

**Эколого-экономическая оценка влияния техногенного воздействия
на Западный Арктический регион**

Крук М.Н., кандидат экономических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Кускова Я.В., кандидат технических наук, ассистент, Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Абрамова П.А., магистрант, Санкт-Петербургский государственный технологический институт(технический университет), Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В результате исследования геоэкологической составляющей арктических морей России западного Арктического региона было выявлено достаточно сильное влияние техногенного фактора на ресурсы данной области. В приведенной работе сделана попытка оценить влияние действий техногенного характера, выявить объекты наиболее подверженные риску этого воздействия и оценить возможный ущерб, причиненный окружающей среде.

Ключевые слова: техногенное воздействие, эколого-экономическая оценка, западный Арктический регион.

**Ecological and economic assessment of technogenic impact on the Western
Arctic region**

Kruk M.N., Phd of Economics, Associate Professor, Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Kuskova Ya.V., PhD of Technical, Assistant Lecturer, Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Abramova P.A., master, St. Petersburg State Technological Institute (technical university), St. Petersburg, Russia

Annotation. The study of geo-ecological component of the Russian Arctic seas of the western Arctic has been revealed a strong influence of anthropogenic factors on the resources of the region. In this paper we attempt to assess the impact of man-made actions, identify objects most at risk of exposure and to evaluate the potential damage caused to the environment.

Keywords: technological impact, economic evaluation, the Western Arctic region.

Арктический регион – крупнейший и, можно сказать, последний, не только ресурсный, но и территориальный резерв мирового развития. Здесь переплетаются жизненно важные интересы России и других государств: экономические, политические, социальные и экологические.

Интерес к Арктике обуславливается и активным использованием морей данного региона в транспортных целях, а также тем обстоятельством, что Арктика — это своего рода «кухня погоды» на Земле, требующая проведения постоянных научных исследований и экологического контроля.

Сегодня в Арктике зафиксировано существенное ухудшение экологической обстановки. Процесс загрязнения отходами цивилизации обнаружен даже в таких, казалось бы, удалённых от промышленных центров районах, как околополюсные пространства, что способно привести к планетарным экологическим катаклизмам, последствия которых трудно себе представить. Это связано с различными причинами и, в частности, с такими, например, как разрушение холодной плёнки океана, что принципиально изменит и без того достаточно хрупкий водный и тепловой баланс планеты. У океана исчезнет защитный слой, и Земля начнёт терять воду. Трудно сказать, сумеет ли человечество остановить этот, по существу, космический, процесс. Не исключено, что он уже начался. Также данный регион характеризуется колоссальными запасами многих полезных ископаемых, в особенности запасами нефти, газа и газоконденсата, что делает этот регион экономически притягательным для освоения.

Активная техногенная экспансия на Арктику подводит нас к необходимости оценки такового влияния на окружающую среду. При этом особое внимание необходимо уделить оценке величины возможного ущерба, причиненного действиями, сопровождающими освоение месторождений полезных ископаемых в данном регионе.

В работе мы не будем оценивать ресурсную базу западного Арктического региона. Нашей задачей является выбор объектов, на которые направленно техногенное воздействие, формирование методики оценки влияния этого воздействия и определение суммарного ущерба, который может быть нанесен действиями техногенного характера.

Итак, для начала необходимо определить, что подразумевается под техногенным воздействием.

Существует несколько трактовок этого понятия, так в словаре терминов МЧС приводится следующее определение техногенные воздействия – это воздействия промышленных и сельскохозяйственных технологий, транспорта и коммуникаций, а также объектов военного назначения, способные вызвать нарушения жизнедеятельности населения, функционирования объектов экономики, систем государственного управления, окружающей среды. Т.е. определяются назначением объектов техносферы и создаваемых ими опасностей – энергетических, информационных, биологических; они различаются длительностью (краткосрочные, длительные, циклические), степенью (сверхслабые, слабые, сильные, сверхсильные), допустимостью (допустимые, недопустимые), контролируемостью (контролируемые, неконтролируемые)¹.

А в инженерно-геологических изысканиях для строительства, техногенные воздействия - это статические и динамические нагрузки от зданий и сооружений, подтопление и осушение территорий, загрязнение грунтов,

¹ EdwART. Словарь терминов МЧС, 2010 // Словари и энциклопедии на Академике. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dic.academic.ru>

истощение и загрязнение подземных вод, а также физические, химические, радиационные, биологические и другие воздействия на геологическую среду².

Исходя из приведенных выше определений можно вывести наиболее подходящую для наших условий дефиницию.

Техногенное воздействие – это воздействия строительства промышленных объектов, самих промышленных объектов, объектов транспорта и коммуникаций, обслуживающих эти промышленные сооружения на окружающую среду.



Рис. 1 – Элементы техногенного воздействия

Теперь необходимо определиться с тем, какие именно элементы окружающей среды западного Арктического региона наиболее подвержены опасному техногенному воздействию. В нашем случае правильнее использовать термин «экосистема» взамен окружающей среды, и таким образом, можно представить следующую модель взаимодействия.

Для понятия «экосистема» удобно воспользоваться трудами английского эколога А. Тенсли, который определяет экосистему как «совокупность живых организмов (сообществ) и среды их обитания, образующих благодаря круговороту веществ, устойчивую систему жизни». При этом сама экосистема состоит из двух компонентов: биотоп и биоценоз. В свою очередь биотоп – это

² СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.

атмосфера (или климатоп) и почвогрунт (или эдафотоп), а биоценоз – это растительность (или фитоценоз), животные (или зооценоз) и микроорганизмы (или микробиоценоз). При этом все элементы активно между собой взаимодействуют. Схема такого взаимодействия между элементами экосистемы представлена на рис. 2.



Рис. 2 – Структура биогеоценоза и схема взаимодействия между компонентами³

Следующее, что необходимо сделать после качественного анализа и определения объектов исследования, это установить каким именно образом элементы техногенного воздействия оказывают влияние на элементы экосистемы.

Сосредоточим свое внимание, на акватории Карского моря.

Климат арктический, суровый: 3–4 мес. в году длится полярная ночь, 2–3 мес. — полярный день. температура воздуха ниже 0 °С держится на севере моря 9–10 месяцев, на юге — 7–8 месяцев. Средняя температура января от –20 до –28 °С (минимальная достигает –46 °С), июля от 6 до –1 °С (максимальная

³Данные о биогеоценозе. –[Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.Grandars.ru

до 16 °С). Число дней с морозом в июле от 6 на юге до 20 на севере. Зимой часты штормовые ветры, вьюги и метели, летом — снежные заряды и туманы.

Карское море полностью покрывается льдом в осенне-зимнее время, и летом освобождается ото льда лишь часть его поверхности. Льдообразование начинается в сентябре в северных районах моря и в октябре — на юге. С октября по май почти все море покрыто льдами разного вида и возраста.

Наибольшее техногенное воздействие оказывается на атмосферу. Ключевую роль в этом процессе играют сейши – стоячие волны, генерируемые автоколебательной системой океан-атмосфера-материк.

Появление сейш создает термобарическую волну, период которой согласно теории и наблюдениям определяется линейными размерами сейшевого поля. Скорость этой волны, в принципе, может существенно отличаться от скорости потока воздуха и влаги, либо практически совпадать с ней. Поток, генерируемый сейшевым полем, в известной мере можно представить, как зональный,двигающийся по замкнутому кругу (приблизительно вдоль параллели) и периодически проходящий то над «нагревателем», то над «холодильником».

Таким образом, с позиций термобарических сейш акватория Карского моря по отношению к прилегающей к нему материковой части (Ямал, Гыдань, Таймыр) практически всегда выступает как холодильник, обеспечивая перенос воздушных масс со стороны прилегающего континента на акваторию моря.

Наиболее сильную техногенную нагрузку Карское море, скорей всего, испытывает со стороны Норильского промышленного комплекса (НПК). НПК – это единый комплекс, осуществляющий добычу и производство как цветных металлов, так и драгоценных. НПКосновная производственная площадка и заполярный филиал АО «Горно-металлургическая компания «Норильский Никель»⁴. По данным, которые были опубликованы в сборнике «Россия в цифрах-2011», ежегодно выпускаемым Росстатом России, самым загрязнённым промышленным городом России в 2010 году признан северный город

⁴ Материалы отчетов СЗНИИ Наследия 2003-2015 гг.

Норильск. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ промышленными предприятиями Норильска составили 1 миллион 924 тысячи тонн. Это абсолютный рекорд среди других промышленных городов России (20,4 % всех атмосферных загрязнений в Российской Федерации). Этот показатель в 5,7 раза больше, чем у ближайшего конкурента – Череповца, занявшего в этом печальном соревновании второе место (333 тысячи тонн в год)⁵.

В Норильске около 350 дней в году фиксируется повышенный уровень загрязнения атмосферы вредными веществами, из них около 80% – с уровнем до 5 ПДК, и около 20% – с уровнем 10 ПДК и более, что позволяет в течение большей части года оценить уровень загрязнения как «сильный» и «очень сильный».

Удельный вес в валовом выбросе диоксида серы составляет 94.8% (2201.7 тыс. тонн в год), твердых веществ – 1.3% (31.8 тыс. тонн в год), оксидов азота – 0.9% (21.6 тыс. тонн в год), оксидов углерода – 1.4% (33.0 тыс. тонн в год).

Масштабы действия механизма атмосферного стока климатического круговорота воды можно отнести к категории планетарных. А это означает, что в него включено не только Карское море, но все арктические моря Земли.

Главным же источником техногенных ингредиентов являются крупные промышленные комплексы, такого уровня как Норильский комбинат и предприятия Череповца.

Следующий процесс, оказывающий несомненно достаточно сильное воздействие на экосистему арктических морей, это цикл поверхностного стока. Протекает этот процесс преимущественно по следующей схеме: океан → атмосфера → суша → поверхностный сток → океан. Реки несут в моря и океаны не только растворённые вещества, но и различный взвешенный и влекомый по дну материал. Территория бассейна Карского моря занимает площадь 6 630 400 км², а без островов Вайгач, Новая Земля (восточная часть) и Северная Земля (западная часть) — 6 579 000 км². Природные условия этой

⁵ Кельтон В. Имитационное моделирование // Классика CS. – 3-е изд. – СПб. : Питер; Киев : Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.

территории разнообразны. Характеристика ресурсов поверхностных вод и водного баланса бассейна даётся по трём его составным частям, к которым отнесены: бассейн р. Оби, бассейн р. Енисея и побережье Карского моря.

Цикл поверхностного стока играет огромную роль в формировании геоэкологической обстановки арктических морей России.

Поступление с речным стоком материала, по существу, в шельфовые моря российской Арктики сопровождается интенсивным турбулентным перемешиванием и диффузией. При этом происходит обмен импульсами речной и морской воды, что приводит к постепенному падению скорости стокового течения с удалением от устья и создает логистический характер распределения солёности, а также взвешенных и влекомых наносов на устьевом взморье.

Основной материал, аккумулирующийся в прибрежной зоне моря, поступает с речным стоком. В зависимости от водосборной площади и ландшафтных условий бассейна реки объём этих поступлений может колебаться в широких пределах. Характер же выноса во многом определяется особенностями гидрографа реки.

С ростом размещений судов и объёмов перевозки грузов этой категории произошли существенные изменения в технологии их перегрузки, основанные на использовании прогрессивных технических решений. Это позволило значительно увеличить производительность и степень механизации перегрузочных работ. Вместе с тем обострились проблемы, связанные с негативными воздействиями перегрузочных работ на окружающую среду в силу особенностей грузов, этой категории.

Основными из этих воздействий являются:

1. Загрязнение воздушного и водного бассейнов, а также прилегающей территории, вследствие пылеобразования.
2. Загрязнение водной среды ливневыми стоками и грунтовыми водами, содержащими вредные вещества.

Эти воздействия характерны практически для всех навалочно-насыпных грузов, но степень их влияния на окружающую среду и последствия от него определяются свойствами перегружаемых материалов, технологическими решениями операций погрузки-разгрузки и естественными условиями района расположения перегрузочного комплекса.

Помимо процессов, посредством которых осуществляется загрязнение окружающей среды можно выделить следующие поллютанты, оказывающие вредное воздействие:

- Гидротехногенное загрязнение. Заражение вод синтетическими поверхностно-активными веществами (СПАВ), до ~50мкг/л, происходит в прибрежной зоне, за счёт сброса вод, загрязненных моющими средствами и флотореагентами. В приустьевых водах СПАВ содержится в количестве >10 мкг/л.

- Литотехногенное загрязнение осадков шельфа осуществляется инертными техногенными продуктами и отходами промышленных технологий (уголь, шлак, кирпич, стекло, бетон, фаянс, рыбопромысловые орудия лова и др.) различными путями. Они обнаруживаются при донном опробовании и изучении состава осадков. Много угля (до >10% от лёгкой фракции) встречается в осадках устьев рек и поселений.

- Дендротехногенное загрязнение осадков происходит за счёт древесины и продуктов её разложения. Много древесины теряется при лесосплаве по рекам. Бревна и пиломатериал разносятся на сотни миль и выбрасываются на пляжи. Древесина при нахождении в воде и транспортировке тяжелеет и частично осаждаётся на дно в районах с пониженной придонной гидродинамической активностью, где сохраняется в осадках. В устьях рек и губ их содержания в осадках могут составлять 1-5 мг/кг. Осадки с повышенными содержаниями фенолов – черного цвета и содержат остатки древесины. Ореолы концентраций фенолов в придонных водах совпадают с таковыми в осадках, но они отражают краткосрочную картину загрязнения. Другими продуктами разложения древесины являются полициклические соединения.

- Петролетехногенные загрязнения осадков и придонных вод происходит за счёт нефти и нефтепродуктов. Петролетехногенные загрязнения возросли из-за транспортировки по Северному морскому пути (СМП) нефти. Загрязнение нефтепродуктами фиксируется в осадках и придонных водах по содержанию нефтяных углеводородов (НУ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хотя часть их имеет естественную природу происхождения. В осадках шельфа и устьев рек и губ, нефтепродукты приурочены к глинистым минералам, насыщая и склеивая их с образованием агрегатов. Низкие температуры препятствуют микробному разложению нефтепродуктов.

- Агротехногенные продукты представлены хлорорганическими пестицидами: циклическими гексахлор-циклогексановые соединениями, (ГХПГ), ароматическими (ДДТ) и циклодиеновыми. Пестициды поступают в осадок с речным стоком. ГХПГ в прибрежных осадках содержатся в количестве $<0,1$ мг/г, в устьевых осадках – $<0,3-1,0$ мг/г.

- Хлорорганические ароматические соединения (ХОС), в прибрежных осадках, содержатся в количестве $<0,03$ мг/г. Они поступают с речным стоком. Концентрации ХОС в осадках иногда достигают $0,1$ мг/г, в придонных водах – $<0,1$ мг/л, в макробентосе – $<0,3$ мг/г.

- Ксенотехногенными продуктами загрязнения донных сред являются изделия из полимеров, пластики, резина, металлоконструкции (затонувшие суда, буровые вышки), подводные кабели, газопроводы. Из них активными и токсичными ксенобиотиками являются полихлорированные (би)фенилы (ПХБ). Больше их количество обычно приурочено к мелководным прибрежным аккумулятивным участкам шельфа. ПХБ в осадках шельфа и устьев не обнаружены. В придонных водах их содержания – $<0,3$ нг/л (1 нанограмм = 10^{-9} г/литр). Макробентос в устьях рек содержит $<3,0$ нг/г ПХБ. Количества ПХБ в

изучаемых средах малы. ПХБ – высокой токсичны. Воды хозяйственных рыбных водоемов должны быть чисты от них⁵.

Таким образом, были выявлены наиболее уязвимые, с точки зрения техногенного воздействия, элементы экосистемы.

Поскольку активной экспансии и освоения арктических морей мы можем ожидать лишь в будущем. Необходимо при эколого-экономической оценке влияния использовать вероятностный подход. Ущерб, причинённый данной акватории, несомненно будет, однако его размеры с безусловной точностью определить не представляется возможным. Однако возможно определить наиболее вероятную сумму ущерба, при этом для этого необходимо использовать такие методы оценки риска, которые позволяют проводить оценку без использования статистического материала. Нам представляется наиболее удобным в данной ситуации воспользоваться имитационным моделированием по методу Монте-Карло.

Для построения имитационной модели воспользуемся формулой определения эколого-экономического риска воздействия техногенных массивов на окружающую среду⁶:

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} \quad (1)$$

$$R_{ij} = K_{ij}^R \times Y_{ij} \quad (2)$$

где K_{ij}^R – коэффициент риска техногенного воздействия на i -ый компонент природной среды с учетом возникновения j последствий воздействия, Y_{ij} – эколого-экономический ущерб от возможного воздействия техногенного массива на i -ый компонент природной среды с учетом возникновения j последствий воздействия.

В общем случае имитационное моделирование Монте-Карло - это процедура, с помощью которой математическая модель определения какого-либо финансового показателя (в нашем случае R) подвергается ряду

⁵ Кельтон В. Имитационное моделирование // Классика CS. – 3-е изд. – СПб. : Питер; Киев : Издательская группа ВНУ, 2004. – 847 с

⁶ Норильский промышленный район. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/42752>

имитационных прогонов с помощью компьютера⁷. В ходе процесса имитации строятся последовательные сценарии с использованием исходных данных, которые по смыслу проекта являются неопределенными, и потому в процессе анализа полагаются случайными величинами. Процесс имитации осуществляется таким образом, чтобы случайный выбор значений из определенных вероятностных распределений не нарушал существования известных или предполагаемых отношений корреляции среди переменных. Результаты имитации собираются и анализируются статистически, с тем, чтобы оценить меру риска⁸.

Алгоритм проведения имитационного моделирования методом Монте-Карло выглядит следующим образом⁹.

1 шаг. Создание прогнозной модели в формате табличного редактора Excel (при помощи функции ЕСЛИ и функции ПС)

Виды техногенных загрязнений				Суммарная величина риска
R ₁	R ₂	...	R _n	$\sum R$

2 шаг. Задание функции распределения каждой переменной, которая оказывает влияние на формирование суммарной величины риска, и введение ее минимального и максимального значений. Для этого присваиваем переменной вероятностное распределение, исходя из оценок или наших ожиданий (например, треугольное, нормальное или равномерное распределение) (выполняется при помощи функции СЛУЧМЕЖДУ).

Виды техногенных загрязнений	Минимальное значение	Максимальное значение
R ₁	R _{1min}	R _{1max}
R ₂	R _{2min}	R _{2max}
...		
R _n	R _{nmin}	R _{nmax}

⁷ Пашкевич М.А., Пашкевич Н.В. Эколого-экономическая оценка риска техногенных массивов на окружающую среду// ГИАБ-Доклад на симпозиуме «Неделя горняка». – 1999 –с. 214-216.

⁸ Корельский Д.С., Смирнов Ю.Д., Данилов А.С. Перспективный способ дистанционного экологического мониторинга объектов нефтегазовой отрасли России // Нефтяное хозяйство 2016, том 2, с.121-122

⁹ Савчук В.П. Учебник :Оценка эффективности инвестиционных проектов. Из содерж.: Имитационное моделирование Монте-Карло– [Электронный ресурс]–<http://www.cfin.ru/finanalysis/savchuk/10.shtml>

3 шаг. Проведение расчетных итераций, которое является полностью компьютеризированной частью анализа рисков проекта. 200-500 итераций обычно достаточно для хорошей репрезентативной выборки.

В процессе каждой итерации происходит случайный выбор значений ключевых переменных из специфицированного интервала в соответствии с вероятностными распределениями и условиями корреляции. Затем рассчитываются и сохраняются результирующие показатели (например, NPV)¹⁰.

4 шаг. Проведение статистического анализа полученных результатов и построение гистограммы (рис.3) распределения результирующего показателя, по которой можно оценить риск проекта, разброс возможных результатов.

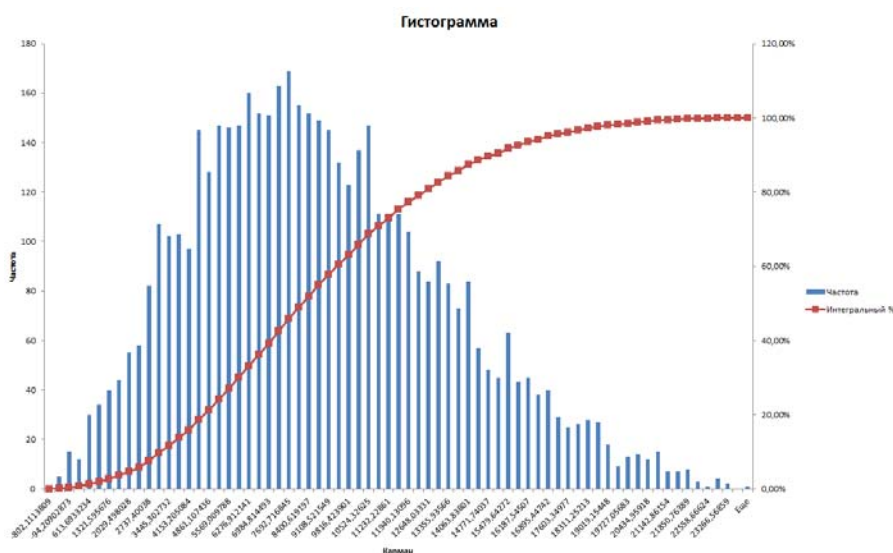


Рис. 3 – Гистограмма на основе результатов, полученных в ходе имитационного моделирования

В заключении, можно отметить что техногенное воздействие наносит непоправимый вред состоянию акватории западных Арктических морей, в чем мы могли убедиться на примере Карского моря. Поэтому на наш взгляд, принципиально важно на этапе подготовки к активной экспансии арктических морей оценить величину суммарного эколого-экономического ущерба. Используя имитационное моделирование можно получить наиболее вероятную величину данного показателя. А на основе полученных данных, необходимо будет разрабатывать организационно-технические мероприятия, направленные

¹⁰Кузнецова Н. В. Управление рисками // Издательство Дальневосточного университета– Владивосток, 2004. – 137 с.

на устранение последствий нанесенного ущерба либо на предотвращение того или иного риска техногенного загрязнения.

Библиографический список

1. EdwART. Словарь терминов МЧС, 2010 //Словари и энциклопедии на Академике. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dic.academic.ru>.
2. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.
3. Данные о биогеоценозе. –[Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.Grandars.ru.
4. Материалы отчетов СЗНИИ Наследия 2003-2015 гг.
5. Кельтон В. Имитационное моделирование // Классика CS. – 3-е изд. – СПб. : Питер; Киев : Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
6. Норильский промышленный район. –[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/42752>.
7. Пашкевич М.А., Пашкевич Н.В. Эколого-экономическая оценка риска техногенных массивов на окружающую среду// ГИАБ-Доклад на симпозиуме «Неделя горняка». – 1999 –с. 214-216.
8. Корельский Д.С., Смирнов Ю.Д., Данилов А.С. Перспективный способ дистанционного экологического мониторинга объектов нефтегазовой отрасли России // Нефтяное хозяйство 2016, том 2, с.121-122.
9. Савчук В.П. Учебник :Оценка эффективности инвестиционных проектов. Из содерж.: Имитационное моделирование Монте-Карло– [Электронный ресурс]–<http://www.cfin.ru/finanalysis/savchuk/10.shtml>.
10. Кузнецова Н.В. Управление рисками // Издательство Дальневосточного университета. – Владивосток, 2004. – 137 с.

References

1. EdwART. Glossary of terms MES, 2010 // Dictionaries and encyclopedias on Academician. – [Electronic resource] – Access mode: <http://dic.academic.ru>.

2. SP 11-105-97. Engineering and geological surveys for construction.
3. Data on biogeocenosis. – [Electronic resource]. – Access mode: www.Grandars.ru.
4. The materials of the reports of the Legislative Research Institute of the Legislation 2003-2015.
5. Kelton V. Simulation modeling // Classics CS. – 3rd ed. – St. Petersburg. : Peter; Kiev: Publishing Group BHV, 2004. – 847 p.
6. Norilsk Industrial Area. – [Electronic resource] – Access mode: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/42752>.
7. Pashkevich M.A., Pashkevich N.V. Ecological and economic assessment of the risk of man-made arrays on the environment // GIAB – report at the symposium «Week of the miner». – 1999. p. 214-216.
8. Korelsky DS, Smirnov Yu.D., Danilov AS A Perspective Method of Remote Environmental Monitoring of Oil and Gas Industry in Russia // Oil Industry 2016, Volume 2, p.121-122.
9. Savchuk V.P. Tutorial: Evaluation of the effectiveness of investment projects. From the contents: Simulation Monte Carlo simulation - [Electronic resource] – <http://www.cfin.ru/finanalysis/savchuk/10.shtml>.
10. Kuznetsova NV Risk management // Publishing House of the Far Eastern University. – Vladivostok, 2004. – 137 p.