

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.112>

**ИНТЕГРИРОВАННОЕ СТРУКТУРИРОВАНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАСШТАБАХ СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЯКУТИИ)**

Научная статья

**Ядрихинский И.В.<sup>1</sup>, Егоров А.В.<sup>2\*</sup>, Попова Д.Н.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-4188-8179;

<sup>2</sup> ORCID : 0009-0004-7773-937X;

<sup>3</sup> ORCID : 0000-0001-5674-2968;

<sup>1,2,3</sup> Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (aital.e[at]mail.ru)

**Аннотация**

Природно-территориальный комплекс (ПТК) Якутии в границах административно-территориального образования находится в тесной эколого-антропогенной взаимосвязи со всеми сопредельными регионами (Красноярский край, Иркутская область, Забайкальский край, Амурская область, Хабаровский край, Магаданская область, Чукотский автономный округ). Каждая территория, исходя из специфики промышленно-хозяйственного освоения природных ресурсов, характеризуется антропогенным риском, связанным с реальным уровнем экологической ёмкости, снижение которой создает угрозу жизненной среде обитания всех популяций биосферы региона – флоры, фауны, человека ( $H_s$ ). В статье рассматриваются фундаментальные вопросы экологической и техносферной безопасности региона и его сопредельных территорий.

**Ключевые слова:** биосфера, экология Якутии, природно-территориальный комплекс, экологическая безопасность, Закон Ядрихинского, техносферная безопасность, биогеоценоз.

**INTEGRATED STRUCTURING OF ANTHROPOGENIC PROCESSES ON THE SCALE OF ADJACENT TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF YAKUTIA)**

Research article

**Yadrikhinskiy I.V.<sup>1</sup>, Egorov A.V.<sup>2\*</sup>, Popova D.N.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-4188-8179;

<sup>2</sup> ORCID : 0009-0004-7773-937X;

<sup>3</sup> ORCID : 0000-0001-5674-2968;

<sup>1,2,3</sup> North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

\* Corresponding author (aital.e[at]mail.ru)

**Abstract**

The natural and territorial complex (NTC) of Yakutia within the boundaries of the administrative-territorial formation is in close ecological and anthropogenic interrelation with all neighbouring regions (Krasnoyarsk Krai, Irkutsk Oblast, Transbaikali Krai, Amur Oblast, Khabarovsk Krai, Magadan Oblast, Chukotka Autonomous District). Each territory, based on the specifics of industrial and economic development of natural resources, is characterized by anthropogenic risk associated with the real level of ecological capacity, the reduction of which poses a threat to the vital habitat of all populations of the region's biosphere – flora, fauna, and humans ( $H_s$ ). The article examines the fundamental issues of environmental and technosphere security of the region and its neighbouring territories.

**Keywords:** biosphere, ecology of Yakutia, natural and territorial complex, environmental safety, Yadrikhinsky Law, technosphere safety, biogeocenosis.

**Введение**

Для оценки экологических рисков в природно-технических геосистемах сопредельных территорий необходимо рассматривать возможные неблагоприятные последствия совокупного влияния антропогенных процессов на основные природообразующие компоненты – атмосферы, гидросферы, литосферы. В этом случае, рассматривая природно-территориальные комплексы Якутии в фокусе возможного интегрированного экологического риска, обозначим составляющие антропогенные риски со стороны сопредельных территорий:

1. Чукотский автономный округ –  $P_1(A, G, L)$ ;
2. Магаданская область –  $P_2(A, G, L)$ ;
3. Амурская область –  $P_3(A, G, L)$ ;
4. Хабаровский край –  $P_4(A, G, L)$ ;
5. Забайкальский край –  $P_5(A, G, L)$ ;
6. Иркутская область –  $P_6(A, G, L)$ ;
7. Красноярский край –  $P_7(A, G, L)$ .

### Основные результаты

Опираясь на математический аппарат теории вероятностей, суммарный экологический риск природно-территориальных комплексов Якутии, как вероятность накопления критической массы антропогенных изменений, снижающих экологическую емкость в пределах (или за пределами) допустимых значений компонентов экотопа, характеризует полную группу равновозможных неблагоприятных событий в биосфере региона [7], [11]. Считая, что такие события формируются антропогенными потоками по трем направлениям техногенных воздействий на компоненты –  $A, G, L$ , интегрированный показатель регионального экологического риска ПТК Якутии в масштабе конкретных сопредельных территорий может быть представлен функционалом:

$$P_{Я} = \phi \left[ \sum_{i=1}^7 p_i(A, G, L) \right] \quad (1)$$

Интегрированное структурирование антропогенных процессов по компонентам экотопа ( $A, G, L$ ) реализуется в масштабах биосферы всех (включая Якутию) взаимосвязанных сопредельных территорий  $B (Fl, Fn, Hs)$  [1], [8], [10]. С позиции алгебраической логики имеем экологически связанную импликацию:

$$\phi_I \left[ \sum_{i=1}^8 p_i(A, G, L) \right] \supset \phi_{II} [B(Fl, Fn, Hs)] \quad (2)$$

Импликация (implication), как логическое следование, в общем случае экологически взаимосвязанных сопредельных территорий отражает причинно-следственную связь между функционалами  $I$  и  $II$ .

Вероятность антропогенных состояний и связанных с ними экологических (и социоприродных) рисков зависит от времени развития негативных процессов, т.е.:

$$P_i[A(t), G(t), L(t)] \supset P_{\Sigma}(t) \supset P[B(t)] \quad (3)$$

На рис. 1 схематично представлено интегрированное структурирование антропогенно-трансформированных ареалов сопредельных территорий ПТК Якутии по векторным направлениям техногенных потоков.

Антропогенная трансформация биосферы Якутии рассматривается как зависимое от количественных и качественных характеристик ареалов, обусловленных техногенным влиянием на компоненты окружающей среды  $A, G, L$ . Поэтому вероятность, как количественная мера риска, может быть определена в качестве условной вероятности:

$$\left. \begin{aligned} & p_{я} \left[ P_{B(t)} / P_i(t) \right], \\ & P_B(t) = \text{Вер} \cdot (B < \Delta B_i) \\ \text{где, } & P_i(t) = \text{Вер} \cdot (T < \Delta T_i) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

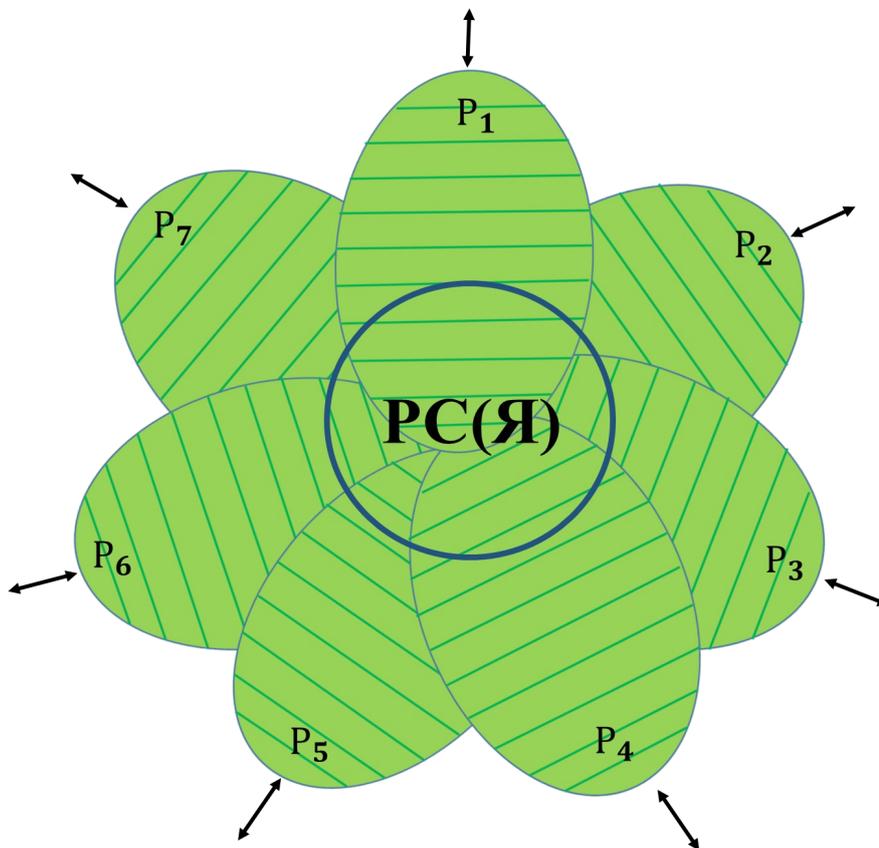


Рисунок 1 - Взаимосвязь антропогенных ареалов сопредельных территорий природно-территориального комплекса Якутии

Примечание:  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7$  – экологические риски техногенной опасности от сопредельных территорий;  $PC(Y)$

$$PC(Y) \sim \sum_{i=1}^7 P_i$$

$\Delta B_i$  – допустимый уровень трансформации биосферы (или ее отдельных популяций), определяющий величину экологического риска по биосфере региона ( $P_B(t)$ );

$\Delta T_i$  – допустимый уровень техногенного фактора, измеряемый в единицах физических и биохимических величин, и определяющий антропогенный риск.

Учитывая многосвязность и взаимообусловленность антропогенных процессов сопредельных территорий, количественная оценка вероятности нарушения устойчивого экологического баланса любой из таких территорий в результате трансформации компонентов жизненной среды обитания (экотопа и биоценоза) может быть осуществлена на основе теоремы гипотез (по формуле Бейеса):

$$P(P_{iP_B}) = \frac{p_i(t) \cdot p[P_B/P_i]t}{\sum_{i=1}^n p_i(t) \cdot p[(P_B/P_i)]t} \quad (5)$$

Используя теорему гипотез для конкретных расчетно-аналитических моделей количество сопредельных территорий ( $n$ ) может составлять от 1 до 7, исходя из задачи исследования конкретных влияющих техногенных потоков сопредельных территорий Якутии.

В реальной ситуации, когда требуется оценивать долговременное влияние антропогенных процессов в границах сопредельных территорий, целесообразно использовать аппарат теорий случайных функций. Это связано с тем, что антропогенные процессы, обусловленные техногенными потоками (воздействиями), строго говоря, не могут быть сведены лишь к изучению отдельных (случайных) явлений – например, экологически экстремальных ситуаций, обусловленных авариями, чрезвычайными одномоментными событиями, катастрофами и т.д. поэтому на практике приходится иметь дело с устойчивыми антропогенными величинами (техногенными нагрузками и воздействиями) непрерывно изменяющимися в процессе промышленного освоения территории.

Такие изменяющиеся величины, как например, биогеохимические, электромагнитные, тепловые, радиационные, акустические и др., аппроксимируются случайными функциями на статистико-вероятностном множестве оценок. При этом случайные функции по конкретным антропогенным процессам, протекающим во времени со стороны сопредельных территорий, характеризуют мощность техногенного влияния ( $T$ ) в функции определяющих техногенную нагрузку величин (температура, концентрацию вредных веществ в атмосфере, почве, воде; площадь антропогенно-трансформированного природного ландшафта, снижение биоразнообразия и т.д.).

Теоретически можно (с необходимой точностью и достоверностью) увеличивать количество подлежащих объективной количественной оценке аргументов (наблюдаемых компонентов), и получить при этом вес более подробную характеристику исследуемой случайной функции. Такая характеристика будет отражать объективную оценку влияния конкретной сопредельной территории на ПТК Якутии. Взаимосвязь и взаимообусловленность антропогенных процессов сопредельных территорий создает сложную эколого-интерференционную картину по направляющим векторам техногенных потоков, создающих устойчивое во времени их усиление в одних точках территориального пространства, и возможное ослабление в других.

Это обстоятельство имеет принципиальное значение для «экспортно-импортных» экологически негативных последствий смежных природно-территориальных образований, а именно – Якутии в окружении всех семи сопредельных территорий. При этом конкретный техногенный поток  $T_i(t)$  не поступает на вход природно-территориальных комплексов Якутии в нормативно устойчивом виде, поскольку он, как правило, трансформирован сопутствующими возмущениями. В результате на вход рассматриваемой территории фактически воздействует не заданная функция  $T_i(t)$ , а некоторая случайная функция (трансформированного потока)  $T_i^*(t)$ . Соответственно, природоохранная система Якутии вырабатывает в качестве своей защитной реакции структурную интегрированную функцию  $\Pi_i^*(t)$ , также отличающуюся от теоретической нормативно устойчивой (типичной для экологической защиты региона) реакции.

Решение задачи определения необходимой адекватной функции  $\Pi_i^*(t) \leftrightarrow T_i^*(t)$ , обеспечивающей защиту региона (Якутии), опирается на аппарат теории случайных функций с использованием исходной информации, достаточной по количественному и качественному составу конкретных техногенных потоков.

### Заключение

Таким образом, оценка долговременного влияния антропогенных процессов в границах конкретных сопредельных территорий опирается на аппарат теории случайных функций, характеризующих мощность техногенного влияния между конкретными сопредельными территориями.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Мишкин Д.В., Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.112.2>

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

Mishkin D.V., Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.142.112.2>

**Список литературы / References**

1. Вебер А.Б. Возможно ли устойчивое развитие? / А.Б. Вебер // Свободная мысль.1. — М., 1998. — №5. — С.42-55.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера / В.И. Вернадский. — М.: Айрис-пресс, 2004. — 575 с.
3. Власюк Т.А. Исследование стационарных состояний формирования и развития природных зон / Т.А. Власюк // Транспорт: Наука, Техника, Управление. Научный информационный сборник. — 2007. — №5. — С. 47-51.
4. Городничев Р.М. Характеристика поверхностных водных ресурсов западной экономической зоны Якутии / Р.М. Городничев, Л.А. Пестрякова, И.В. Ядрихинский [и др.] // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке. Сборник статей по материалам VIII международной научно-практической конференции. — 2017. — С. 31-38
5. Ефимов В.М. Геотехнический мониторинг в криолитозоне как условие обеспечения инженерно-экологической безопасности промышленного освоения территории / В.М. Ефимов, И.В. Ядрихинский, О.И. Молдаванов // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций. — 2019. — С. 259-267.
6. Мазур И.И. Курс инженерной экологии. 2-е издание, испр. и доп / И.И. Мазур, О.И. Молдаванов. — М., Высшая школа, 2001. — 510 с. — ISBN: 5-06-004188-3
7. Одум Ю. Экология: в 2 т. / Ю. Одум. — М.: Мир, 1986. — Т.1. — 328 с.
8. Сукачев В.Н. Биогеоценоз как выражение взаимодействия живой и неживой природы на поверхности Земли: соотношение понятий "биогеоценоз", "экосистема", "географический ландшафт" и "фацция" / В.Н. Сукачев // Основы лесной биогеоценологии // под ред. Н. В. Дылиса. — М.: Наука, 1964. — С. 5-49.
9. Филатова Д.А. Эколого-экономический рейтинг как индикатор устойчивого развития в регионах России / Д.А. Филатова // Экология и техносферная безопасность: Сборник докладов I Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Тула, 27 июня 2022 года. Тульский государственный университет. — Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2022. — С. 18-23.
10. Экологическая защита социоприродной среды на промышленно-осваиваемых территориях: (Методологические основы экологической безопасности) / И. В. Ядрихинский, Д. А. Филатова, Т. Р. Егорова [и др.]. — Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2023. — 432 с. — ISBN 978-5-7513-3467-3.
11. Ядрихинский И.В. О значении фундаментальных исследований в решении глобальных экологических проблем / И.В. Ядрихинский // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 4-2(106). — С. 30-35. — DOI 10.23670/IRJ.2021.106.4.030.
12. Ядрихинский И.В. Термодинамический принцип устойчивости биогеоценоза в границах его естественной самодостаточности / И.В. Ядрихинский // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 5-2(107). — С. 64-68. — DOI 10.23670/IRJ.2021.107.5.046

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

1. Veber A.B. Vozmozhno li ustojchivoe razvitie? [Is Sustainable Development Possible?] / A.B. Veber // Svobodnaya mysl' [Free Thought].1. — М., 1998. — №5. — P. 42-55 [in Russian].
2. Vernadskij V.I. Biosfera i noosfera [Biosphere and Noosphere] / V.I. Vernadskij. — М.: Ajris-press, 2004. — 575 p. [in Russian]
3. Vlasyuk T.A. Issledovanie stacionarnyh sostoyanij formirovaniya i razvitiya prirodnyh zon [Study of Stationary States of Formation and Development of Natural Zones] / T.A. Vlasyuk // Transport: Nauka, Tekhnika, Upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik [Transport: Science, Technology, Management. Scientific information collection]. — 2007. — №5. — P. 47-51 [in Russian].
4. Gorodnichev R.M. Harakteristika poverhnostnyh vodnyh resursov zapadnoj ekonomicheskoy zony YAKutii [Characteristics of Surface Water Resources of the Western Economic Zone of Yakutia] / R.M. Gorodnichev, L.A. Pestryakova, I.V. YAdrihinskij [et al.] // Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya v sovremennoj nauke. Sbornik statej po materialam VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii [Experimental and Theoretical Research in Modern Science. Collection of articles based on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference]. — 2017. — P. 31-38 [in Russian]
5. Efimov V.M. Geotekhnicheskij monitoring v kriolitozone kak uslovie obespecheniya inzhenerno-ekologicheskoy bezopasnosti promyshlennogo osvoeniya territorii [Geotechnical Monitoring in the Cryolithozone as a Condition for Ensuring Engineering and Environmental Safety of Industrial Development of the Territory] / V.M. Efimov, I.V. YAdrihinskij, O.I. Moldavanov // Perspektivy razvitiya inzheneryh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii. Materialy Pyatnadcatoy Obshcherossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii izyskatel'skih organizacij [Prospects for the Development of Engineering

Surveys in Construction in the Russian Federation. Materials of the Fifteenth All-Russian Scientific and Practical Conference of Survey Organizations]. — 2019. — P. 259-267 [in Russian].

6. Mazur I.I. Kurs inzhenernoj ekologii [Environmental Engineering Course]. 2nd edition, rev. and additional / I.I. Mazur, O.I. Moldavanov. — M., Higher School, 2001. — 510 p. — ISBN: 5-06-004188-3 [in Russian]

7. Odum YU. Ekologiya: v 2 t. [Ecology: in 2 volumes] / YU. Odum. — M.:Mir, 1986. — V.1. — 328 p. [in Russian]

8. Sukachev V.N. Biogeocenozy kak vyrazhenie vzaimodejstviya zhivoj i nezhivoj prirody na poverhnosti Zemli: sootnoshenie ponyatij "biogeocenozy", "ekosistema", "geograficheskij landshaft" i "faciya" [Biogeocenosis as a Representation of the Nature of Living and Inanimate Nature on the Earth's Surface: a Joint Definition of the Concepts "Biogeocenosis", "Ecosystem", "Geographical Shaft" and "Facies"] / V.N. Sukachev // Osnovy lesnoj biogeocentologii [Fundamentals of Forest Biogeocenology] // ed. by N. V. Dylisa. — M.: Nauka, 1964. — P. 5-49 [in Russian].

9. Filatova D.A. Ekologo-ekonomicheskij rejting kak indikator ustojchivogo razvitiya v regionah Rossii [Ecological and Economic Rating as an Indicator of Sustainable Development in the Regions of Russia] / D.A. Filatova // Ekologiya i tekhnosfernaya bezopasnost': Sbornik dokladov I Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Tula, 27 iyunya 2022 goda. Tul'skij gosudarstvennyj universitet [Ecology and Technosphere Safety: Collection of reports of the I All-Russian Youth Scientific and Practical Conference, Tula, 27 January 2022. Tula State University]. — Tula: Publishing house "Innovative Technologies", 2022. — P. 18-23 [in Russian].

10. Ekologicheskaya zashchita socioprirodnoj sredy na promyshlennno-osvaivaemyh territoriyah: (Metodologicheskie osnovy ekologicheskoy bezopasnosti) [Environmental Protection of the Socio-natural Environment in Industrially Developed Territories: (Methodological foundations of environmental safety)] / I. V. YAdrihinskij, D. A. Filatova, T. R. Egorova [et al.]. — YAkutsk: Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov, 2023. — 432 p. — ISBN 978-5-7513-3467-3 [in Russian].

11. YAdrihinskij I.V. O znachenii fundamental'nyh issledovanij v reshenii global'nyh ekologicheskikh problem [On the Importance of Fundamental Research in Solving Global Environmental Problems] / I.V. YAdrihinskij // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. — 2021. — № 4-2(106). — P. 30-35. — DOI 10.23670/IRJ.2021.106.4.030 [in Russian].

12. YAdrihinskij I.V. Termodinamicheskij princip ustojchivosti biogeocenoza v granicah ego estestvennoj samodostatochnosti [Thermodynamic Principle of Biogeocenosis Stability within the Boundaries of its Natural Self-sufficiency] / I.V. YAdrihinskij // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. — 2021. — № 5-2(107). — P. 64-68. — DOI 10.23670/IRJ.2021.107.5.046 [in Russian]