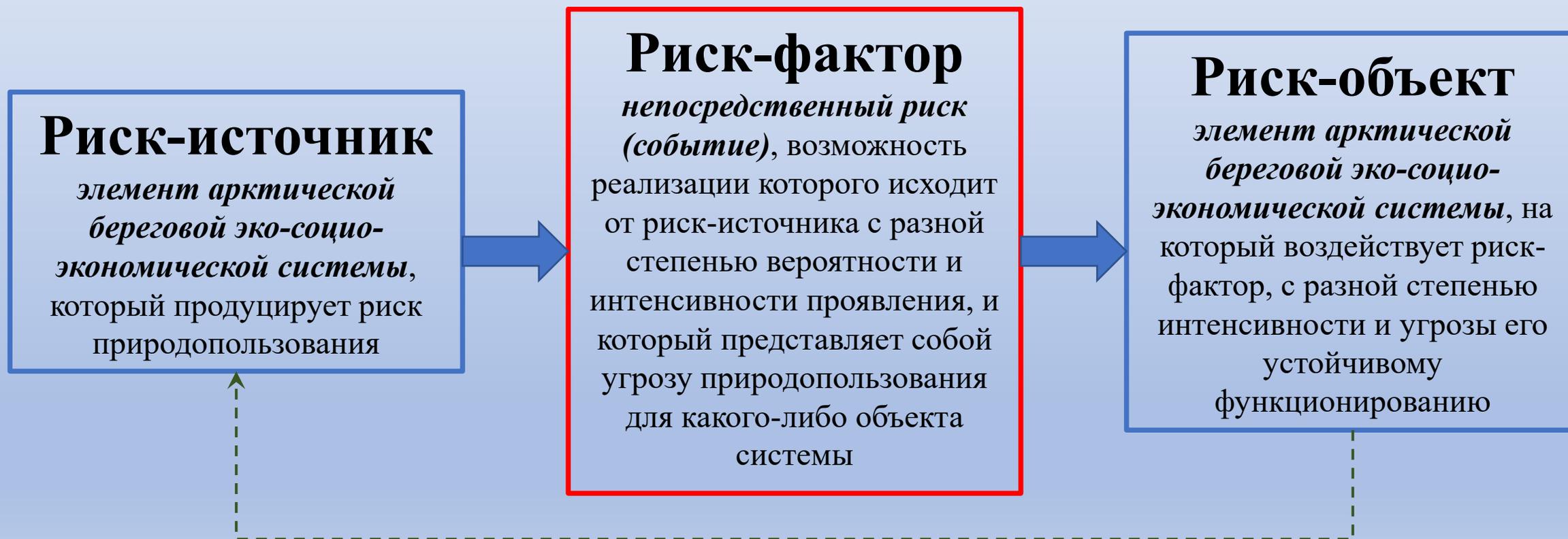


**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ
ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКОВ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В АРКТИКЕ НА
ОСНОВЕ МАТРИЧНО-ИНДИКАТОРНОГО ПОДХОДА
НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Е.А. Румянцева, Г.Г. Гогоберидзе, Е.А. Ефименко, А.Г. Гогоберидзе
ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет»

РИСК – имеющий вероятность реализации процесс причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений.





Взаимосвязи в матрицах оценивались по 5-бальной системе.

Оценка для техногенных объектов матрицы риск-объект – риск-фактор проводилась при условии воздействия на данный техногенный риск-объект как на работающий комплекс, состоящий из технических инструментов и персонала (человека) и производящий продукцию/услуги для потребностей человека.

Часть матрицы риск-фактор – риск-источник

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
Факторы	Источники	Геологические источники (сдвиги платформ земной коры)	Неустойчивость уреза берега (граница суша-море)	Природные климатические источники (глобальные)	Природные гидрометеорологические источники (региональные)	Природная среда (флора, фауна)	Человек (как охотник, турист и т.п. одиночный социальный элемент)	Социальные объекты инфраструктуры (жилые дома, социальные здания и т.д.)	Аквакультурные хозяйства и рыбоводство	Портовый комплекс	Судно вне портового комплекса	Воздушное средство (БПЛА, самолет, вертолет и т.п.)
1												
2	Землетрясение	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Волновая / ледовая нагрузка	0	2	1	5	0	0	0	0	1	0	0
4	Айсберговая опасность	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0
5	Ветровая нагрузка	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0
6	Аномальные (интенсивные) осадки	0	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0
7	Аномальный низкотемпературный режим / обледенение / ледяной дождь	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0
8	Аномально низкая видимость	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0
9	Солнечная активность / помехи в атмосфере для радиосигналов	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	1
10	Половодье в устьях рек / подтопление территории	0	4	4	4	0	0	1	0	0	0	0
11	Аномальный высокотемпературный режим (таяние ледяного покрова и вечной мерзлоты, повышение уровня моря)	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
12	Абразия берега	5	5	0	0	1	0	1	0	1	0	0
13	Пожар	0	0	4	4	0	4	2	0	3	2	2
14	Техногенная авария	0	0	0	0	1	1	1	1	3	3	4
15	Перебой подачи электроэнергии / теплоэнергии	0	0	0	0	1	1	3	0	1	0	1
	Выброс химического загрязняющего / отравляющего вещества в											

Часть матрицы риск-объект – риск-фактор

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	И	Ж	К	Л
Объекты \ Факторы	Землетрясение	Волновая / ледовая нагрузка	Айсберговая опасность	Ветровая нагрузка	Аномальные (интенсивные) осадки	Аномальный низкотемпературный режим / обледенение	Аномально низкая видимость	Солнечная активность / помехи в атмосфере для радиосигналов	Половодье в устьях рек / подтопление территории	Абразия берега	Аномальный высокотемпературный (таяние ледяного покров вечной мерзлоты, повышение уровня моря)	
1												
2	Урез берега (граница суша-море, устойчивость берега)	5	4	2	4	2	1	0	0	4	5	2
3	Экосистема суши и вод суши (почва, флора и фауна, насекомые и т.д.)	5	0	0	4	5	5	1	0	5	4	4
4	Экосистема водная морская (качество воды, флора и фауна и т.д.)	3	4	3	4	2	4	0	0	3	4	3
5	Охраняемые природные территории (как территория с особым режимом хозяйствования и защиты экосистемы)	4	1	0	2	2	3	0	1	3	3	3
6	Человек (как отдельный живой объект экосистемы)	3	0	0	3	2	3	2	2	3	1	3
7	Социальные объекты инфраструктуры (жилые дома, социальные здания и т.д.)	5	1	0	1	1	2	0	0	4	3	4
8	Аквакультурные хозяйства и рыбководство	3	4	3	3	1	3	0	0	2	2	1
9	Портовый комплекс	5	3	2	2	1	2	3	1	2	3	2
10	Суда вне портового комплекса	1	4	4	4	1	3	4	2	0	0	1
11	Воздушное средство (БПЛА, самолет, вертолет и т.п.)	1	0	0	5	5	5	5	3	0	0	1
12	Транспортная и социальная сухопутная инфраструктура (аэропорт, дорога, ЛЭП, транспортное средство и т.п.)	5	0	0	2	3	3	4	1	4	3	4
13	Инфраструктура сухопутная по добыче и трубопроводной транспортировке полезных ископаемых (шахта, буровая и т.д.)	5	0	0	2	2	3	1	1	3	3	3
14	Инфраструктура морская по добыче и трубопроводной транспортировке полезных ископаемых (платформа)	4	4	4	3	2	3	1	1	0	0	1
15	Инфраструктура обеспечения жизнедеятельности, на сгораемых источниках (тепловые электростанция, теплоэнергия и т.д.)	5	0	0	2	0	1	0	0	2	0	3
16	Инфраструктура предприятия (производства, хранения, обработки и т.п.)	5	0	0	3	3	4	0	0	5	4	3
	Электростанции альтернативной энергетики (ветровые, приливные и т.п.)	5	3	3	3	1	4	1	0	3	2	2

Матрица факторы-объекты 2021

Классификационные признаки составляющих риска

Риск-источник:

- непосредственный источник проявления риска (природные, климатические, техногенные, социально-экономические);
- *степени управляемости по снижению реализации рисков (управляемые, ограниченно управляемые, неуправляемые)*
- непосредственное отношение к береговой эко-социо-экономической системе (внутрисистемные, внешние)

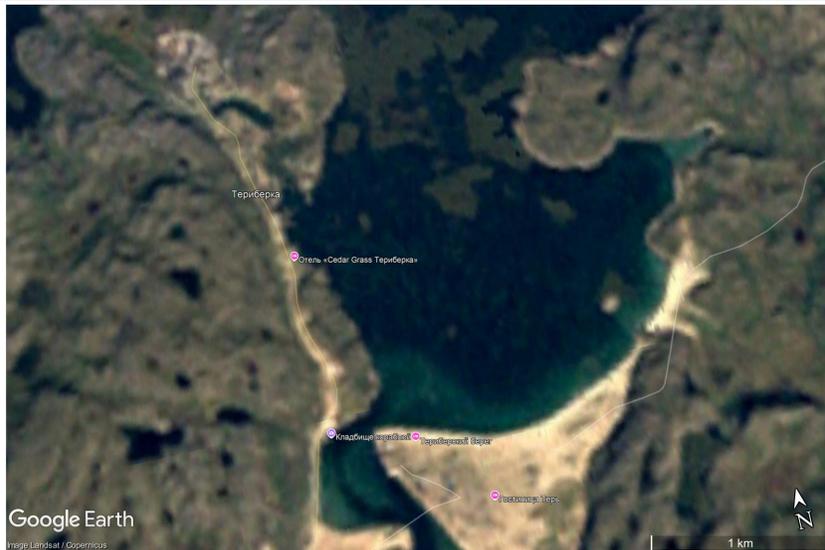
Риск-фактор:

- *пространственный масштаб (локальные, местные, региональные, глобальные);*
- *временной масштаб (краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные)*
- *степень прогнозируемости (прогнозируемые, частично прогнозируемые, непрогнозируемые)*
- *частота возникновения (единичные, редкие, регулярные, частые)*

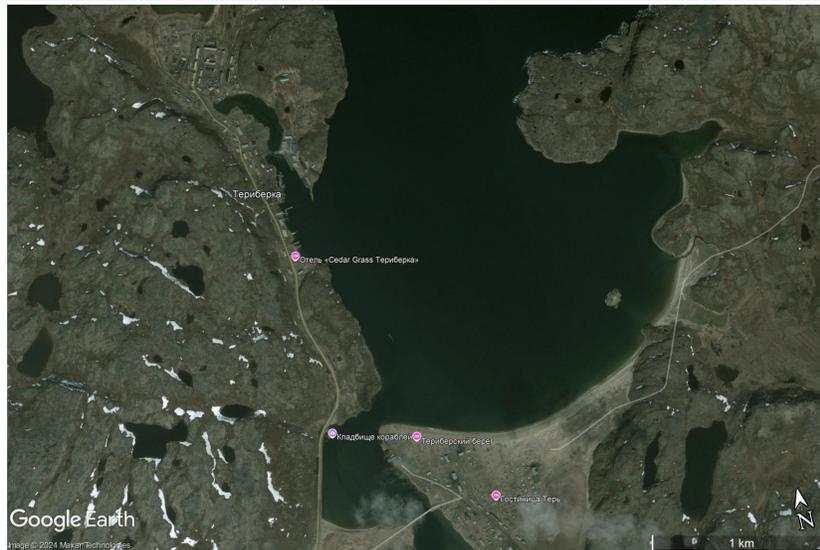
Риск-объект:

- непосредственный объект (реципиент) риска (социальные, производственные (экономические), экологические);
- *количество объектов (реципиентов) риска (единичные, лимитированные, частые)*
- *возможность индуцирования последовательной цепочки рисков (высокая возможность, средняя (невысокая) возможность, низкая возможность)*
- степень (стадия) индуцированности в цепочке рисков (первичные, вторичные)
- *размер (тяжесть) ущерба и последствий реализации события (незначительный, существенный, значительный, катастрофический)*

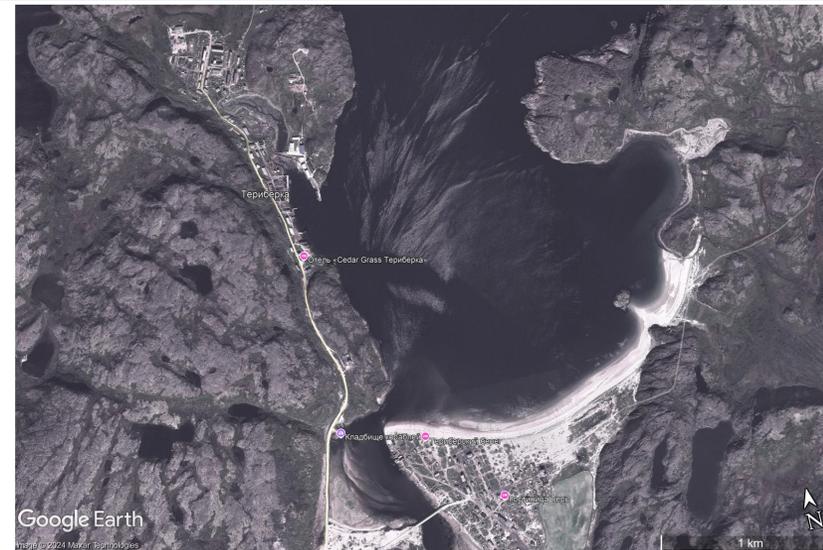
Изменчивость береговой зоны п. Териберка



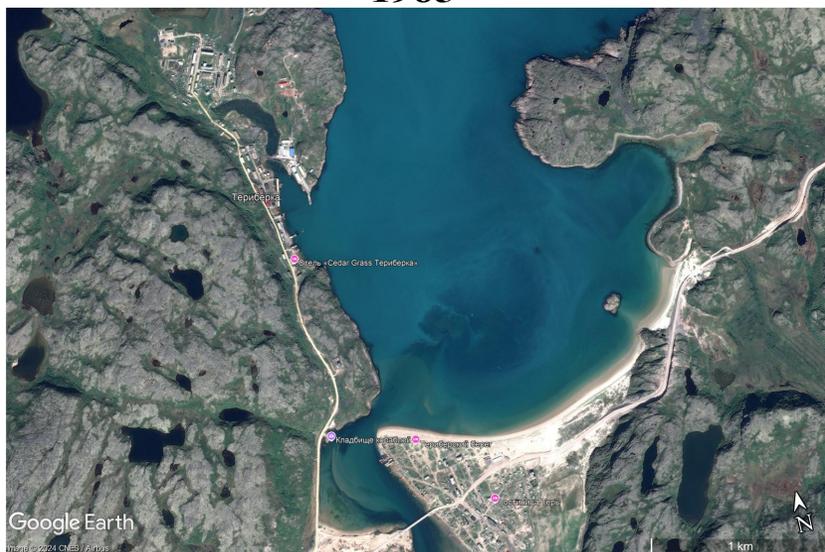
1985



2004



2008



2013



2017



2020

Изменчивость района г. Оленегорск



1985



2005



2008



2016

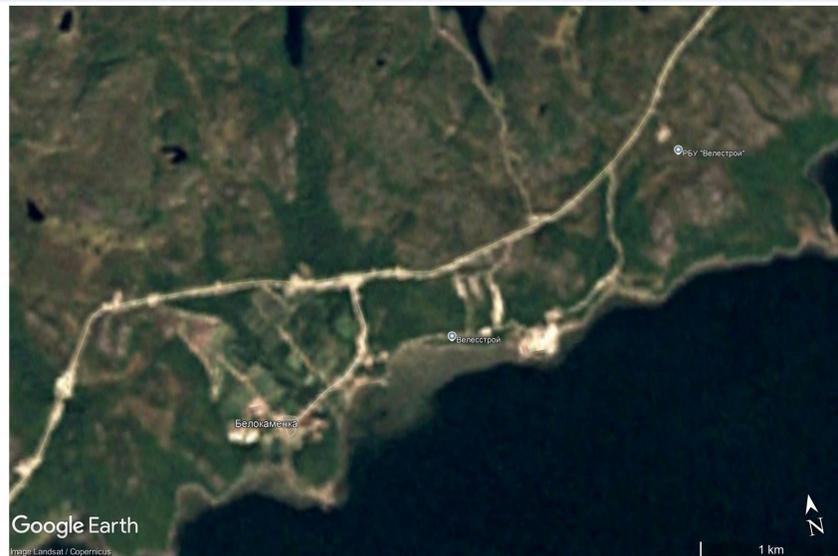


2022

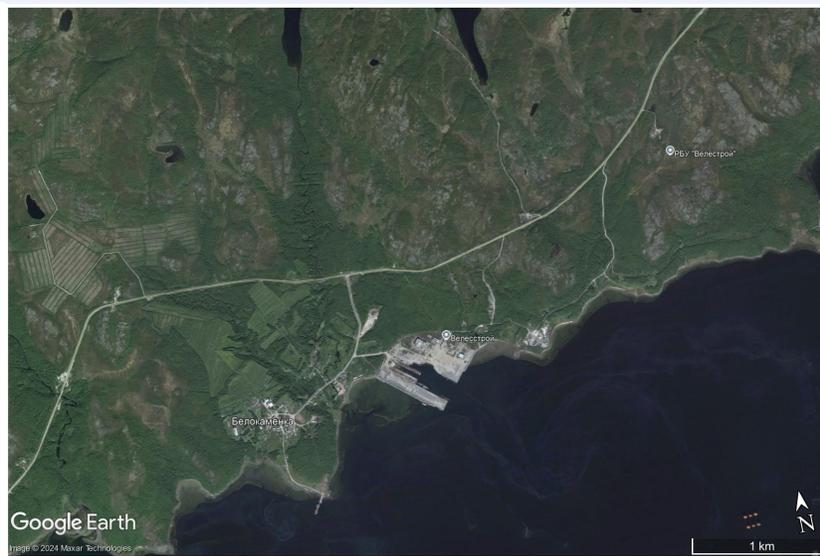


2024

Изменчивость района п. Белокаменка



1985



2005



2010



2017



2021



2023

Для анализа, прогноза и разработки решений по реализации мероприятий управления рисками природопользования в береговой эко-социо-экономической системе АЗРФ необходима **разработка инструментария оценки интегрального показателя риска** для территориального объекта береговой системы.

Предлагаемое решение основывается на матричном подходе, с использованием экспертных критериальных оценок арктических рисков природопользования.

Основные принципы:

- арктическая береговая эко-социо-экономическая система, для которой проводится оценка рисков природопользования, представляет **территориальный объект**, чья протяженность может варьироваться от районного (например, приморское муниципальное образование районного уровня управления и прилегающие территориальные воды) до локального (например, приморское муниципальное образование поселений и прилегающие внутренние воды, узловые пространственные объекты в виде берегового поселения и прилегающих внутренних вод, и т.п.) пространственного уровня.
- оценки риск-факторов и интегрального показателя риска для территориального объекта АЗРФ проводятся в **безразмерном виде**.
- расчет оценки риск-факторов и интегрального показателя риска основывается на **матрицах рисков**.

Матричный подход к оценке риска природопользования в арктической береговой эко-социо-экономической системе реализуется в виде **последовательности из трех действий**.

В качестве модельного объекта рассмотрены **приморские муниципальные образования районного уровня Мурманской области**.

Шаг 1. Уменьшение размерности матриц рисков

Исходные матрицы риск-фактор – риск-источник и риск-объект – риск-фактор могут уменьшить свою размерность для конкретной рассматриваемой береговой системы в зависимости от следующих качеств этой системы:

- **Наличия/отсутствия** на рассматриваемой территории **риск-источников**. Происходит уменьшение количества столбцов в матрице риск-фактор – риск-источник.
- **Наличия/отсутствия** на рассматриваемой территории **риск-фактора**. Происходит уменьшение количества строк в матрице риск-фактор – риск-источник, и соответственно уменьшается количество столбцов в матрице риск-объект – риск-фактор.
- **Наличия/отсутствия** на рассматриваемой территории **риск-объектов**. Происходит уменьшение количества строк в матрице риск-объект – риск-фактор.

Факторы \ Источники	Геологические источники (бродяжки, платформы, земной коры)	Неустойчивость уреза берега (граница суша-море)	Природные геологические источники (глобальные)	Природные гидрометеорологические источники (региональные)	Природная среда (флора, фауна)	Человек (как охотник, турист и т.д., одиночный социальный элемент)	Социальные объекты инфраструктуры (жилые дома, социальные здания и т.д.)	Аквакультурные хозяйства и рыболовство	Портовый комплекс	Сухо вне портового комплекса	Воздушное средство (БПЛА, самолет, вертолет и т.д.)
Землетрясение	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Волновая / ледовая нагрузка	0	2	1	5	0	0	0	0	0	1	0
Айсберговая опасность	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0
Ветровая нагрузка	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0
Аномальные (вспениваемые) осадки	0	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0
Аномальный низкотемпературный режим / обледенение / ледной дождь	0	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0
Аномально низкая видимость	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0
Солнечная активность / помехи в атмосфере для радиосигналов	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	1
Половодье в устьях рек / подтопление территории	0	4	4	4	0	0	0	1	0	0	0
Аномальный высокотемпературный режим (тавание ледного покрова и вечной мерзлоты, повышение уровня моря)	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0
Абразия берега	5	5	0	0	1	0	1	0	1	0	0
Пожар	0	0	4	4	0	4	2	0	3	2	2
Техногенная авария	0	0	0	0	1	1	1	1	3	3	4
Перебой подачи электроэнергии / теплотенергии	0	0	0	0	1	1	3	0	1	0	1



Объекты \ Факторы	Землетрясение	Волновая / ледовая нагрузка	Айсберговая опасность	Ветровая нагрузка
Урез берега (граница суша-море, устойчивость берега)	5	4	2	4
Экосистема суши и вод суши (почва, флора и фауна, насекомые и т.д.)	5	0	0	4
Экосистема водная морская (биоресурсы воды, флора и фауна и т.д.)	3	4	3	4
Охраняемые природные территории (как территории с особым режимом хозяйствования и защиты экосистем)	4	1	0	2
Человек (как отдельный живой объект экосистемы)	3	0	0	3

Шаг 2. Расчет оценок риск-факторов R_i

Для скорректированных матриц риск-фактор – риск-источник и риск-объект – риск-фактор проводится расчет оценки риска R_i для каждого риск-фактора по совокупности i риск-факторов, имеющих в скорректированных матрицах. При расчете оценки риска R_i принимаются во внимание *следующие составляющие*:

- *сумма строки в матрице риск-фактор – риск-источник*, для фактора R_i , с учетом корректирующего коэффициента, отражающего степень управляемости по снижению рисков для каждого риск-источника, воздействующего на риск-фактор;
- *сумма столбца в матрице риск-объект – риск-фактор*, для фактора R_i , с учетом корректирующих коэффициентов, отражающих пространственный масштаб проявления риск-фактора, временной масштаб воздействия риск-фактора, степень прогнозируемости вероятности проявления риск-фактора, частоту продуцирования воздействия риск-фактора на риск-объект, количество непосредственных риск-объектов, на которые воздействует риск-фактор, степень возможности индуцирования последовательной цепочки риска для риск-объектов и размер (тяжесть) ущерба / последствий реализации риска для риск-объектов.

В общем виде, расчет оценки риска R_i осуществляется по формуле:

$$R_i = \sum (R_{S-F_j} \cdot k_m) + \sum \left[R_{F-O_k} \cdot \left(\frac{k_s + k_t + k_p + k_f + k_c + k_{ind} + k_d}{7} \right) \right],$$

где R_i – оценка проявления i -го риск-фактора, ед.;

R_{S-F_j} – степень продуцирования i -го риск-фактора со стороны j -го риск-источника, ед.;

R_{F-O_k} – степень воздействия i -го риск-фактора на k -ый риск-объект, ед.

3. Расчет оценки интегрального показателя риска R_{Int}

Оценка интегрального показателя риска R_{Int} рассчитывается как сумма всех риск-факторов R_i , с учетом рассмотренных выше коэффициентов, отображающих территориальные классификационные признаки, видовые формы и особенности составляющих риска.

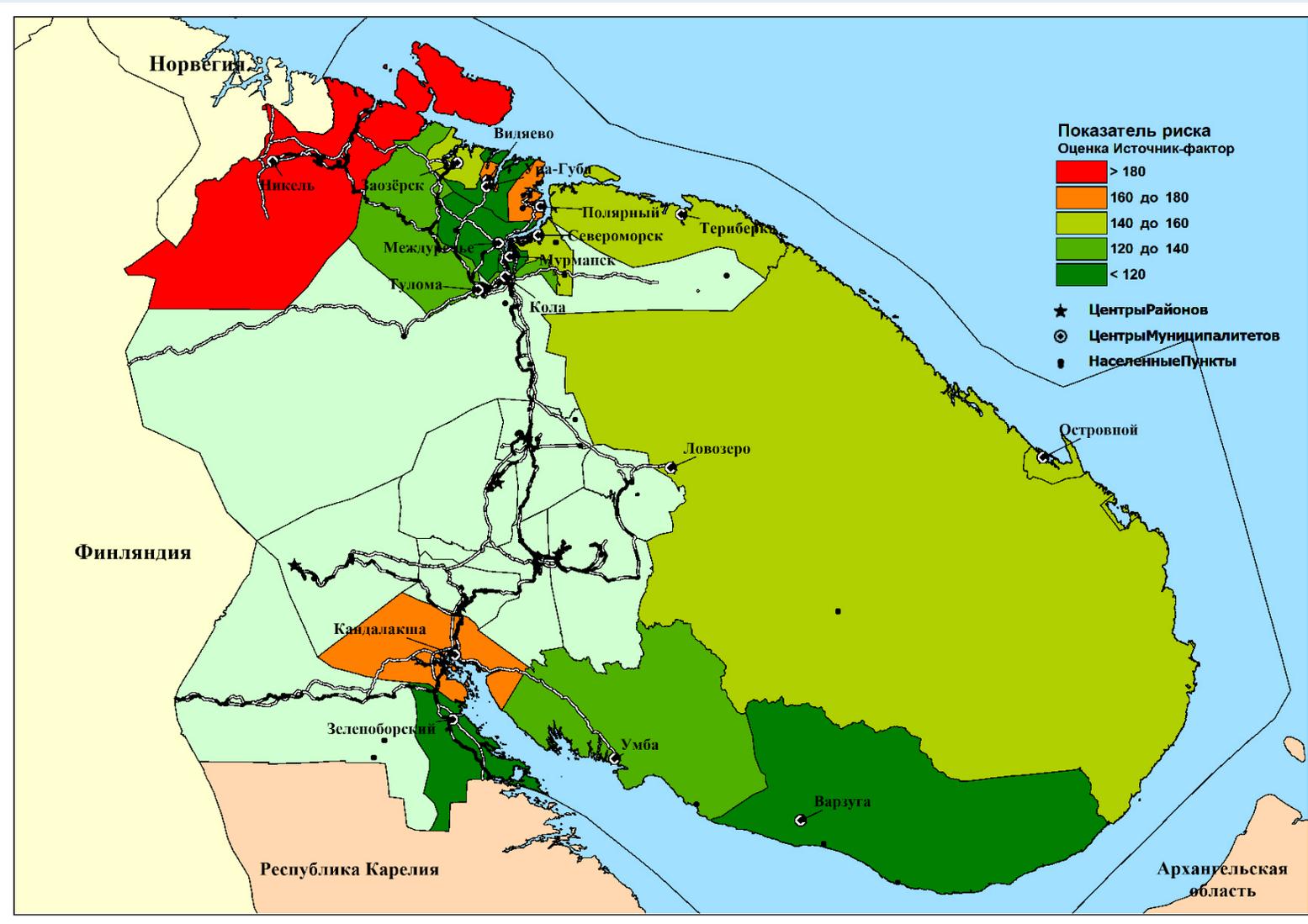
Расчет интегрального показателя риска R_{Int} осуществляется по формуле:

$$R_{Int} = \sum R_i,$$

где R_{Int} – интегральный показатель риска, ед.

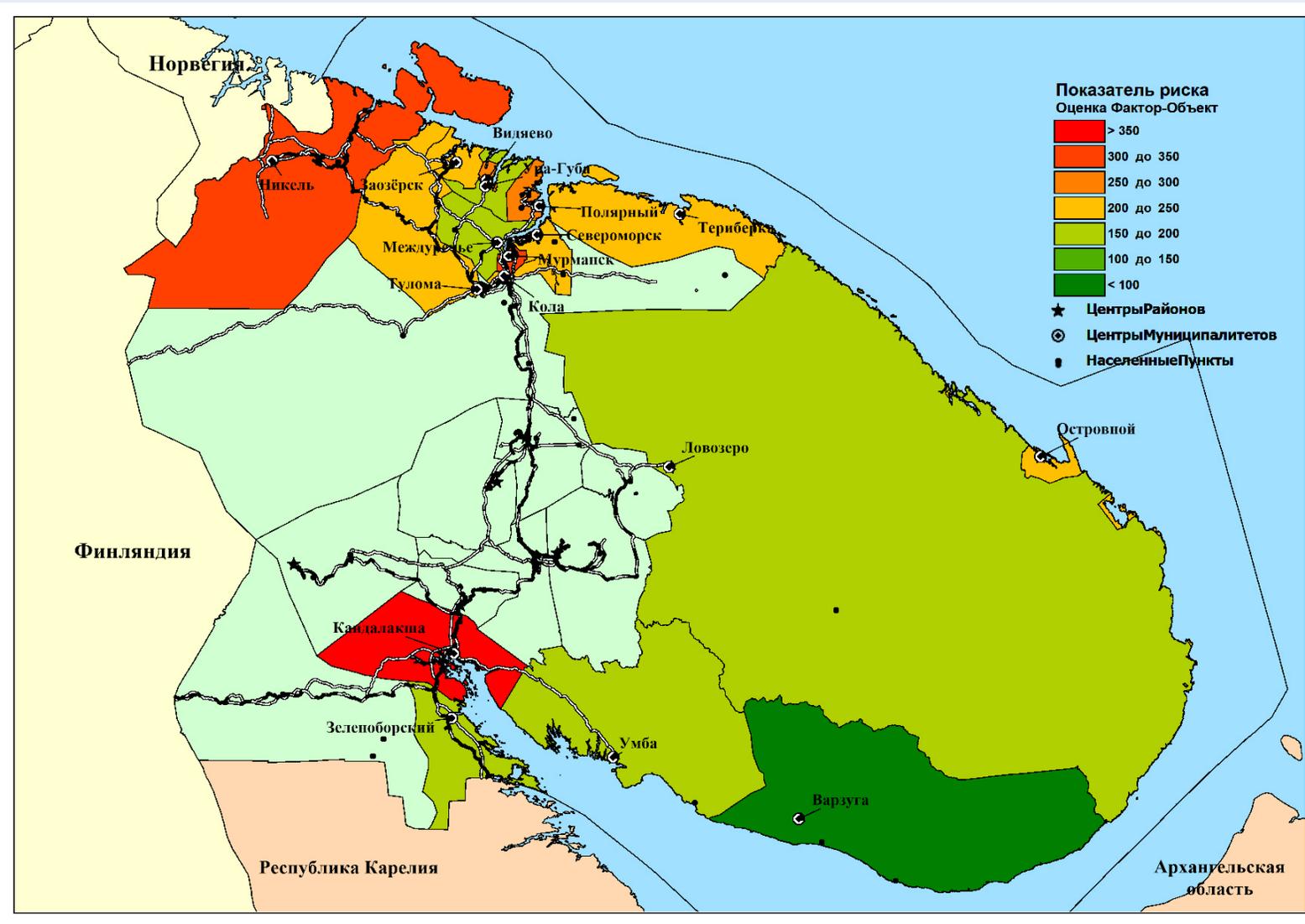
Значения **весовых коэффициентов** для каждого i -го риск-фактора для рассматриваемого района, исходя из предложенных классификационных градаций, **находятся на равномерной шкале на отрезке $[0; 1]$** . Их численные значения оцениваются экспертным путем. Данные коэффициенты в первую очередь зависят непосредственно от риск-объектов, расположенных на территории, а также от технологического уровня объекта, степени его модернизированности и квалификации персонала объекта.

Степень продуцирования риск-фактора от воздействия каждого из риск-источников



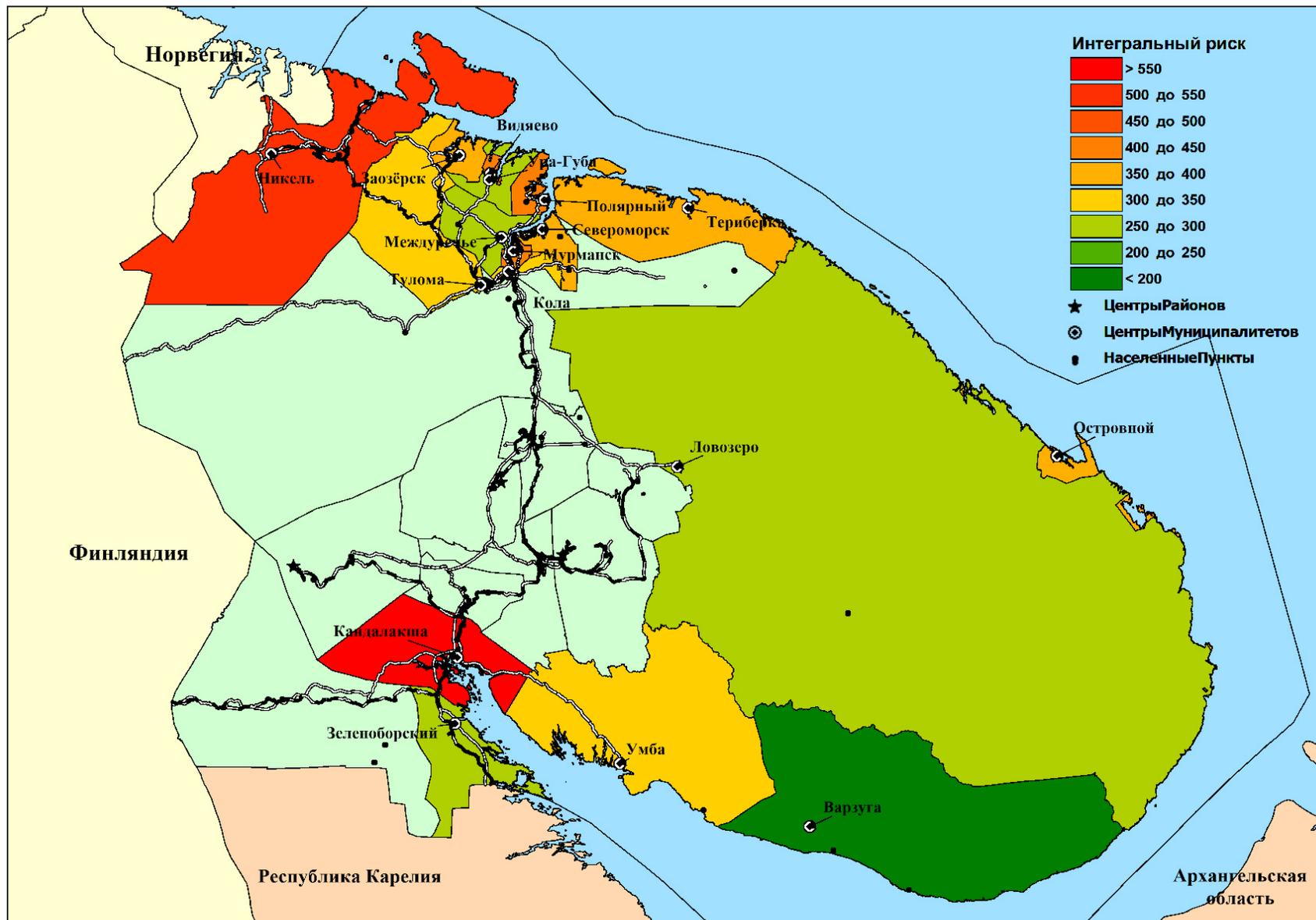
Наибольшая степень продуцирования приходится на Печенгский муниципальный округ с безмерной оценкой источник-фактор 181,8 единиц. Наименьшая степень продуцирования риск-фактора отмечена в сельском поселении Междуречье с безмерной оценкой источник-фактор 100,4 единицы. Такое распределение связано с большей площадью, ландшафтным разнообразием и заселенностью Печенгского муниципального округа по сравнению с сельским поселением Междуречье, что и способствует наличию увеличенного числа риск-источников, и, как следствие, приводит к более высокой степени продуцирования риск-фактора при сопоставлении с остальными территориями Мурманской области.

Степень возможного воздействия каждого риск-фактора на нормальное эффективное функционирование риск-объектов



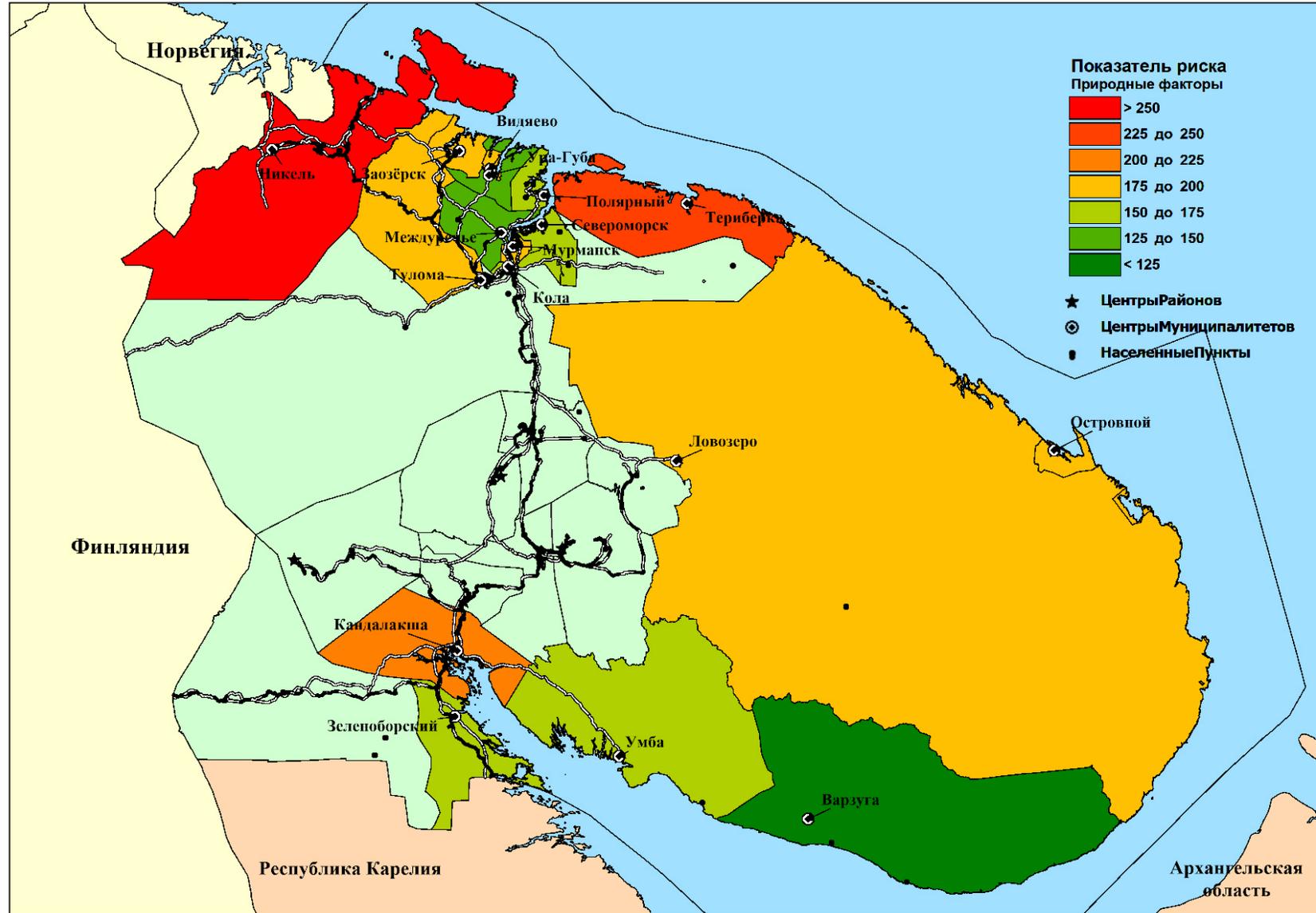
Большому воздействию подвергаются объекты в городском поселении Кандалакша с безмерной оценкой фактор-объект 380,9 единиц. Это связано с наличием довольно многочисленных объектов на относительно небольшой, достаточно заселенной территории с разнообразным ландшафтом. Сельское поселение Варзуга имеет минимальное значение безмерной оценки 85,8 единиц, что соответствует наименьшей опасности от имеющихся риск-факторов для объектов поселения. Такая картина стала возможна благодаря небольшому числу объектов, расположенных на достаточно большой малонаселенной площади с довольно однородным ландшафтом.

Общая интегральная оценка риска



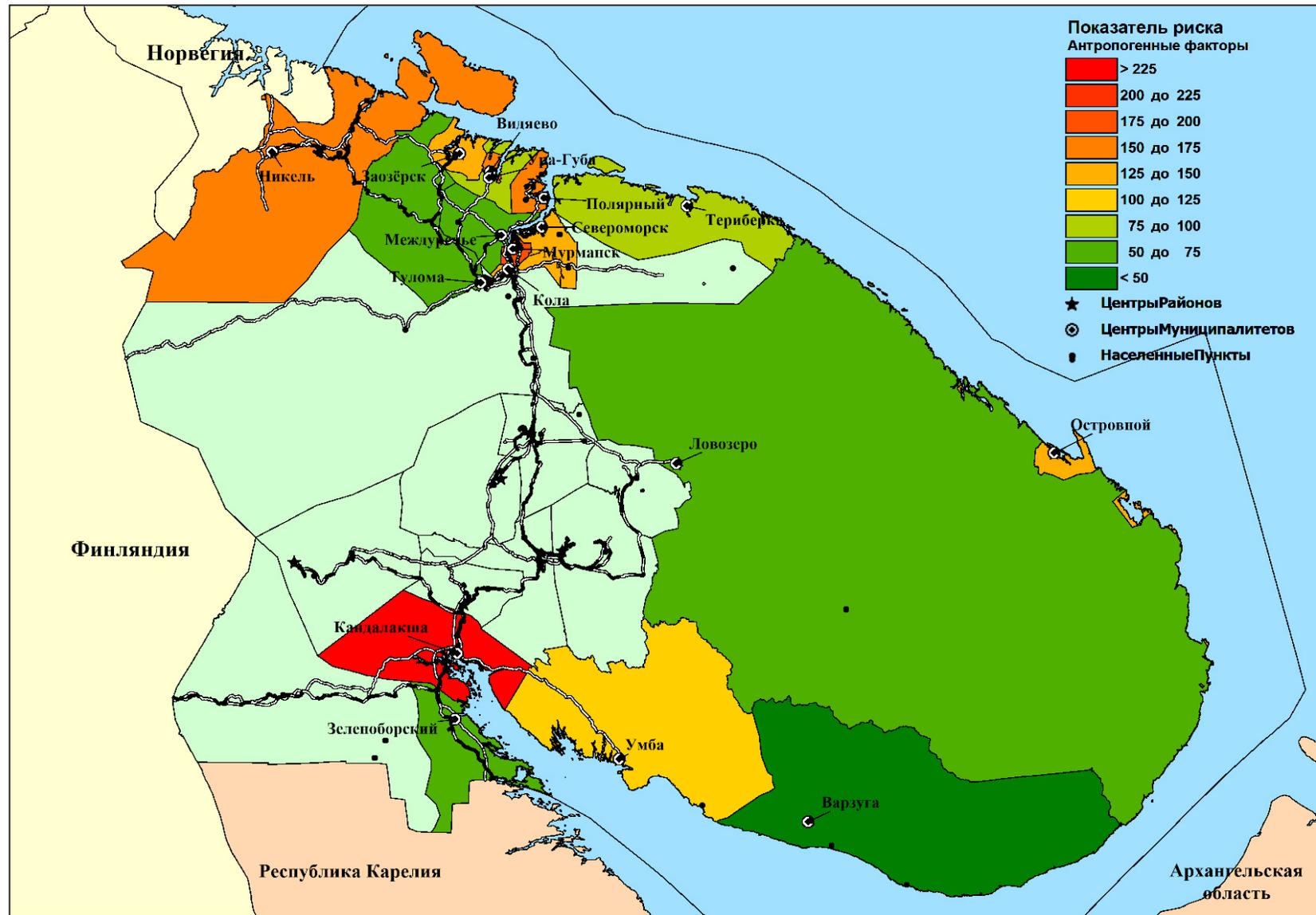
Наибольшему воздействию подвергаются объекты в городском поселении Кандалакша с безмерной интегральной оценкой 552,6 единиц, что составляет почти 10% вероятности наступления различных неблагоприятных рисков по сравнению с рассматриваемыми территориями Мурманской области. А наименьшее воздействие на объекты происходит в сельском поселении Варзуга со значением безмерной интегральной оценки 196,6 единиц, что составляет примерно 3% вероятности наступления различных неблагоприятных рисков по сравнению с остальными муниципалитетами.

Оценка комплексных вкладов природных факторов (без учета пожаров и инфекционных заболеваний)



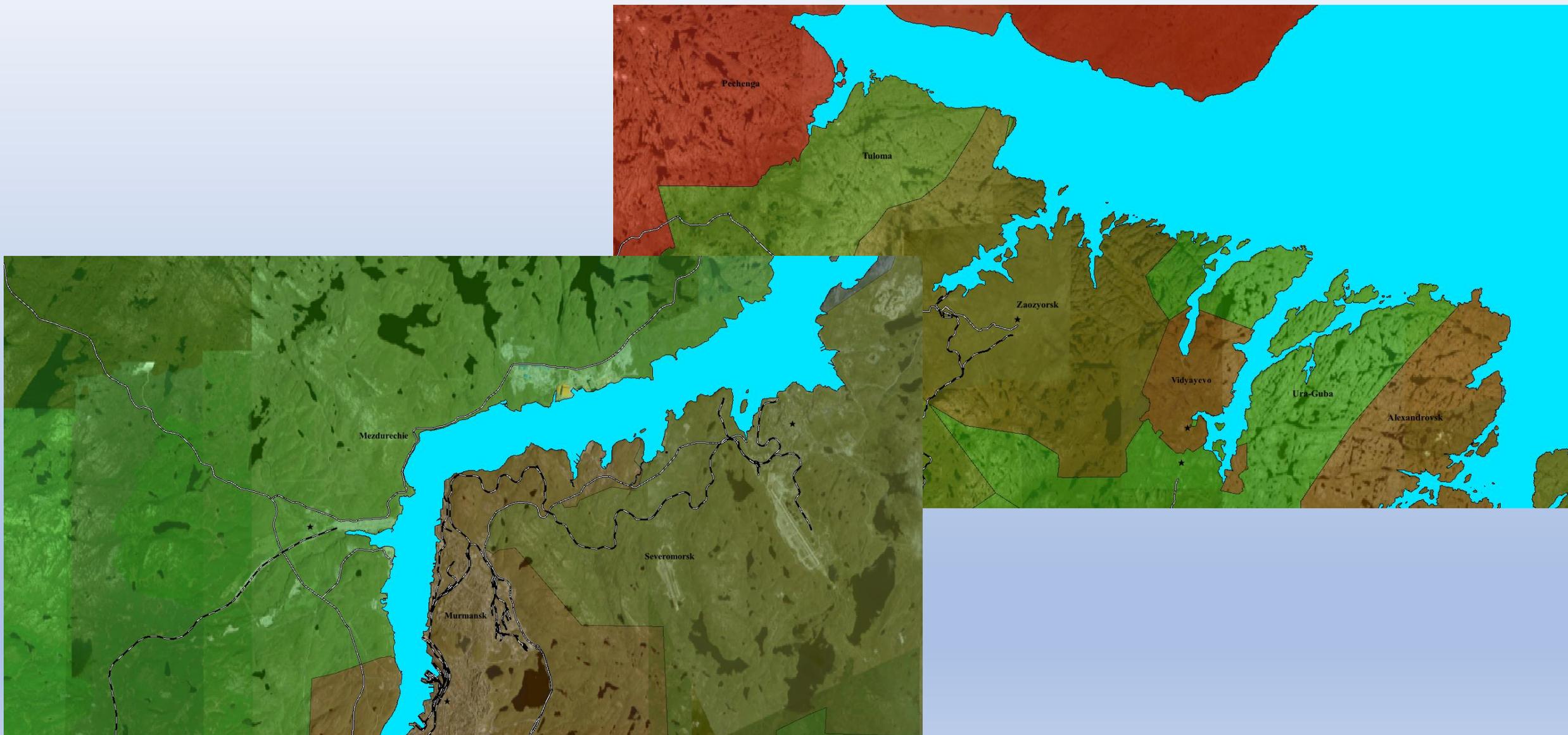
Самая высокая оценка вклада природных факторов (260,2 единицы, что составляет примерно 9% вероятности наступления неблагоприятного события) приходится на Печенгский муниципальный округ, относительно заселенный, имеющий обширную площадь с разнообразным ландшафтом, где возможно наличие большего числа природных риск-факторов по сравнению с остальными рассматриваемыми округами Мурманской области, а также Териберский район. При этом минимальная оценка природных факторов (120 единиц, что составляет примерно 4% вероятности наступления неблагоприятного события), приходится на сельское поселение Варзуга.

Оценка комплексных вкладов антропогенных (техногенных) факторов (без учета пожаров и инфекционных заболеваний)



Городское поселение Кандалакша имеет самую высокую оценку по вкладу антропогенных (техногенных) факторов (236,7 единицы, что составляет примерно 12% вероятности наступления неблагоприятного события), что связано с наличием большого количества техногенных объектов на небольшой довольно заселенной территории, а также на город Мурманск. При этом минимальная оценка вклада антропогенных факторов (34 единицы, что составляет примерно 2% вероятности наступления неблагоприятного события) факторов приходится на сельское поселение Варзуга.

Оценка размещения нового объекта инфраструктуры



Предлагаемый подход позволяет получить *пространственное распределение оценок рисков*, а также выявить наиболее важные средне- и долгосрочные риск-факторы, оценить возможные комбинации отдельных показателей.

Дальнейшая работа включает:

- разработку *методов вероятностного и монетарного прогноза* рисков безопасности природопользования в береговой зоне АЗРФ;
- разработку *методов оценки средне- и долгосрочного изменения интегрального показателя риска* от размещения какого-либо объекта (составление прогноза изменения риска вследствие размещения объекта);
- разработку *методов оценки краткосрочного изменения интегрального показателя риска*.

Развитие подхода осуществляется в рамках реализации проекта **«Создание регионального портала мониторинга опасных явлений природного и антропогенного происхождения Мурманской области на основе данных спутникового дистанционного зондирования и беспилотных авиационных систем»** (проект РНФ, № 24-17-20021).

Результующая модель рисков арктического берегового природопользования и ее составляющие войдут в качестве компонент *ГИС «Береговые эко-социо-экономические системы АЗРФ»*, разработанной в МАУ, и служащей прототипом *Кадастра береговой зоны арктических морей РФ*.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ