

*И.В. Ядрихинский, Д.Н. Попова, В.А. Карамзин, Е.А. Сивцева, Н.В. Эверстов,
С.Н. Левина, П.В. Давыдова, А.А. Эверстова, А.В. Егоров*
СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия
e-mail: yadroid@mail.ru

ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БИОГЕОЦЕНОЗА В ГРАНИЦАХ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОМЫШЛЕННО ОСВАИВАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

Аннотация. В настоящее время перед научным сообществом стоит задача выявления и минимизации негативного воздействия на природную среду и связанные с ней экологические риски, обусловленных с влиянием на экосистемы, в особенности – антропогенных факторов связанных с ней экологических рисков. Определяющая роль в оценке экологического риска заключается в определении вероятности возникновения эффектов различной природы в экосистемах в результате влияния техногенных факторов и принятии мер по предотвращению их негативного воздействия. Целью представленного теоретического исследования было изучение и анализ принципа общесистемной методологии количественной оценки качества биогеоценоза в границах антропогенного влияния на устойчивость промышленно осваиваемой территории. Рассмотренный принцип может дать предпосылки для внесения изменений в нормы природопользования в России.

Ключевые слова: геоэкология, биогеоценоз, антропогенное влияние, геоэкологическое равновесие, техносферная безопасность, биосфера, экосистема, промышленная экология, экология Якутии, социоприродный риск.

*I.V. Yadrikhinskiy, D.N. Popova, E.A. Sivtseva, N.V. Everstov,
S.N. Levina, P.V. Davydova, A.A. Everstova, A.V. Egorov*
M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia
e-mail: yadroid@mail.ru

ASSESSMENT OF BIOGEOCENOSIS QUALITY WITHIN THE BOUNDARIES OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE SUSTAINABILITY OF AN INDUSTRIALLY DEVELOPED TERRITORY

Abstract. Currently, the scientific community faces the task of identifying and minimizing the negative impact on the natural environment and related environmental risks caused by the impact on ecosystems, especially anthropogenic factors related environmental risks. The determining role in the assessment of environmental risk is to determine the probability of occurrence of effects of different nature in ecosystems because of anthropogenic factors and to take measures to prevent their negative impact. The purpose of the presented theoretical study was to study and analyze the principle of system-wide methodology of quantitative assessment of biogeocenosis quality within the boundaries of anthropogenic influence on the sustainability of industrially developed territory. The considered principle can provide prerequisites for making changes in the norms of nature management in Russia.

Keywords: biogeocenosis, anthropogenic influence, geo-ecological balance, technosphere safety, biosphere, ecosystem, industrial ecology, ecology of Yakutia, socio-natural risk.

Введение

Основные принципы природопользования как системы количественной и качественной оценки биогеоценоза (экосистемы) в условиях усиливающегося интенсивного антропогенного

освоения сопредельных территорий, играют ключевую роль в минимизации социоприродных рисков по всем отраслевым уровням промышленного техногенеза. Проблема эффективного недро-, и природопользования – важная задача экологической безопасности на региональном и федеральном уровнях. Природные ресурсы – источник благополучия народа и страны, и основа модернизации принципов промышленного освоения природно-технических систем. Повышение эффективности использования природных ресурсов должна стать общей основной задачей науки, менеджмента, инженерии, предпринимательства, да и всего экономически активного населения страны.

Основная часть

Установление точных количественных связей между комплексным показателем уровня техногенного воздействия на экосистему территории U_T и величиной социоприродного риска R_C , обусловленного негативной трансформацией компонентов биогеоценоза, является важным условием экологически безопасного природопользования любой территории [1], включая в Республике Саха (Якутия) и её сопредельных территориях. Изменение показателей состояния природно-технической геосистемы в масштабах любой осваиваемой территории носит функциональный характер – $U_T = f_T(t), R_C = f_C(t)$. На основе таких функциональных характеристик, устанавливаемых по результатам комплексного регионального мониторинга, может быть построена аналитическая модель, которая позволит устанавливать взаимосвязь между $U_T(t)$ и $R_C(t)$ в виде функционала $\Phi[f_T(t), R_C = f_C(t)]$. На рис. 1. представлена геометрическая интерпретация кривой изменения данного функционала, имеющего своими проекциями на плоскость $(U_T - t)$ кривую изменения координаты комплексного показателя техногенного влияния на биогеоценоз территории $f_T(t)$; на плоскость $(R_C - t)$ кривую изменения координаты социоприродного риска. Проекция на плоскость $(U_T - R_C)$ отражает непосредственно количественную связь между U_T и R_C .

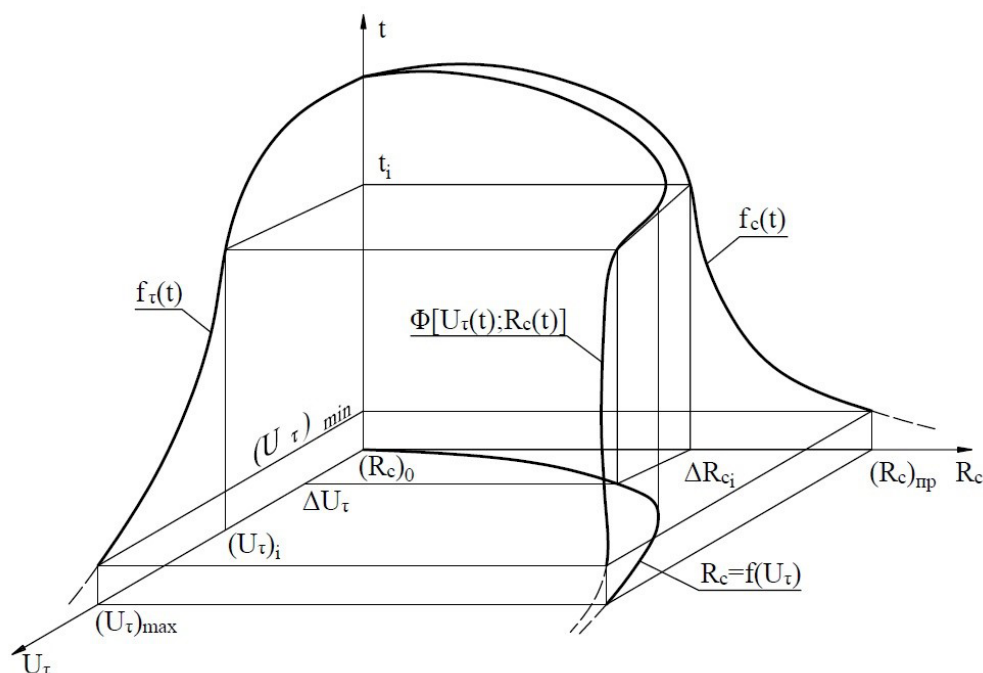


Рис. 1. Геометрическая интерпретация функциональной взаимосвязи комплексных показателей техногенеза $U_T(t)$ и социоприродного риска $R_C(t)$ в составе промышленно осваиваемых территорий

Fig. 1. Geometric interpretation of the functional relationship of complex indicators of technogenesis $U_T(t)$ and socio-natural risk $R_C(t)$ in the composition of industrially developed territories

В общем функционал $\Phi[U_T(t); R_C(t)]$ может быть определён по двум любым его составляющим (формула 1.1) или в неявном виде (формула 1.2):

$$\left. \begin{aligned} R_C &= f_1(t) \\ U_T &= f_2(t) \\ R_C &= f_3(U_T) \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1[R_C, t] &= 0 \\ \Phi_2[U_T, t] &= 0 \\ \Phi_3[R_C, U_T] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Полный дифференциал функции $R_C = f(U_T, t)$, выраженный через две другие обобщённые координаты, имеют вид (формула 2)

$$dR_C = \frac{\partial R_C}{\partial U_T} dU_T + \frac{\partial R_C}{\partial t} dt \quad (2)$$

Рассмотренные функциональные характеристики в их геометрической интерпретации, позволяют воспользоваться теорией линейных уравнений в частных производных и дать математическое описание по всем производным исследуемого функционала. Пределы интегрирования в расчётных уравнениях выбирают исходя из квалиметрической оценки экологической эффективности конкретной территории (имея ввиду показатели экологической ёмкости, устойчивости баланса или величины социоприродного риска), а также масштаба техногенной нагрузки (формула 3):

$$\left. \begin{aligned} (R_C)_0 &\rightarrow \Delta R_{C_i} \rightarrow (R_C)_{np} \\ R_{C_0}(U_{T_0}) &\rightarrow \Delta R_{C_i}(\Delta U_{T_i}) \rightarrow R_{C_{np}}(U_T)_{np} \\ e_0(U_{t_0}) &\rightarrow e_i(U_T)_i \rightarrow e_{np}(U_T)_{np} \\ (U_T)_{min} &\rightarrow \Delta U_{T_i} \rightarrow (U_T)_{max} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Условие (1) характеризует условие эффективности природопользования, по комплексным показателям качества биогеоценоза исследуемой территории определяет геоэкологическое равновесие с точки зрения предельно допустимых норм жизнеобеспечивающим показателям биосферы региона [2,3]. Понятие предельно допустимой нормы требует глубокого обоснования исходя из квалиметрической оценки:

- локального экологически негативного воздействия, характеризуемого интенсивностью m_e местных потерь конкретного вида;
- возможности развития необратимых состояний экологического равновесия;
- потенциальных экологических резервов (оцениваемых экологической ёмкостью территории) в рассматриваемом временном интервале взаимодействия Δt техногенного объекта с окружающей средой.

По отдельным реализованным промышленно-хозяйственным объектам Республики Саха (Якутия) масштабы техногенного воздействия на компоненты экотопа и биоценоза стали превышать их защитный потенциал [4]. Это обусловлено, прежде всего, непрерывным накоплением загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, воде, почве. В результате окружающая среда необратимо и опасно меняет свои количественные и качественные показатели не только в локальном, но и региональном масштабе. Аналогичная ситуация прослеживается практически на всех сопредельных территориях Якутии, что свидетельствует о необходимости совместных научно скоординированных решений по реализации экологически допустимых норм природопользования [5,6].

Методические задачи по определению возможных переходов рассматриваемых экосистем от начального состояния к предельному под депрессивным техногенным воздействием решаются с использованием теории вероятностей, а при наличии регулярного геотехнического мониторинга с привлечением методов математической статистики. Это открывает более широкие методологические возможности использования аппарата теорий случайных функций, стационарных и нестационарных случайных процессов.

Характер распределения антропогенных изменений к моменту времени t сопровождается закономерным накоплением природных ресурсов Δg (связанных с их потреблением), а также снижением в этой связи экологической емкости Δe и негативной трансформацией природных ландшафтов как жизнеобеспечивающих мест обитания популяций биоценозов. С этой точки зрения небезразличен механизм формирования антропогенных изменений в существующих природно-технических геосистемах природно-территориального комплекса Якутии. В аналитическом представлении такое формирование не противоречит схеме накапливающихся изменений (формула 4):

$$\left. \begin{aligned} G_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^n g_i \\ E(G_{\Sigma} &= e(g_1) + e(g_2) + \dots + e(g_i) + \dots + e(g_n)) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $g_1, g_2, \dots, g_n$ – локальные антропогенные изменения, трансформированные в жизнеобеспечивающие механизмы компонентов биоценоза путём прямого суммарного техногенного воздействия G_{Σ} .

Физический смысл экологической безопасности состоит в последовательном суммировании времён перехода природно-технической геосистемы от начального равновесного состояния через промежуточные условно равновесные состояния к предельному (формула 5), т.е.

$$t_{np} \left[\sum_{i=1}^n t_{e(g_i)} \right] = t_{e(g_1)} + t_{e(g_2)} + \dots + t_{e(g_n)} \quad (5)$$

Причём процесс накопления антропогенных изменений в реальной экосистеме, в общем случае протекает с различной интенсивностью такого накопления (формула 6)

$$\frac{dE(G)}{dt} \neq const \quad (6)$$

При этом любому интервалу времени Δt соответствует приращение антропогенных изменений в экосистеме $E(G_{\Sigma})$ и вероятности (P) того, что такое накопление произойдёт в рассматриваемом интервале Δt . Поэтому имеем последовательность взаимного соответствия $\Delta t \rightarrow \Delta E(G_{\Sigma}) \rightarrow \Delta P$ для устойчиво функционирующей экосистемы.

Таким образом, фактическое изменение вероятного состояния экосистемы по критерию происходящих в ней депрессивных антропогенных процессов, характеризуется закономерно связанными приращениями (формула 7):

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= P(t + \Delta t) - P(t) \\ \Delta E(G_{\Sigma}) &= E(t + \Delta t) - E(t) \\ \Delta G(\sum_{i=1}^n g_i) &= G(t + \Delta t) - G(t) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Обозначив интенсивность накопления антропогенных изменений ΔE через $\mathbf{v}_e$ с учётом противоположной монотонности характеристик (экологически активного действия и противодействия) – процессов изменения $P(t)$, $E(t)$ на интервале Δt , получим общий вид уравнения вероятного равновесного (по устойчивости экологического баланса) состояния рассматриваемой экосистемы (формула 8.1):

$$\Delta P(t) = -\mathbf{v}_e \odot \Delta E(t) \quad (8.1)$$

где $\mathbf{v}_e$ – коэффициент, зависящий от интенсивности накопления антропогенных изменений в экосистеме, и определяемый по результатам функционального мониторинга (формула 8.2)

$$\mathbf{v}_e = f \left[\frac{dE(G_{\Sigma})}{dt} \right] \quad (8.2)$$

Функциональный мониторинг, основанный на инструментальных методах измерений, контроля и диагностики позволяет осуществлять количественную оценку состояния доминирующих факторов техногенного влияния на компоненты биогеоценоза, а также оценивать интенсивность депрессивных процессов в направлении экологически значимых градиентов.

Заключение

Рассмотренный принцип общесистемной методологии количественной оценки качества биогеоценоза в границах антропогенного влияния на устойчивость промышленно осваиваемой территории, создаёт аргументированные теоретические предпосылки для межрегиональной унификации норм природопользования в Республике Саха (Якутия) и её сопредельных территориях.

Литература

1. 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
2. Одум, Ю. Экология: в 2 т. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 328 с.
3. 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. 2.
4. 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.
5. 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.

6. 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.

References

1. Mazur I.I. Kurs inzhenernoj jekologii. 2-e izdanie, ispr. i dop / I.I. Mazur, O.I. Moldavanov. M., Vysshaja shkola, 2001, – 510 s. ISBN: 5-06-004188-3

2. Odum. Ju. Jekologija: v 2 t. / Ju. Odum. – M.:Mir, 1986. – T.1. – 328 s.

3. Sukachev V. N. Biogeocenozy kak vyrazhenie vzaimodejstviya zhivoj i nezhivoj prirody na poverhnosti Zemli: sootnoshenie ponjatij “biogeocenozy”, “jekosistema”, “geograficheskij landshaft” i “facija” / V. N. Sukachev // Osnovy lesnoj biogeocenologii / pod red. N. V. Dylisa. – M.: Nauka, 1964. – S. 5 – 49. 2.

4. Filatova, D. A. Jekologo-jekonomicheskij rejting kak indikator ustojchivogo razvitiya v regionah Rossii / D. A. Filatova // Jekologija i tehnosfernaja bezopasnost': Sbornik dokladov I Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Tula, 27 ijunya 2022 goda / Tul'skij gosudarstvennyj universitet. – Tula: Izdatel'stvo “Innovacionnye tehnologii”, 2022. – S. 18-23.

5. Jekologicheskaja zashhita socioprirodnoj sredy na promyshlennno-osvaivaemyh territorijah: (Metodologicheskie osnovy jekologicheskoy bezopasnosti) / I. V. Jadrihinskij, D. A. Filatova, T. R. Egorova [i dr.]. – Yakutsk: Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet imeni M.K. Ammosova, 2023. – 432 s. – ISBN 978-5-7513-3467-3.

6. Jadrihinskij, I. V. O znachenii fundamental'nyh issledovanij v reshenii global'nyh jekologicheskikh problem / I. V. Jadrihinskij // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2021. – № 4-2(106). – S. 30-35. – DOI 10.23670/IRJ.2021.106.4.030.

Сведения об авторах

ЯДРИХИНСКИЙ Иван Васильевич – к.г.н., доцент Эколого-географического отделения СВФУ, Институт естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: yadroid@mail.ru

YADRIKHINSKY Ivan Vasilyevich – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: yadroid@mail.ru

ПОПОВА Диана Николаевна – ст. преп. Эколого-географического отделения, Институт естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова

POPOVA Diana Nikolaevna – Senior lecturer, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

СИБИЦЕВА Евдокия Афанасьевна – ст. преп. Эколого-географического отделения, Институт естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова

SIVTSEVA Evdokia Afanasyevna – Senior lecturer, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

ЭВЕРСТОВ Николай Владимирович – аспирант Эколого-географического отделения, Институт Естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, специалист группы по экологической безопасности АО ХК «Якутуголь»

EVERSTOV Nikolay Vladimirovich – postgraduate student, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, specialist of the Environmental Safety Group of JSC HC Yakutugol

ЛЕВИНА Сардана Николаевна – к.г.н., с.н.с. лаборатории по изучению экологического состояния Арктики (БиоМ), ст. преп. Эколого-географического отделения СВФУ им. М.К. Аммосова

LEVINA Sardana Nikolaevna – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory for the Study of the Ecological State of the Arctic (BIOME), Senior Lecturer, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

ДАВЫДОВА Парасковья Васильевна, н.с. лаборатории по изучению экологического состояния Арктики (БиоМ) Эколого-географического отделения СВФУ им. М.К. Аммосова.

DAVYDOVA Paraskovya Vasilyevna – Researcher at the Laboratory for the Study of the Ecological State of the Arctic (BIOME), Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

ЭВЕРСТОВА Анна Афанасьевна – аспирант, лаборант 1 категории Эколого-географического отделения СВФУ им. М.К. Аммосова.

EVERSTOVA Anna Afanasyevna – postgraduate student, laboratory assistant of the 1st category, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

ЕГОРОВ Айтал Вячеславович – магистрант, лаборант 1 категории Эколого-географического отделения СВФУ им. М.К. Аммосова.

EGOROV Aital Vyacheslavovich – Master's student, laboratory assistant of the 1st category, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University