

УДК 504.064

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

© 2020 г. П. М. Жук^{1,*}, А. А. Лаврусевич^{1,**}

¹ *Национальный исследовательский Московский строительный государственный университет (НИУ МГСУ),
Ярославское шоссе, 26, Москва, 129337 Россия*

**E-mail: peter_05@bk.ru*

***E-mail: lavrusevich@yandex.ru*

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 18.10.2019 г.

Одна из основных характеристик территорий — экологическая емкость. Методические подходы к ее определению очень разнообразны. Предлагается подход, связанный с использованием показателя экологической емкости при оценке продукции по ее жизненному циклу в связанных с ним геоэкологических системах. Расчет биологической продуктивности ведется с учетом имеющихся видов растительности. Для сравнения применяется индекс экологической емкости, представляющий собой ее отношение к фактическому показателю генерируемой биомассы. Развитие оценочных показателей должно предусматривать введение параметров биоиндикации в геоэкологических системах по всему жизненному циклу продукции.

Ключевые слова: *экологическая емкость, жизненный цикл, природно-техногенные системы*

DOI: 10.31857/S0869780920010238

ВВЕДЕНИЕ

Определение инженерно-экологических характеристик территорий на техногенном этапе истории планеты — актуально как с точки зрения экономики, так и с позиций градостроительного развития регионов страны. Как известно, рассмотрение инженерно-экологических характеристик проводится на макро-, мезо- и микротерриториальном уровнях. При этом узлы сосредоточения строительства и отдельные районы относят к природно-техногенным системам (ПТС) микротерриториального уровня. Наибольший интерес для характеристики состояния окружающей среды промышленных зон и отдельных предприятий представляют экологическая емкость и репродуктивная способность (например, по кислороду). В настоящей работе рассматриваются подходы к определению экологической емкости, под которой подразумевается максимально возможная в конкретных условиях биологическая продуктивность биогеоценозов с учетом состава представителей фауны [10].

Определение инженерно-экологических характеристик не единственный способ оценки состояния окружающей среды. Например, для мест добычи сырья при оценке строительных материа-

лов важнейшим показателем является нарушенность природных ландшафтов, которую оценивают как соотношение площади нарушенности в зависимости от используемого масштаба и общей площади исследуемого ландшафта [3]. Не менее важно более подробно характеризовать состояние древесно-кустарниковой растительности рассматриваемой территории, для чего активно и эффективно используют методы биологической индикации [11, 4]. Показатель экологической емкости, который характеризует биомассу в целом, поэтому не вступает в противоречие с указанными методиками, а является в некотором смысле обобщающим.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Обычно расчет экологической емкости в соответствии с ее определением основывается на суммировании возможных при конкретных факторах биомасс, расположенных на территории биогеоценозов, урбоценозов и агроценозов.

Часто при расчете приходится сталкиваться с проблемами, возникающими из-за методического разнообразия, субъективности и невысокой точности получаемых результатов [1]. Среди методик стоит выделить следующие подходы к

определению экологической емкости [2]: 1) расчет с учетом показателей предельно допустимых выбросов и сбросов, который принимает во внимание допустимые и критические уровни выделения вредных веществ, он получил название “экологическая техноемкость” [2, 5]; 2) внимание к трем геосферным компонентам (атмосферный воздух, поверхностные воды, почвенная среда и верхний слой литосферы), которое выражается расчетом либо объемов их воспроизводства, либо содержанием критически важных веществ, либо вычислением скорости обновления биомассы и воды [6, 13]; 3) построение математических моделей, которые сводятся или к использованию системного анализа для открытых систем, или к анализу геометрической модели сферы из трех слоев с изменением кривизны [8, 9].

Для определения ослабленности биогеоценозов на анализируемой территории применяется индекс ее емкости, который представляет собой отношение значения экологической емкости к фактическому показателю генерируемой биомассы. Существенное ослабление экосистемы или точнее биогеоценоза фиксируют при индексах емкости ниже 0.5 [10]. Такие территории нуждаются в срочном проведении восстановительных мероприятий. Очень похожий метод предполагает балльную оценку экологической емкости. Способ прошел апробацию в Кузбассе и предлагает подразделение значений параметра на соответствующие кризисному (1 балл), допустимому (2 балла) и удовлетворительному уровню (3 балла) [1]. При этом оценка выполняется с точностью до десятых долей балла, что позволяет учитывать воздействие конкретных экологических факторов, особенности ландшафта и территориальных геозкосистем в целом [1]. Группы значений экологической емкости упрощают оценку (до 2 баллов – неблагоприятная территория; от 2 до 2.5 баллов – территория со средней оценкой; от 2.5 до 3 – благоприятные условия). При оценке нельзя опираться на среднеарифметическое значение параметра для территории, так как имеется специфика распределения древесно-кустарниковой растительности, населения и промышленных объектов по рассматриваемому району. Недостатки описанной методики – качественный характер результатов и отсутствие точных количественных характеристик [2]. В настоящем исследовании для расчета экологической емкости суммировались параметры для агроценозов (при использовании растительного сырья или расположении геозкосистем вблизи сельскохозяйственных территорий), биоценозов и урбоценозов (при нахождении связанных с жизненным циклом геозкосистем в черте или вблизи городов).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Учет видового состава растительности при расчете суммарной биологической продуктивности является важным моментом. В частности, в настоящей работе с целью обеспечения большей точности было предложено отдельно вычислять значения для территорий с преобладанием травянистой растительности (в том числе агроценозов). Для этого использовали метод расчета биомассы ФНЦ агроэкологии РАН [12]. Формулы расчета брали из упомянутого изобретения. В частности, коэффициенты для расчета биомассы a и b рассчитывались следующим способом

$$a = (\sum \ln(1/M_{ni+1} - 1) + bt_{i+1})/(N - 1),$$

$$b = (\sum \ln(M_{\max}/M_{ni} - 1) - \ln(M_{\max}/M_{ni+1} - 1)/(t_{i+1} - t_i))/(N - 1),$$

где N – количество проб; i – порядок проб; M_n – биомасса в пробе, г; t – период вегетации на момент отбора проб.

При расчетах биомассы древесно-кустарниковой растительности учитывались ее ярусность и специфика различных видов, для чего применялся метод закладки пробных площадей [7]. Проблема разной размерности в расчете биомассы травянистой (граммы) и древесно-кустарниковой растительности ($\text{м}^3/\text{га}$) разрешалась в расчетах двумя подходами с дальнейшим определением адекватности результатов. Во-первых, использовались коэффициенты, зависящие от плотности биомассы (характерные для определенного вида). Во-вторых, в расчетах переходили от показателей абсолютной к относительной биомассе. Оба подхода к расчетам показали хорошую корреляцию результатов. В итоге для расчета экологической емкости рассматриваемой территории применялась формула:

$$E = \sum M_{\max 1}/(1 + e^{a-bt}) + \sum M_{\max 2}/(1 + e^{c-dt}) + \sum M_{\max 3}/(1 + e^{e-ft}),$$

где M – показатель биомассы растений, г; $M_{\max 1-3}$ – максимальная достижимая биомасса рассматриваемого вида (1–3), г (зависит от вида и гибридной спецификации растения); a, b, c, d, e и f – эмпирические коэффициенты для разных видов растительности, преобладающей в рассматриваемой геозкосистеме; t – вегетативный период данного вида.

Характеристика территорий, где производилось определение экологической емкости, включает то, что на них расположены отдельные предприятия по производству теплоизоляционных материалов или несколько предприятий, в число которых входит подобное производство. По климатическим характеристикам, а также по составу



Рис. 1. Схема природно-техногенных систем по жизненному циклу на примере плит из минеральной ваты.

древесно-кустарниковой растительности эти территории были в значительной степени схожи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Специфика исследований заключается в том, что определение экологической емкости проводилось на разных территориях, связанных с жизненным циклом конкретной продукции (теплоизоляционных материалов). В частности, рассматривались природно-техногенные системы на этапах добычи (выращивания) сырья, производства продукции, применения (в строительстве) и последующего завершения жизненного цикла для плит из льняного волокна, из минеральной ваты и экструзионного пенополистирола. Производство и иные этапы, связанные с жизненным циклом продукции, располагались вне промышленных зон, чтобы максимально исключить влияние предприятий другого типа. Расчет экологической емкости в привязке к природно-техногенным системам жизненного цикла теплоизо-

ляционных материалов имел отличительные особенности: 1) использование индекса экологической емкости, позволяющего приводить параметр к фактической величине биомассы; 2) приведение показателей территории в соответствие к масштабам производства; 3) определение удельного вклада рассматриваемого предприятия, расположенного в промышленных агломерациях. Пример схемы рассмотренных этапов жизненного цикла приведен на рис. 1.

Пунктирной линией на рисунке обозначена непрерывная совокупность природно-техногенных систем, которые описывают жизненный цикл продукции. Среди показателей, которые были рассчитаны для этих систем по этапам жизненного цикла минеральной ваты, были индекс экологической емкости территории и ее репродуктивная способность по кислороду. В результате расчета получены показатели экологической емкости и репродуктивной способности по кислороду (табл. 1).

Таблица 1. Показатели индекса экологической емкости и репродуктивной способности по кислороду по жизненному циклу теплоизоляционных материалов

Наименование материала	Значения индекса экологической емкости территории/репродуктивной способности по кислороду на этапах жизненного цикла			
	Добыча сырья	Производство	Строительство/эксплуатация	Утилизация
Плиты из льняного волокна	2.5/ 0.71	3.0/ 0.69	2.9/ 0.7	2.7/ 0.66
Плиты из минеральной ваты	1.9/ 0.58	2.7/ 0.51	2.9/ 0.7	2.9/ 0.58
Плиты экструзионного ППС	2.1/ 0.38	1.7/ 0.45	2.9/ 0.7	2.1/ 0.45

Анализ показателей экологической емкости и репродуктивной способности территории позволил выявить основные закономерности, характерные для динамических изменений природно-техногенных систем по жизненному циклу однофазной продукции с выявлением критических показателей на определенных этапах. Например, пенопласты представляют опасность для окружающей среды на стадиях производства и при депонировании в связи с тем, что на этих стадиях возможно выделение вредных веществ. Материалы на основе льняного волокна демонстрируют максимальное воздействие за счет необходимости удобрения почв в агроценозах. Добыча сырья для изделий из минеральной ваты связана с возможным разрушением ландшафтов, что может оцениваться с помощью соотношения измененных и неизмененных площадей [3]. Основой для выявления слабых мест природно-техногенных систем стало определение показателей диапазона действия обратной связи, в рамках которой осуществляется гомеостаз. В связи с этим индекс экологической емкости не только дает информацию о состоянии окружающей среды по жизненному циклу, но и позволяет характеризовать устойчивость природно-техногенных систем.

ВЫВОДЫ

Определение экологической емкости и других инженерно-экологических характеристик не просто в привязке к конкретной территории, но с учетом природно-техногенных систем по всему жизненному циклу продукции является перспективным направлением в геоэкологической оценке продукции. Эти показатели позволяют учитывать воздействия локального характера на конкретные ПТС. Сложностью при этом является возможность выделения вклада в негативное состояние окружающей среды конкретного производства или этапа рассматриваемой продукции, что в исследовании было преодолено тем, что рассматривались только варианты, связанные с одним конкретным типом продукции. Направления использования данных исследования связаны с тем, чтобы связать их с методиками и критериями, предлагаемыми другими разработчиками (например, “степень нарушенности природных ландшафтов при добыче сырья и материалов” [3]), причем приоритет в оценочных системах может иметь как экологическая емкость, так и иные критерии. Следует расширять возможности использования показателя экологической емкости не только для экологических исследований, но и в градостроительных целях, системах оценки строительных материалов и объектов в целом. Стоит развивать показатели за счет методов биоиндикации, которые позволяют более точно характеризовать состояние биогеоценозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранник Л.П. Экологическая емкость территории (на примере муниципального образования “Новокузнецкий сельский район”) // ЭКО-бюллетень ИнЭКА. 2008. №4 (129).
2. Безугубов В.А. К вопросу об экологической емкости территории и способам ее оценки // Фундаментальные исследования. 2015. № 12 (4). С. 751–754.
3. Графкина М.В., Свиридова Е.Ю., Сдобнякова Е.Е. Новые подходы к оценке экологических показателей строительных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 15–21.
4. Груздев В.С. Биоиндикация состояния окружающей среды: монография. М.: ИНФРА-М, 2019. 160 с.
5. Денисенко Т.В. Экологическая емкость территории: принципы оценки и анализ результатов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2005. С. 1–5.
6. Жемадукова С.Р. Экологическая емкость территории и прогнозирование поведения эколого-экономической системы с помощью орграфов (на примере республики Адыгея) // Новые технологии. Майкопский государственный технологический университет. 2008. № 6. С. 58–61.
7. Калашикова Л.М., Бозиева Ф.Р. Структура и биомасса древесно-кустарниковой растительности поймы реки Баксан (Кабардино-Балкария) // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 2.
8. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий: монография. М.: Изд-во “Академия Естествознания”, 2009. 137 с.
9. Мусихина Е.А., Айзенберг И.И., Михайлова О.С. Пространственно-временной метод оценки экологической емкости территорий // Системы. Методы. Технологии. Братский государственный университет. 2014. № 2 (22). С. 175–178.
10. Плотникова Л.В. Экологическая безопасность и контроль качества окружающей среды в строительстве и стройиндустрии в соответствии с международными стандартами ИСО-14000: учебно-практ. пос. М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2001. 120 с.
11. Прожорина Т.И., Терещенко О.Н. Экологическая оценка состояния воздушной среды в зоне предприятия ЗАО ПКФ “Воронежский керамический завод” биоиндикационными методами // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2004. № 2. С. 142–146.
12. Рулева О.В., Овечко Н.Н. Способ расчета биомассы растений в межполосном пространстве / О.В. Рулева, Н.Н. Овечко. Волгоград, 2016. Деп. в ФНЦ агроэкологии Рос. акад. наук 10.12.2016, № 0002603903.
13. Часовников С.Н., Старченко Е.Н., Вержицкий Д.Г. Формирование рыночных механизмов экологического рынка промышленно-развитых регионов (на примере Кемеровской области) // Вестник Кемеровского государственного университета. 2014. № 3–3(59). С. 263–271.

MODERN APPROACHES TO DETERMINING THE ECOLOGICAL CAPACITY OF TERRITORIES FOR THE ASSESSMENT OF CONSTRUCTION PRODUCTS

P. M. Zhuk^{a,*} and A. A. Lavrusevich^{a,##}

^a National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse 26, Moscow, 129337 Russia

^{*}E-mail: peter_05@bk.ru

^{##}E-mail: lavrusevich@yandex.ru

Ecological capacity is one of the main characteristics of the territories. Methodological approaches to its definition are very diverse. An approach is proposed related to the use of ecological capacity as the indicator to assessing products according to their life cycle in related geoeological systems. The calculation of biological productivity is carried out taking into account the available types of vegetation. For comparison, the ecological capacity index is used, which is in relation to the actual indicator of generated biomass. The development of estimated indicators should include the introduction of bioindication parameters in geoeological systems throughout the product life cycle.

Keywords: ecological capacity, life cycle, natural and technological systems

REFERENCES

1. Barannik, L.P. *Ekologicheskaya emkost' territorii (na primere munitsipalnogo obrazovaniya "Novokuznetskiy sel'skiy rayon")* [Ecological capacity of the territory (on the example of the municipality "Novokuznetsk rural area")]. *EKO-byulleten' InEkA*, 2008, no. 4. (in Russian)
2. Bezgubov, V.A. *K voprosu ob ekologicheskoy emkosti territorii i sposobakh ee otsenki* [To the issue of ecological capacity of the territory and methods for its assessment]. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2015, no. 12(4), pp. 751–754. (in Russian)
3. Grafkina, M.V., Sviridova, E.Yu., Sdobnyakova, E.E. *Novye podkhody k otsenke ekologicheskikh pokazateley stroitelnykh materialov* [New approaches to assessing the environmental performance of building materials]. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, 2016, no. 9, pp. 15–21. (in Russian)
4. Gruzdev, V.S. *Bioindikatsiya sostoyaniya okruzhayushchey sredy* [Environmental bioindication]. Moscow, INFRA-M, 2019. 160 p. (in Russian)
5. Denisenko, T.V. *Ekologicheskaya emkost' territorii: printsipy otsenki i analiz rezultatov* [Ecological capacity of the territory: principles of assessment and analysis of results]. *Interexpo Geo-Sibir'*, 2005, pp. 1–5. (in Russian)
6. Zhemadukova, S.R. *Ekologicheskaya emkost' territorii i prognozirovaniye povedeniya ekologo-ekonomicheskoy sistemy s pomoshch'yu oragrafov (na primere respubliky Adygeya)* [The ecological capacity of the territory and forecasting the behavior of the ecological and economic system using digraphs (on the example of the Republic of Adygea)]. *Novye tekhnologii. Maykopskiy gosudarstvenniy tekhnologicheskii universitet*, 2008, no 6, pp. 58–61. (in Russian)
7. Kalashnikova, L.M., Bozieva, F.R. *Struktura i biomassa drevesno-kustarnikoy rastitel'nosti poymy reki Baksan (Kabardino-Balkariya)* [The structure and biomass of woody-shrubby vegetation of the floodplain of the Baksan River (Kabardino-Balkaria)]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2016, no 2. (in Russian)
8. Musikhina, E.A. *Metodologicheskii aspekt tekhnologii kompleksnoy otsenki ekologicheskoy emkosti territoriy* [Methodological aspect of the technology of integrated assessment of the ecological capacity of territories]. Moscow, 2009. 137 p. (in Russian)
9. Musikhina, E.A., Aizenberg, I.I., Mikhailova, O.S. *Prostranstvenno-vremennoy metod otsenki ekologicheskoy emkosti territoriy* [Space-time method for assessing the ecological capacity of territories]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii. Bratskiy gosudarstvenniy universitet*, 2014, no 2, pp. 175–178. (in Russian)
10. Plotnikova, L.V. *Ekologicheskaya bezopasnost i control kachestva okruzhayushchey sredy v stroitelstve i stroyindustrii v sootvetstvii s mezhdunarodnymi standartami ISO 14000* [Ecological safety and environmental quality control in construction and building industry in accordance with international standards ISO-14000]. Moscow, Ed. Rus.Econ. Acad., 2001, 120 p. (in Russian)
11. Prozorina, T.I., Tereshchenko, O.N. *Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya vozduшной sredy v zone predpriyatiya ZAO PKF "Voronezhskiy keramicheskii zavod" bioindikatsionnymi metodami* [Environmental assessment of the state of the air in the area of the enterprise ZAO PKF "Voronezh Ceramic Plant" using bioindication methods]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2004, no 2, pp. 142–146. (in Russian)
12. Ruleva, O.V., Ovechko, N.N. *Sposob rascheta biomassy rasteniy v mezhpolosnom prostranstve* [The method of calculating plant biomass in the inter-strip]. Patent RF, no. 2603903, 2016. (in Russian)
13. Chasovnikov, S.N., Starchenko, E.N., Verzhitskii, D.G. *Formirovaniye rynochnykh mekhanizmov ekologicheskogo rynka promyshlennno-razvitykh regionov (na primere Kemerovskoy oblasti)* [Formation of market mechanisms of the ecological market of industrialized regions (on the example of the Kemerovo region)]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, no. 3–3(59), pp. 263–271. (in Russian)