

Катаев В.Н., Ардавичус Ю.А., Пентегова С.А. Оценка карстовых рисков на территории Пермского края // Природные ресурсы: вестник недропользователя Пермского края / ГИ УрО РАН, Пермь, 2010. С. 78-94.

*Катаев В.Н., Ю.А. Ардавичус Ю.А., Пентегова С.А.*  
Пермский государственный университет

## **ОЦЕНКА КАРСТОВЫХ РИСКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ**

В связи с интенсификацией развития горнодобывающей, промышленной, градостроительной, коммуникационно-транспортной и иных сфер техногенного освоения Пермского края в последние десятилетия все ярче проявляется тенденция активизации опасных геологических процессов, в том числе и карстовых. В данной ситуации для служб организующих и проводящих мониторинг опасных геологических процессов разработка моделей оценки опасности освоения территорий с позиции возникновения тех или иных карстовых рисков является актуальной. Результаты такой оценки являются основой предварительного ранжирования территории по необходимости применения комплексов мероприятий, снижающих карстовые риски.

Западноуральский регион, являясь одним из крупнейших индустриальных центров России, занимает особое положение в экономической инфраструктуре страны. Здесь расположены предприятия практически всех отраслей хозяйства, из которых важнейшие представлены машиностроением, нефтехимией, энергетикой, металлургией, целлюлозно-бумажной и горнодобывающей.

Распределение техногенной нагрузки на территорию региона неравномерно. Можно разделить территории на категории, характеризующиеся различной степенью техногенного прессинга:

I-девственно-природные ареалы, не включенные в хозяйственное освоение;

II-площади с минимальным освоением. Территории по долинам средних и больших рек, где запрещены лесозаготовки и сохранены леса с лугами и сенокосными угодьями;

III-территории лесозаготовок на севере региона и сельскохозяйственные угодья, в основном пашни, на юге;

IV-территории лесозаготовок и сельхозугодий с площадями разработок нефтяных месторождений, например на севере Ординского района, в Кунгурском районе, в низовьях реки Чусовой, окрестностях г. Добрянка, между г.г. Соликамск и Березники, в Чердынском и Красновишерском районах;

V-районы малых городов, поселков городского типа, где сосредоточены небольшие предприятия машиностроения, целлюлознобумажной и деревообрабатывающей промышленности, теплоэнергетики, химии, а также населенные пункты с отдельными предприятиями добычи угля (например, г. Красновишерск, п.п. Скальный, Яйва, Суксун);

VI-площади сосредоточения предприятий угледобычи, добычи строительных материалов, выпуск цемента (например, г.г. Горнозаводск, Кизел, Гремячинск);

VII-площади нахождения крупных и средних предприятий коксохимии, химии неорганического синтеза, черной металлургии, иными словами предприятий с химически агрессивными отходами (например, г.г. Губаха, Чусовой);

VIII-территории сосредоточения предприятий добычи каменных солей, водоемких предприятий обрабатывающей промышленности, например целлюлозно-бумажной, химических предприятий по производству удобрений.

Схема, представленная на рис. 1, отражает неравномерность антропогенной нагрузки на закарстованные территории края (Катаев, 2001).

В пределах выделенных типов территории карстоопасность определяется сочетанием различных видов природно-техногенных условий (табл. 1).

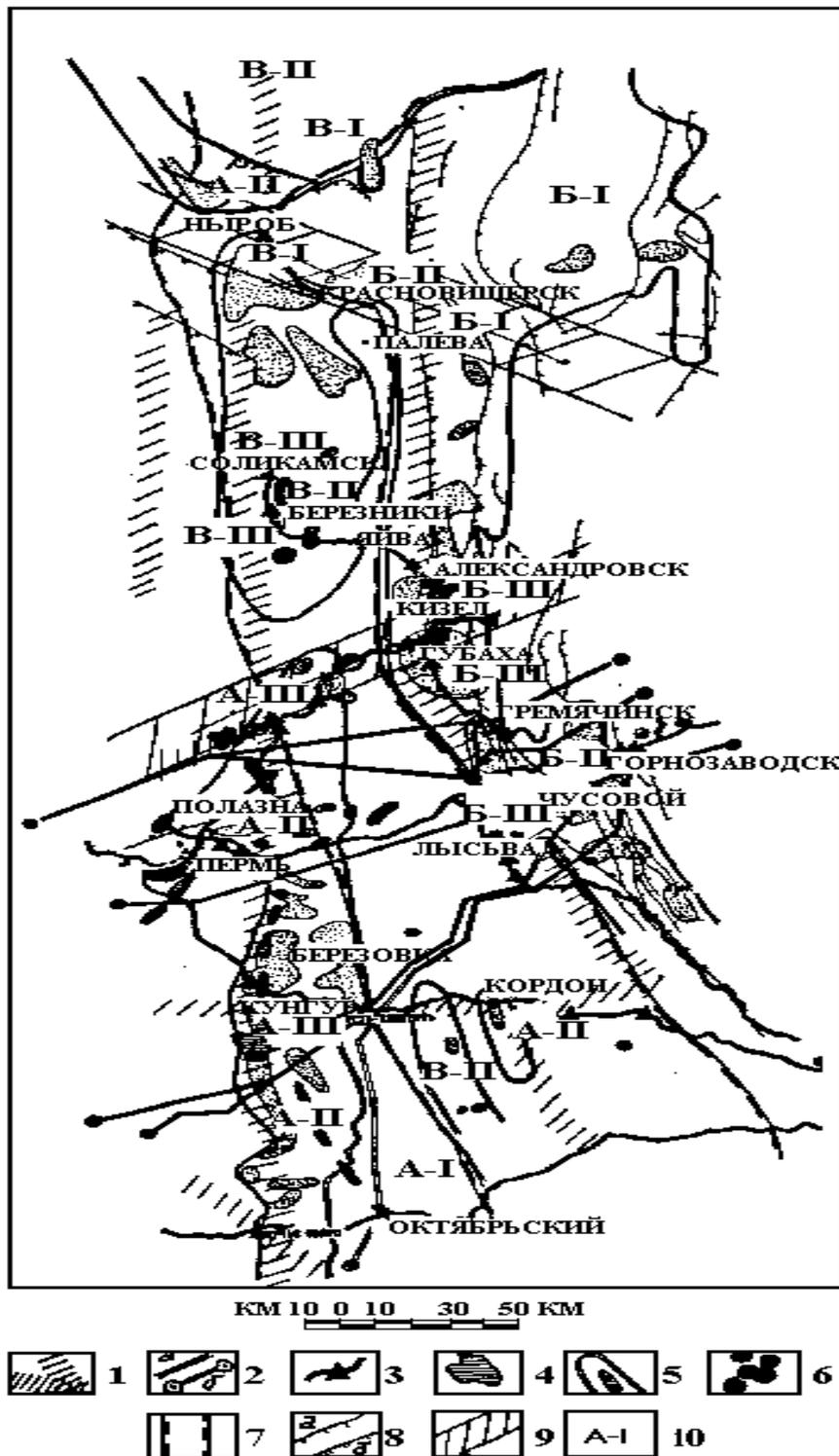


Рис.1. Типы природно-техногенных условий на закарстованных территориях Пермского края

1 - зоны разломов, активизированных в современное и новейшее время, выявленные путем анализа сейсмических, тектонических и геоморфологических линейментов; 2 - транспортно-коммуникационные магистрали: а) железнодорожные, б) нефтегазопроводов; 3 - места аварий и крушений на железных дорогах; 4 - месторождения нефти; 5 - границы карстовых районов с участками интенсивных карстопроявлений; 6 - эпицентры зарегистрированных землетрясений; 7 - границы Предуралья прогиба; 8 - дизъюнктивы: а) разрывные нарушения по данным сейсмических съемок (геологическая карта Урала масштаб 1:1 000 000), б) ступени по кровле фундамента; 9 - трансрегиональные и протяженные линейные зоны тектонической нарушенности и глубинных разломов по данным ГСЗ; 10 - индексы типов (характеристики см. в тексте)

Характерной особенностью Пермского Приуралья, как экономического региона, является то, что часть горно-промышленных и городских агломераций находится в пределах распространения карстующихся пород. Данная особенность определена наличием промышленных залежей полезных ископаемых, среди карстующихся пород (угли) или, залежи сами являются легкорастворимыми (соли) и положением природных транспортных магистралей – рек, многие из которых по морфолого-гидрологическому типу относятся к транзитным карстовым, по берегам которых и расположены относительно крупные города края.

На сегодняшний день карстово-техногенные системы сформировались на территориях практически всех крупных градопромышленных агломераций: Соликамск-Березники; Кизел-Губаха-Чусовой; Кунгур (Осовецкий и др., 1999; Катаев, 2001).

Таблица 1

**Типы природно-техногенных условий на закарстованных территориях Пермского края**

<b>Индекс площади</b>	<b>Категория техногенной нагрузки</b>	<b>Элементы геоструктуры</b>
<b>А</b>	<b>Площади развития преимущественно сульфатного, карбонатно-сульфатного, карбонатного карста восточной окраины Восточно-Европейской платформы и прилегающих окраин Предуральяского прогиба</b>	
<b>I</b>	<b>с I по V</b>	Территории на фоне трансрегиональных зон тектонической нарушенности глубокого заложения
<b>II</b>	<b>с I по V</b>	Карстопроявления на фоне зон активизированных разломов
<b>III</b>	<b>с VI по VII</b> Развита локально и осложнена узлами транспортно-коммуникационных линий	Карстопроявления на фоне пересечения зон активизированных разломов с сейсмопроявлениями
<b>Б</b>	<b>Площади развития карбонатного карста Западноуральской зоны складчатости и Центрально-Уральского поднятия</b>	
<b>I</b>	<b>с I по IV</b>	Карстопроявления на фоне трансрегиональных зон тектонической нарушенности глубокого заложения, узлов древних пассивных разрывных нарушений
<b>II</b>	<b>V-VI</b>	Участки интенсивного карстопроявления, сочетающиеся с зонами тектонической нарушенности глубокого заложения, активизированными разломами с сейсмопроявлениями
<b>III</b>	<b>VII</b> Развита локально	Карстопроявления на фоне пересечений зон активизированных разломов с проявлениями сейсмичности
<b>В</b>	<b>Площади развития преимущественно соляного и соляно-гипсового карста Предуральяского краевого прогиба</b>	
<b>I</b>	<b>I-III</b>	Территории примыкания к трансрегиональным зонам тектонической нарушенности глубокого заложения
<b>II</b>	<b>I-IV</b>	Карстопроявления на территориях примыкания к активизированным разломам
<b>III</b>	<b>VIII</b> Развита локально	Карстопроявления в зонах активизированных разломов

Схема позволяет при необходимости не только в целом оценить степень антропогенного прессинга на территории развития карста, но и провести разноцелевое районирование. Приведенные данные по антропогенной нагрузке, методика ее оценки и представленная схема не обладают абсолютной объективностью, но в сочетании с серией иных схем, отражающих различные факторы карстологического состояния региона, позволяют относительно объективно отразить степень безопасности населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф.

В настоящее время наиболее прогрессивной и разработанной методикой оценки природных рисков на региональном уровне является методика, предложенная А.Л. Рагозиным и В.А. Елкиным (2003, 2004). Существенным плюсом их разработки является то, что она изначально ориентирована на оценку карстового риска и определение карстовой опасности территорий крупных регионов, рассматривая эти два параметра в совокупности. Главной задачей является расчет физического и экономического рисков. Каждый из них определяется своими специфическими параметрами, применяя которые, можно определить необходимость, степень и характер проведения противокарстовых мероприятий.

Критерием физического карстового риска является карстовая опасность на той или иной территории. В карстоведении и инженерной геологии карста известны и применяются, в зависимости от типа решаемых задач, несколько определений карстовой опасности.

Для нашего случая наиболее подходящая формулировка была предложена А.Л. Рагозиным и В.А. Елкиным (2004). По определению этих авторов под карстовой опасностью понимается «угроза образования в пределах определенной территории за заданное время карстовых и (или) карстово-суффозионных провалов и оседаний земной поверхности определенных размеров, которые могут привести к негативным для объектов хозяйства и населения последствиям». В качестве количественной меры рассматриваемой опасности авторы предлагают использовать полные и удельные значения площадной интенсивности карстовых деформаций (полный и удельный физический риск), определяемых дифференцированно для провалов и оседаний по следующим формулам:

$$R_f(C) \approx \frac{S_c}{t}$$
$$R_{fs}(C) = \frac{R_f(C)}{S} \approx \frac{S_c}{S \cdot t},$$

где  $R_f(C)$  – полная карстовая опасность ( $\text{м}^2/\text{год}$ ),  $R_{fs}(C)$  – нормированная по площади карстовая опасность ( $\text{м}^2/\text{км}^2 \cdot \text{год}$ ),  $S_c$  – суммарная площадь закарстованных территорий ( $\text{м}^2$ ),  $S$  – площадь оцениваемой территории ( $\text{км}^2$ ),  $t$  – промежуток времени, за который образовались карстовые деформации (в нашем случае 100 лет).

Исходя из имеющихся данных, рассчитывается полная, а затем нормированная по площади карстовая опасность. Данная величина зависит от площади закарстованных территорий, то есть от её доли в общей площади территории – от количественного распространения карстовых явлений по площади (рис. 2).

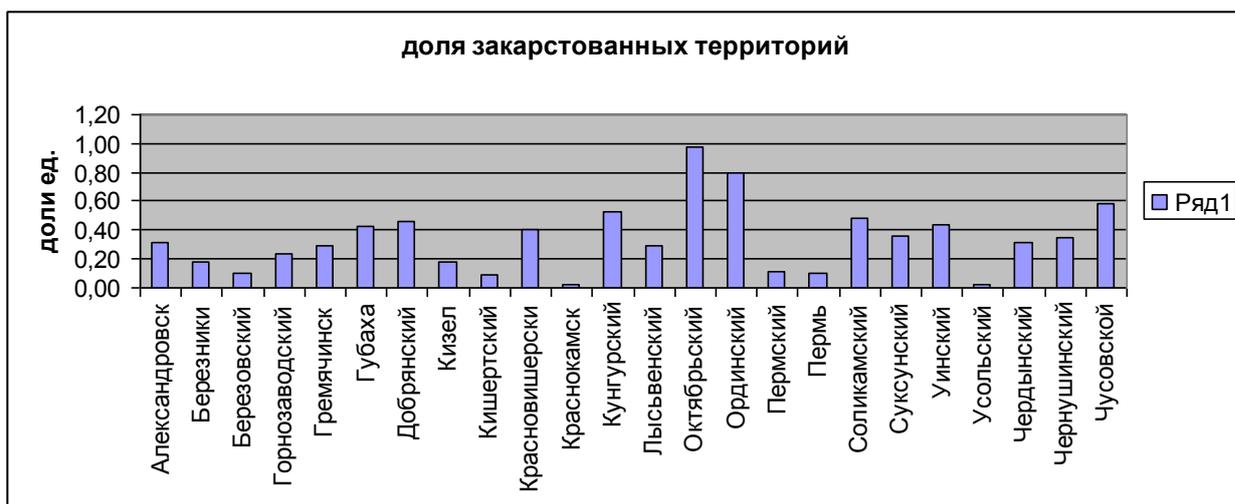


Рис.2. Зависимость нормированной по площади карстовой опасности от доли закарстованных территорий в пределах административных районов Пермского края

Таким образом, можно выделить районы с повышенной карстовой опасностью или повышенным карстовым физическим риском, это Октябрьский и Ординский районы, расположенные в пределах развития сульфатно-карбонатного карста (рис. 3).

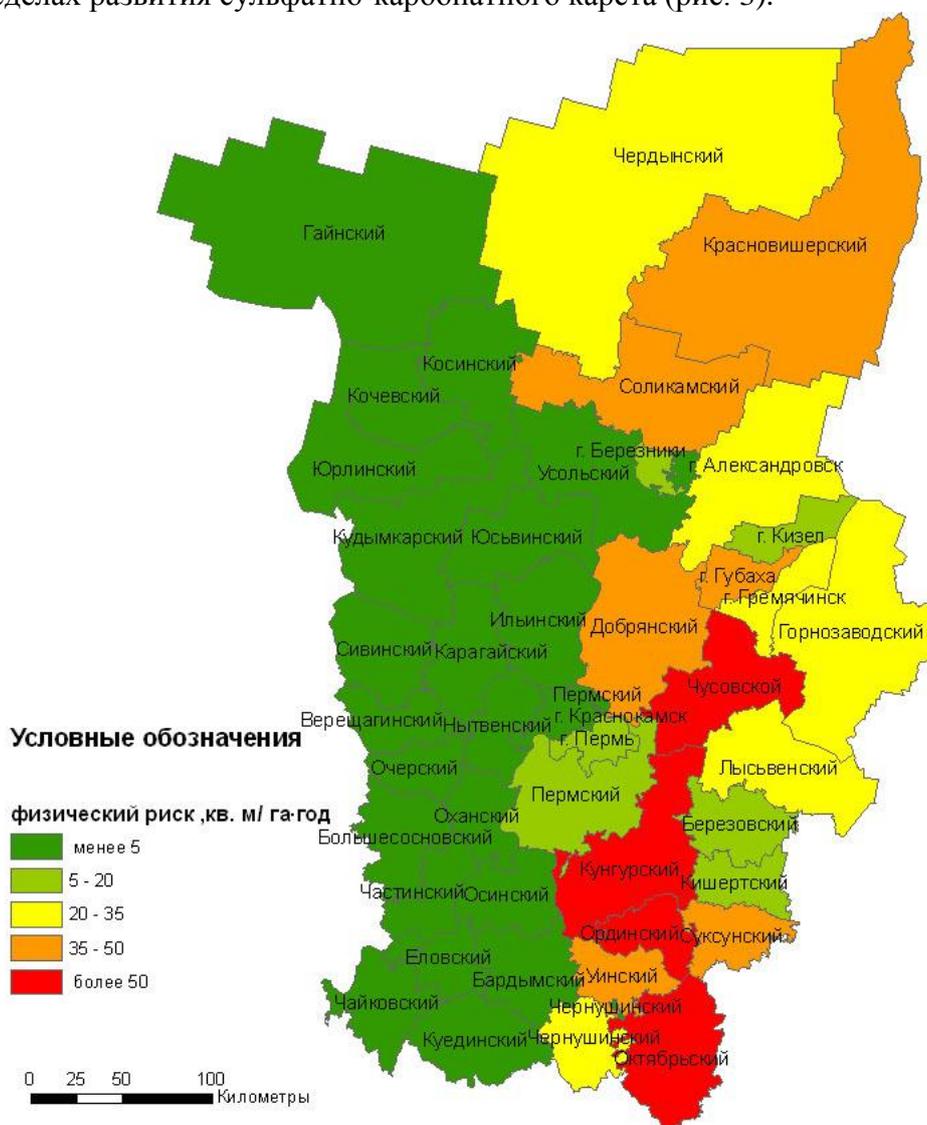


Рис. 3. Изменение карстового физического риска по административным районам Пермского края

Для выявления административных районов Пермского края, несущих наибольшие экономические потери целесообразно рассчитывать, помимо физического, также и экономический карстовый риск (Катаев и др., 2009).

Риск – (с экономической точки зрения) – ожидаемый уровень потерь общества вследствие чрезвычайных ситуаций, обусловленных природными процессами. Карстовый экономический риск – вероятностный показатель опасности образования карстовых провалов и оседаний земной поверхности, установленный для определенного объекта в стоимостном выражении его возможных потерь (ущерба) за данное время. Оценка карстового полного и удельного экономического риска проводится на основе предварительно установленных величин площадной интенсивности карстовых деформаций:

$$R_{ff}(C) = R_{fs}(C) \cdot S_j$$

$$R_{ej}(C) = R_{ff}(C) \cdot V_e(C) \cdot d_e$$

$$R_{esj}(C) = R_{ej}(C) / S_j$$

где  $R_{ff}(C)$  и  $R_{fs}(C)$  – соответственно карстовый риск физических полных ( $m^2/год$ ) и удельных ( $m^2/km^2 \cdot год$ ) потерь территорий в пределах  $j$ -го реципиента риска;  $S_j$  – площадь этого реципиента ( $km^2$ );  $R_{ej}(C)$  и  $R_{esj}(C)$  – соответственно карстовый экономический риск потерь  $j$ -го реципиента: полный (руб./год) и удельный (руб./ $km^2 \cdot год$ );  $V_e(C)$  – экономическая уязвимость  $j$ -го реципиента риска для карстовых значений (средние значения, руб.);  $d_e$  – плотность национального богатства в пределах этого реципиента (руб./ $km^2$ , рассчитывается как объем производства на территории, отнесенный к ее площади в гектарах).

Экономические риски для промышленности и сельского хозяйства различаются. В первом случае величина экономического риска напрямую определяется объемом производства предприятий в совокупности за год и общей площадью территории, то есть плотностью национального богатства (рис. 4, 5). Во втором случае он зависит от кадастровой стоимости посевных площадей и потерь в кадастровой стоимости нарушенных земель (рис.6, 7, 8). В обоих из выше перечисленных случаях величина экономического риска также зависит от полной карстовой опасности, то есть физического риска. Располагая всеми необходимыми данными, находим полный, а затем и удельный экономические риски.

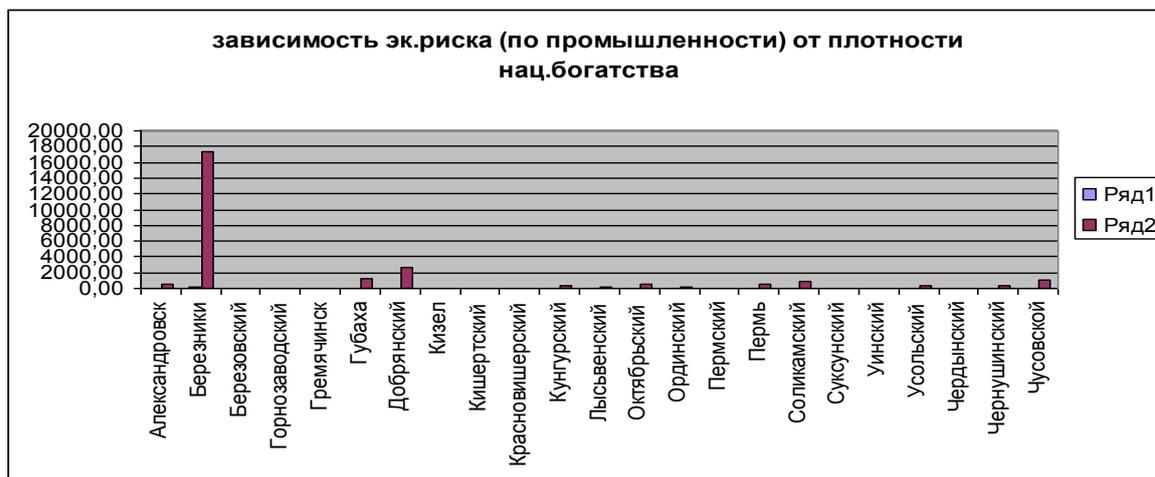


Рис.4. Зависимость экономического риска от плотности национального богатства по административным районам Пермского края

Из рис. 4 и 5 видно, что Березниковский административный район хоть и подверженный низкому физическому риску, но в силу развитой горнодобывающей промышленности характеризуется самыми высокими карстово-экономическими рисками.

Анализируя приведенные данные (рис. 6, 7 и 8) нетрудно заметить, что наиболее высокие экономические риски в сельском хозяйстве характерны для Кунгурского и Ординского

районов. Несколько меньше они в Уинском, Октябрьском и Суксунском районах, в пределах которых как физический, так и экономический карстовые риски одинаково высоки.

Таким образом, в результате проведенного анализа, очевидно, что в пределах Пермского края наиболее опасными с позиции расчетных карстовых физических и экономических рисков потерь являются территории Кунгурского, Ординского, Уинского, Октябрьского, Суксунского, Березниковского и Добрянского административных районов. В пределах, по меньшей мере половины, из указанных районов, ущерб от возникающих карстовых деформаций поверхности наиболее высокий и с каждым годом можно ожидать увеличения действительных карстовых рисков при дальнейшей интенсификации хозяйственного освоения этих территории.

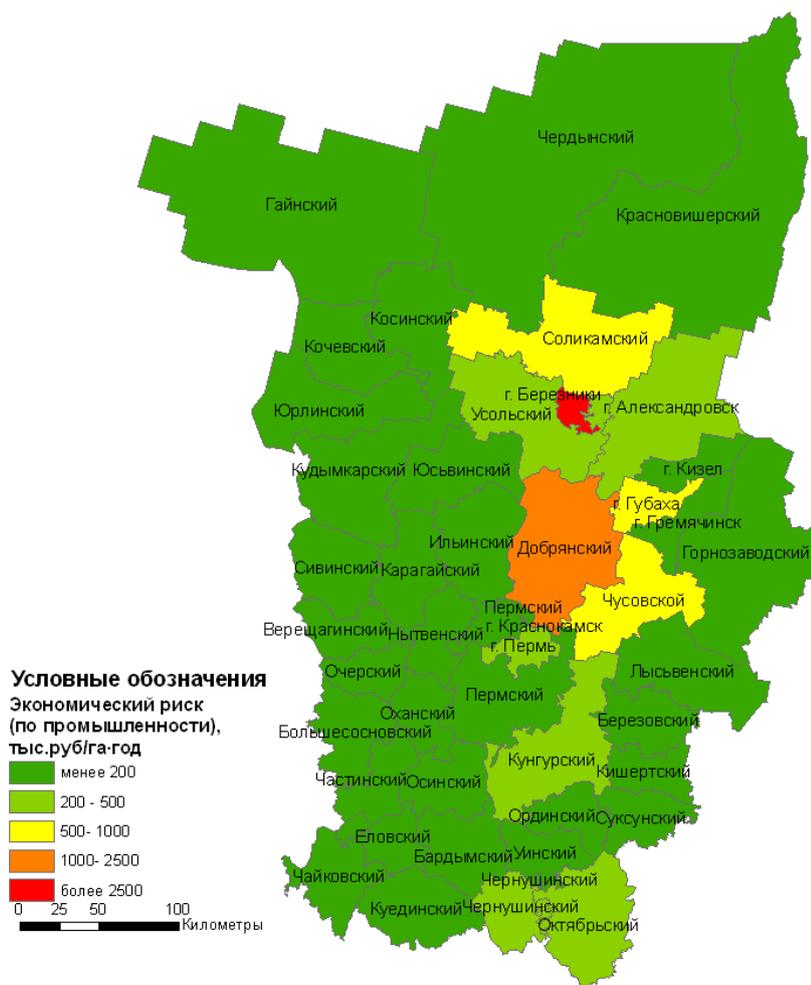


Рис. 5. Изменение экономического риска в зависимости от плотности национального богатства по административным районам Пермского края

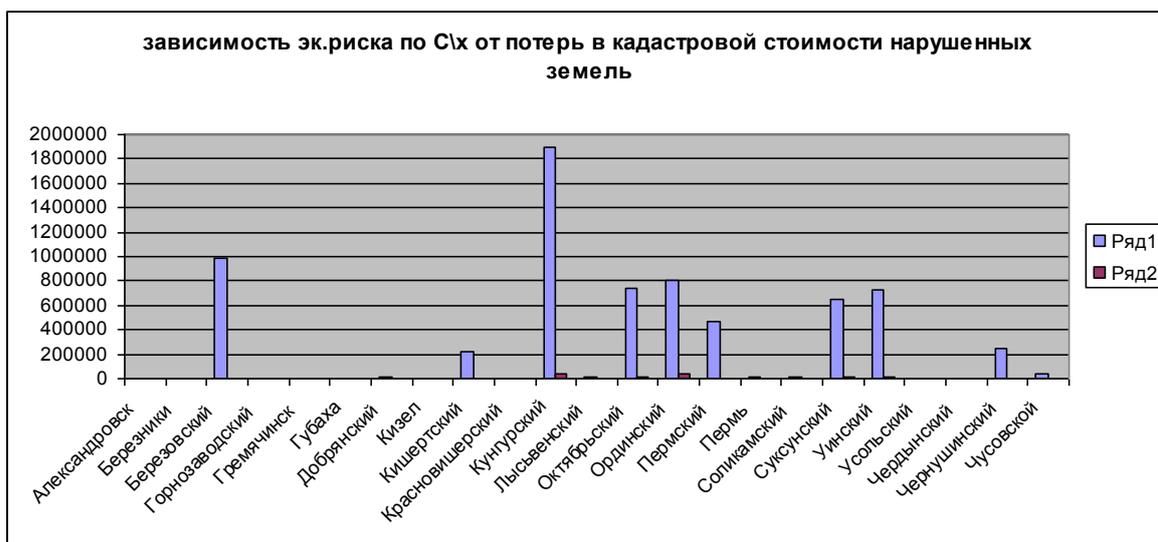


Рис. 6. Зависимость экономического риска в сельском хозяйстве от потерь в кадастровой стоимости нарушенных земель по административным районам Пермского края

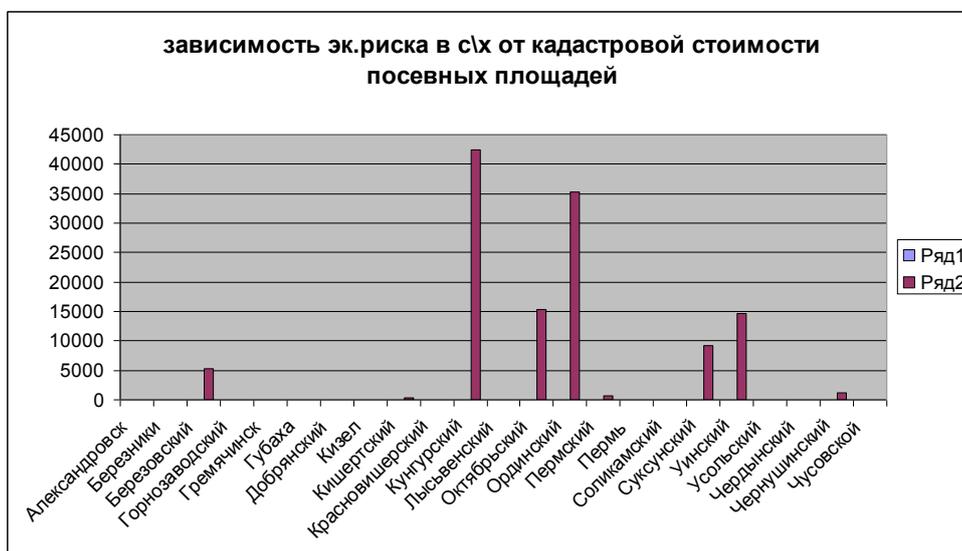


Рис. 7. Зависимость экономического риска в сельском хозяйстве от кадастровой стоимости посевных площадей по административным районам Пермского края

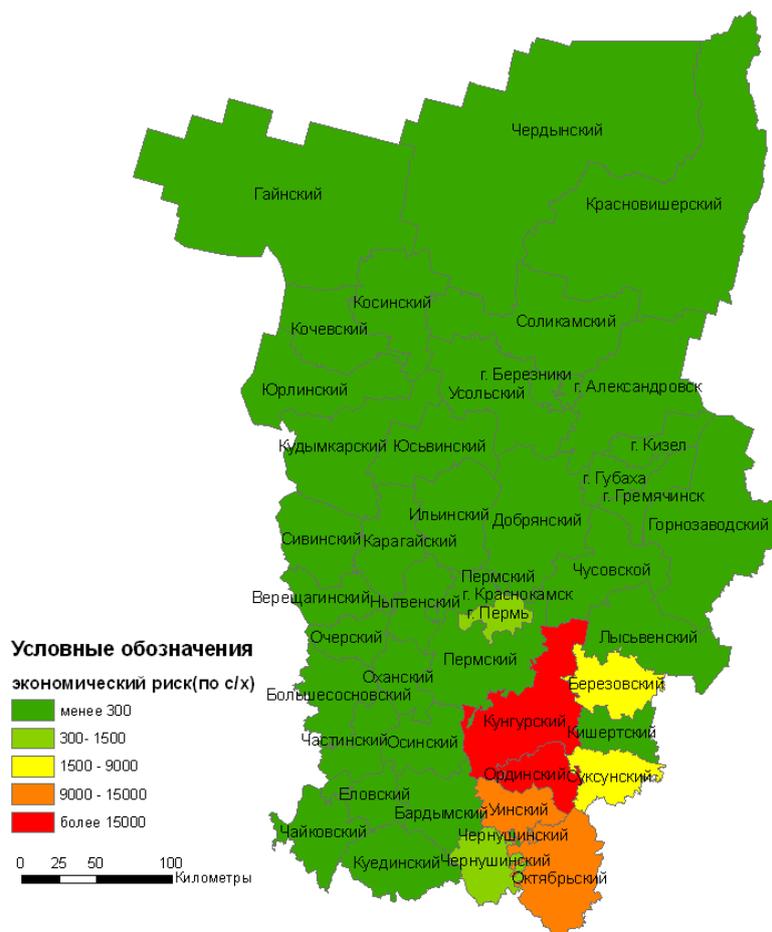


Рис. 8. Изменение экономического риска в зависимости от сельскохозяйственного освоения территорий по административным районам Пермского края

Методика расчета рисков на региональном уровне была адаптирована авторами к территориям административных районов края, расположенных в пределах развития активного карстового процесса, к территориям отдельных городов и населенных пунктов. Для равномерной оценки риска на территориях административных районов в качестве операционной территориальной единицы (ОТЕ) были приняты одинаковые по площади участки ( $0,5 \times 0,5$  км). Каждый такой участок имеет площадь  $0,25 \text{ км}^2$ , но в дальнейших расчетах в качестве единицы измерения площади использованы гектары (25 га). В пределах каждой ОТЕ периодически возникает опасность, каждая раз поражающая некоторую площадь  $S_c$ . За пораженную площадь принимается та, что занята провальными карстовыми деформациями на каждом из участков площадью  $S$ . Промежуток времени, за который образовались карстовые деформации, принимается равным 100 годам, что соответствует среднему сроку службы зданий и сооружений. В качестве показателя плотности национального богатства используется плотность застройки города (количество сооружений на га). Уязвимостью принимается среднее количество сооружений на опасной территории.

По значениям нормированной по площади карстовой опасности, удельного карстового экономического риска построены соответствующие карты для каждого из районов. Примеры карт риска по территориям Александровского и Кизеловского районов приведены на рис. 9-13. Категории карстового риска на них ранжированы согласно полученным значениям по принципу светофора: красные цвета характерны районам с самым высоким уровнем риска, желтые – со средним, зеленые – с низким риском. Разные оттенки этих цветов отражают районы с промежуточным значением.

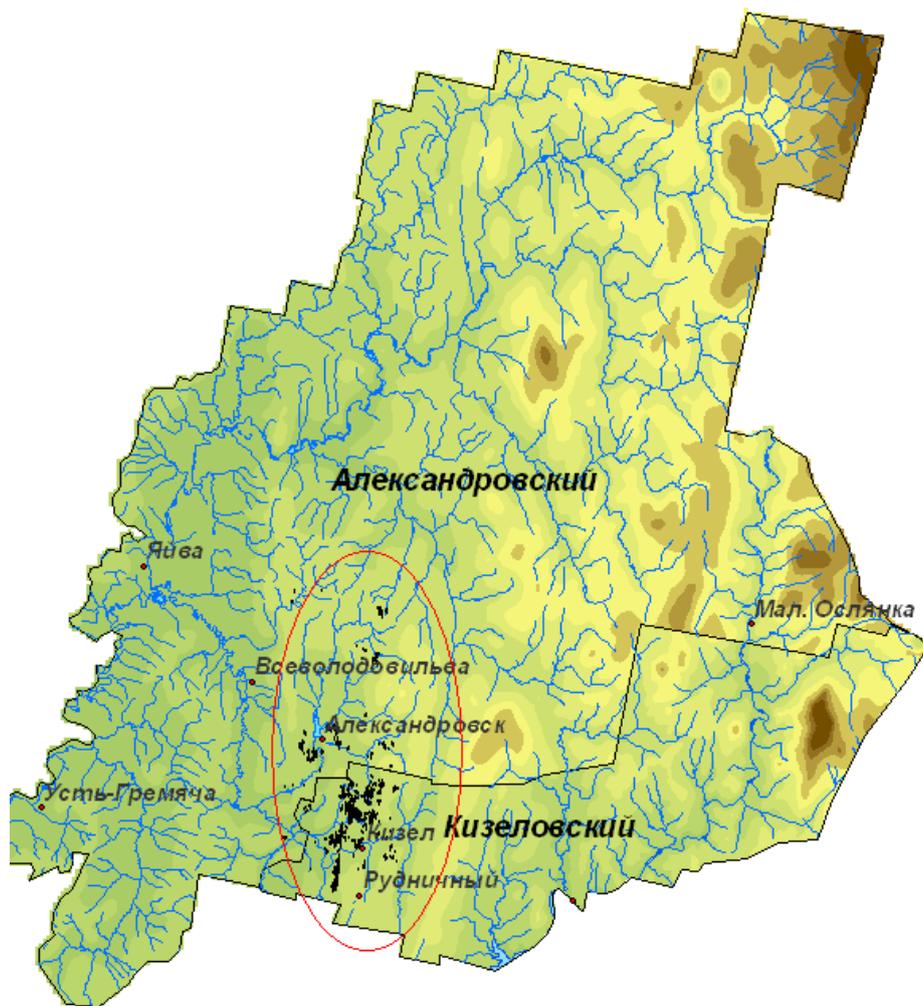


Рис.9. Распространение карстовых воронок по территории Александровского и Кизеловского районов

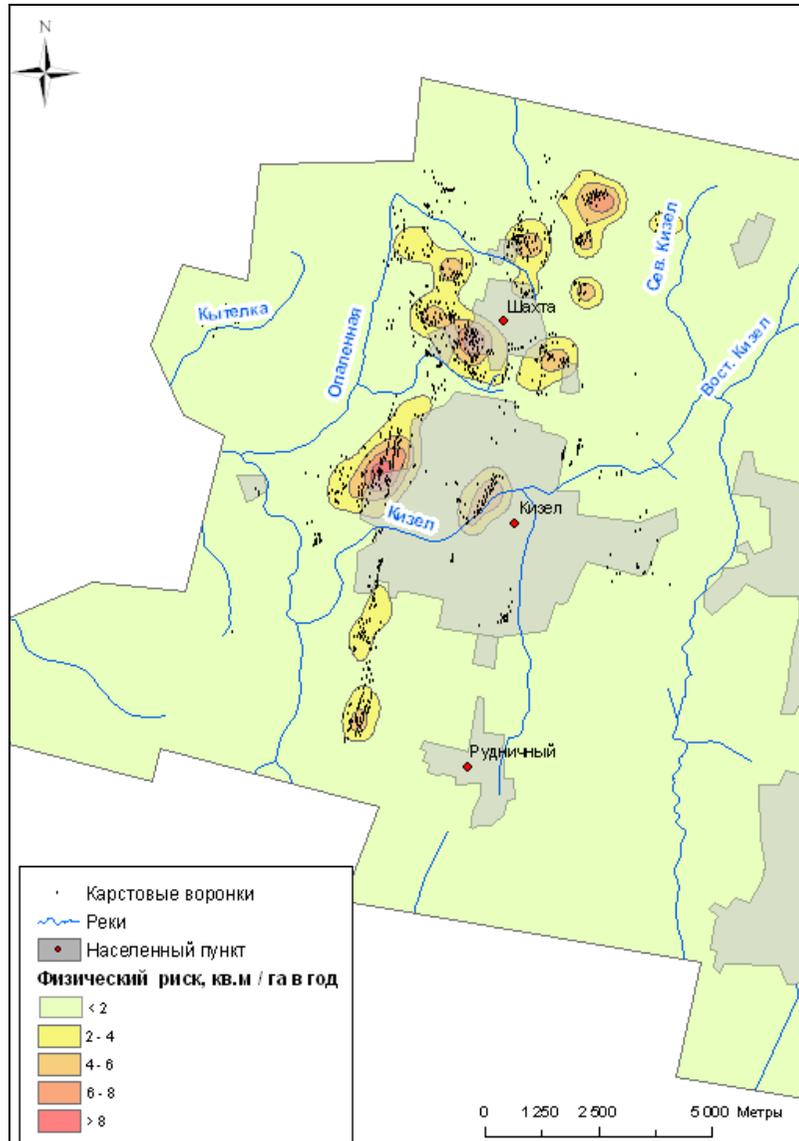


Рис.10. Удельный карстовый физический риск на территории Кизеловского района

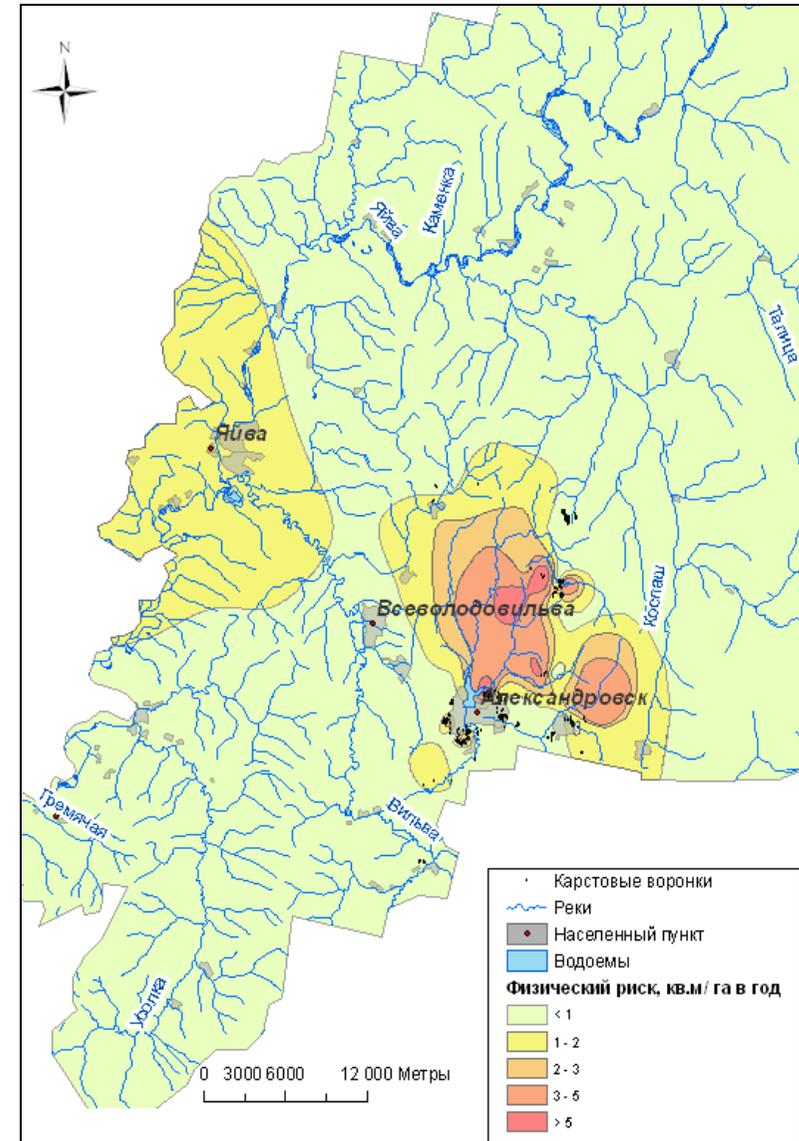


Рис. 11. Удельный карстовый физический риск на территории Александровского района

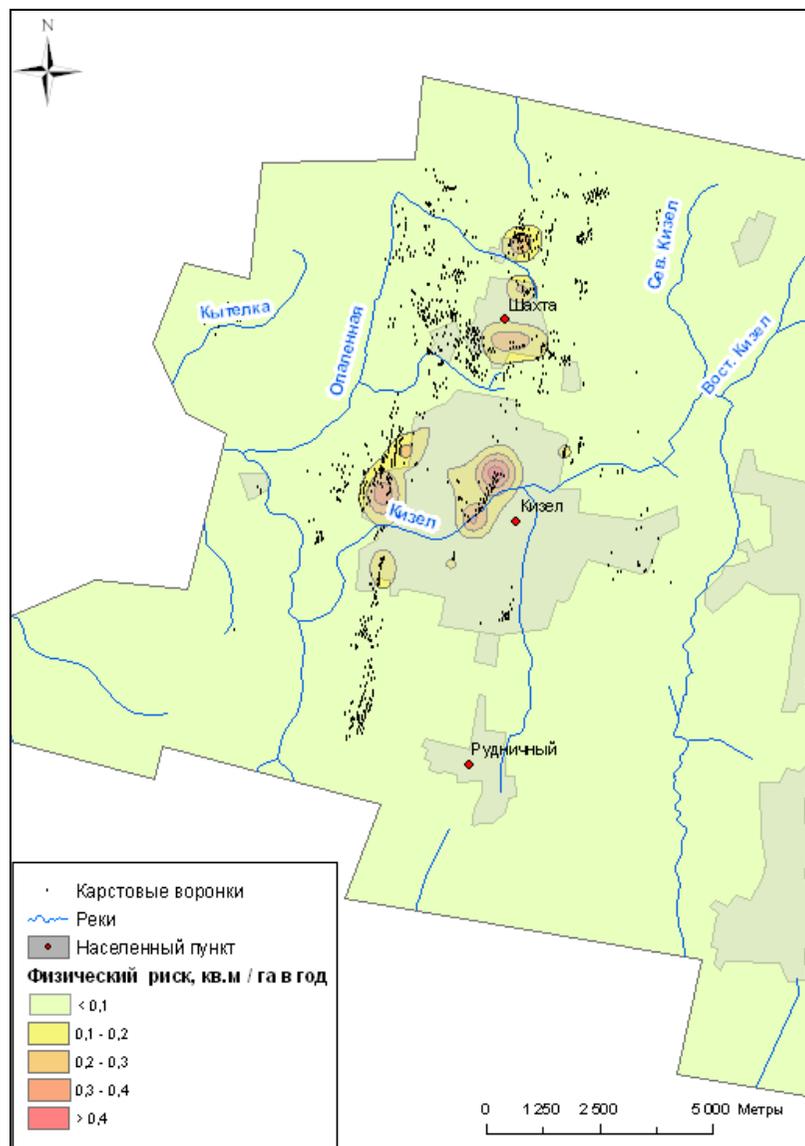


Рис. 12. Удельный карстовый экономический риск на территории Кизеловского района

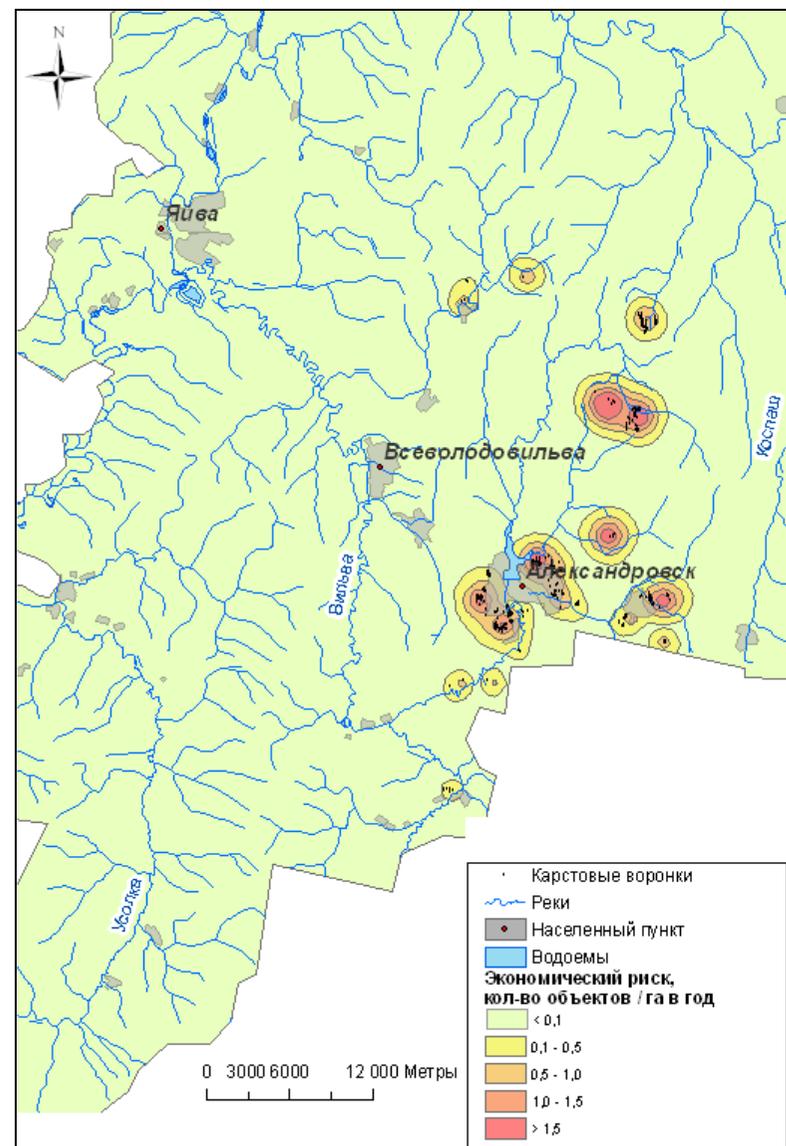


Рис.13. Удельный карстовый экономический риск на территории Александровского района

Значения категорий определены в одних разрядах, поэтому карты имеют одинаковую информативность и их можно сравнивать. Согласно карте карстового экономического риска в Кизеловском районе самыми опасными с позиции размеров возможного ущерба являются центральные части города Кизела и поселка Шахта. В Александровском районе – пос. Лытвенский, город Александровск и д. Луньевка. Этим подтверждается техногенное воздействие на природную среду и осложнение геологических условий в пределах наиболее населенных и промышленно развитых частей районов.

Методика оценки карстовых рисков применительно к городским территориям была апробирована применительно к г. Кунгур (рис. 14, 15). Результаты апробации являются базовыми для дальнейших работ в этом направлении и включают картографический материал в рабочем масштабе 1:10 000.

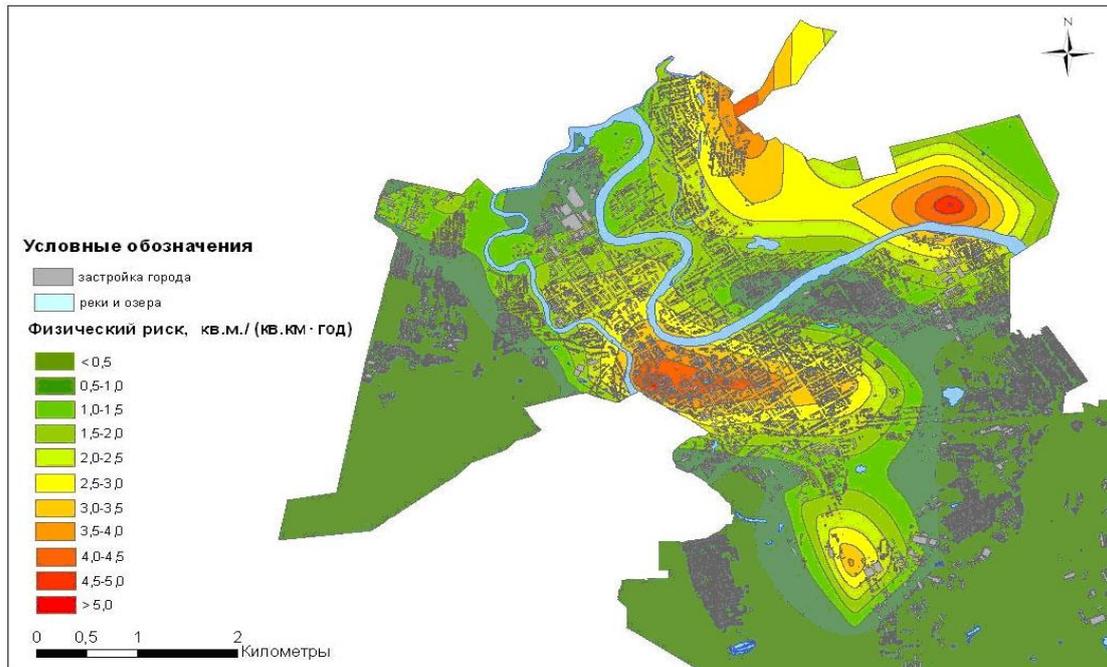


Рис. 14. Карта карстового физического риска северной части территории г. Кунгур



Рис. 15. Карта экономического риска северной части территории г.Кунгур

## ЛИТЕРАТУРА

1. Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования / Перм. ун-т. – Пермь, 2001. 85с.
2. Катаев В.Н., Ардавичус Ю.А., Пентегова С.А. Опыт адаптации методов оценки карстовых рисков к территории Пермского края // Проблемы снижения природных опасностей и рисков: Материалы Международной научно-практической конференции «ГЕОРИСК – 2009». Т.2. – М.: РУДН, 2009. С. 70-77.
3. Осовецкий Б.М., Максимович Н.Г., Катаев В.Н., Блинов С.М. Экологические проблемы западноуральского региона // Водные ресурсы: мониторинг и охрана / Глав. ред.: В.И. Сергеев, С.А. Лапицкий, Дж. Кузимано, Л. Гатто. Москва: Изд-во МГУ, 1999. С.59-62.
4. Рагозин А.Л., Елкин В.А. Алгоритм региональной оценки карстовой опасности // Материалы Всероссийской конференции «Риск-2003». М.: Изд-во РУДН, 2003. Т.1. С. 236-243.
5. Рагозин А.Л. Современные методы и проблемы количественной оценки и управления природными рисками // Материалы Всероссийской конференции «Риск-2003». М.: Изд-во РУДН, 2003. Т.1. С. 350-355.
6. Рагозин А.Л., Елкин В.А. Количественная оценка карстового риска на локальном и региональном уровнях // Карстоведение – XXI век: теоретическое и практическое значение. Материалы международного симпозиума. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2004. С. 36-44.

**Работа выполнена в рамках краевой целевой программы «Развитие и использование минерально-сырьевой базы Пермского края на 2007-2010 годы» по объекту «Мониторинг закарстованных территорий Пермской области».**