

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.150>

**ПРИГОДНОСТЬ ПРИБРЕЖНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ  
МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

Научная статья

**Ахтямов Р.Г.<sup>1,\*</sup>, Малофеев Р.Е.<sup>2</sup>, Елизарьев А.Н.<sup>3</sup>, Федосов В.А.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-8732-219X;

<sup>3</sup> ORCID : 0000-0002-5612-8121;

<sup>1</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург,  
Российская Федерация

<sup>2,3,4</sup> Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (ahtamov\_zchs[at]mail.ru)

**Аннотация**

Целью исследования является оценка пригодности прибрежных социально-экологических систем для антропогенного использования в условиях меняющегося климата. Методом исследования выступили принципы разработки и реализации комплекса мер по адаптации к меняющемуся климату в прибрежных районах. В работе сформулировано понятие пригодности, которое может позволить всесторонне оценить климатический риск по отношению к прибрежным социально-экологическим системам. Одним из результатов является то, что реализацию факторов климатического риска можно спрогнозировать точнее для прибрежных социально-экологических систем, чем при оценке в глобальном масштабе, основанной на оценке роста температуры. Проведенный анализ прибрежных социально-экологических систем позволяет детализировать прогноз реализации факторов климатического риска с учетом использования понятия пригодность. Данное понятие может быть использовано как дополнительный инструмент для анализа и оценки необратимости изменений в прибрежных социально-экологических системах, физических и социально-экологических особенностей территорий и каскадных эффектов, в том числе в локальном масштабе.

**Ключевые слова:** изменение климата, климатический риск, адаптация, пригодность, прибрежные социально-экологические системы, наводнения, урбанизированные территории, арктическое побережье.

**SUITABILITY OF COASTAL SOCIO-ECOLOGICAL SYSTEMS IN A CHANGING CLIMATE**

Research article

**Akhtyamov R.G.<sup>1,\*</sup>, Malofeev R.Y.<sup>2</sup>, Elizaryev A.N.<sup>3</sup>, Fedosov V.A.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-8732-219X;

<sup>3</sup> ORCID : 0000-0002-5612-8121;

<sup>1</sup> Emperor Alexander I St.Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, Russian Federation

<sup>2,3,4</sup> Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

\* Corresponding author (ahtamov\_zchs[at]mail.ru)

**Abstract**

The aim of the study is to evaluate the suitability of coastal socio-ecological systems for anthropogenic use in a changing climate. The research method was the principles of development and implementation of a set of measures for adaptation to a changing climate in coastal areas. The work formulates the concept of suitability, which can allow a comprehensive assessment of climate risk in relation to coastal socio-ecological systems. One result is that the implementation of climate risk factors can be predicted more accurately for coastal socio-ecological systems than in a global-scale assessment based on temperature rise. The analysis of coastal socio-ecological systems allows for a more detailed prediction of the realization of climate risk factors, taking into account the use of the concept of suitability. This concept can be used as an additional tool to analyse and assess the irreversibility of changes in coastal socio-ecological systems, physical and socio-ecological features of territories and cascading effects, including on a local scale.

**Keywords:** climate change, climate risk, adaptation, suitability, coastal socio-ecological systems, flooding, urbanized areas, Arctic coastline.

**Введение**

Одним из факторов климатического риска является подтопление прибрежных территорий вследствие изменения уровня мирового океана. Исторически, развитие человеческой цивилизации было приурочено к водным объектам, как источникам питьевой воды, продовольствия и возможности транспорта. В этой связи представляется актуальным рассмотрение прибрежных территорий, подверженных той или иной степени урбанизации, как объекта исследования испытывающего воздействие факторов климатического риска в условиях меняющегося климата.

Прибрежные социально-экологические системы (ПСС), также известные как «низковисотные прибрежные зоны» [1] – это системы гидрологически связанные с морем на высотах ниже 10 м над уровнем моря. ПСС включают в себя разнообразные типы систем, от небольших островов до крупных городов и агломераций, распределенных по всему миру. Данные системы зачастую имеют транспортную инфраструктуру. Поэтому они подвергаются широкому спектру климатических и социально-экологических рисков и, следовательно, требуют разработки мер адаптации к условиям

меняющегося климата. На ПСС проживает около 11% мирового населения, при плотности и темпах роста превышающих среднемировой уровень. Факторами климатических рисков, влияющими на ПСС являются эрозия береговой линии, изменение уровня грунтовых вод, засоление почвы, гидрологические и морские гидрологические опасные явления, в том числе повышение уровня моря (в среднем +0,84 м к 2100 году и 10-20 мм/год при сценарии RCP8.5 [2]), включая увеличение повторяемости экстремальных наводнений. Вместе с тем, в настоящее время, большинство ПСС имеют относительно низкий уровень реализации мер по адаптации [3], [4].

Протяженность морских границ России превышает 46 тыс. км, на морской шельф приходится свыше 4 млн км<sup>2</sup>, а размеры исключительной экономической зоны составляют около 8,5 млн км<sup>2</sup>. Непосредственный выход к морю имеют 23 региона и 166 муниципальных районов и городских округов. На долю приморских муниципальных образований приходится 22,4% территории и 16 875 тыс. жителей (11,5% всего демографического состава страны). В 80 приморских городах (13 из них являются столицами субъектов Федерации) проживает 13,3 млн человек [5].

Целью статьи является оценка пригодности прибрежных социально-экологических систем для антропогенного использования в условиях меняющегося климата.

### **Методы и принципы исследования**

Методы разработки и реализации комплекса мер по адаптации к меняющемуся климату в прибрежных районах опирается на следующие принципы:

1. Климатические риски необходимо рассматривать во всей их полноте, включая их физические, экологические и социальные последствия, а также взаимодействие данных компонентов. Системный подход к анализу факторов климатического риска позволит выявить каскадные последствия климатических рисков, в том числе для объектов инфраструктуры.

2. Оценка климатических рисков требует рассмотрения множества типов климатических опасностей, а также их взаимодействия. В ПСС климатические факторы риска включают постепенные, растянутые по времени изменения (повышение уровня моря, потепление океана, таяние вечной мерзлоты и пр.) а также внезапные, быстро развивающиеся экстремальные явления (штормы, волны тепла, пожары, наводнения, засухи и пр.), в сочетании с местными неклиматическими факторами антропогенного риска.

3. Необходимо опираться на данные о тех опасных природных процессах, реализация которых имела место быть на территории данной ПСС. Так как оценка апостериорной вероятности реализации анализируемого фактора климатического риска является более точной, если она проведена с учетом априорной вероятности анализируемого события.

4. ПСС характеризуются долгосрочными климатическими рисками. Так, повышение уровня моря к 2300 году ожидается в диапазоне от 0,3-3,1 до 1,7-6,8 м в соответствии с RCP2.6 и RCP8.5 соответственно [6].

Вышеперечисленные принципы могут быть учтены для адаптации населенных пунктов и объектов инфраструктуры посредством введения понятия «пригодности». В контексте адаптации к изменениям климата пригодность можно определить, как способность территории поддерживать устойчивое функционирование объектов техносферы в условиях меняющегося климата. Понятие пригодности может быть расширено с учетом возможности конкретной местности способствовать экономическому развитию, обеспечению средств к существованию и поддержанию здоровья и благополучия человека, как для настоящего, так и для будущих поколений.

Пригодность ПСС обуславливается внешними и внутренними факторами. К внешним относятся: факторы меняющегося климата, такие как изменение частоты опасных природных процессов; медленные изменения в атмосфере; медленные изменения в гидросфере и глобальные факторы, такие как включенность в мировую экономику; доступность энергетических и людских ресурсов. К внутренним факторам относятся: наличие населенных пунктов, развитость инфраструктуры; обеспеченность питьевой водой и продуктами питания; площадь и особенности территории; национальные особенности; социальные особенности; экономика и виды хозяйственной деятельности; местная экологическая, экономическая, социальная повестка.

Таким образом, пригодность опирается на гео-био-физические условия, а также на материальные (технологические, финансовые, институциональные) и нематериальные ресурсы жителей (культурная идентичность, привязанность к месту), с учетом ресурсов для адаптации, и приемлемости выбранной стратегии адаптации. При этом, пригодность ПСС не следует рассматривать изолировано от особенностей и процессов вне ПСС, включая потоки ресурсов и информации.

Исследования [7] показывают, что на атоллах островах ПСС, которую не затрагивают реализующиеся опасные природные процессы, закладывает основу для создания поселений и развития инфраструктуры. При этом превышение пороговых значений факторов климатического риска имеет решающее значение для определения последствий опасных природных процессов по всей системе обитаемости атоллов.

### **Основные результаты**

Подход, основанный на использовании понятия пригодности, может позволить всесторонне оценить климатический риск ПСС. Одним из последствий является то, что реализацию факторов климатического риска можно спрогнозировать точнее для ПСС, чем при оценке в глобальном масштабе, основанном на оценке увеличения температуры. Например, прогнозируется, что от 90 (к 2050 г.) до 380 (к 2100 г.) млн людей будут ежегодно подвергаться воздействию наводнений при реализации сценариев высокого уровня потепления по сравнению с настоящим временем (до 250 млн человек [8]). Однако вероятно, что последствия изменения условий жизни в ПСС, связанные с ростом повторяемости наводнений, штормовых нагонов и таяния вечной мерзлоты приведут к непригодности некоторых ПСС для жизни задолго до того, как глобальное повышение уровня моря вызовет затопление с необратимыми последствиями [9].

Таким образом, необходимым является определение того, как и когда угрозы по отношению к пригодности ПСС превращаются в потерю пригодности и, следовательно, реализуются климатические риски для ПСС.

Оценка пригодности проведена для двух видов ПСС: арктических и урбанизированных прибрежных территорий. Эти виды выбраны для иллюстрации ПСС с различной плотностью населения и развитостью инфраструктуры. Цель состоит в том, чтобы показать применимость подхода оценки пригодности ПСС для определения степени опасности климатических рисков вместо оценки условий риска в конкретном случае с учетом сценариев потепления, воздействия меняющегося климата, а также уязвимости и мер по адаптации.

#### *Арктические побережья*

Особенность арктического побережья в контексте пригодности заключается в значимости защищенности территории от опасностей связанных с меняющимся климатом и гидросферой. Реализация данных опасностей может вызвать каскадный эффект в отношении мест проживания людей и объектов инфраструктуры, а также экономической и традиционной деятельности местных народов.

К климатическим факторам, которые влияют на пригодность арктических ПСС, относятся таяние вечной мерзлоты и таяние континентальных ледников. Таяние вечной мерзлоты угрожает прибрежным поселениям и инфраструктуре, поскольку возможно изменение береговой линии и повреждение критически важной инфраструктуры. Прогноз изменения климата в соответствии с RCP8.5 показывает, что к 2050 году затраты на ремонт, восстановление или замену инфраструктуры арктической зоны могут увеличиться на 28% [10]. По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата таяние вечной мерзлоты в Арктике повлияет на значительную часть инфраструктуры (почти 70% по RCP4.5), и к 2050 году затронет миллионы людей [11]. Таяние вечной мерзлоты представляется необратимой тенденцией, однако критический порог для реализации данного фактора климатического риска остается недостаточно изученным. Достижение данного критического порога зависит от местных условий, таких как плотность населения, развитость инфраструктуры, скорости таяния вечной мерзлоты, а также видов традиционной деятельности местных народов и наличия объектов, имеющих культурную и историческую ценность.

Таяние континентальных ледников, связанное с потеплением, может вызывать более высокие риски временного и постоянного подтопления территории, что может усугубиться повышением уровня моря и таянием вечной мерзлоты, а также береговой эрозией.

Следует отметить, что таяние континентальных ледников и таяние морского льда может создать новые возможности для судоходства, однако данные преимущества могут быть нивелированы снижением возможности использования зимников и воздействием на инфраструктуру деградировавшей вечной мерзлоты [12].

Определение пригодности зависит также от потенциала адаптации к меняющемуся климату, например посредством инвестиций в охрану прибрежных зон и переселения населения. Однако данные меры адаптации должны соотноситься с традиционными методами использования ресурсов, которые лежат в основе идентичности, культуры, хозяйственных практик и мировоззрения народов арктической зоны.

#### *Урбанизированные прибрежные территории*

Большая часть (63%) мирового городского населения проживает в прибрежных районах [13], и эти урбанизированные прибрежные территории вносят значительный вклад в национальную экономику и служат центрами глобальной торговли и транспорта. По прогнозам к 2050 году 800 миллионов человек, будут жить в более чем 570 прибрежных городах, подверженных воздействию повышения уровня моря на 0,5 м [14]. Прибрежные города испытают влияние повышения уровня моря из-за размыва грунта и береговой эрозии, наряду с повышением уровня моря и повышением вероятности штормов. Ожидается, что в ближайшем будущем риск наводнений в городах на прибрежных территориях увеличится в результате продолжающейся прибрежной урбанизации [15] и связанным с ней увеличением экономической деятельности [16].

Наводнения в прибрежных городах влияют на уровень пригодности ПСС, в частности населенных пунктов и инфраструктуры, а также на возникновение каскадных эффектов оказывающих негативное воздействие на экономическую деятельность. Кроме того, потенциально возможна потеря транспортной инфраструктуры из-за более частых и более разрушительных опасных природных явлений и, в более широком смысле, потеря местных агломеративных экономик урбанизированной территории, которые характерны для городов с высокой плотностью населения. Макроэкономические потери обуславливаются возможными наводнениями, уничтожающими основные средства производства, такие как здания, сооружения, оборудование, а также сокращением предложения рабочей силы. Каскадные эффекты могут быть связаны с потерей пригодной для экономической деятельности территории и нарушениях в снабжении питьевой водой в районах затопленных соленой морской водой, что влияет на городское водоснабжение, особенно в условиях отсутствия развитой системы опреснения воды.

При этом связь с компонентом пригодности, обеспечивающим снабжение продовольствием, вероятно, будет слабее, чем на арктическом побережье, вследствие наличия развитой системы снабжения городского населения внешними источниками продовольствия.

Меры адаптации по отношению к наводнениям известны и широко применяются, они заключаются в создании и модернизации гидротехнических сооружений берегоукрепления.

В настоящее время численность населения, пострадавшего в результате наводнений, повторяемостью раз в 100 лет в ПСС, составляет 30–61 млн человек. Принимая во внимание будущие изменения численности населения и уровня моря, прогнозируется увеличение числа пострадавших от наводнений до 63–88 млн к 2050 г. и 57–212 млн к 2100 г. [17]. Однако при реализации мер адаптации, связанных с созданием и развитием прибрежных гидротехнических сооружений в соответствии с прогнозом изменения уровня моря, риски для населения, территории, инфраструктуры снижаются до 15–30 млн к 2050 г. и до 11–85 млн к 2100 г. [17].

Отток населения с урбанизированных прибрежных территорий может стать результатом каскадного изменения климатических рисков и, как следствие, сокращения возможностей и видов экономической деятельности. Показатели

миграции снижаются по мере развития прибрежных гидротехнических сооружений. В соответствии с прогнозом численность населения, пострадавшего в результате наводнений в Европе к 2100 году составит 0,5–6,9 млн человек, но при принятии дополнительных мер защиты численность составит 0,7–1,3 млн человек [18].

Анализ мер адаптации, реализованных в густонаселенных прибрежных районах, показал, что они заключаются в строительстве защитных дамб с использованием насосов для откачивания воды, с постепенным наращиванием высоты дамбы, а также мелиорацией земель. Однако планирование и реализация мер адаптации основывающихся на некорректных прогнозах или создание прибрежных гидротехнических сооружений, не отвечающих требованиям устойчивости по отношению к факторам климатического риска, может привести к катастрофическому затоплению урбанизированной прибрежной территории, с последующей потерей пригодности данной ПСС.

### Обсуждение

Проведенный анализ прибрежных социально-экологических систем позволяет детализировать прогноз реализации факторов климатического риска с учетом использования понятия пригодность. Данное понятие может быть использовано как дополнительный инструмент для анализа и оценки необратимости изменений в ПСС, физических и социально-экологических особенностей территорий и каскадных эффектов, в том числе в локальном масштабе.

Концепция пригодности позволяет кроме гидрологических и экономических факторов оценить значимость территории для коренного населения территории, с учетом культурного и исторического наследия в региональном и местном масштабе.

Анализ арктического побережья и урбанизированных прибрежных территорий показывает, что выявление необратимых изменений, пороговых значений по отношению к пригодности ПСС, а также учет каскадных эффектов, влияющих на пригодность возможен. Разработка мер адаптации должна опираться на особенности ПСС и критерии наличия или потери пригодности.

Предложенная модель может оказаться полезной при оценке приемлемости климатических рисков для различных территорий, учете возможности реализации каскадных эффектов потери пригодности, и, следовательно, выявления наихудших сценариев для прибрежных районов. Также возможна оценка сокращения пространства пригодного для антропогенной деятельности по мере повышения уровня моря вследствие усиления изменения климата, и, как следствие, выявления приоритетных вариантов адаптации по мере достижения пороговых значений факторов климатических рисков.

### Заключение

Предложен подход к разработке и реализации комплекса мер по адаптации к меняющемуся климату в прибрежных районах, основывающийся на следующих принципах: климатические риски необходимо рассматривать во всей их полноте, включая их физические, экологические и социальные последствия, а также взаимодействие данных компонентов; оценка климатических рисков требует рассмотрения множества типов климатических опасностей, а также их взаимодействия; необходимо опираться на данные о тех опасных природных процессах, реализация которых имела место быть на территории данной ПСС; ПСС характеризуются наличием долгосрочных климатических рисков.

Предложено понятие пригодности в контексте адаптации к изменениям климата, как способность территории поддерживать устойчивое функционирование объектов техносферы в условиях меняющегося климата. Понятие пригодности может быть расширено с учетом возможности конкретной местности способствовать экономическому развитию, обеспечению средств к существованию и поддержанию здоровья и благополучия человека, как для настоящего, так и для будущих поколений.

Таким образом, необходимым является определение того, как и когда угрозы по отношению к пригодности ПСС превращаются в потерю пригодности и, следовательно, реализуются климатические риски для ПСС. Оценка пригодности проведена для двух видов ПСС: арктических и урбанизированных прибрежных территорий. Эти виды выбраны для иллюстрации ПСС с различной плотностью населения и развитостью инфраструктуры.

Предложенная модель может оказаться полезной при оценке приемлемости климатических рисков для различных территорий, учете возможности реализации каскадных эффектов потери пригодности, и, следовательно, выявления наихудших сценариев для прибрежных районов.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Егоров Д.Г., Санкт-Петербургский университет  
Федеральной службы исполнения наказаний России,  
Псков, Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.150.1>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

Egorov D.G., Saint Petersburg University of the Federal  
Penitentiary Service of Russia, Pskov, Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.150.1>

### Список литературы / References

- McGranahan G. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones / G. McGranahan, D. Balk, B. Anderson // *Environment & Urbanization*. — 2007. — Vol.19. — Issue 1. — P. 17–37. — URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0956247807076960> (accessed: 31.03.2024) DOI: 10.1177/0956247807076960
- Pörtner H.-O. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor et al. — Cambridge : Cambridge University Press, 2023. — 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844

3. Berrang-Ford L. A systematic global stocktake of evidence on human adaptation to climate change / L. Berrang-Ford, A. R. Siders, A. Lesnikowski et al. // *Nature climate change*. — 2021. — № 11. — P. 989–1000. DOI: 10.1038/s41558-021-01170-y
4. Petzold J. Between tinkering and transformation: A contemporary appraisal of climate change adaptation research on the world's islands / J. Petzold, E. T. Joe, I. Kelman et al. // *Frontiers in Climate*. — 2022. — Vol. 4. — P. 1–16. DOI: 10.3389/fclim.2022.1072231
5. Дружинин А. Г. Приморская зона России как общественно-географический феномен: подходы к концептуализации и делимитации / А. Г. Дружинин // *Балтийский регион*. — 2016. — Т. 8. — № 2. — С. 85–100. DOI: 10.5922/2074-98482016-2-5
6. Fox-Kemper B. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Ocean, Cryosphere and Sea Level Change / B. Fox-Kemper, H. T. Hewitt, C. Xiao et al. — Cambridge, UK & New York, USA : Cambridge University Press, 2023. — P. 1211–1362. DOI: 10.1017/9781009157896.011
7. Duvat V. K. E. Risks to future atoll habitability from climate-driven environmental changes / V. K. E. Duvat, A. K. Magnan, C. T. Perry et al. // *WIREs Climate Change*. — 2021. — Vol. 12. — Issue 3. DOI: 10.1002/wcc.700
8. Kulp S. A. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding / S. A. Kulp, B. H. Strauss // *Nature communications*. — 2019. — № 10. DOI: 10.1038/s41467-019-12808-z
9. Magnan A. K. Estimating the global risk of anthropogenic climate change / A. K. Magnan et al. // *Nature climate change*. — 2021. — № 11. — P. 879–885. DOI: 10.1038/s41558-021-01156-w
10. Suter L. Assessment of the cost of climate change impacts on critical infrastructure in the circumpolar Arctic / L. Suter, D. Streletskiy, N. Shiklomanov // *Polar Geography*. — 2019. — Vol. 42. — Issue 4. — P. 267–286. DOI: 10.1080/1088937X.2019.1686082
11. Constable A. J. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Polar Regions / A. J. Constable, S. Harper, J. Dawson et al. — Cambridge, UK and New York, USA : Cambridge University Press, 2022. — P. 2319–2368. DOI: 10.1017/9781009325844.023
12. Luijk N. Community-identified risks to hunting, fishing, and gathering (harvesting) activities from increased marine shipping activity in Inuit Nunangat, Canada / N. Luijk, N. A. Carter, J. Dawson et al. // *Regional Environmental Change*. — 2022. — Vol. 22. DOI: doi:10.1007/s10113-022-01894-3
13. Barragan J. M. Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations / J. M. Barragan et al. // *Ocean & Coastal Management*. — 2015. — Vol. 114. — P. 11–20. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.06.004
14. Annual Report 2018–2019. — 2019. — URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Annual\\_Report\\_18-19.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Annual_Report_18-19.pdf) (accessed: 05.03.2024).
15. Mahtta R. Urban land expansion: the role of population and economic growth for 300+ cities / R. Mahtta, M. Fragkias, B. Güneralp et al. // *NPJ Urban Sustainability*. — 2022. — № 2. — P. 5. DOI: 10.1038/s42949-022-00048-y
16. Pycroft J. The Global Impacts of Extreme Sea-Level Rise: A Comprehensive Economic Assessment / J. Pycroft, J. Abrell, J. C. Ciscar // *Environmental and Resource Economics*. — 2016. — № 64. — P. 225–253. DOI: 10.1007/s10640-014-9866-9
17. Kirezci E. Global-scale analysis of socioeconomic impacts of coastal flooding over the 21st century / E. Kirezci, I. R. Young, R. Ranasinghe // *Frontiers in Marine Science*. — 2023. — Vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.1024111
18. Vousdoukas M. I. Economic motivation for raising coastal flood defenses in Europe / M. I. Vousdoukas, L. Mentaschi, J. Hinkel et al. // *Nature communications*. — 2020. — № 11. — P. 2119. DOI: 10.1038/s41467-020-15665-3

### Список литературы на английском языке / References in English

1. McGranahan G. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones / G. McGranahan, D. Balk, B. Anderson // *Environment & Urbanization*. — 2007. — Vol.19. — Issue 1. — P. 17–37. — URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0956247807076960> (accessed: 31.03.2024) DOI: 10.1177/0956247807076960
2. Pörtner H.-O. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor et al. — Cambridge : Cambridge University Press, 2023. — 3056 p. DOI: 10.1017/9781009325844
3. Berrang-Ford L. A systematic global stocktake of evidence on human adaptation to climate change / L. Berrang-Ford, A. R. Siders, A. Lesnikowski et al. // *Nature climate change*. — 2021. — № 11. — P. 989–1000. DOI: 10.1038/s41558-021-01170-y
4. Petzold J. Between tinkering and transformation: A contemporary appraisal of climate change adaptation research on the world's islands / J. Petzold, E. T. Joe, I. Kelman et al. // *Frontiers in Climate*. — 2022. — Vol. 4. — P. 1–16. DOI: 10.3389/fclim.2022.1072231
5. Дружинин А. Г. Приморская зона России как общественно-географический феномен: подходы к концептуализации и делимитации [The Primorsky Zone of Russia as a socio-geographical phenomenon: approaches to conceptualization and delimitation] / А. Г. Дружинин // *Балтийский регион* [The Baltic Region]. — 2016. — Т. 8. — № 2. — С. 85–100. DOI: 10.5922/2074-98482016-2-5 [in Russian]
6. Fox-Kemper B. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Ocean, Cryosphere and Sea Level Change / B. Fox-Kemper, H. T. Hewitt, C. Xiao et al. — Cambridge, UK & New York, USA : Cambridge University Press, 2023. — P. 1211–1362. DOI: 10.1017/9781009157896.011
7. Duvat V. K. E. Risks to future atoll habitability from climate-driven environmental changes / V. K. E. Duvat, A. K. Magnan, C. T. Perry et al. // *WIREs Climate Change*. — 2021. — Vol. 12. — Issue 3. DOI: 10.1002/wcc.700
8. Kulp S. A. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding / S. A. Kulp, B. H. Strauss // *Nature communications*. — 2019. — № 10. DOI: 10.1038/s41467-019-12808-z

9. Magnan A. K. Estimating the global risk of anthropogenic climate change / A. K. Magnan et al. // *Nature climate change*. — 2021. — № 11. — P. 879–885. DOI: 10.1038/s41558-021-01156-w
10. Suter L. Assessment of the cost of climate change impacts on critical infrastructure in the circumpolar Arctic / L. Suter, D. Streletskiy, N. Shiklomanov // *Polar Geography*. — 2019. — Vol. 42. — Issue 4. — P. 267–286. DOI: 10.1080/1088937X.2019.1686082
11. Constable A. J. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Polar Regions* / A. J. Constable, S. Harper, J. Dawson et al. — Cambridge, UK and New York, USA : Cambridge University Press, 2022. — P. 2319–2368. DOI: 10.1017/9781009325844.023
12. Luijk N. Community-identified risks to hunting, fishing, and gathering (harvesting) activities from increased marine shipping activity in Inuit Nunangat, Canada / N. Luijk, N. A. Carter, J. Dawson et al. // *Regional Environmental Change*. — 2022. — Vol. 22. DOI: doi:10.1007/s10113-022-01894-3
13. Barragan J. M. Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations / J. M. Barragan et al. // *Ocean & Coastal Management*. — 2015. — Vol. 114. — P. 11–20. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.06.004
14. Annual Report 2018–2019. — 2019. — URL: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Annual\\_Report\\_18-19.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Annual_Report_18-19.pdf) (accessed: 05.03.2024).
15. Mahtta R. Urban land expansion: the role of population and economic growth for 300+ cities / R. Mahtta, M. Fragkias, B. Güneralp et al. // *NPJ Urban Sustainability*. — 2022. — № 2. — P. 5. DOI: 10.1038/s42949-022-00048-y
16. Pycroft J. The Global Impacts of Extreme Sea-Level Rise: A Comprehensive Economic Assessment / J. Pycroft, J. Abrell, J. C. Ciscar // *Environmental and Resource Economics*. — 2016. — № 64. — P. 225–253. DOI: 10.1007/s10640-014-9866-9
17. Kirezci E. Global-scale analysis of socioeconomic impacts of coastal flooding over the 21st century / E. Kirezci, I. R. Young, R. Ranasinghe // *Frontiers in Marine Science*. — 2023. — Vol. 9. DOI: 10.3389/fmars.2022.1024111
18. Vousdoukas M. I. Economic motivation for raising coastal flood defenses in Europe / M. I. Vousdoukas, L. Mentaschi, J. Hinkel et al. // *Nature communications*. — 2020. — № 11. — P. 2119. DOI: 10.1038/s41467-020-15665-3