

DOI: 10.15593/2409-5125/2020.03.09

УДК 504.064.2

**П.М. Жук, А.А. Лаврусевич**Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА  
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Анализ жизненного цикла строительных материалов осуществляется в соответствии с международными стандартами и представляется на рынке в виде экологических деклараций продукции. В последнее время в качестве дополнительных специалистами предлагаются критерии, связанные с оценкой сохранения биоразнообразия. Также важным моментом в оценке строительных материалов является учет динамики изменения показателей, который осуществляется методами дисконтирования. В связи с этим важно разработать критерии оценки состояния геоэкологических систем, расположенных вблизи мест, связанных с этапами жизненного цикла. Отдельным вопросом являются критерии оценки биоразнообразия экосистем на локальном уровне, связанном с этапами жизненного цикла.

В статье рассмотрены некоторые возможные подходы к оценке состояния геоэкологических систем в местах расположения предприятий, связанных с жизненным циклом строительных материалов. В качестве характеристик геоэкологических систем предлагаются экологическая емкость, репродуктивная способность по кислороду, а также фитоиндикационные показатели (в частности, изменение индекса биологического разнообразия Симпсона). В статье приведены исследования указанных характеристик в местах, связанных с жизненным циклом строительных материалов (на примере теплоизоляционных). Приведено сопоставление показателей индекса экологической емкости для территорий в административных границах и для геоэкологических систем, а также сравнение определенных инженерно-экологических характеристик с фитоиндикационным показателем. Рассмотрение предложенных характеристик позволяет определить состояние окружающей среды на локальном уровне, что делает оценку жизненного цикла более объективной. На основании полученных данных рекомендуется формирование баз данных с последующим возможным включением информации в экологические декларации строительных материалов.

**Ключевые слова:** анализ жизненного цикла, экологические декларации, экологическая емкость, строительные материалы, оценка биоразнообразия.

**Введение.** Анализ воздействий на окружающую среду по жизненному циклу продукции является одним из важнейших процессов по обеспечению качества строительных материалов и строительства в целом. В соответствии с методологией международных стандартов ИСО 14000 он осуществляется в том числе в рамках разработки экологических деклараций, которые приобретают все большую значимость на рынке [1]. Например, действующий в Евросоюзе Регламент (ЕС) № 305/2011 Европейского парламента и Совета от 09.03.2011, которым установлены гармонизирован-

ные условия для размещения на рынке строительных изделий, предусматривает раскрытие информации об эффективности материала. Требования по механическим свойствам, пожарной безопасности, гигиеническим показателям и т.п. дополнены положением об устойчивом использовании природных ресурсов. Это призвано обеспечить долговечность постройки, рециклинг материалов после сноса или демонтажа [2]. Фактически строительные материалы, представленные на европейском рынке, должны иметь экологическую декларацию, поскольку в ней раскрываются требования Регламента № 305/2011 Европейского парламента и Совета от 09.03.2011. В России также появились первые декларации на строительную продукцию, в частности, на алюминиевые композитные панели и на теплоизоляционные материалы [3]. В состав экологической декларации или декларации о воздействиях на окружающую среду входят основные сведения о критериях воздействия на окружающую среду на разных этапах жизненного цикла продукции (табл. 1). В качестве критериев в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 14025–2012 «Этикетки и декларации экологические. Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры» применяются воздействия парниковых газов на изменение климата, влияние на истощение слоя озона в стратосфере, проблемы повышения кислотности воды и почвы, эвтрофикации водоемов, возникновение фотохимического смога, характеристики истощения энергетических ресурсов и минерального сырья (табл. 1).

Таблица 1

Этапы жизненного цикла, отражаемые в экологических декларациях строительной продукции (на примере из источника [3])

Этап жизненного цикла	Промежуточные стадии	Описание
Производство (A1–A3)	Сырьевые материалы (A1)	Расчет воздействий при добыче всех сырьевых компонентов и затрат энергии для производства
	Транспортировка (A2)	Расчет средних значений всех воздействий при транспортировке компонентов к месту производства
	Производство (A3)	Включает расчет всех эффектов при производстве и упаковке продукции
Строительство и монтаж (A4–A5)	Транспортировка (A4)	Учитывается транспортировка к месту строительства в соответствии с выбранным сценарием
	Монтаж на строительной площадке (A5)	Устанавливается процент образования отходов. Не более 25 км транспортировки с помощью грузового автотранспорта. Полный сбор и утилизация упаковочного материала

Окончание табл. 1

Этап жизненного цикла	Промежуточные стадии	Описание
Эксплуатация (B1–B7)	Эксплуатация (B1)	Оценка затрат и воздействий, связанных с применением материала
	Обслуживание (B2)	Затраты ресурсов на мероприятия по уходу и обслуживанию материала в период эксплуатации
	Ремонт (B3)	Оценка воздействий от мероприятий по ремонту
	Замена (B4)	Оцениваются затраты и воздействия при частичной замене компонентов материала или системы
	Реконструкция (B5)	Оцениваются затраты и воздействия при реконструкции отдельных элементов
	Эксплуатационные энергозатраты (B6)	Операционные затраты энергии в период эксплуатации материала в конструкции
	Эксплуатационный расход воды (B7)	Операционный расход воды во время эксплуатации материала
Завершение срока службы (C1–C4)	Демонтаж или снос (C1)	Демонтаж любых строительных материалов является частью демонтажа всего здания. Во многих случаях для отдельных групп материалов этими эффектами можно пренебречь
	Транспортировка (C2)	Учитывается транспортировка до места переработки или утилизации
	Переработка отходов (C3)	Обращение с отходами предусматривает первичное и вторичное повторное использование или рециклинг
	Утилизация (C4)	Оценка безопасности и эффективности захоронения отходов
За пределами системы (D)	Потенциал повторного использования и переработки	Часто модуль опускают в декларации. В нем описывают эффекты, выходящие за пределы жизненного цикла материала, но связанные с ним

Оценка жизненного цикла строительных материалов на основе методологии экологических деклараций проводится по схеме «анализ жизненного цикла + правила для групп однородной продукции» [4–6]. В частности, инвентаризационный анализ оценки жизненного цикла учитывает положения правил для групп однородной продукции. Например, на этом этапе оценки проводят инвентаризацию расходования энергоресурсов, потребления воды и возобновляемых компонентов.

Преимуществом инструмента правил для групп однородной продукции является возможность учета мнения ассоциаций и иных объединений

производителей, а не одиночных предприятий [7]. На уровне таких объединений выявляют наиболее принципиальные вопросы и критерии оценки в соответствии с проблемами отрасли.

Что касается непосредственно экологических деклараций, то ключевыми аспектами их применения являются следующие [8]:

- верификация, согласование и стандартизация методов расчета исследуемых показателей на региональном и международном уровнях;
- централизация разработки методик на национальном уровне и формирование данных о разработанных декларациях различных производителей;
- интеграция информации об экологических декларациях в системы оценки устойчивости зданий (требования ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости»);
- экономические сложности, связанные с высокой стоимостью разработки экологических деклараций.

В связи с высокой стоимостью разработки деклараций в настоящее время предложено постепенно внедрять некоторые показатели анализа жизненного цикла через технические условия на данный вид строительной продукции. Оценка жизненного цикла строительных материалов и включение в оценку зданий регулируется стандартами ИСО 21930:2017 «Устойчивость при строительстве зданий. Экологическая декларация строительной продукции» и ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости», который учитывает основные нормативные положения предыдущей версии стандарта ИСО 21930:2007 в неэквивалентной степени соответствия (NEQ). ГОСТ Р 54964–2012 содержит рекомендуемую долю экологически сертифицированных материалов в проекте 30–50 %. В то же время стоит учитывать не просто связку строительных материалов и зданий, но и качества окружающей среды, что отражено на схеме (рис. 1).

Стоит обратить внимание, что многие указанные на схеме международные стандарты в России действуют в неэквивалентной степени, а их основные нормативные положения учтены ГОСТ Р 54964–2012, что позволяет констатировать недостаток нормативной правовой базы анализа геоэкологических аспектов жизненного цикла строительных материалов.

В международной научной практике учета геоэкологических аспектов при оценке строительных материалов стоит отметить две очень важные тенденции, которые пока не нашли своего полного выражения в процессе стандартизации, но играют важнейшую роль для повышения объективности оценки и адекватности результатов.



Рис. 1. Регулирование оценки различных областей устойчивого строительства

Первая связана с сохранением биоразнообразия и эффективности использования площади по жизненному циклу, что уже существует в некоторых директивах по оценке строительной продукции и предлагается впоследствии вводить в экологические декларации [9]. Вторая тенденция совершенствования систем оценки связывается с дисконтированием показателей анализа жизненного цикла. Дело в том, что даже в процессе самого жизненного цикла строительной продукции происходят изменения воздействий на окружающую среду от конкретного строительного материала, произведенного по определенной технологии. В то же время в декларации (рассчитанной на 5 лет) отражается ситуация с геоэкологическими эффектами на конкретный момент времени.

**Основная часть исследования.** В отношении исследования биоразнообразия важно разработать подход к оценке всего жизненного цикла. Одной из возможностей является рассмотрение биогеоценозов, расположенных в непосредственной близости от этапов жизненного цикла строительного материала (от добычи сырья до переработки или утилизации). Важно предусматривать возможность учета расположения разных биогеоценозов в месте, связанном с этапами жизненного цикла. С другой стороны, при оценке воздействия на окружающую природную среду именно строительных материалов необходимо выделение только эффектов, связанных с их жизненным циклом. Поэтому в исследовании предложено

рассматривать геоэкологические системы, под которыми подразумевается совокупность биогеоценозов, агроценозов и природно-техногенных систем, расположенных вблизи каждого из этапов жизненного цикла строительного материала [10]. Такой подход имеет преимущество по сравнению с рассмотрением всего региона, в котором находятся предприятия разных отраслей, но не может использоваться в случае рассмотрения промышленных зон, где аккумулированы производства из отличных друг от друга областей экономической деятельности. Показатели состояния окружающей среды, с одной стороны, должны отражать реакцию конкретных видов на техногенные воздействия, а с другой – характеризовать состояние рассматриваемых фитоценозов в комплексе. В связи с этим предлагается рассматривать группу биоиндикационных показателей, связанных с реакцией древесно-кустарниковой растительности, а также комплексные параметры – экологическая емкость территории и ее репродуктивная способность по кислороду. Определение экологической емкости для разных пространственных составляющих геоэкологических систем может выполняться по разным формулам. В частности, для древесно-кустарниковой растительности использовалась формула, по которой экологическая емкость аддитивно определялась из членов, представляющих собой отношение максимально достижимой биомассы растений определенного вида к эмпирическим коэффициентам, вычисляемым с учетом вида растений и времени вегетации в период отбора проб [11]. Для травянистой растительности показатель экологической емкости также учитывал видовой состав и период вегетации [12]. Стоит принимать во внимание различие в размерностях показателей биомассы для древесно-кустарниковой растительности ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) и травы (граммы). В связи с этим для обобщения использовался индекс экологической емкости, который определяется соотношением показателей экологической емкости и генерируемой по факту биомассой. Это позволяет перейти к относительным величинам (выражаемым в баллах) и обеспечивает сравнимость полученных данных как в рамках одной, так и между разными геоэкологическими системами [13]. Репродуктивная способность территории по кислороду оценивается исходя из произведения ежегодной продукции органического вещества рассматриваемым растительным сообществом в рамках геоэкологической системы и территории, которую занимает это растительное сообщество. Для точности расчета в формулу вводятся характерные для сообщества коэффициенты, а рассчитанные по участкам в рамках геоэкологической системы показатели суммируются.

Были проведены исследования геоэкологических систем в местах, связанных с жизненным циклом некоторых строительных материалов. На некоторых этапах жизненного цикла за рассматриваемый период исследований (5 лет) были проведены мероприятия по модернизации, которые позволили добиться улучшения геоэкологических показателей. Результаты исследований экологической емкости и репродуктивной способности представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели экологической емкости и репродуктивной способности по кислороду для геоэкологических систем, связанных с этапами жизненного цикла строительных материалов (на примере теплоизоляционных материалов)

Наименование материала	Значения экологической емкости / репродуктивной способности по кислороду на соответствующем этапе жизненного цикла (данные 2013 и 2018 г.)			
	производство (включая сырьевые материалы)	строительство и монтаж	эксплуатация	завершение срока службы
Стекловатные плиты	2013 – 2,3/0,51 2018 – 2,6/0,57	2013 – 2,8/0,65 2018 – 2,9/0,7	2013 – 2,7/0,67 2018 – 2,9/0,7	2013 – 2,6/0,62 2018 – 2,7/0,69
Плиты из каменной ваты	2013 – 2,5/0,51 2018 – 2,7/0,57	2013 – 2,9/0,7 2018 – 2,9/0,73	2013 – 2,8/ 0,68 2018 – 2,9/ 0,72	2013 – 2,7/0,58 2018 – 2,9/0,6
Плиты из экструдированного полистирола	2013 – 2,1/0,38 2018 – 2,3/0,43	2013 – 2,7/0,68 2018 – 2,9/0,71	2013 – 2,9/0,71 2018 – 2,9/0,74	2013 – 2,1/0,45 2018 – 2,2/0,5
Пеностекло	2013 – 2,3/0,87 2018 – 2,7/0,9	2013 – 2,7/0,65 2018 – 2,8/0,73	2013 – 2,7/0,73 2018 – 2,7/0,75	2013 – 2,5/0,69 2018 – 2,5/0,78
Плиты на основе льна	2013 – 2,5/0,69 2018 – 2,7/0,71	2013 – 2,9/0,7 2018 – 2,9/0,72	2013 – 2,9/0,7 2018 – 2,9/0,73	2013 – 2,7/0,66 2018 – 2,9/0,73

Из табл. 2 можно сделать вывод, что в результате природоохранных мероприятий на этапах производства и переработки некоторых теплоизоляционных материалов удается улучшить показатели экологической емкости и репродуктивной способности по кислороду в рамках геоэкологических систем (рассматриваемый период составил 5 лет). Чаще всего это связано с внедрением на предприятиях наилучших доступных технологий. Стоит также отметить, что в некоторых случаях показатели экологической емкости геоэкологических систем, связанных с этапом производства (соответствует А1–А3 в экологических декларациях), приближаются к показателям такого этапа, как эксплуатация для данного материала, но, как правило, все-таки не достигают их. Строительство и монтаж, а также экс-

плуатация являются теми этапами, где воздействие конкретного материала на геоэкологическую систему является наименее значительным, а рассматриваемые параметры зависят от значительного количества других факторов.

Обычно изучают показатели экологической емкости и репродуктивной способности для отдельных территорий в целях принятия решений по проектам планировки. С этой точки зрения интерес представляет сравнение инженерно-экологических характеристик территорий в административных границах районов расположения предприятий, связанных с жизненным циклом строительных материалов, и в рамках геоэкологических систем. Такое сравнение приведено на диаграмме (рис. 2).



Рис. 2. Сравнение экологической емкости при расчете для административных районов и для геоэкологических систем (цифры по оси абсцисс – показатели для этапов производства различных предприятий-изготовителей: 1–6 – стекловаты; 7–12 – каменной ваты; 13–17 – экструдированного пенополистирола; 18 – вспененного пенополистирола; 19–22 – пенополиуретана; 23 – пеностекла; 24–25 – вспученного перлита; 26–27 – засыпки из керамзита; 28–30 – древесноволокнистых плит)

Несмотря на возможную характеристику состояния окружающей среды в местах, связанных с жизненным циклом строительных материалов, с помощью экологической емкости, определить сохранение биоразнообразия с помощью этого показателя невозможно. Для изучения биоразнообразия используются различные индексы Симпсона и Бергера-Паркера, Пиелу и Макинтоша (статистически не зависящие от видового богатства), а также Шаннона и Тейла (с сильной или отчетливой зависимостью от видового богатства) [14]. В настоящей статье рассматривалось изменение индекса разнообразия Симпсона, который ранее уже применялся в исследованиях для характеристики состояния фитоценоза в рай-

онах расположения предприятий по производству кирпича [15]. В табл. 3 приведены результаты исследований, которые в некоторой степени отражают корреляцию между показателями инженерно-экологических характеристик территорий и изменением индекса разнообразия Симпсона.

Таблица 3

Результаты исследования инженерно-экологических характеристик и уменьшения индекса разнообразия Симпсона на примере жизненного цикла теплоизоляционных материалов

Наименование материала и производителя	Критическая репродуктивная способность по кислороду	Критическая экологическая емкость	Уменьшение индекса разнообразия Симпсона, %
Плиты из стекловаты	0,62	2,8	$\geq 2$
Плиты из каменной ваты	0,7	2,8	$\geq 1$
Плиты из экструдированного пенополистирола (CO <sub>2</sub> )	0,78	1,9	$\geq 5$
Плиты из экструдированного пенополистирола (HFKW)	0,72	1,8	$\geq 5$
Плиты из вспененного пенополистирола	0,64	1,9	$\geq 4$
Плиты из пенополиуретана	0,73	1,9	$\geq 3$
Пеностекло	0,87	2,1	$\geq 2$
Вспученный перлит	0,75	1,9	$\geq 2$
Керамзит	0,81	2,1	$\geq 2$
Древесно-волоконистые плиты	0,78	2,8	$\geq 2$
Плиты на основе целлюлозного волокна	0,86	2,2	$\geq 1$
Плиты из льна (армированные)	0,88	2,9	$\geq 2$

При сравнении разных строительных (в приведенном примере теплоизоляционных) материалов видно, что чем хуже обстоит ситуация с экологической емкостью геоэкологических систем (приведены критические по этапам жизненного цикла), тем сильнее уменьшается индекс разнообразия Симпсона. Таким образом, можно констатировать взаимосвязь этих показателей, характеризующих воздействия объектов, связанных с жизненным циклом строительных материалов, на фитоценотическую составляющую.

**Заключительная часть.** Геоэкологические аспекты должны и могут приниматься во внимание при оценке жизненного цикла строительных материалов, для чего возможно использование инженерно-экологических характеристик территорий (например, оцениваемых на уровне геоэкологических систем), а также индексов разнообразия фитоценотической составляющей в качестве инструмента биоиндикации.

Важной областью деятельности является установление диапазонов изменения показателей экологической емкости, репродуктивной способности, а также индексов биоразнообразия на основании групп исследований для различных подотраслей промышленности строительных материалов. Это позволит в дальнейшем формировать рейтинг геоэкологических показателей по жизненному циклу и сравнивать материалы одного функционального назначения. Актуальна разработка отношения геоэкологических показателей к функциональной единице продукции в соответствии с международными стандартами.

Дальнейшие исследования могут быть посвящены поиску закономерностей изменения различных показателей по жизненному циклу (например, соотношения показателей энергозатрат и изменения биоразнообразия в экосистемах, расположенных вблизи значимых этапов жизненного цикла строительных материалов).

На основании увеличения количества исследований возможно формирование баз данных инженерно-экологических характеристик и иных показателей среды в местах по жизненному циклу строительных материалов, как в форме информации в экологических декларациях, так и в самостоятельном виде. Такие сведения позволят осуществлять взвешенный выбор материалов на стадии проектирования, что будет, в свою очередь, стимулировать участников производственной цепочки строительства повышать экологическую безопасность на всех этапах.

#### Библиографический список

1. Peters H. Environmental Product Declarations – a key component of sustainable building. It all starts with the building material // *Greenbuilding*. – 2009. – No. 3. – P. 26–30.
2. Боссенмайер Х. Актуальная информация о технических нормах и правовом регулировании устойчивого строительства в Европейском Союзе // *Устойчивая архитектура: настоящее и будущее: труды международного симпозиума / Московский архитектурный институт (государственная академия), группа КНАУФ СНГ*. – М., 2012. – С. 65–66.
3. Environmental Product Declaration in accordance with EN 15804 and ISO 14025. Based on PCR 2012:01 Construction products and construction services v 2.3 (EN 15804:2012+A1) and its Sub-PCR-I Thermal insulation products (EN 16783). Manufacturer and Owner of the Declaration ISOVER Saint-Gobain Russia. 2020-03-06.
4. Anderson, J. Life cycle assessment and Environmental Product Declarations / Anderson J. // *PE-International*. – 2012. – P. 13.
5. Anderson J., Ronning A., Moncaster A. The Reporting of End of Life and Module D Data and Scenarios in EPD for Building level Life Cycle Assessment // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 323. 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012051
6. Erlandsson M., Lindfors L.-G., Ryding S.-O. Product Category Rules (PCR) for building products on an international market. IVL Report B1617. – Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., 2005 – 44 p.
7. Жук П.М. Значение правил для отдельных категорий продукции при разработке экологических деклараций строительных материалов // *Архитектура и строительство России*. – 2014. – № 7. – С. 10–19.

8. Жук П.М. Декларации о воздействиях на окружающую среду строительных материалов: проблемы и перспективы применения в Российской Федерации // *Архитектура и строительство России*. – 2013. – № 11. – С. 22–31.
9. Holzer P. Building Related Environmental Impacts – the Hidden Aspects // *Sustainable Built Environment D-A-CN Conference*. – 2019. – P. 27–28. DOI: 10.3217/978-3-85125-690-1
10. Жук П.М., Лаврусевич А.А. Современные подходы к определению экологической емкости территорий для оценки строительной продукции // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология*. – 2020. – № 1. – С. 47–51.
11. Мусихина Е.А., Айзенберг И.И., Михайлова О.С. Пространственно-временной метод оценки экологической емкости территорий // *Системы. Методы. Технологии*. – 2014. – № 2(22). – С. 175–178.
12. Способ расчета биомассы растений в межполосном пространстве: пат. Рос. Федерация / Рулева О.В., Овечко Н.Н. – № 0002603903; опубл. 10.12.2016.
13. Баранник Л.П. Экологическая емкость территории (на примере муниципального образования «Новокузнецкий сельский район») [Электронный ресурс] // *ЭКО-бюллетень ИнЭКА*. – 2008. – № 4 (129). – URL: <http://ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0129/&pg=017> (дата обращения: 01.09.2020).
14. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Структурный анализ экологических систем. Количественные методы экологии и гидробиологии: сб. науч. тр., посв. памяти А.И. Баканова / Отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг / СамНЦ РАН. – Тольятти, 2005. – С. 91–129.
15. 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.

### References

1. Peters H. Environmental Product Declarations – a key component of sustainable building. It all starts with the building materia. *Greenbuilding*, 2009. No. 3, P. 26-30.
2. Bossenmayer H.-J. Aktual'naiia informatsiia o technicheskikh normakh i pravovom regulirovanii ustoychivogo stroitel'stva v Evropeyskom Soiuzе [Actual information on technical regulations and legal regulation of sustainable building in the European Union]. *Ustoychivaia arkhitektura: nastoiashchee i budushchee. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma*. Moscow, Moscow Institute for Architecture, Group KNAUF CIS, 2012, pp. 65-66.
3. Environmental Product Declaration in accordance with EN 15804 and ISO 14025. Based on PCR 2012:01 Construction products and construction services v 2.3 (EN 15804:2012+A1) and its Sub-PCR-I Thermal insulation products (EN 16783). Manufacturer and Owner of the Declaration ISOVER Saint-Gobain Russia. 2020-03-06.
4. Anderson, J. Life cycle assessment and Environmental Product Declarations. *PE-International*, 2012, pp. 13.
5. Anderson J., Ronning A., Moncaster A. The Reporting of End of Life and Module D Data and Scenarios in EPD for Building level Life Cycle Assessment // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 323. 012051. DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012051
6. Erlandsson M., Lindfors L.-G., Ryding S.-O. Product Category Rules (PCR) for building products on an international market. IVL Report B1617. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd., 2005. 44 p.
7. Zhuk P.M. Znachenie pravil dlja otdel'nyh kategorij produktsii pri razrabotke jekologicheskikh deklaracij stroitel'nyh materialov [The value of rules for certain categories of products when developing environmental declarations of building materials] *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2014. No.7, p. 10–19.
8. Zhuk P.M. Deklaratsii o vozdeystviyah na okruzhajushhuyu sredyu stroitel'nyh materialov: problemy i perspektivy primeneniya v Rossijskoj Federatsii [The declaration on the environmental impacts of construction materials: problems and prospects of application in the russian federation] *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2013. no. 11, p. 22–31.

9. Holzer P. Building Related Environmental Impacts – the Hidden Aspects *Sustainable Built Environment D-A-CH Conference*, 2019, pp. 27-28. DOI: 10.3217/978-3-85125-690-1

10. Zhuk P.M., Lavrusevich A.A. Sovremennye podhody k opredeleniju jekologicheskoy emkosti territorij dlja ocenki stroitel'noj produkcii [Modern approaches to determining the ecological capacity of territories for the assessment of construction products] *Geojekologija. Inzhenernaja geologija. Gidrogeologija. Geokriologija*. 2020. no.1, p. 47-51.

11. Musihina E.A., Ajzenberg I.I., Mihajlova O.S. Prostranstvenno-vremennoj metod ocenki jekologicheskoy emkosti territorij. Sistemy. Metody. Tehnologii. Bratskij gosudarstvennyj universitet. – 2014. – №2(22). – S. 175-178.

12. Sposob rascheta biomassy rastenij v mezhpolosnom prostranstve: pat. Ros. Federacija. Ruleva O.V., Ovechko N.N. no. 0002603903; opubl. 10.12.2016.

13. Jekologicheskaja emkost' territorii (na primere municipal'nogo obrazovanija «Novokuzneckij sel'skij rajon») [Elektronnyj resurs] / Barannik, L.P. JeKO-bjulleten' InJekA. 2008. no.4 (129). URL: <http://ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0129/&pg=017> (data obrashhenija: 01.09.2020).

14. Shitikov V.K., Rozenberg G.S. Otsenka bioraznoobraziia: popytka formal'nogo obobscheniia [Biodiversity assessment: an attempt at a formal generalization] *Strukturnyy analiz jekologicheskikh system. Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii: sbornik nauchnykh trudov, posviaschennyj pamiati A.I. Bakanova*. Tolyatti, SAmNTS RAN, 2005, pp. 91-129.

15. Prozhorina T.I., Tereschenko O.N. Ekologicheskaja otsenka sostoianiia vozduшной sredy v zone predpriiatiia ZAO PKF «Voronezhskiy keramicheskij zavod» bioindikatsionnymi metodami [Environmental assessment of the state of the air in the area of the enterprise ZAO PKF "Voronezh Ceramic Plant" by bioindication methods] *Voronezh State University Bulletin. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2004, no. 2, pp. 142-146

Получено 1.09.2020

**P. Zhuk, A. Lavrusevich**

**GEOECOLOGICAL ASPECTS  
OF THE LIFE CYCLE ANALYSIS  
OF BUILDING MATERIALS**

Life cycle analysis of building materials is carried out in accordance with international standards and is presented on the market in the form of environmental product declarations. Recently, as additional criteria, specialists have proposed those related to the assessment of biodiversity conservation.

In the article some possible approaches to assessing the state of geoeological systems at the locations of enterprises associated with the life cycle of building materials are discussed. Examination of the proposed characteristics makes it possible to determine the state of the environment at the local level, which makes the assessment of the life cycle more objective.

**Keywords:** life cycle analysis, environmental declarations, environmental capacity, building materials, biodiversity assessment.

**Жук Петр Михайлович** (Москва, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Инженерные изыскания и геоэкология», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: peter\_05@bk.ru).

**Лавруевич Андрей Александрович** (Москва, Россия) – д-р геол.-минерал. наук, заведующий кафедрой «Инженерные изыскания и геоэкология», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, e-mail: lavrusevich@yandex.ru).

**Petr Zhuk** (Moscow, Russian Federation) – Ph.D. in Engineering Sciences, Department of Engineering Surveys and Geoecology, National Research Moscow State University of Civil Engineering (129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: peter\_05@bk.ru).

**Andrey Lavrusevich** (Moscow, Russian Federation) – Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Engineering Surveys and Geoecology, National Research Moscow State University of Civil Engineering (129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26, e-mail: lavrusevich@yandex.ru).