

Компьютерное моделирование диффузии в смеси идеальных газов с учетом зависимости коэффициента диффузии от энтропии смешения согласно [1] с применением метода конечных разностей выполнено впервые. Полученные результаты требуют дальнейшей верификации с использованием результатов экспериментальных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринчик Н.Н., Заяц Г.М. Диффузия в смеси идеальных газов с учетом зависимости коэффициента диффузии от энтропии смешения / Н. Н. Гринчик, Г. М. Заяц // XXI Международная научная конференция по дифференциальным уравнениям (Еругинские чтения – 2023): материалы конф.: в 2 ч. / Ин-т мат. нац. акад. наук Беларуси, Белорус. гос. ун-т, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: В. В. Амелькин [и др.]. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2023. – Ч. 2. – 169 с. – Могилев, 2023. – С. 81-83.
2. Computational Methods for Gas Diffusion Modeling / J. R. Smith, A. B. // Doe Environmental Modeling Journal. – 2010. – 25(2). – Р. 123-137.
3. Шалькевич, П. К. Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве / П. К. Шалькевич // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 2. – С. 139-145.
4. Плесканев В. В., Шалькевич П. К., Липницкий Л. А. Географические информационные системы мониторинга миграции загрязняющих веществ в почвах и водах в контексте улучшения экологической обстановки / В. В. Плесканев, П. К. Шалькевич, Л. А. Липницкий // Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2023 : environmental problems of the XXI century : материалы 23-й Международной научной конференции, 18–19 мая 2023 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол. : А. Н. Батын [и др.] ; под ред. д-ра б. н., доцента О. И. Родькина, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск : ИВЦ Минфина, 2023. – Ч. 2. – 384 с. – Минск, 2023. – С. 320-324.
5. Шалькевич, П. К., Кундас, С. П. Верификация численных методов и математической модели, разработанных для моделирования миграции радионуклидов в природных дисперсных средах / П. К. Шалькевич, С. П. Кундас // Доклады БГУИР. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 66-74.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕФЕРЕНТНЫЕ ВИДЫ ВОДНОЙ И НАЗЕМНОЙ БИОТЫ

USE OF INNOVATIVE GIS TECHNOLOGIES IN RETROSPECTIVE ASSESSMENT OF DOSE LOADS AND VARIABILITY OF RADIATION CHARACTERISTICS ON REFERENCE SPECIES OF AQUATIC AND TERRESTRIAL BIOTA

В. В. Журавков, А. П. Голубев, О. А. Антонович

V. V. Zhuravkov, A. P. Golubev, O. A. Antonovich

*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
zhvl@mail.ru*

*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, the Republic of Belarus*

В статье представлены результаты работы, выполненной в рамках НИР «Оценить дозовые нагрузки и эффекты ионизирующих излучений в сочетании со стрессом различной природы на биоту в зоне хронического радиационного воздействия», ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограммы «Радиация и биологические системы» на 2021-2025 годы.

The article presents the results of the work carried out within the framework of the research work “Assess dose loads and effects of ionizing radiation in combination with stress of various natures on biota in the zone of chronic radiation exposure”, State Public Research Institute “Natural Resources and Environment” subprogram “Radiation and Biological Systems” for 2021- 2025.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, радионуклиды ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{241}Am , референтные виды водной и наземной биоты, поглощенные дозы.

Keywords: radioactive contamination, radionuclides ^{90}Sr , ^{137}Cs and ^{241}Am , reference species of aquatic and terrestrial biota, estimated doses.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-264-268>

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС привела к значительному радиоактивному загрязнению подстилающей поверхности и водоемов 30-км зоны отчуждения. В первый месяц после аварии основной вклад в формирование дозы внешнего облучения в порядке убывания вносили ^{136}Cs , ^{95}Nb , ^{140}La , ^{95}Zr , β -изотоп ^{91}Y , ^{89}Sr , ^{140}La , ^{143}Pr , ^{140}Ba , ^{95}Zr , ^{141}Ce , ^{86}Rb , ^{136}Cs и ^{95}Nb .

Материалы и методы исследования. Динамику загрязнения территории Беларуси радионуклидами после катастрофы на ЧАЭС можно охарактеризовать следующими этапами (рис. 1): I. Йодный этап; II. Этап стабилизации обстановки; III. Цезиево-стронциевый этап; IV. Актинидный этап [1].

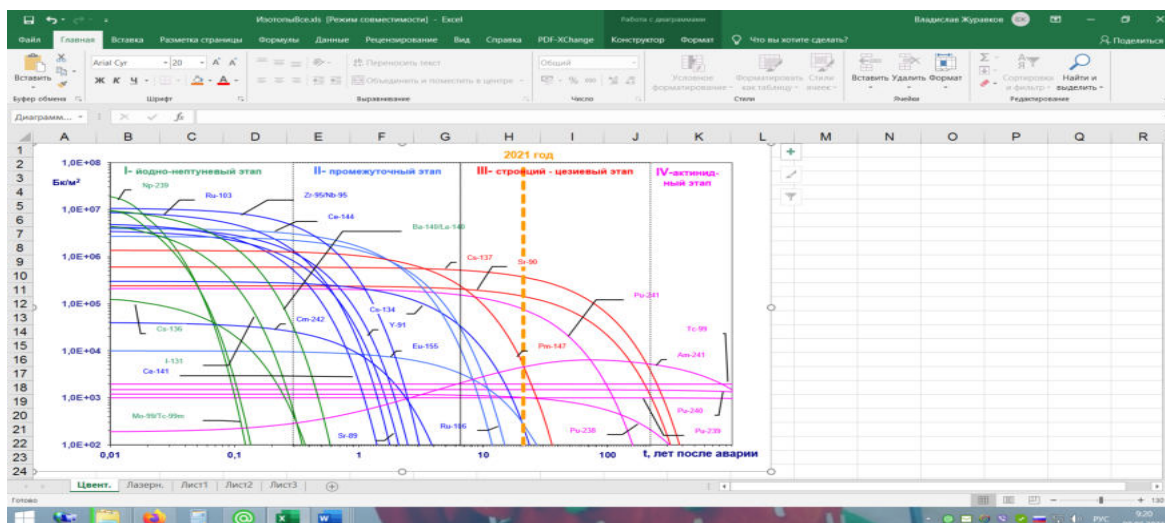


Рисунок 1 – Динамика радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности населенного пункта Масаны (Гомельская область, Беларусь)

I. Йодный этап: на основании аналитического обзора многочисленных опубликованных экспериментальных и расчетных данных была восстановлена динамика развития радиационной обстановки на активной стадии аварии для Гомельской области Республики Беларусь (рис. 2).

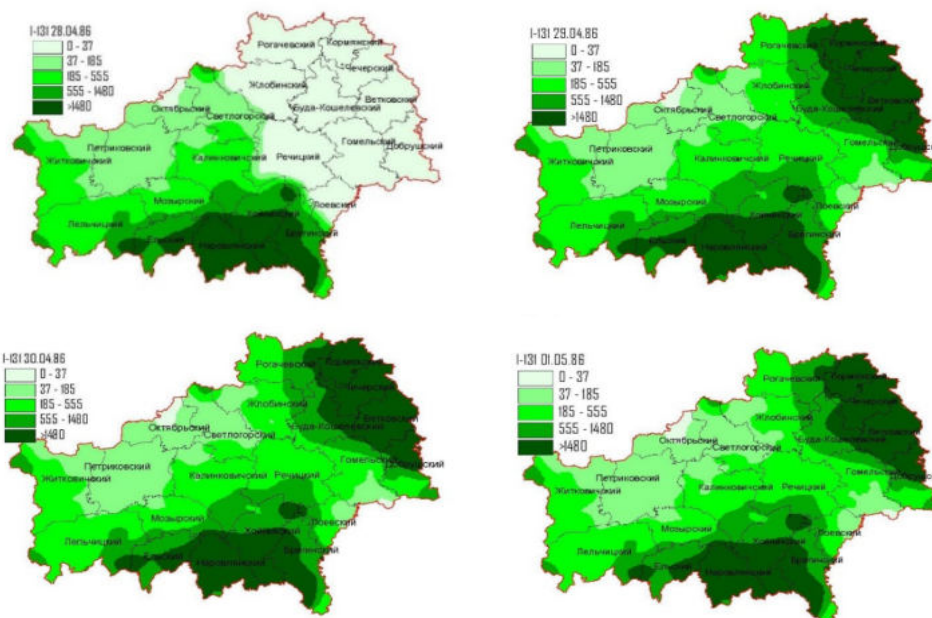


Рисунок 2 – Динамика загрязнения почвы Гомельской области Республики Беларусь I-131 с 28.04.1986 г. по 01.05.1986 г., кБк/м²

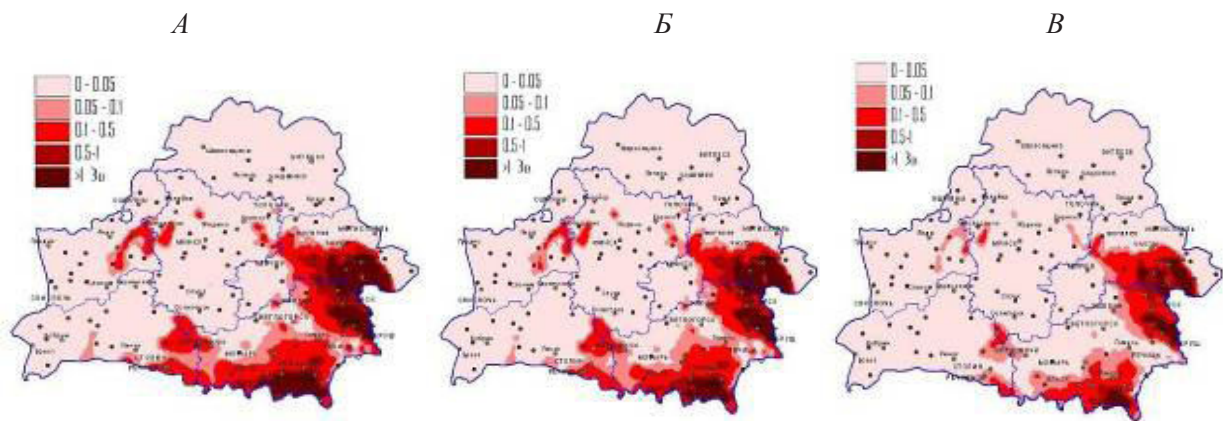


Рисунок 3 – Средняя групповая доза: А) – дети до 5 лет на момент аварии, Б) – подростки от 5 до 17 лет на момент аварии, В) – взрослые от 17 лет

Используя данные реконструкции радиационной обстановки, были оценены средние групповые дозы облучения щитовидной железы для жителей Республики Беларусь. На рисунке 3 приводятся карты средних групповых доз (дети, подростки, взрослые) с 26 апреля по 5 мая 1986 г.

II. Этап стабилизации обстановки и III. Цезиево-стронциевый этапы: Второй и третий этапы обусловлены тем, что за счет радиоактивного распада в значительно снизилось радиоактивное загрязнение радионуклидами с $T_{1/2}$ около года. Происходит деструкция топливных частиц и миграционные процессы стронция-90. Радиационная обстановка на этих этапах формируется за счет радионуклидов цезия и стронция.

IV. Актинидный этап: За счет естественного распада и частично в результате вертикальной и горизонтальной миграции в сотни раз снизилось загрязнение плутонием-241, цезием-137, стронцием-90. Загрязнение в основном определяется актинидами плутонием-239, 240 и америцием-241, причем загрязнение америцием-241 превышает загрязнение плутонием-239, 240.

Таким образом, основной вклад в загрязнение подстилающей поверхности Гомельской области Республики Беларусь определяли изотопы ^{131}I , ^{132}I (^{132}Te), а на втором и третьем этапах радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr . На территории Беларуси ситуация облучения характеризуется как ситуация существующего облучения.

В 2014–2015 гг. была определена активность важнейших дозообразующих радионуклидов (^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{241}Am) в основных компонентах экосистем (вода, донные отложения, биота) озера Персток и Борщевского затопления – соответственно с наивысшим и средним для водоемов белорусского сектора зоны ЧАЭС уровнями радиационного загрязнения. На этой основе проведены расчеты вклада каждого радионуклида в суммарные дозы ионизирующей радиации от внутреннего облучения для доминирующих видов биоты этих водоемов – макрофитов и легочных моллюсков.

Донные отложения отбирали на расстоянии 30 – 50 см от уреза воды на глубине 20 – 30 см поршневым пробоотборником с внутренним диаметром 43 мм. Пробы воды вместе с сестоном отбирали в местах отбора проб грунта на расстоянии 1,5 – 2 м от уреза воды, где глубина водоема достигала 0,8 – 1,0 м.

Активность ^{90}Sr и ^{137}Cs определяли на гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315 Научно-производственного объединения «Атомтех» (Беларусь). Спектрометр обеспечивает регистрацию спектра γ - и β -излучения в диапазоне энергий соответственно 50 – 3000 кэВ и 150 – 3500 кэВ. Определение активности ^{241}Am проводили в гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором на основе высокочистого германия с композитным углеродным окном фирмы «Canberra» (США) с многоканальным анализатором DSA 1000.

Согласно рекомендациям МАГАТЭ [3], при незначительных плотностях радиоактивных выпадений наиболее рациональным при расчетах мощности поглощенной дозы (МПД) является консервативный подход.

В работе представлена оценка вклада основных на сегодняшний день дозообразующих радионуклидов для наземной биомассы и биоты водоемов зоны ЧАЭС – ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{241}Am . Поскольку радиоактивный распад первых двух радионуклидов происходит в две стадии с образованием промежуточных короткоживущих радионуклидов (соответственно ^{90}Y и ^{137}Ba) расчеты МПД произведены суммарно для изобар $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и $^{137}\text{Cs} + ^{137}\text{Ba}$.

Расчет доз облучения производится отдельно для внешнего и внутреннего облучения по формуле:

$$\dot{D}_j = \sum_i \dot{D}_{i,j}^{int} + \dot{D}_{i,j}^{ext}$$

$$\dot{D}_j = \sum_i (DCF_{ji}^{soil} \cdot f_j^{soil} \cdot C_i^{soil} + DCF_{ji}^{water_fresh} \cdot f_j^{water_fresh} \cdot C_i^{water_fresh} + DCF_{ji}^{soil_pl} \cdot f_j^{soil_pl} \cdot \sigma_i) + \sum_i (CR_{ji}^{soil} \cdot f_j^{soil} \cdot C_i^{soil} + CR_{ji}^{water_fresh} \cdot f_j^{water_fresh} \cdot C_i^{water_fresh} + CR_{ji}^{soil_pl} \cdot f_j^{soil_pl} \cdot C_i^{soil}) \cdot DC_{ji}$$

где первая сумма оценивает дозу от внешнего облучения, вторая сумма оценивает дозу от внутреннего облучения.

$f_j^{water_fresh}$ – доля времени, проводимая j -м видом биоты в пресной воде, отн. ед;

f_j^{soil} – доля времени, проводимая j -м видом биоты в почве, отн. единицы;

$f_i^{soil\ pl}$ – доля времени, проводимая j -м видом биоты на поверхности, отн. ед;

C_i^{soil} – концентрация i -го радионуклида в почве, Бк/кг;

$C_i^{water\ fresh}$ – концентрация i -го радионуклида в пресной воде, Бк/кг;

σ_i – плотность i -го радионуклида на поверхности почвы, Бк/м²;

$DCF_{ji}^{water\ fresh}$ – коэффициент перехода от концентрации в воде i -го радионуклида к дозе внешнего облучения j -го вида биоты, (мкГр/сут) * (Бк/кг)⁻¹;

DCF_{ji}^{soil} – коэффициент перехода от концентрации в почве i -го радионуклида к дозе внешнего облучения j -го вида биоты, (мкГр/сут) * (Бк/кг)⁻¹;

$DCF_{ji}^{soil\ pl}$ – коэффициент перехода от плотности i -го радионуклида на поверхности почвы (глубина до 5 см) к дозе внешнего облучения j -го вида биоты, (мкГр/сут) * (Бк/м²)⁻¹;

$CR_{ji}^{water\ fresh}$ – коэффициент перехода i -го радионуклида из пресной воды в организм j -го вида биоты, (Бк/кг живого веса организма) * (Бк/кг)⁻¹;

CR_{ji}^{soil} – коэффициент перехода i -го радионуклида из почвы в организм j -го вида биоты, (Бк/кг живого веса организма) * (Бк/кг сух. веса почвы)⁻¹;

DC_{ji} – дозовый коэффициент перехода от активности в теле j -го организма к дозе внутреннего облучения от i -го радионуклида, (мкГр/сут) * (Бк/кг живого веса организма)⁻¹.

Для верификации дозовых нагрузок на биоту использовался on-line калькулятор, разработанный Международной комиссией по радиационной защите [4, 5].

В таблице приведены результаты оценки поглощённых доз у доминирующих видов биоты в озере Персток и Борщевском затоплении в июле 2014 г.

Таблица

Поглощённые дозы ионизирующей радиации у доминирующих видов биоты водоемов зоны ЧАЭС в июле 2014 г.

Вид, часть тела	Поглощенная доза, мкГр·сутки ⁻¹ ± 25%		
	¹³⁷ Cs + ¹³⁷ Ba	⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	²⁴¹ Am
Озеро Персток			
<i>Typha angustifolia</i> , стебель	1,6 (16,3)*	8,10 (82,9)	0,07 (8,0)
<i>Typha angustifolia</i> , корень	2,6 (37,7)	2,90 (42,0)	1,4 (20,3)
<i>Stratiotes aloides</i> , стебель	1,7 (6,1)	26,0 (92,6)	0,3 (1,3)
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> , стебель	1,8 (6,9)	24,0 (91,5)	0,43 (1,6)
Борщевское затопление			
<i>Stratiotes aloides</i> , стебель	1,0 (15,4)	5,30 (81,5)	0,20 (3,1)
<i>Myriophyllum spicatum</i> , стебель	0,52 (7,6)	6,10 (89,5)	0,20 (2,9)
<i>Acorus calamus</i> , стебель	0,23 (8,0)	2,60 (90,0)	0,06 (2,0)
<i>Lymnaea stagnalis</i> , все тело	0,61 (1,0)	63,0 (99,0)	Ниже МДА

* в скобках – вклад каждого радионуклида в суммарную эквивалентную дозу, %;

Закключение. Таким образом, учитывая снижение активности ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs и параллельный рост активности ²⁴¹Am в воде, донных отложениях и биоте, уже в ближайшие десятилетия ²⁴¹Am станет важнейшим дозообразующим фактором для биоты малопроточных водоемов ближней зоны ЧАЭС. Согласно последним оценкам, нижний предел безопасных доз ионизирующей радиации для биотических сообществ пресных водоемов составляет 240 мкГр·сутки⁻¹ [6]. Полученные нами данные значения МПД существенно ниже этого предела (табл. 1). Тем не менее, подобные дозы могут вызывать определенные изменения на молекулярно-генетическом уровне [7], что способствует постепенному накоплению сублетальных мутаций в последовательных поколениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конопля Е.Ф. Радиация и Чернобыль: Короткоживущие радионуклиды на территории Беларуси / Е.Ф. Конопля, В.П. Миронов, В.В. Журавков. – Минск: Белорус. наука, 2008. – 198 с.
2. Zhuravkov, V.V. Reconstruction of the radiation situation in the Republic of Belarus using gis-technologies // XXI International scientific-practical conference «Actual problems of ecology and nature management» April 25-27, 2020 RUDN Moscow. – Moscow, 2020. P. 78 – 84.
3. Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Radionuclides for Biota in the Marine Environment. Technical Reports. Vienna, IAEA. 2004; 422.
4. <http://biotadc.icrp.org/>.

5. International Atomic Energy Agency. Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Radionuclides for Biota in the Marine Environment. Technical Reports Series No.422, Vienna, 2004.
6. Andersson P et al. Numerical benchmarks for protecting biota against radiation in the environment: proposed levels and underlying reasoning. Swedish Radiation Protection Authority. 2008; 48.
7. Гудков Д.И. и др. Пресноводные моллюски в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС: динамика содержания радионуклидов, дозовые нагрузки, цитогенетические и гематологические исследования. Гидробиол. журн. 2010. Том 46, № 3. – с. 86 – 104.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ КАК ВЫЗОВ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ:
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И МЕХАНИЗМЫ ПАРИРОВАНИЯ**

**ECOLOGICAL RISKS AS A CHALLENGE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT:
MONITORING SYSTEMS AND COUNTER MECHANISMS**

Д. А. Мальцева, О. Д. Сафонова, Д. А. Федотов
D. A. Maltseva, O. D. Safonova, D. A. Fedotov

*Санкт-Петербургский государственный университет
г. Санкт-Петербург, Россия
buenafiesta@mail.ru*

*St. Petersburg State University
City Saint Petersburg, Country Russia*

Авторами констатируется высокий рискогенный потенциал современных экологических проблем, обостряющих социально-экономические и политические риски для человеческой цивилизации. Отмечается важная роль систем мониторинга и оценки экологической ситуации посредством различных индексов. Приоритетными задачами обозначаются упреждение рисков, минимизация негативных эффектов, адаптация к последствиям экологических кризисов. Для достижения целей устойчивого развития выявлена необходимость совершенствования нормативно-правовой базы, межсекторального взаимодействия, применения цифровых технологий и искусственного интеллекта в управлении экологическими рисками.

The authors state the high risk potential of modern environmental problems, aggravating socio-economic and political risks for human civilization. The important role of monitoring and assessment systems of the environmental situation through various indices is noted. Priority tasks include preventing risks, minimizing negative effects, and adapting to the consequences of environmental crises. To achieve sustainable development goals, the need to improve the regulatory framework, intersectoral interaction, and the use of digital technologies and artificial intelligence in environmental risk management has been identified.

Ключевые слова: экологические риски, риск-менеджмент, устойчивое развитие, оценка рисков, цифровые технологии.

Keywords: environmental risks, risk management, sustainable development, risk assessment, digital technologies.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-268-271>

Экологический кризис обостряет существующие социально-экономические и политические риски и катализирует появление новых вызовов для человеческой цивилизации, требующих развития новых направлений в системе глобального стратегического управления [1]. У. Бек, отмечая высокий рискогенный потенциал экологических проблем, говорил о важности переосмысления вопроса защиты окружающей среды на основе международного политического сотрудничества.

Обострение экологических проблем, сопровождающееся угрозой жизни и здоровью населения, может повлечь за собой нарастание социальной напряженности и активизацию протестных процессов.

Для прогнозирования развития экологических рисков, анализа общей эффективности предпринимаемых действий, а также их долгосрочного планирования важными являются различные показатели, индексы, которые составляют системы оценки рисков.

Оценка экологических рисков – Environmental Risk Assessment – направлена на выявление и анализ потенциальных экологических рисков, возникающих в результате деятельности человека, которые могут причинить вред людям и/или экологическим системам.

Глобальный индекс климатических рисков анализирует и ранжирует, в какой степени страны и регионы подвержены воздействию экстремальных погодных явлений, связанных с климатом (бури, наводнения, аномальная жара и т. д.).