское плато; 4) геоморфологическая подобласть хребты Делюн-Уранский и Кодар геоморфологической области горы Прибайкалья.

Остались в прежних своих границах: 1) геоморфологическая подобласть высокие плато и плоскогорья геоморфологической области Лено-Ангарское плато; 2) геоморфологическая подобласть высокогорные горстовые хребты и эрозионное среднегорье и низкогорье геоморфологической области горы Восточного Саяна; 3) геоморфологическая подобласть хребет Хамар-Дабан геоморфологической области горы Прибайкалья.

Были объединены: 1) геоморфологические области Иркутско-Черемховская равнина, Канско-Рыбинская равнина, равнины Предбайкальского краевого прогиба и часть подобласти Ангаро-Чунское плато геоморфологической области Среднеангарское плато; 2) геоморфологическая область Тунгусское плато, геоморфологическая подобласть Ангарский кряж геоморфологической области Среднеангарское плато, части геоморфологических подобластей низкие плато геоморфологической области Лено-Ангарское плато и Ангаро-Чунское плато геоморфологической области Среднеангарское плато; 3) геоморфологическая подобласть Приольхонское плато геоморфологической области горы Прибайкалья и часть геоморфологической подобласти Приморский, Байкальский и Аkitканский хребты геоморфологической области горы Прибайкалья; 4) геоморфологическая область нагорья сводового поднятия, части геоморфологических подобластей низкие платовые плато геоморфологической области Лено-Ангарское плато, а также хребты Делюн-Уранский и Кодар геоморфологической области горы Прибайкалья; 5) все геоморфологические подобласти области Байкало-Патомское нагорье.

Таблица 3. Классификация ОГП Иркутской области

Table 3. Classification of hazardous geodynamic processes of Irkutsk region

Класс процессов	Группа процессов	Ведущий процесс	Характер	Высотный пояс (м)	ФПО	Возможные негативные последствия
Сейсмогенный	Быстрая	Землетрясения	Площадной	460-3000, все ярусы	Тектонические движения, мантийная дифференциация вещества	Разрушение сооружений и конструкций, средств коммуникации, гибель людей
	Медленная	Тектонический крип	Фронтальный	400-2500, все ярусы	Тектонические движения по зонам разломов	Разрушение сооружений и конструкций, средств коммуникации
Криогенный	Мерзлотная	Термокарст, пучение грунтов	Точечный	300-1800, пойменный, водораздельный	Термогидрогенные изменения в грунтах, наледеобразование	Деформация оснований конструкций и фундаментов сооружений, разрыв средств коммуникации
Гравитационно-склоновый	Гравитационная	Обвалы, осыпи, лавины	Фронтальный	700-2500, склоновый	Гравитационные процессы, трещинообразование, сейсмичность	Разрушение сооружений и конструкций, средств коммуникации, гибель людей
Склоновый гидрогенного оползания и течения	Блокового сползания	Оползни, осывы	Фронтальный	500-1000, склоновый, террасовый	Дезинтеграция и обводнение рыхлых осадков, сейсмические сотрясения, гравитационные процессы	Деформация оснований конструкций и фундаментов сооружений, разрыв средств коммуникации
Склоновый водно-эрозионный	Линейного размыва	Овражная эрозия	Линейный	400-800, склоновый, террасовый	Обильные атмосферные осадки, техногенное разрушение почв и грунтов	Разрушение сельхозугодий, отдельных зданий и конструкций, нарушение коммуникации
Озерный	Абразионная	Абразия	Фронтальный	450-500, прибрежно-озерный	Волноприбойная деятельность	Нарушение оснований сооружений
Флювиальный	Эрозии рек и временных водотоков	Глубинная и боковая эрозия	Линейный	400-1500, пойменно-долинный	Обильные атмосферные осадки, питание за счет ледников и снежников, гравитационный потенциал рельефа	Нарушение оснований сооружений и строительных площадок, хозяйственных объектов, разрыв средств коммуникации
	Аккумуляции рек и временных водотоков	Сели	Линейный	460-1000, пойменный	Обильные атмосферные осадки, образование подпруд в речных долинах	Нарушение строительных площадок, объектов промышленности, коммуникаций, возможна гибель людей
Подземноводный	Денудации растворимых пород	Карст	Точечный	500-1000, все ярусы, исключая пойменно-долинного	Наличие карстующихся пород	Нарушение оснований сооружений и строительных площадок, хозяйственных объектов, разрыв средств коммуникации
	Денудации нерастворимых пород	Суффозия	Точечный	400-800, все ярусы, кроме останцового	Наличие подземных водонесных горизонтов	Нарушение строительных площадок, хозяйственных объектов, разрыв средств коммуникации
Техногенный	Технобилизационная	Подтопление, просадки	Площадной	300-500, пойменно-долинный	Техногенно-спровоцированное формирование водоемов, наличие водоупорных грунтов	Подтопление объектов промышленности, средств коммуникации с просадкой и деформацией грунтов

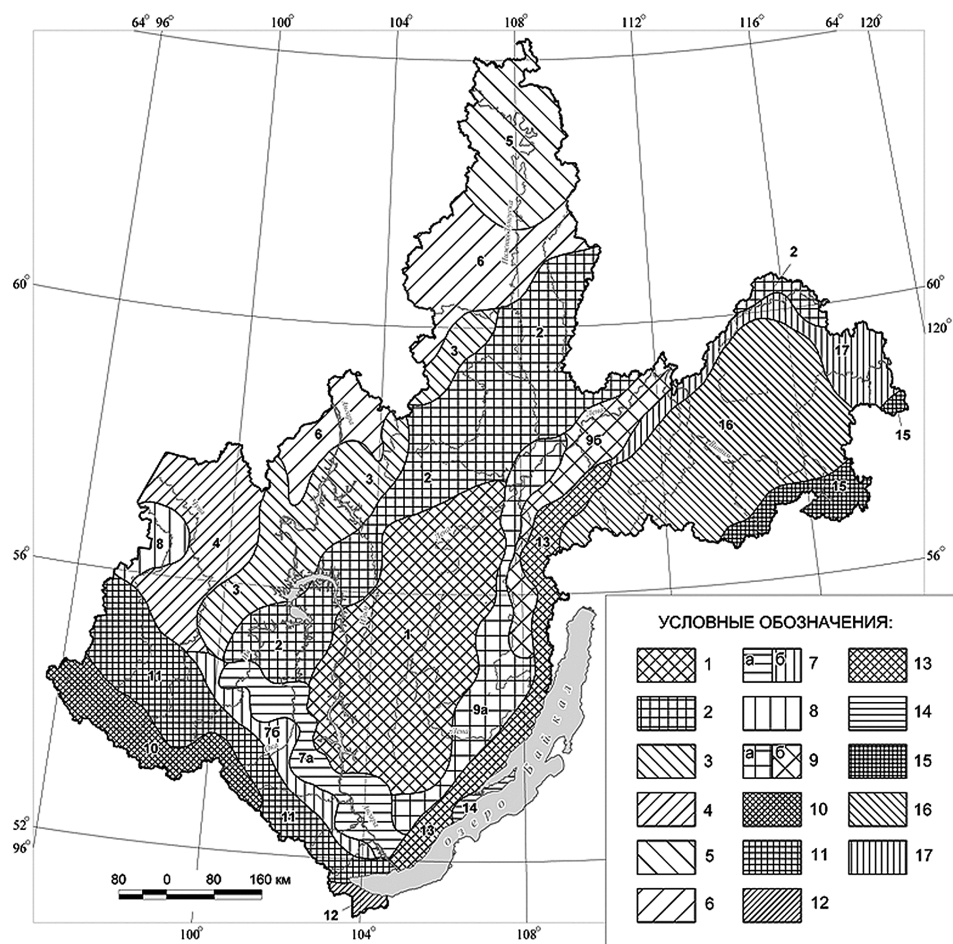


Рис. 1. Карта районирования Иркутской области по ОГП
Средне-Сибирское плоскогорье. Лено-Ангарское моноклиналиное плато: 1 — высокие плато и плоскогорья; 2 — низкие плато. **Среднеангарское плато, осложненные пластовыми интрузиями:** 3 — Ангарский кряж; 4 — Ангаро-Чунское плоское плато. **Тунгусская синклиальная впадина:** 5 — низкие плато с плоскими водоразделами; 6 — низкие плато с плоскими водоразделами и невысоко поднимающимися над ними трапповыми грядами. **Краевые впадины:** 7 — Иркутско-Черемховская равнина (а — равнины с почти плоскими междуречьями и наклонные равнины древних озерных террас; б — плоские озерно-аллювиальные равнины внутренних); 8 — Канско-Рыбинская равнина; 9 — равнина Предбайкальского краевого прогиба (а — равнина с грядово-ложбинным структурным рельефом; б — почти плоские предгорные равнины). **Горы Южной Сибири. Горы Восточного Саяна:** 10 — высокогорные горстовые хребты; 11 — эрозивное среднегорье и низкогорье. **Горы Прибайкалья:** 12 — хребт Хамар-Дабан; 13 — Приморский и Байкальский хребты; 14 — Приольхонское плато; 15 — хребты Делюн-Уранский и Кодар. **Нагорья сводового поднятия:** 16 — Байкало-Патомское нагорье; 17 — эрозивное низкогорье краевых частей

Figure 1. Zoning map of the Irkutsk region for hazardous geodynamic processes
Middle Siberian Plateau. Leno-Angarsk monocline plateau: 1 — high plateaus and plateaus; 2 — low plateaus. *Middle Angarsk plateau, complicated by formation intrusions:* 3 — Angarsk ridge; 4 — Angara-Chun flat plateau. *Tunguska syncline depression:* 5 — low plateaus with flat watersheds; 6 — low plateaus with flat watersheds and low trap ridges rising above them. *Marginal depressions:* 7 — Irkutsk-Cheremkhov plain (a - plains with almost flat interfluves and inclined plains of ancient lake terraces; b — flat lacustrine-alluvial internal plains); 8 — Kansk-Rybinsk plain; 9 — the plain of the Pre-Baikal regional trough (a - plain with a ridge-hollow structural relief; b — almost flat foothill plains).

Mountains of Southern Siberia. East Sayan Mountains: 10 — high mountain ranges; 11 — erosive middle and low mountains. *Mountains of the Baikal region:* 12 — Khamar-Daban ridge; 13 — Primorsky and Baikal ranges; 14 — Priolkhon plateau; 15 — Delyun-Uransky and Kodar ranges. *Uplands of the arch uplift:* 16 — Baikal-Patom Highlands; 17 — erosion low mountain of edge parts

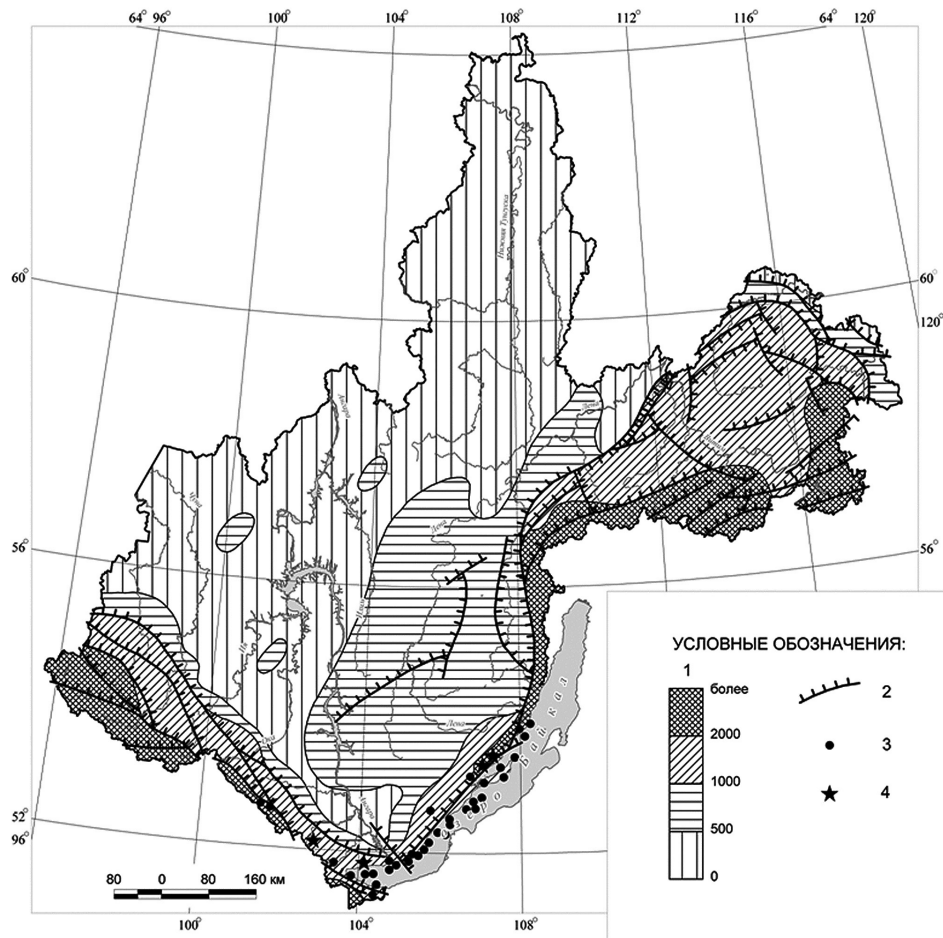


Рис. 2. Неотектоника и сейсмическая опасность Иркутской области. 1 — области суммарных неотектонических деформаций мел-палеогеновой поверхности выравнивания, отражающие формы новейшей структуры и интенсивность тектонических движений земной коры (м); 2 — главные активные разломы земной коры с тектоническими подвижками за последние 100 тысяч лет; 3 — эпицентры зарегистрированных землетрясений энергетического класса $K \geq 13$ (сильные, с магнитудой по шкале Рихтера $M \geq 6$ баллов); 4 — палеосейсмодислокации с вероятной магнитудой землетрясений по шкале Рихтера $M \geq 6.5$ баллов (сильные)

Figure 2. Neotectonics and seismic hazard of the Irkutsk region. 1 — areas of total neotectonic deformations of the Cretaceous–Paleogene leveling surface, reflecting the forms of the latest structure and the intensity of tectonic movements of the earth's crust (m); 2 — the main active faults of the earth's crust with tectonic movements over the past 100 thousand years; 3 — epicenters of registered earthquakes of energy class $K \geq 13$ (strong, with magnitude on the Richter scale $M \geq 6$ points); 4 — paleo-seismic dislocations with probable magnitude of earthquakes on the Richter scale $M \geq 6.5$ points (strong)

На интегральной карте районирования территории Иркутской области по ОГП выделено 10 районов (рис. 4).

Развитие любой формы рельефа всегда обусловлено несколькими процессами, среди которых можно выделить ведущий. Он действует с неодинаковой интенсивностью, по-разному взаимодействует с другими процессами, образуя некоторый

комплекс (систему, структуру) процессов, которые связаны друг с другом. На территории Иркутской области единство ОГП находится в определенном пространственном и временном соотношении и взаимодействии и неодинаково от места к месту, т.е. метакронно. Это позволяет говорить о структуре процессов, под которой можно понимать их пространственные и временные соотношения

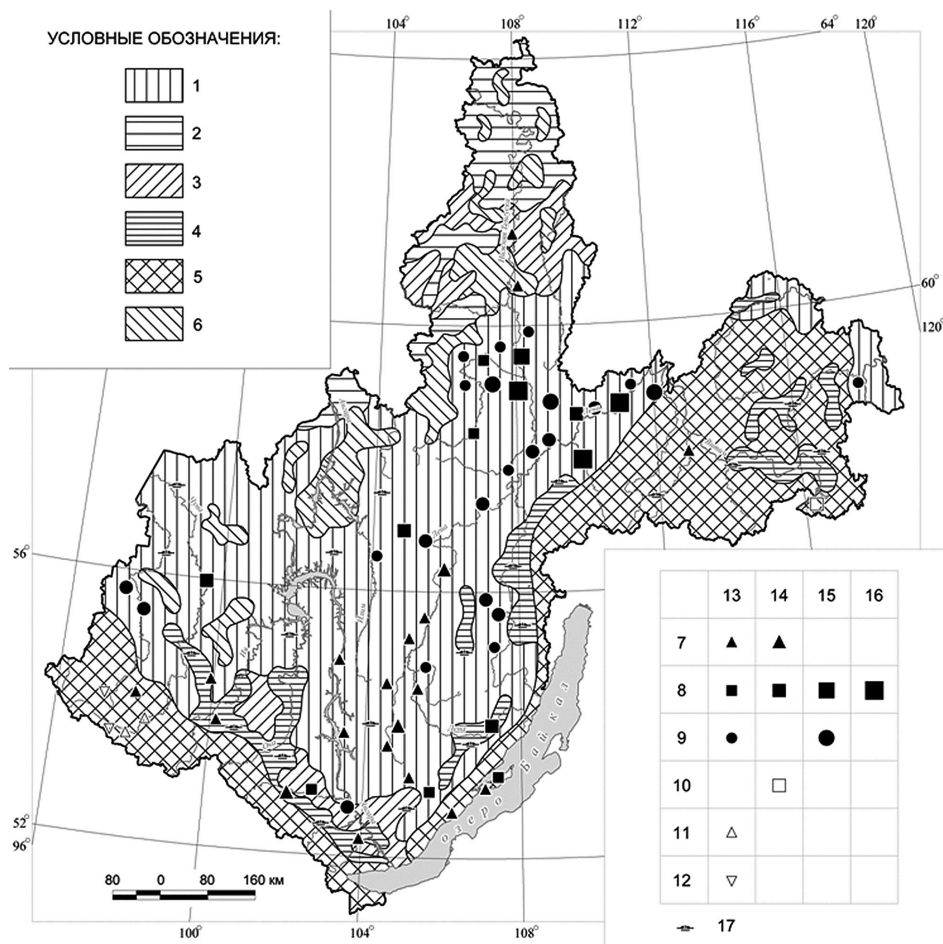


Рис. 3. Гидрогеодинамика зоны свободного водообмена на территории Иркутской области. Пресные водоносные горизонты: 1 — трещинно-пластовые среднеобильные в терригенных и трещинно-карстовые в карбонатных отложениях (кембрий-карбон) Сибирской платформы; 2 — пластово-трещинные слабообильные в туфогенных отложениях (триас) Сибирской платформы; 3 — трещинно-пластовые слабообильные (север) и порово-пластовые высокообильные (юг) в терригенных отложениях (юра) Сибирской платформы; 4 — порово-пластовые средне- и высокообильные в рыхлых неоген-четвертичных отложениях; 5 — трещинные и трещинно-жилые средне- и высокообильные в метаморфических и изверженных породах (архей-протерозой) горно-складчатых областей; 6 — трещинные среднеобильные в изверженных породах (пермо-триас) Сибирской платформы. Источники подземных вод: 7 — гидрокарбонатных и сульфатных с минерализацией до 1 г/л; 8 — сульфатных и сульфатно-кальциевых с минерализацией 1–10 г/л; 9 — хлоридных и хлоридно-натриевых с минерализацией 10–50 г/л и более; 10 — термальные; 11 — слабо сероводородные пресные; 12 — углекислые. Дебит источников: 13–0.1–1 л/сек; 14–1–10 л/сек; 15–10–100 л/сек; 16 — более 100 л/сек. 17 — области подтопления и заболачивания

Figure 3. Hydrogeodynamics of the free water exchange zone in the Irkutsk region. Fresh aquifers: 1 — medium-abundant fracture-bed in terrigenous and fracture-karst in carbonate deposits (Cambrian–Carboniferous) of the Siberian platform; 2 — layer-fracture weakly abundant in tuffaceous deposits (Triassic) of the Siberian platform; 3 — fractured-stratum low-abundance (north) and porous-stratum high-abundance (south) in terrigenous deposits (Jurassic) of the Siberian platform; 4 — medium and high pore-beds in loose Neogene-Quaternary deposits; 5 — fractured and fractured vein medium- and highly abundant in metamorphic and igneous rocks (Archean-Proterozoic) of mountain-folded areas; 6 — fractured medium-abundant in igneous rocks (Permian-Triassic) of the Siberian platform. Groundwater sources: 7 — hydrocarbonate and sulfate with mineralization up to 1 g/l; 8 — sulfate and sulfate-calcium with mineralization of 1–10 g/l; 9 — chloride and chloride-sodium with mineralization of 10–50 g/l and more; 10 — thermal; 11 — slightly hydrogen sulfide fresh; 12 — carbon dioxide. Source flow rate: 13–0.1–1 l/s; 14–1–10 l/s; 15–10–100 l/s; 16 — more than 100 l/s. 17 — areas of flooding and waterlogging

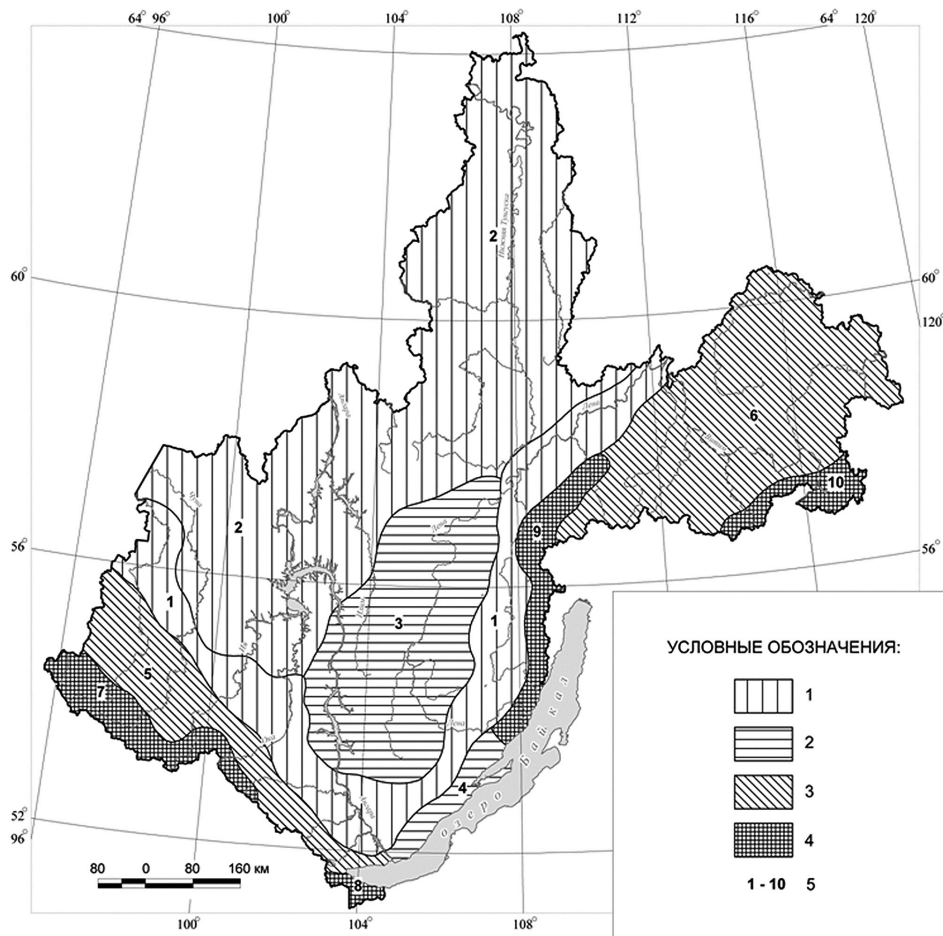


Рис. 4. Районирование Иркутской области по риску природопользования
 Риск природопользования: 1 — I класс (низкий); 2 — II класс (умеренный); 3 — III класс (высокий); 4 — IV класс (очень высокий). 5 — геоэкологические районы по номерам: 1 — Канско-Ленский; 2 — Ангаро-Тунгусский; 3 — Лено-Ангарский; 4 — Приморский; 5 — Предсаянский; 6 — Байкало-Патомский; 7 — Восточно-Саянский; 8 — Хамар-Дабанский; 9 — Северо-Байкальский; 10 — Забайкальский

Figure 4. Zoning of the Irkutsk region on the risk of environmental management

Environmental management risk: class 1 — I (low); 2 — II class (moderate); 3 — III class (high); 4 — IV class (very high). 5 — geoeological areas by numbers: 1 — Kansko-Lensky; 2 — Angaro-Tunguska; 3 — Leno-Angarsk; 4 — Primorsky; 5 — Presayan; 6 — Baikal-Patomsky; 7 — East Sayan; 8 — Hamar-Dabansky; 9 — North Baikal; 10 — Trans-Baikal

и взаимодействия, порождающие новые процессы, определяющие парагенетические связи, направленность и ритмичность развития [17].

Геоэкологические районы Иркутской области существенно дифференцированы как по набору (спектру), так и степени проявления ОГП. Возникает задача оценки их структуры, которая осуществляется в двух направлениях: 1) оценка спектра ОГП по геоэкологическим районам; 2) оценка взаимосвязей ОГП внутри и между районами.

Все ОГП Иркутской области разделены на три типа: 1) ведущие; 2) сопутствующие; 3) второстепенные. Под *ведущим ОГП* понимается такой процесс, который формирует основные морфологические черты района, имеет наибольшую интенсивность и представляет наибольший риск. Под *сопутствующим ОГП* понимается процесс, участвующий в формировании основных морфологических черт района, имеющий значительную интенсивность и представляющий потенциальный риск. Под *второстепенным ОГП* понимается процесс,

участвующий в формировании отдельных морфологических черт локальных регионов, на которых он имеет относительную интенсивность и представляет потенциальный риск. В разряд *другие* включены ОПП, представляющие потенциальную опасность на небольших участках и полигонах, где их интенсивность мало значима.

Для оценки спектров ОПП использован метод экспертно-статистических построений при балльных классификациях. Его применимость и эффективность при оценке риска обоснована во многих работах [8, 14, 22, 26]. Сложность управления риском природопользования заключается в тщательном анализе целей и задач хозяйственной деятельности в условиях действия ОПП, путей и средств их достижения, оценки влияния различных факторов на повышение эффективности

и качества управленческих решений. Это приводит к необходимости широкого применения экспертных оценок в процессе формирования и выбора таких решений. Экспертиза как способ получения информации всегда использовалась при выработке решений, однако научные исследования по ее рациональному проведению были начаты всего три десятилетия назад, и теперь экспертные оценки являются сформировавшимся научным методом анализа сложных, не формализуемых проблем [13]. Детально вопрос экспертных оценок при балльных классификациях рассмотрен в работах [11, 21] и основан, главным образом, на учете весовых коэффициентов, определяемых методом анализа иерархий [34].

Выявление отношений между геоэкологическими районами Иркутской области по ОПП и отношений

Таблица 4. Степень общности/разобщенности геоэкологических районов Иркутской области по спектру ОПП

Table 4. Degree of commonality/disconnection of geoeological regions of the Irkutsk region by the spectrum of hazardous geodynamic processes of the Irkutsk region

Районы	Канско-Ленский	Ангаро-Тунгусский	Лено-Ангарский	Приморский	Предсаянский	Байкало-Патомский	Восточно-Саянский	Хамар-Дабанский	Северо-Байкальский	Забайкальский
Канско-Ленский	1,000									
Ангаро-Тунгусский	0,125	1,000								
Лено-Ангарский	-0,263	-0,048	1,000							
Приморский	-0,200	-0,430	0,075	1,000						
Предсаянский	-0,331	-0,238	0,785	0,167	1,000					
Байкало-Патомский	-0,314	0,252	0,707	0,024	0,828	1,000				
Восточно-Саянский	-0,443	0,238	0,554	-0,145	0,728	0,912	1,000			
Хамар-Дабанский	-0,279	-0,112	0,380	-0,183	0,702	0,706	0,846	1,000		
Северо-Байкальский	-0,419	0,047	0,589	0,051	0,795	0,916	0,923	0,816	1,000	
Забайкальский	-0,439	0,091	0,529	0,020	0,787	0,923	0,953	0,840	0,971	1,000

Примечание: коэффициент корреляции $R > 0,9$ — степень общности/разобщенности очень высокая; $0,7-0,9$ — высокая; $0,4-0,7$ — средняя; $0,2-0,4$ — низкая; $< 0,2$ — отсутствует.

между ОГП внутри районов производилось в несколько этапов: 1) оценка связи районов по спектру (процентный вклад) ОГП; по доле (спектру) ведущих, сопутствующих и второстепенных процессов; по количеству этих процессов; 2) оценка связи районов по спектру ОГП с помощью полиномиальных зависимостей; 3) оценка распределения ОГП по районам с помощью полиномиальных зависимостей; 4) оценка роли процесса как ведущего в структуре ОГП; 5) распределение ОГП внутри геоэкологических районов для создания модели формирования и типа структуры ОГП.

Анализ связи геоэкологических районов по спектру ОГП показывает четкую зависимость между горными районами (Восточно-Саянский, Хамар-Дабанский, Северо-Байкальский и Забайкальский) с положительным коэффициентом корреляции > 0.9 . Особняком стоит Хамар-Дабанский район, коэффициенты связи которого с другими горными районами < 0.9 . Достаточно высокие коэффициенты корреляции с горными районами характерны для Байкало-Патомского района — > 0.7 . Предсаянский район имеет высокую степень общности со всеми горными районами, а также с Байкало-Патомским районом. Одновременно он определил хоть и низкую ($R > -0,2$), но устойчивую степень разобщенности с равнинными районами. У Приморского района нет статистически достоверной

общности с каким-либо другим районом. Однако по степени разобщенности он имеет устойчивую отрицательную связь с равнинными районами (Лено-Ангарским и Ангаро-Тунгусским). Это обстоятельство позволяет нам предположить определенную самобытность Приморского района, который нельзя однозначно относить к равнинным, предгорным или горным. Лено-Ангарский район имеет среднюю степень общности с горными районами (> 0.5) и высокую — с предгорными и низкогорными (> 0.7), что позволяет рассматривать его как район, тяготеющий к горам. Ангаро-Тунгусский район, также как и Приморский, не имеет статистически достоверной связи с другими районами; исключением является его высокая разобщенность с самим Приморским районом. Канско-Ленский район имеет высокую степень разобщенности с горными районами и среднюю степень разобщенности с предгорными и низкогорными районами; одновременно у него имеется хоть и статистически незначимая, но, тем не менее, определенная тенденция к общности с Ангаро-Тунгусским районом (табл. 4).

Взаимоотношения между ведущими, сопутствующими и второстепенными ОГП имеют большое значение при оценке характера их протекания и особенностей воздействия на хозяйственную инфраструктуру (табл. 5).

Таблица 5. Соотношение типов ОГП в геоэкологических районах Иркутской области по классам риска

Table 5. Correlation of types of hazardous geodynamic processes in geoecological areas of the Irkutsk region by risk classes

Опасные ОГП		Классы риска природопользования										Иркутская область в целом
		I		II		III		IV				
		Геоэкологические районы										
		Канско-Ленский	Ангаро-Тунгусский	Лено-Ангарский	Приморский	Предсаянский	Байкало-Патомский	Восточно-Саянский	Хамар-Дабанский	Северо-Байкальский	Забайкальский	
Ведущие	Кол-во	2	1	2	3	1	2	2	2	1	2	2
	Вклад в спектр, %	40	34	37	38	17	40	43	30	20	36	30
Сопутствующие	Кол-во	4	4	3	3	4	6	3	5	4	3	4
	Вклад в спектр, %	39	50	30	30	44	51	36	55	51	39	34
Второстепенные	Кол-во	8	7	8	8	7	4	5	6	7	5	8
	Вклад в спектр, %	21	16	33	32	39	9	21	15	29	25	36
Сумма ОГП		13	11	12	13	11	11	9	12	11	9	13

На базе этой таблицы выявлено соотношение между геоэкологическими районами по спектру ведущих, сопутствующих и второстепенных ОГП (табл. 6). Два условно равнинных района Канско-Ленский и Ангаро-Тунгусский показали высокую степень общности с коэффициентом корреляции 0,86. Примечательна и статистически высоко значима ($R > -0,9$) степень разобщенности Предсаянского района с другими средне- и низкоргорными районами — Приморским и Ангаро-Тунгусским. Степень разобщенности Лено-Ангарского и Северобайкальского районов также статистически высоко значима. Хотя эти районы территориально близки друг к другу, однако, структура ОГП указывает на различие их происхождения. Эти же выводы относятся и к зависимости Приморского

и Северобайкальского районов. Не совсем ясны отрицательные зависимости между Восточно-Саянским и Предсаянским районами. Однако это можно объяснить тем, что структура процессов в горных и равнинных районах более упорядочена, чем в предгорных, переходных районах (зонах). Это подтверждают и положительные, высокосзначимые отношения общности по данным показателям между равнинными и горными районами.

Анализ взаимоотношений между районами Иркутской области по количеству ведущих, сопутствующих и второстепенных ОГП показал (табл. 7), что все геоэкологические районы обладают статистически значимой величиной общности между собой ($R = 0,8-1,0$), что является отражением общей

Таблица 6. Степень общности/разобщенности геоэкологических районов по спектру ведущих, сопутствующих и второстепенных ОГП

Table 6. Degree of commonality/disconnection of geoeological regions by the spectrum of leading, accompanying and secondary hazardous geodynamic processes

Районы	Канско-Ленский	Ангаро-Тунгусский	Лено-Ангарский	Приморский	Предсаянский	Байкало-Патомский	Восточно-Саянский	Хамар-Дабанский	Северо-Байкальский	Забайкальский
Канско-Ленский	1,000									
Ангаро-Тунгусский	0,860	1,000								
Лено-Ангарский	0,129	-0,396	1,000							
Приморский	0,322	-0,207	0,980	1,000						
Предсаянский	-0,375	0,140	-0,964	-0,998	1,000					
Байкало-Патомский	0,955	0,973	-0,172	0,024	-0,093	1,000				
Восточно-Саянский	0,964	0,692	0,388	0,563	-0,617	0,841	1,000			
Хамар-Дабанский	-0,371	0,984	-0,552	-0,376	0,313	0,916	0,554	1,000		
Северо-Байкальский	0,190	0,665	-0,949	-0,869	0,833	0,473	-0,079	0,786	1,000	
Забайкальский	0,969	0,960	-0,122	0,077	-0,143	0,999	0,867	0,895	0,426	1,000

Примечание: коэффициент корреляции $R > 0,9$ — степень общности/разобщенности очень высокая; $0,8-0,9$ — высокая; $0,6-0,8$ — средняя; $0,4-0,6$ — низкая; $< 0,4$ — отсутствует.

Таблица 7. Степень общности/разобщенности геоэкологических районов по количеству ведущих, сопутствующих и второстепенных ОГП

Table 7. Degree of commonality/disconnection of geoecological regions by the number of leading, accompanying and secondary hazardous geodynamic processes

Районы	Канско-Ленский	Ангаро-Тунгусский	Лено-Ангарский	Приморский	Предсаянский	Байкало-Патомский	Восточно-Саянский	Хамар-Дабанский	Северо-Байкальский	Забайкальский
Канско-Ленский	1,000									
Ангаро-Тунгусский	0,982	1,000								
Лено-Ангарский	0,984	0,933	1,000							
Приморский	0,945	0,866	0,988	1,000						
Предсаянский	0,982	1,000	0,933	0,866	1,000					
Байкало-Патомский	0,327	0,500	0,156	0,000	0,500	1,000				
Восточно-Саянский	1,000	0,982	0,984	0,305	0,982	0,327	1,000			
Хамар-Дабанский	0,891	0,961	0,797	0,632	0,961	0,721	0,891	1,000		
Северо-Байкальский	0,982	1,000	0,933	0,866	1,000	0,500	0,982	0,961	1,000	
Забайкальский	1,000	0,982	0,984	0,305	0,982	0,327	1,000	0,891	0,982	1,000

Примечание: коэффициент корреляции $R > 0,9$ — степень общности/разобщенности ОГП очень высокая; $0,8-0,9$ — высокая; $0,6-0,8$ — средняя; $0,4-0,6$ — низкая; $< 0,4$ — отсутствует.

тенденции к связи различных морфометрических единиц по роли ОГП в их структуре. Выделяется в этом смысле Байкало-Патомский район, который обладает лишь средней степенью общности с Хамар-Дабанским районом и низкой степенью общности с Предсаянским районом. Степень взаимосвязи его с другими районами статистически неразличима. Хамар-Дабанский район имеет среднюю степень общности с Лено-Ангарским, Приморским и Байкало-Патомским районами.

Далее мы проверили намеченные в вышеприведенных таблицах тенденции к общности и разобщенности геоэкологических районов Иркутской области с помощью полиномиальных трендов. Использование

полиномиального подхода к анализу открытых динамических систем, какими являются спектры ОГП и геоэкологические районы Иркутской области, специально обосновано в работах [10, 30, 31]. Для полиномиального анализа первоначально были построены диаграммы распределения коэффициента корреляции в уравнениях регрессии между геоэкологическими районами по спектру ОГП. Затем были построены полиномиальные тренды распределения этих коэффициентов. При этом из расчета полиномиальных трендов исключены автокорреляционные коэффициенты для уменьшения уровня статистического «шума».

Показатели степени достоверности аппроксимации для рассчитанных трендов сведены в табл. 8.

Таблица 8. Степень (коэффициенты) достоверности аппроксимации для связей геоэкологических районов Иркутской области между собой по доле (спектру) ОГП

Table 8. Degree (coefficients) of approximation reliability for connections of geoeological regions of the Irkutsk region with each other according to the share (spectrum) of dangerous geodynamic processes

Геоэкологический район	Коэффициент достоверности аппроксимации в полиномиальном тренде R2	Степень полинома
Канско-Ленский	0,9839	6
Ангаро-Тунгусский	0,9847	6
Лено-Ангарский	0,5238	6
Приморский	0,8112	6
Предсаянский	0,7528	6
Байкало-Патомский	0,8006	6
Восточно-Саянский	0,8618	6
Хамар-Дабанский	0,8444	6
Северо-Байкальский	0,8703	6
Забайкальский	0,8909	6

Полиномиальный тренд для Канско-Ленского геоэкологического района фиксирует только один положительный максимум связи (общности) с Ангаро-Тунгусским районом; для других районов отмечается тенденция к обратной связи (разобщенности).

Полиномиальный тренд для Ангаро-Тунгусского геоэкологического района формирует два максимума, из которых только один имеет статистическую достоверность — это положительная связь с Канско-Ленским районом. Второй максимум указывает на тенденцию к связи с некоторыми горными районами (Байкало-Патомским, Восточно-Саянским и Хамар-Дабанским), однако сами коэффициенты корреляции в этом случае статистически неразличимы. Однако статистически различим минимум тренда, отражающий отрицательную связь (разобщенность) Ангаро-Тунгусского и Приморского районов.

Полиномиальный тренд для Лено-Ангарского района проявляет только один статистически и логически объяснимый максимум связи с Предсаянским и Байкало-Патомским районами, поскольку все они являются своего рода переходными геоморфологическими зонами. Тенденция к положительной связи Лено-Ангарского района с горными районами отражает некоторую специфику структуры опасных геолого-геоморфологических процессов, которая развивается отчасти по сценарию горных районов.

В полиномиальном тренде Приморского геоэкологического района статистически значимыми являются только минимумы: первый отражает отрицательную связь с равнинными районами,

второй — разобщенность с высокогорными районами. Таким образом, Приморский геоэкологический район следует отнести скорее к переходным зонам, что выражается хоть и в статистически мало значимой, но логически хорошо объяснимой положительной связи его с Предсаянским геоэкологическим районом.

В доказательство этого, полиномиальный тренд Предсаянского геоэкологического района однозначно фиксирует его как переходную зону от равнинных районов к горным, на что указывают два статистически хорошо различимых максимума.

Полиномиальный тренд Байкало-Патомского геоэкологического района указывает на его устойчивую тенденцию к общности с Лено-Ангарским районом и всеми высокогорными районами, что также говорит о нем, как о некоторой переходной зоне между равнинами и высокогорьями, но с большей общностью с горами.

Полиномиальные тренды высокогорных районов (Восточно-Саянского, Хамар-Дабанского, Северо-Байкальского, Забайкальского) практически аналогичны с небольшими вариациями. Для них характерна статистически значимая разобщенность с равнинными районами, средняя степень общности с переходными зонами и высокая степень общности между собой (коэффициенты достоверности аппроксимации варьируют от 0,84 до 0,89). Только Хамар-Дабанский район показал не очень высокие степени общности с другими высокогорными районами, что говорит о своеобразии его структуры.

Проведенный анализ подтверждает репрезентативность оценки геоэкологических районов Иркутской области по ОГП и классам риска природопользования. Выделены четыре группы районов: I — с равнинно-холмисто-грядовым рельефом; II — с низко- и среднегорным и плоскогорным рельефом; III — со среднегорным и плоско-горно-нагорным рельефом; IV — с высокогорным рельефом. Выстроив районы

в указанном порядке, получаем гипотетический геоморфологический профиль: от условно равнинных районов к условно горным. Для каждого из ОГП выявлен характер полиномиального распределения на этом профиле и выявлена их иерархия (табл. 9).

При анализе структуры ОГП в геоэкологических районах Иркутской области важна оценка не только их спектра, но и роли в этой структуре, т.е. упорядоченное

Таблица 9. Иерархия ОГП и коэффициенты достоверности аппроксимации для полиномиального распределения их спектра вдоль гипотетического геоморфологического профиля от равнинных к горным геоэкологическим районам Иркутской области

Table 9. Hierarchy of dangerous geodynamic processes and approximation reliability factors for polynomial distribution of their spectrum along hypothetical geomorphological profile from flat to mountain geoeological regions of Irkutsk region

Класс риска ОГП	Группа ОГП	Единичные ОГП	Коэффициент достоверности аппроксимации R ²	Степень полинома
Сейсмогенный	Быстрая	Землетрясения. Проявляют устойчивую тенденцию к возрастанию доли своего участия в спектре ОГП по мере продвижения от равнинных районов к горным.	0,37	2
	Медленная	Тектонический крип. Определяет устойчивую зависимость к возрастанию доли своего участия в спектре ОГП по мере продвижения от равнинных районов к горным.	0,63	2
Криогенный	Мерзлотная	Термокарст, пучение грунтов, нивация, термоэрозия и др. Эти процессы определили два максимума в полиноме: 1) для равнинных районов на севере Иркутской области; 2) для высокогорных районов. В предгорных и низкогорных районах эти ОГП менее развиты.	0,10	4
Гравитационно-склоновый	Гравитационная	Обвалы, осыпи, лавины. Их полином практически линейный с высоким коэффициентом достоверности аппроксимации отражает увеличение доли данных ОГП по направлению от равнин к горам.	0,82	2
Склоновый гидрогенного оползания и течения	Блокового сползания	Оползни, осывы. Полиномиальное распределение ОГП на гипотетическом геоморфологическом профиле не показало какой-либо статистически достоверной связи или хотя бы тенденции к ней. Оползни и осывы практически в равной степени развиты как на равнинах, так и в горах, с той лишь особенностью, что приурочены к районам широкого распространения осадочных горных пород.	0,26	4
Склоновый водно-эрозионный	Линейного размыва	Овражная эрозия. Полиномиальное распределение показывает устойчивую тенденцию, даже зависимость к снижению ее процентной доли в спектре ОГП по направлению от равнинных районов к горным.	0,69	3
Озерный	Абразионная	Абразия. График полиномиального распределения фиксирует максимумы в районах, тяготеющих к оз. Байкал и Ангарскому каскаду водохранилищ, вдоль берегов, которых развита абразионная деятельность.	0,46	4
Флювиальный	Эрозии рек и временных водотоков	Глубинная и боковая эрозия. Полином фиксирует тенденцию к нарастанию их доли в общем спектре ОГП по направлению от равнин к горам.	0,62	2
	Аккумуляции рек и временных водотоков	Сели. Полином аналогичен предыдущему с меньшим коэффициентом достоверности аппроксимации.	0,58	2
		Пойменная, старичная и дельтовая седиментация. Полином фиксирует два максимума: больший – для равнин, меньший – для гор. В первом седиментация развита в Канско-Ленском районе, во втором – в горных районах, обрамляющих прогибающиеся внутригорные котловины Байкальской рифтовой зоны.	0,98	4

Окончание табл. 9

Класс риска ОГП	Группа ОГП	Единичные ОГП	Коэффициент достоверности аппроксимации R ²	Степень полинома
Подземно-водный	Денудации растворимых пород	Карст. Полиномиальный тренд указывает на устойчивую тенденцию к возрастанию роли ОГП в предгорных, низко- и среднегорных и снижению в равнинных и высокогорных районах.	0,69	4
	Денудации нерастворимых пород	Суффозия. Полиномиальный тренд аналогичен предыдущему, но коэффициент достоверности аппроксимации ниже, что говорит о меньшей упорядоченности в распределении ОГП на профиле.	0,39	4
Техногенный	Техномобилизационная	Подтопление. Полиномиальный тренд определил четкую тенденцию к снижению его процентной доли по направлению от равнин к горам. Это связано с тем, что основные техногенные объекты расположены в равнинных геоэкологических районах.	0,79	4

подразделение по категориям: ведущий, сопутствующий, второстепенный. Для этого построены диаграммы распределения ОГП вдоль гипотетического геоморфологического профиля «равнины — горы» (табл. 10).

Оценка взаимосвязи между геоэкологическими районами Иркутской области по структуре ОГП,

а также взаимосвязи между ОГП вдоль гипотетического геоморфологического профиля «равнины — горы» позволила выстроить иерархический ряд как геоэкологических районов по их структурно-геоморфологической позиции, так и ОГП по генезису или источникам поступления энергии. Установленные закономерности позволяют перейти к анализу

Таблица 10. Коэффициенты достоверности аппроксимации для полиномиального распределения роли (значимости) ОГП вдоль гипотетического геоморфологического профиля от равнинных к горным геоэкологическим районам Иркутской области

Table 10. Approximation reliability factors for polynomial distribution of the role (significance) of dangerous geodynamic processes along the hypothetical geomorphological profile from flat to mountainous geoecological regions of the Irkutsk region

Класс риска ОГП	Группа ОГП	ОГП	Коэффициент достоверности аппроксимации R ²	Степень полинома
Сейсмогенный	Быстрая	Землетрясения	0,7949	5
	Медленная	Тектонический крип	0,4841	3
Криогенный	Мерзлотная	Термокарст, пучение грунтов, нивация, термоэрозия	Статистически недостоверен	-
Гравитационно-склоновый	Собственно гравитационная	Обвалы, осыпи, лавины	0,6045	5
Склоновый гидрогенного оползания и течения	Блокового сползания	Оползни, осывы	0,5159	5
Склоновый водно-эрозионный	Линейного размыва	Овражная эрозия	0,7001	3
Озерный	Абразионная	Абразия	Логически недостоверен	-
Флювиальный	Эрозии рек и временных водотоков	Глубинная и боковая эрозия	0,8479	3
		Сели	0,5430	4
	Аккумуляции рек и временных водотоков	Пойменная, старичная и дельтовая седиментация	0,8474	4
Подземноводный	Денудации растворимых пород	Карст	0,7469	3
	Денудации нерастворимых пород	Суффозия	0,4296	4
Техногенный	Техномобилизационная	Подтопление	0,9280	2

структуры ОГП внутри геоэкологических районов. На основе иерархического отношения ОГП по источникам энергии необходимо выявить характер их распределения внутри геоэкологических районов для оценки типов структур ОГП, модели формирования этих структур и синергетического баланса внутри модели.

3. Обсуждение результатов исследований

В геоэкологической практике в последние годы обычно используют стохастические методы моделирования риска. Для инструментов ОРП и РСБ применимы основные положения теории синергетики природных процессов [3, 20, 38, 40].

В 70-х г.г. XX в. И. Р. Пригожин установил что: 1) механизмом связи подсистем в систему является поле или пространственно-временная неравномерность распределения фактора, приведшего к формированию новой структуры — импульс самоорганизации; 2) механизмом взаимодействия системы со средой является наблюдаемая в природных процессах вспышка энергии, приток отрицательной энтропии и последующая ее растрата — диссипация. Структуры, формирующиеся вследствие притока отрицательной энтропии в неравновесной области и характеризующиеся согласованным поведением подсистем в системе, было предложено называть диссипативными [32].

Для изучения ОГП и геоэкологических районов Иркутской области как сложных нелинейных диссипативных самоорганизующихся систем важны следующие составляющие методологического арсенала синергетики: 1) теория катастроф; 2) теория динамических систем; 3) закономерности перехода от регулярных процессов к хаотическим; 4) странные аттракторы; 5) фрактальная геометрия; 6) самоорганизация сложных систем, которая определяется поведением небольшого числа параметров, называемых ведущими модами или параметрами порядка; 7) эргодическая теория; 8) неравновесная термодинамика; 9) теория нелинейных волновых процессов, автоволн и автоструктур; 10) диссипативные структуры; 11) концепции вихре-волнового и структурно-волнового резонанса как механизма самоорганизации; 12) самоорганизованная критичность.

Геоморфосистемы обладают всеми основными признаками и свойствами диссипативных синергетических структур. Равновесным состоянием геоморфосистемы является гомеостаз — высокая энтропия. Поток энергии, снижающим энтропию (неравновесным фактором-полем), являются эндогенные и экзогенные агенты рельефообразования. Они постоянно формируют новые связи подсистем, новую структуру. Поэтому основу самоорганизации в геоморфосистемах составляет согласованное и упорядоченное действие агентов рельефообразования, которое и выражается через формирование особых типов структур ОГП. Диссипативные структуры в геоморфосистемах порождаются однонаправленными процессами (потоками энергии), необратимыми во времени.

С позиций синергетики универсальность диссипативных механизмов заключается в том, что потоки энергии и энтропии реализуются в виде дискретных переходов от неравновесного состояния к равновесному и обратно. Так, приток энергии к геоморфосистеме (оростаз — оростатическое начальное состояние) уже несет в себе некоторую упорядоченность (структуру), которая зависит от количества источников и объема поступающей энергии. Принятие геоморфосистемой этой энергии и ее последующая трансформация (метастаз — метастатическое переходное состояние) всегда осуществляется по наибольшему числу каналов связи. Это формирует новую структуру, которая ведет себя всегда иначе, чем изначальная, что выражается в усилении неравновесности геоморфосистемы. Далее происходит диссипация трансформированной энергии и вновь формируется определенная структура, которая по законам синергетики стремится к формированию наименьшего числа каналов диссипации энергии, что упорядочивает ее и в целом повышает энтропию геоморфосистемы (гомеостаз — гомеостатическое финальное состояние).

Эти приток, трансформация и диссипация энергии геоморфосистем носят не поступательный или вращательный, а колебательный характер. Колебательный характер синергетического баланса не представляет собой кривую скачка с дальнейшим постепенным затуханием амплитуды колебаний (аналогичных автомодельных состояний) после сообщения геоморфосистеме энергетического импульса (рис. 5). Наоборот, первоначальный импульс приводит к нарастанию амплитуды колебаний и увеличению неравновесности

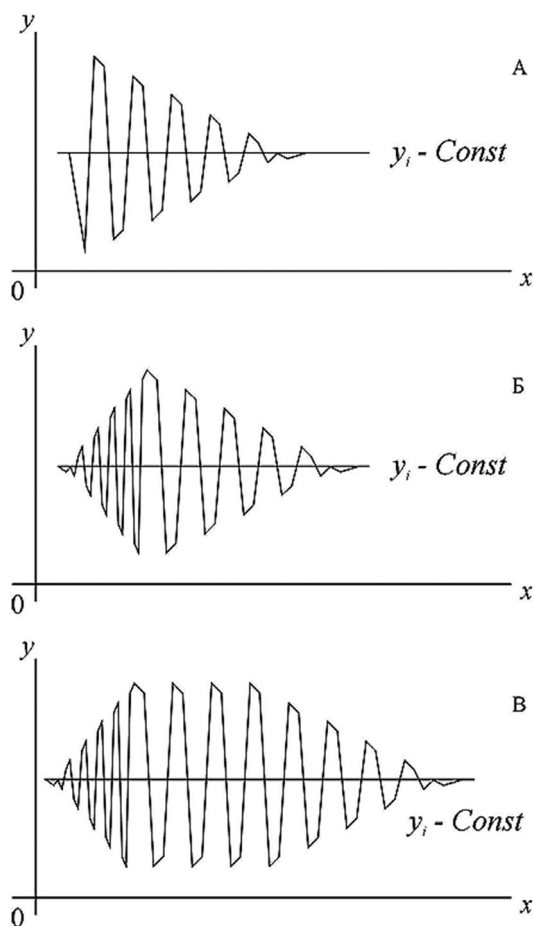


Рис. 5. Элементарные модели синергетического баланса в геоморфосистемах. А — с первоначальным скачкообразным притоком энергии и последующей ее диссипацией через автомодельные аналогичные состояния системы, Б — с постепенным нарастанием притока энергии и последующей ее диссипацией через автомодельные аналогичные состояния системы, В — с постепенным нарастанием притока энергии, последующим ее дополнительным притоком и сохранением автомодельных гомологичных состояний и дальнейшей диссипацией через автомодельные аналогичные состояния геоморфосистемы

Figure 5. Elementary models of synergistic balance in geomorphosystems. A — with the initial abrupt influx of energy and its subsequent dissipation through automodel analogous states of the system, B — with a gradual increase in the influx of energy and its subsequent dissipation through automodel analogous states of the system, B — with a gradual increase in the influx of energy, its subsequent additional influx and preservation of automodel homologous states and further dissipation through automodel analogous states of the geomorphosystem

системы. При этом если синергетический фактор-поле достаточно стабильный и долгоживущий, то после нарастания амплитуды наступает период автомодельных гомологичных (тождественных) состояний геоморфосистемы. А как только фактор-поле прекращает сообщать ей энергетические импульсы, то после некоторого критического состояния происходит затухание амплитуды колебаний (аналогичных автомодельных состояний), которое повышает энтропию и приводит геоморфосистему к гомеостазу.

Теперь можно создать эвристическую модель формирования типов структур и синергетического баланса ОГП в геоэкологических районах Иркутской области как геоморфосистемах (рис. 6).

Принципиальные положения и граничные условия модели ОГП заключаются в следующем: 1) приток энергии к активно развивающимся геоморфосистемам осуществляется из двух источников: а) эндогенная энергия — горообразовательный процесс или восходящий литодинамический поток; б) экзогенная энергия — гороразрушительный процесс или нисходящий литодинамический поток (по Н. А. Флоренсову [37]). Эти потоки энергии несут с собой начальную структуру ОГП, которая для сохранения синергетического баланса должна описываться бимодальным (или близким к нему) распределением кривой ОГП. В результате притока энергии формируются оростатические геоморфосистемы с инициальной структурой ОГП и аккумуляцией энергии; 2) нарастает амплитуда автомодельных колебаний геоморфосистемы, энергия распределяется по наибольшему из возможного числа каналов связи, происходит ее преобразование или трансформация. Такие потоки энергии в неравновесной области описываются полимодальным распределением кривой ОГП. В результате формируются метастатические геоморфосистемы с транзакционной структурой ОГП и трансформацией энергии; 3) нарастает энтропия геоморфосистемы, происходит максимально возможное упорядочивание потока энергии (минимизация числа каналов связи с внешней средой) и последующая ее диссипация. Потоки энергии такого рода описываются уномодальным (или близким к нему) распределением кривой ОГП. В результате формируются гомеостатические геоморфосистемы с новой финальной структурой ОГП и диссипацией энергии; 4) формируются три зоны: а) притока энергии — оростатическое состояние геоморфосистем;

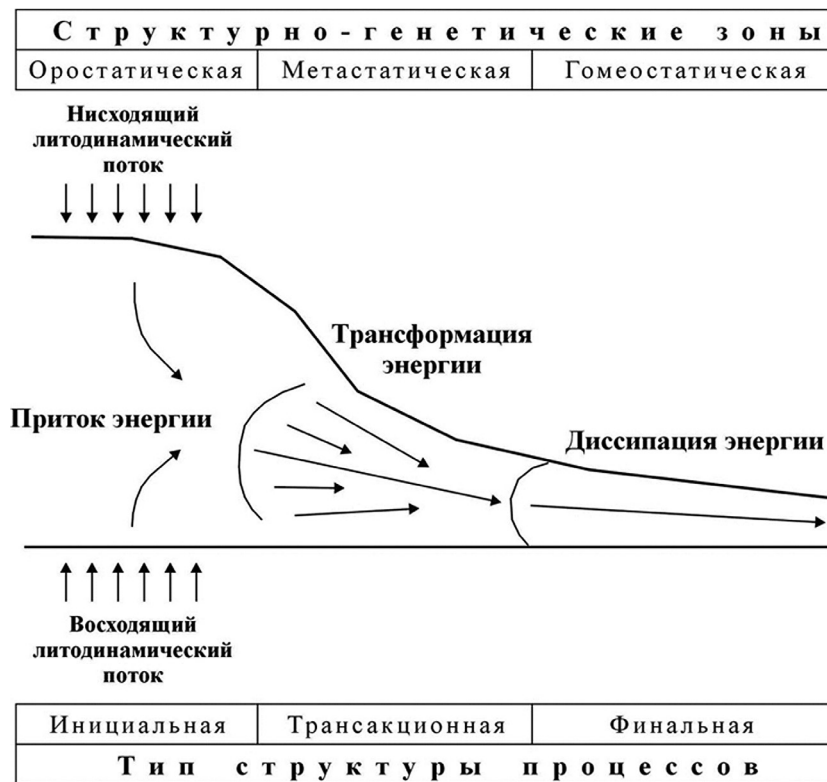


Рис. 6. Синергетическая модель формирования типов структур ОГП в геоэкологических районах Иркутской области

Figure 6. Synergetic model of formation of types of structures of dangerous geodynamic processes in geoecological areas of the Irkutsk region

б) трансформации энергии — метастатическое состояние геоморфосистем; в) диссипации энергии — гомеостатическое состояние геоморфосистем. Это приводит к формированию 3 типов структур ОГП: инициальной, трансакционной и финальной.

Посмотрим, насколько предложенная эвристическая модель подтверждается реальными данными по структуре ОГП. Для этого построены графики модального распределения их спектра для каждого

геоэкологического района, расположенные последовательно по источникам поступления энергии. В результате получаем следующую картину типизации геоэкологических районов Иркутской области по характеру модального распределения ОГП (табл. 11).

Теперь можно классифицировать геоэкологические районы Иркутской области по типу структур ОГП, синергетическому балансу и структурно-генетической позиции геоморфосистем (табл. 12).

Таблица 11. Характер модального распределения спектра ОГП в геоэкологических районах Иркутской области

Table 11. Nature of modal spectrum distribution to hazardous geodynamic processes in geoecological regions of Irkutsk region

Бимодальное	Переходное от бимодального к полимодальному	Полимодальное	Уномодальное
Восточно-Саянский, Хамар-Дабанский, Северо-Байкальский, Забайкальский	Лено-Ангарский, Байкало-Патомский	Канско-Ленский, Приморский, Предсаянский	Ангаро-Тунгусский

Таблица 12. Синергетическая классификация геоэкологических районов Иркутской области

Table 12. Synergistic classification of geoecological areas of the Irkutsk region

Геоэкологические районы	Распределение спектра ОГП	Синергетический баланс	Структурно-генетическая позиция (зона)	Тип структуры ОГП
Восточно-Саянский, Хамар-Дабанский, Северо-Байкальский, Забайкальский	Бимодальное	Приток энергии	Оростатическая	Инициальный
Лено-Ангарский, Байкало-Патомский	Переходное от бимодального к полимодальному	Переход от притока к трансформации энергии	Переход от оростатической к метастатической	Переходный от инициального к транзакционному
Канско-Ленский, Приморский, Предсаянский	Полимодальное	Трансформация энергии	Метастатическая	Транзакционный
Ангаро-Тунгусский	Уномодальное	Диссипация энергии	Гомеостатическая	Финальный

Заключение

В последние годы в мире проводится активная работа по обеспечению доступности информации о стихийных бедствиях и природных катастрофах не только для узкого круга специалистов, но и для широкой общественности. Современные спутниковые сети с быстрыми циклами отработки данных позволяют получать изображения районов, подвергшихся воздействию ОПП и СБ в режиме, близком к реальному времени. Общедоступные многоспектральные наборы данных, например, такие как Landsat, Sentinel-2, в этом смысле особенно полезны при анализе пространственного распространения ОПП. Однако каталоги таких данных имеют большой размер и требуют интенсивной обработки специально обученными аналитиками на мощных компьютерах. Тем не менее, сегодня уже есть примеры программных продуктов, доступных простым пользователям. Например, HazMapper — приложение для картирования ОПП с открытым доступом, разработанное в компании Google Earth Engine, которое дает возможность получать информацию на основе карт и ГИС-наборов данных без затратных по времени и средствам ресурсов, необходимых для традиционного анализа. HazMapper обеспечивает быстрый анализ и визуализацию как недавних, так и исторических ОПП и СБ. В нее включены тематические исследования для выявления разных видов ОПП: ураганы, сели, наводнения, оползни и др. HazMapper предназначен для использования учеными, менеджерами по ЧС, лицами, принимающими решения в области безопасности [47].

На этапах реагирования на СБ и восстановления разрушенной инфраструктуры заинтересованные стороны, включая государственные учреждения, собирают информацию о последствиях катастрофы для оказания помощи и распределения ресурсов. Но данные об ущербе, собранные с помощью полевых исследований и спутниковых изображений, часто недоступны сразу после СБ, в то время как оперативная информация имеет решающее значение для принятия срочных управленческих решений. Сегодня структуры управления территориями обращаются к социальным сетям для получения ситуационной информации об ущербе от СБ в режиме реального времени. Однако в этом случае возникают трудности для извлечения полезной информации из огромного числа зашумленных данных.

В результате развития ОПП безопасность населения, хозяйства и территорий Иркутской области сегодня находятся под угрозой. Обусловленные ими СБ не только разрушают производственные объекты, ведут к травматизму и гибели людей, прерывают производительные циклы на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях, но и создают ситуации эмоциональной напряженности и паники среди населения, неуверенности предпринимателей в эффективности инвестиций и капитальных вложений, и, в конечном счете, снижают уровень национальной безопасности РФ. Поэтому в Администрации и Правительстве Иркутской области, Главном управлении МЧС России по Иркутской области, ведомственных учреждениях и организациях, бизнес-структурах,

общественных организациях ведется большая работа по обеспечению силами и средствами для ликвидации ЧС природного и природно-техногенного характера. Сегодня этот процесс находится на достаточно высоком уровне, а меры борьбы с СБ достаточно эффективны. Жилой сектор, общественные и производственные здания, сооружения и конструкции, коммуникации выдерживают нагрузки, что говорит о высоком качестве строительства и определенной надежности производственно-профилактических мероприятий на объектах.

Степень риска хозяйственной деятельности почти всегда оценивается апостериори, т.е. величиной понесенного материального и морального ущерба. Но стохастическая природа риска и ОПП заставляет использовать вероятностные методы для оценки уязвимости населения, экономики и территорий к СБ вместо широко распространенного прямого расчета по величине ущерба, посредством которого не может быть осуществлен достоверный прогноз. Поэтому особенно актуальными сегодня становятся априорные оценки риска, которые помогали бы формировать систему превентивных мероприятий еще до того как СБ произошло. Инструменты ОРП и СРБ восполняют этот пробел.

Однако даже они не лишены неопределенностей, например, неопределенность входной информации, алгоритма расчета из-за неизбежного упрощения реальности, границ воздействия негативных факторов, субъективность принятия решения управляющим лицом, получившим исходную информацию, преднамеренное или случайное ее искажение и т.д. Наличие неопределенности обуславливает исключительно вероятностный характер всех оценок ОПП. Именно в такой ситуации и возникает риск, которым для нормального функционирования производства необходимо управлять. Это обеспечит целенаправленный процесс воздействия на риск-ситуацию, разработку мер правового, организационно-экономического и технического характера, направленных на минимизацию угрозы и ослабление последствий потенциальной катастрофы. Тогда риск будет приемлемым, а характеризующие его величины — вероятность неблагоприятных ситуаций и ожидаемые негативные последствия — незначительны. Ради получаемой выгоды в виде материальных и социальных благ человек и общество в целом готовы им пренебречь.

В кризисных ситуациях, к которым относятся СБ, жизненно важные функции общества следует восстановить как можно быстрее. Но организации и люди в таких непростых условиях имеют дело с событиями, которые по своей природе изначально непредсказуемы до того, как они произойдут. Инструменты ОРП и СРБ учитывают это, т.е. кумулятивные и каскадные эффекты, триггерные механизмы, неопределенность условий, касающихся технических, организационных, экономических и человеческих факторов, интегрируют временные и пространственные аспекты. Они находятся в русле современных тенденций использования стандартизированных сетевых инфраструктур с применением конвергентной интеграции систем. Эта интеграция объединяет интеллектуальные устройства и сам ИИ, которые функционируют как локальные информационные системы реального времени, и предполагает распределенную обработку и хранение данных на основе взаимодействия и объединения корпоративных сетевых сред различных владельцев.

Конвергентная интеграция сетевых инфраструктур и корпоративных сетевых сред позволяет осуществить превращение традиционных линейно-иерархических цепей управления риском в самоорганизующиеся. При этом организационные агенты — администраторы и менеджеры по управлению риском — свободно общаются между собой в рамках постоянных или временных кластеров, выполняя самооптимизацию, обеспечивая недостижимую ранее надежность, устойчивость и восстанавливаемость управления риском. На этой основе создается возможность реализации автоматизированного мониторинга и контроля за ОПП и СБ. Задаются базовые характеристики системно-динамического анализа электронного контента управления риском при поддержании режимов самонастраивающейся антикризисной интеграции, адаптированной к быстро возникающим и развивающимся ОПП и ЧС известного, предсказуемого и неизвестного характера.

Модели ОПП, такие как представлена в данной статье, имеют большое значение для всех этапов оценки риска и управления СБ. Но неопределенности, присущие этим моделям, негативно отражаются на связи исследователей, которые разрабатывают модели, со структурами управления риском. Отсутствие такой связи может привести к еще большей

неопределенности в принятии решений. Для ее преодоления исследователям необходимы: 1) четкая типология неопределенностей; 2) эффективное взаимодействие с пользователями и структурами управления риском; 3) управление ансамблями, уверенность, консенсус, преодоление предвзятости и разногласий; 4) методы передачи конкретных неопределенностей (например, карты, графики) и время; 5) оценки альтернативных подходов. Ученые должны сначала понять потребности лиц, принимающих решения в области управления риском, а затем сосредоточить усилия на выявлении неопределенностей, связанных с этим решением. Разработка совместно используемой схемы управления эпистемологическими взглядами обеих сторон учитывает различные точки зрения, которые лежат в основе предположений модели и суждений, к которым она апеллирует, что повышает устойчивость к неопределенности. Это жизненно важно, так как неопределенности в будущем будут только возрастать в связи с увеличением сложности моделей ОПП и СБ.

Список источников [References]

- Агатова А. Р. Крупномасштабное картографирование рельефа горных стран (на примере Алтая) // Геоморфология. 2003. № 2. С. 48–60 [Agatova A. R. Large-scale geomorphological mapping of mountain regions (the Altai as an example) // Geomorfologiya. 2003;(2):48–60. (In Russ.)]
- Айзман Р. И. Опасные ситуации природного характера и защита от них. М.: Академия, 2014. 680 с. [Aizman R. I. Dangerous situations of a natural nature and protection against them. M.: Academy, 2014. 680 p. (In Russ.)]
- Баранцев Р. Г. Синергетика в современном естествознании. М.: Едиториал УРСС, 2003. 144 с. [Barantsev R. G. Synergy in modern natural science. M.: URSS Editorial, 2003. 144 p. (In Russ.)]
- Баринов А. В., Седнев В. А., Шевчук А. Б. и др. Опасные природные процессы. М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. 334 с. [Barinov A. V., Sednev V. A., Shevchuk A. B. et al. Dangerous natural processes. M.: Academy of GPS EMERCOM of Russia, 2011. 334 p. (In Russ.)]
- Бердникова Л. Ф. Анализ предпринимательских рисков в системе экономической безопасности организации // Карельский научный журнал. 2017. Т. 6. № 2. С. 47–50 [Berdnikova L. F. Analysis of business risks in the system of economic security of the organization // Karelian Scientific Journal. 2017;6(2):47–50. (In Russ.)]
- Бланк И. А. Управление финансовыми рисками. М.: НИКА-ЦЕНТР, 2013. 214 с. [Blank I. A. Financial Risk Management. M.: NIKA-CENTER, 2013. 214 p. (In Russ.)]
- Бородушко И. В., Максимов Ю. А. Экономические риски в современном обществе: понятие, виды, методы оценки // Петербургский экономический журнал. 2017. № 3. С. 24–32 [Borodushko I. V., Maximov Yu. A. Economical risks in modern society: concept, types, assessment methods // Petersburg Economic Journal. 2017;(3):24–32. (In Russ.)]
- Вальдман Н. А. О применении экспертно-статистического метода при оценке риска морских работ // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономики. 2011. № 2. С. 40–42 [Valdman N. A. On the use of expert and statistics method in risk evaluation of marine works // Transport of the Russian Federation. 2011;(2):40–42. (In Russ.)]
- Выркин В. Б. Классификация экзогенных процессов рельефообразования суши // География и природные ресурсы. 1986. № 4. С. 20–24 [Vyrkin V. B. Classification of exogenous processes of land relief formation // Geografia i Prirodnye Resursy. 1986;(4):20–24. (In Russ.)]
- Гайворонский С. А., Езангина Т. А., Хожаев И. В., Несенчук А. А. Определение вершинных полиномов для анализа степени робастной устойчивости интервальной системы // Мехатроника, автоматизация, управление, 2019. Т. 20. № 5. С. 266–273. <https://doi.org/10.17587/mau.20.266-273> [Gayvoronskiy S. A., Ezangina T. A., Khozhaev I. V., Nesenchuk A. A. Analyzing robust stability of an interval control system on the basis of vertex polynomials // Mechatronics, Automation, Control. 2019;20(5):266–273. (In Russ.). <https://doi.org/10.17587/mau.20.266-273>]
- Гладько А. В., Губайдуллин М. Г. Методика оценки экологического риска при освоении нефтегазовых месторождений прибрежно-шельфовой зоны Печорского моря // Проблемы региональной экологии. 2008. № 5. С. 196–201 [Glad'ko A. V., Gubajdullin M. G. Techniques of the assessment of ecological risk at gas-and oil field development in shelf zone of Pechora sea // Regional Environmental Issues. 2008;(8):196–201. (In Russ.)]
- Горелов С. К., Граве М. К., Козлова А. Е. Карта современных геоморфологических процессов СССР // Геоморфология. 1990. № 1. С. 4–14 [Gorelov S. K., Grave M. K., Kozlova A. E. Map of modern geomorphological processes of the USSR // Geomorfologiya. 1990;(1):4–14. (In Russ.)]
- Дорофеев А. А., Покровская И. В., Чернявский А. Л. Экспертные методы анализа и совершенствования

- систем управления // Автоматика и телемеханика. 2004. № 10. С. 172–188 [Dorofeyuk A. A., Pokrovskaya I. V., Chernyavkii A. L. Expert methods to analyze and perfect management systems // Automation and Remote Control. 2004;65(10):1675–1688]
14. Елохин А.Н., Заикин И. А., Федькушов И. Ю. и др. Применение методов экспертных оценок для расчета риска // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Под ред. Н. И. Архиповой. Т. 1. М.: ИРИС, 2002. С. 128–136 [Elokhin A. N., Zaikin I. A., Fedkushov I. Yu. et al. Application of expert assessment methods for risk calculation // Problems of security management of complex systems. Ed. N. I. Arkhipova. T.1. M.: IRIS, 2002. P. 128–136. (In Russ.)]
 15. Иванов В. М. Опасные ситуации природного характера и защита от них: учебное пособие / Ставрополь: Изд-во Северо-Кавказского федерального университета, 2016. 170 с. [Ivanov V.M. Dangerous situations of a natural nature and protection against them: textbook / Stavropol: Publishing House of the North Caucasus Federal University, 2016. 170 p. (In Russ.)]
 16. Ивановский Л. Н. Вопросы развития ведущих экзогенных процессов рельефообразования // География и природные ресурсы. 1988. № 1. С. 23–30 [Ivanovsky L. N. Issues of development of leading exogenous processes of relief formation // Geography and Natural Resources. 1988;(1):23–30. (In Russ.)]
 17. Ивановский Л. Н. Структура ведущих экзогенных процессов на региональном уровне // География и природные ресурсы. 1989. № 4. С. 14–22 [Ivanovsky L. N. Structure of leading exogenous processes at the regional level // Geography and Natural Resources. 1989;(4):14–22. (In Russ.)]
 18. Ивановский Л. Н. Ведущие экзогенные процессы и геоморфологический риск в горах Южной Сибири // География и природные ресурсы. 1994. № 2. С. 5–10 [Ivanovsky L. N. Leading exogenous processes and geomorphological risk in the mountains of Southern Siberia // Geography and Natural Resources. 1994;(2):5–10. (In Russ.)]
 19. Кнауб Р.В., Игнатьева А. В. Влияние природных неблагоприятных явлений на устойчивое развитие горных территорий (на примере регионов Сибирского федерального округа) // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11. № 4. С. 436–448. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-4-436-448> [Knaub P. V., Ignateva A. V. Influence of the natural adverse phenomena on sustainable development of mountain territories (on the example of regions of Siberian federal district) // Sustainable Development of Mountain Territories. 2019;11(4):436–448. (In Russ.). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-4-436-448>]
 20. Князева Е.Н., Курдюмов С. П. Основания синергетики. Синергетическое мировидение / М.: Librocom, 2014. 264 с. ISBN 978-5-397-04517-9 [Knyazeva E. N., Kurdyumov S. P. Grounds of synergetics. Synergistic worldview / M.: Librocom, 2014. 264 p. ISBN 978-5-397-04517- 9. (In Russ.)]
 21. Коробов В.Б., Кочуров Б. И. Балльные классификации в геоэкологии: преимущества и недостатки // Проблемы региональной экологии. 2007. № 1. С. 66–70 [Korobov V. B., Kochurov B. I. Ball classifications in geocology: advantages and disadvantages // Regional Environmental Issues. 2007;(1):66–70. (In Russ.)]
 22. Короновский Н.В., Брянцева Г. В. Опасные природные процессы: учебник / М.: ИНФРА-М, 2019. 233 с. [Koronovsky N. V., Bryantseva G. V. Dangerous natural processes: textbook / M.: INFRA-M, 2019. 233 p. (In Russ.)]
 23. Кузьмин С. Б. Структура опасных морфогенетических процессов территории Иркутской области // Геоморфология. 2004. № 4. С. 32–47 [Kuzmin S. B. The structure of hazardous morphogenetic processes in the Irkutsk region // Geomorfologiya. 2004;(4):32–47. (In Russ.)]
 24. Кузьмин С. Б. Классификация опасных морфогенетических процессов Иркутской области // Известия Русского географического общества. 2006. Т. 138. № 3. С. 64–70 [Kuzmin S. B. Classification of hazardous morphogenetic processes of the Irkutsk region // Proceedings of the Russian Geographical Society. 2006;138(3):64–70. (In Russ.)]
 25. Кузьмин С. Б. Опасные природные процессы Иркутской области // ГеоРиск. 2016. № 4. С. 52–67 [Kuzmin S. B. Natural hazards of Irkutsk region // GeoRisk World. 2016;(4):52–67. (In Russ.)]
 26. Кузьмин С. Б. Геоэкологические районы Иркутской области с опасными геоморфологическими процессами как сложные геоморфосистемы для оценки риска природопользования // Сложные системы. 2018. № 2. С. 30–57 [Kuzmin S. B. Geoecological areas of the Irkutsk region with the hazardous geomorphological processes as complex geomorphosystems for nature use risk assessment // Slozhnye Sistemy. 2018;(2):30–57. (In Russ.)]
 27. Мазур И.И., Иванов О. П. Опасные природные процессы: учебник / М.: Экономика, 2004. 702 с. [Mazur I. I., Ivanov O. P. Dangerous natural processes: textbook / M.: Economics, 2004. 702 c. (In Russ.)]

28. Невский В. Н. Новые подходы к созданию базовой геоморфологической классификации (на примере горных территорий южной части Дальнего Востока России) // Геоморфология. 2003. № 1. С. 40–48 [Nevsky V. N. New approaches to development of basic geomorphological classifications (with reference to mountains of the south far east of Russia) // Geomorfologiya. 2003;(1):40–48. (In Russ.)]
29. Неровных А. Н., Заворотный А. Г., Бутенко В. М. и др. Опасные природные процессы / М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. 306 с. [Nerovnykh A. N., Zavorotny A. G., Butenko V. M. et al. Dangerous natural processes / M.: Academy of GPS EMERCOM of Russia, 2015. 306 p. (In Russ.)]
30. Несенчук А. А. Алгоритм синтеза устойчивых характеристических полиномов динамических систем при условии вариации параметров // Информатика. 2019. Т. 16. № 4. С. 51–62 [Nesenchuk A. A. Algorithm for synthesis of the stable characteristic polynomials for dynamic systems under parametric variations // Informatics. 2019;16(4):51–62. (In Russ.)]
31. Перминова М. Ю. Анализ алгоритма декомпозиции полиномов, основанного на разбиениях // Кибернетика и программирование. 2015. № 6. С. 21–34. <https://doi.org/10.7256/2306-4196.2015.6.17169> [Perminova M. Y. The analysis of partitions based algorithm of polynomials decomposition // Cybernetics and programming. 2015;(6):21–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.7256/2306-4196.2015.6.17169>]
32. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 432 с. [Prigozhin I., Stengers I. Order from chaos. M.: Progress, 1986. 432 p.]
33. Раскатова М. И. Принятие управленческих решений на основе совместного применения риск-менеджмента и сбалансированной системы показателей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2019. Т. 13. № 1. С. 154–161. <https://doi.org/10.14529/em190116> [Raskatova M. I. Management decision making on the basis of joint application of risk management and the balanced scorecard // Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management. 2019;13(1):154–161. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/em190116>]
34. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с. [Saati T. Decision-making. Hierarchy analysis method. M.: Radio and communication, 1993. 320 p.]
35. Солнцев В. Н. Геолого-геоморфологический каркас в формировании физико-географической структуры территории // Вестник МГУ. Серия географическая. 1974. № 1. С. 53–62 [Solntsev V. N. Geological and geomorphological framework in the formation of the physical and geographical structure of the territory // Bulletin of Moscow State University. Geographical series. 1974;(1):53–62. (In Russ.)]
36. Тимофеев Д. А. Принципы типизации геоморфологических процессов // Геоморфология. 2004. № 4. С. 16–20 [Timofeyev D. A. Principles of geomorphic processes classification // Geomorfologiya. 2004;(4):16–20. (In Russ.)]
37. Флоренсов Н. А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1978. 238 с. [Florensov N. A. Essays on structural geomorphology. M.: Science, 1978. 238 p. (In Russ.)]
38. Хакен Г. Синергетика / Перевод с англ. В. И. Емельянова; Под ред.; (и с предисл.) Ю. Л. Климонтовича, С. М. Осовца. М.: Мир, 1980. 404 с. [Haken G. Synergetics / Translation from the English V. I. Emelyanova; Ed.; (and with foreword.) Yu. L. Klimontovich, S. M. Osovets. M.: Mir, 1980. 404 p.]
39. Чайко А. В., Мистрюков А. А. Классификация экзогенных процессов и проблема их картографирования // Геоморфология, 1992. № 1. С. 25–30 [Chaiko A. V., Mistryukov A. A. Classification of exogenous processes and the problem of their mapping // Geomorfologiya. 1992;(1):25–30. (In Russ.)]
40. Шалаев В. П. Синергетика человека, общества, природы: управленческий аспект / В. П. Шалаев. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. 134 с. ISBN 5-8158-0086-4 [Shalaev V. P. Synergy of man, society, nature: managerial aspect / V. P. Shalaev. Yoshkar-Ola: Periodicals of Mari El, 2000. 134 p. ISBN 5-8158-0086-4. (In Russ.)]
41. Яценко Р. И. Выделение морфолитосистем для эколого-ландшафтного районирования // Геоморфология. 2001. № 4. С. 17–25 [Yatsenko R. I. Identification of morpholithosystems for ecological-landscape zoning // Geomorphology. 2001;(4):17–25. (In Russ.)]
42. Berz G., Kron W., Loster T. R. et al. World map of natural hazards: a global view of the distribution and intensity of significant exposures // Natural Hazards. 2001;23(2–3): 443–465.
43. Bettin G., Zazzaro A. The impact of natural disasters on remittances to low- and middle-income countries // Journal of Development Studies. 2018;54(3):481–500. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2798145>
44. Cavallo E., Galiani S., Noy I., Pantano J. Catastrophic natural disasters and economic growth // Reviews of Economic Statistics. 2013;95(5):1549–1561. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1597507>

45. Dilley M., Chen R. S., Deichmann U. et al. Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis. Washington, DC: World Bank Press, 2005. 148 p.
46. Halkos G., Zisiadou A. Examining the natural environmental hazards over the last century // *Economics of Disasters and Climate Change*. 2019;(3):119–150. <https://doi.org/10.1007/s41885-018-0037-2>
47. Scheip C.M., Wegmann K. W. HazMapper: a global open-source natural hazard mapping application in Google Earth Engine // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2021;(21):1495–1511. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1495-2021>.
48. Steinberg T. *Acts of God: The Unnatural History of Natural Disaster in America*. New York: Oxford University Press, 2006. 336 p.
49. Кузьмин С. Б. Универсальный подход к оценке риска природопользования в районах стихийных бедствий при планировании и организации хозяйственной деятельности. Часть 1 // *Проблемы анализа риска*. 2025. Т. 22. № 2. С. 78–91.— EDN: AZQVYV [Kuzmin S. B. An universal

approach to risk assessment of nature management in areas of natural disasters when planning and organizing of economic activities. Part 1 // *Issues of Risk Analysis*. 2025;22(2): 78–91. (In Russ.).— EDN: AZQVYV]

Сведения об авторе

Кузьмин Сергей Борисович: доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН

Количество публикаций: 245, в т.ч. монографий — 12

Область научных интересов: география, опасные природные процессы, стихийные бедствия, риск, геоэкология, рациональное природопользование, геополитика

Researcher ID: G-8760-2013

Scopus Author ID: 7005543363

ORCID: 0000-0002-3583-1643

SPIN-код: 8170-8343.

Контактная информация:

Адрес: 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1

sergey_kuzmin1966@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 13.01.2025

Одобрена после рецензирования: 13.03.2025

Принята к публикации: 17.03.2025

Дата публикации: 30.06.2025

The article was submitted: 13.01.2025

Approved after reviewing: 13.03.2025

Accepted for publication: 17.03.2025

Date of publication: 30.06.2025